

# Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Departamento de Engenharia Civil

**OCORRÊNCIA DE CLORO RESIDUAL COMBINADO  
NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA DE CAMPINA GRANDE (PB)**

**RIVEKA MONTEIRO GUIMARÃES**

**Campina Grande**  
**Data: MARÇO / 2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

**OCORRÊNCIA DE CLORO RESIDUAL COMBINADO NO SISTEMA DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE (PB)**

**RIVEKA MONTEIRO GUIMARÃES**

---

**CAMPINA GRANDE – PB  
MARÇO – 2010**

---

**RIVEKA MONTEIRO GUIMARÃES**

**OCORRÊNCIA DE CLORO RESIDUAL COMBINADO NO SISTEMA DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE (PB)**

---

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental  
da Universidade Federal de Campina  
Grande – UFCG, em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de Mestre.

**Área de concentração:** Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

**Orientadores:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira  
Prof. Dr. Rui de Oliveira

CAMPINA GRANDE - PB  
MARÇO – 2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

G963o

2010 Guimarães, Riveka Monteiro.

Ocorrência de cloro residual combinado no sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB) / Riveka Monteiro Guimarães. – Campina Grande, 2010.

86 f. : il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Prof. Dr. Rui de Oliveira.

1. Abastecimento de Água. 2. Qualidade da Água. 3. Manutenção da Qualidade da Água. 4. Cloro Residual. 5. Cloro Residual combinado. 6. Cloraminas. I. Título.

CDU – 628.1(043)

**RIVEKA MONTEIRO GUIMARÃES**

**OCORRÊNCIA DE CLORO RESIDUAL COMBINADO NO SISTEMA DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE (PB)**

Dissertação aprovada em 30 de Março de 2010

**COMISSÃO EXAMINADORA**

*Celeide Maria Belmont Sabino Meira*

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira  
Orientadora

*Rui de Oliveira*

Prof. Dr. Rui de Oliveira  
Orientador

*Mônica de Amorim Coura*

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica de Amorim Coura  
Examinadora Interna

*Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima*

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima  
Examinadora Externa

CAMPINA GRANDE - PB  
MARÇO - 2010

**Com Gratidão**

*Ao meu esposo **Valdécio** e meus filhos **Ana Carolina e Luiz Henrique** pela  
compreensão quando da minha ausência nos poucos momentos  
a eles reservados.*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, por me permitir viver esta experiência;*

*Aos meus pais e meus irmãos, por todo carinho e apoio, estando sempre ao meu lado em todos os momentos;*

*Aos meus orientadores Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira e Dr. Rui de Oliveira, pela orientação, cumplicidade, incentivo e principalmente pela confiança dispensada;*

*A professora Dr<sup>a</sup>. Mônica de Amorim Coura, pela dedicação e conselhos dispensados;*

*A todos que compõem o grupo de pesquisa em especial a Emanuel e Thássio, pelo compromisso e apoio na realização das análises, sendo fundamentais para o êxito deste trabalho;*

*Ao Conselho de Aperfeiçoamento e Pesquisa de Ensino Superior – CAPES, pelo apoio financeiro;*

*Aos colegas de Curso de Mestrado de Engenharia Civil pela convivência e estudos realizados ao longo do curso, especialmente a Joseneto de Souza pelos ensinamentos indispensáveis de química e a Rita de Cássia pela grande ajuda.*

*À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), por disponibilizar dados referentes ao sistema de abastecimento de água de Campina Grande;*

*Aos diretores e funcionários das escolas que serviram como pontos de coleta e monitoração dos indicadores, por disponibilizarem o local para a realização das análises;*

*A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.*

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo descrever a ocorrência de cloro residual combinado na rede de distribuição de água de Campina Grande ("7°13'50" Sul e 35°52'52"Oeste"), estado da Paraíba, nordeste do Brasil, como uma contribuição para o plano de manutenção do sistema, particularmente dos reservatórios e outros pontos estratégicos. A monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), resultante da reação de ácido hipocloroso com sais de amônio, dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ) formadas, respectivamente, pela oxidação de mono e dicloramina pelo ácido hipocloroso, constituem o CRC o qual pode coexistir com o CRL em sistemas de abastecimento de água, particularmente em locais da rede de distribuição, como reservatórios e extremidades, que favoreçam a acumulação de matéria orgânica nitrogenada, passível de amonificação. Tal acumulação é comumente favorecida por esquemas de manutenção deficientes particularmente do sistema de distribuição de água e em especial dos reservatórios e outros pontos que permitam uma maior exposição da água às intempéries. A análise estatística dos dados dos indicadores de qualidade medidos em vários horários no ciclo diário demonstrou a existência de diferenças significativas entre os grupos desses indicadores nos diferentes pontos monitorados, indicando que as condições desses locais influenciaram significativamente o comportamento de tais indicadores, seja por fatores operacionais, ambientais, antropogênicos ou de manutenção. Foram determinadas no sistema de distribuição concentrações expressivas de Cloro Residual Combinado, o qual não tem poder desinfetante significativo, sendo sua ocorrência atribuída a um conjunto de fatores associados à degradação da qualidade da água, bem como aspectos relacionados à operação e manutenção do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abastecimento de água. Qualidade da água. Manutenção da qualidade da água. Cloro residual. Cloro residual combinado. Cloraminas.

## ABSTRACT

The aim of this study was to describe the occurrence of combined residual chlorine (CRC) in the water distribution system of Campina Grande City (7°13'50" South, 35°52'52" West), Paraíba state, Northeast Brazil, as a contribution for the maintenance schedule of the system, particularly distribution reservoirs and other strategic points. Monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), resulting from the reaction of hypochlorous acid and ammonium salts, dichloramine ( $\text{NHCl}_2$ ) and trichloramine ( $\text{NCl}_3$ ) formed respectively by the oxidation of monochloramine and dichloramine by hypochlorous acid, constitute the combined residual chlorine (CRC) which may coexist with free residual chlorine in water supply systems, particularly in reservoirs and extremities of water distribution network which favor the accumulation of organic nitrogen, mineralizable through reactions of ammonification. Such an accumulation is commonly favored by inefficient maintenance schedules of water distribution network especially those applied for distribution reservoirs and other parts of the system that are more capable of exposing water to deterioration. Water quality indicators measured at different times along the daily cycle were statistically analyzed in order to demonstrate the existence of significant differences between groups of indicators at different monitoring points of the system. Differences were related to operational, environmental, anthropogenic and maintenance factors associated with these sites. Significant concentrations of combined residual chlorine, which have not important disinfection capacity, were determined in the water distribution system of Campina Grande, being its occurrence attributed to a number of factors associated with the degradation of water quality as well as aspects related to operation and maintenance.

**KEYWORDS:** Water supply. Water quality. Maintenance of water quality. Residual chlorine. Combined residual chlorine. Chloramines.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	Esquema de referência para o estabelecimento do plano de segurança da qualidade da água (como proposto em WHO, 2004.....	21
Figura 3.2	Discriminação da natureza dos parâmetros das três portarias nacionais.....	29
Figura 3.3.	Frações de cloro residual livre em função do pH e temperatura da água.....	33
Figura 3.4.	Cloração ao <i>breakpoint</i> .....	34
Figura 4.1	Reservatório de distribuição de água R-9.....	39
Figura 4.2	Rede de distribuição de água de Campina Grande .....	39
Figura 4.3	Procedimentos para execução das análises.....	42
Figura 4.4	Forma de transporte das amostras.....	43
Figura 4.5	Espectrofotômetro Coleman 35D e amostras após reação.....	45
Figura 5.1	Percentual das espécies de cloro residual monitorados nos pontos P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub> e P <sub>7</sub> .....	49
Figura 5.2	Percentual das espécies de cloro residual monitorados nos pontos P <sub>8</sub> e P <sub>9</sub> .....	50
Figura 5.3	Freqüência (%) de concentrações abaixo do mínimo permitido pela Portaria MS 518/2004, para concentração de cloro residual livre.....	51
Figura 5.4	Freqüência de concentrações acima do máximo permitido pela Portaria MS 518/2004, para concentração de cloro residual livre.....	51
Figura 5.5	Variação temporal do CRL nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> ... ..	52
Figura 5.6	Variação temporal do CRL nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> ... ..	53
Figura 5.7	Variação temporal da monocloramina nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> .....	54
Figura 5.8	Variação temporal da monocloramina nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	55
Figura 5.9	Variação temporal de dicloramina nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> .....	56

Figura 5.10	Variação temporal de dicloramina nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	57
Figura 5.11	Variação temporal da tricloramina nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> .....	58
Figura 5.12	Variação temporal da tricloramina nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	59
Figura 5.13	Variação temporal do pH nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> .....	61
Figura 5.14	Variação temporal do pH nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	62
Figura 5.15	Variação temporal do nitrogênio amoniacal nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , e P <sub>6</sub> .....	64
Figura 5.16	Variação temporal do nitrogênio amoniacal nos pontos de monitoração P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	65
Figura 5.17	Variação temporal da temperatura nos pontos de monitoração P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> .....	66
Figura 5.18	Variação temporal da temperatura nos pontos de monitoração P <sub>6</sub> , P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , e P <sub>9</sub> .....	67
Figura 5.19	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para cloro residual livre, monocloramina, dicloramina e tricloramina nos pontos de monitoração.....	73
Figura 5.20	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para nitrogênio amoniacal e temperatura nos pontos de monitoração.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Localização dos pontos de coleta.....	37
Tabela 4.2	Caracterização dos reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Campina Grande.....	41
Tabela 5.1	Demonstrativo quantitativo das análises nos ponto de monitoração	47
Tabela 5.2	Parâmetros descritivos das amostras de dados das espécies de cloro residual monitoradas nos pontos de coleta.....	48
Tabela 5.3	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>4</sub> .....	69
Tabela 5.4	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>5</sub> .....	69
Tabela 5.5	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>6</sub> .....	70
Tabela 5.6	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>7</sub> .....	70
Tabela 5.7	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>8</sub> .....	71
Tabela 5.8	Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P <sub>9</sub> .....	71
Tabela 5.9	Resumo da análise de variância para comparação de médias dos indicadores medidos nos diferentes pontos monitorados.....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas técnicas
- ANOVA** – Análise de Variância
- APHA** – American Public Health Association
- AWWA** – American Water Works Association
- CAGEPA** – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
- CENEPI** – Centro Nacional de Epidemiologia
- CRC** – Cloro Residual Combinado
- CRL** – Cloro Residual Livre
- ETA** – Estação de Tratamento de Água
- FUNASA** – Fundação Nacional de Saúde
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MS** – Ministério da Saúde
- OMS** – Organização Mundial de Saúde
- OPAS** – Organização Pan-Americana da Saúde
- PSA** – Plano de Segurança da Água
- SUS** – Sistema Único de Saúde
- SVS** – Secretaria de Vigilância em Saúde
- UFCG** – Universidade Federal de Campina Grande
- USEPA** – United States Environmental Protection Agency
- VMP** – Valor Máximo Permitidor
- WEF** – Water Environmet Federation
- WHO** – World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.0</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
<b>3.0</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
3.1	Sistemas públicos de abastecimento de água.....	17
3.2	Realidade brasileira quanto à operação e manutenção dos sistemas de abastecimento.....	18
3.3	Plano de segurança da água.....	20
3.4	Vigilância e controle da qualidade da água.....	23
3.5	Padrão de potabilidade da água.....	26
3.6	Evolução do padrão de potabilidade da água no Brasil e no mundo.....	27
3.7	Desinfecção com a utilização do cloro.....	30
3.7.1	<i>Fundamentação do uso do cloro.....</i>	<i>31</i>
3.8	Reações do cloro na água.....	32
3.8.1	<i>Cloro residual livre.....</i>	<i>32</i>
3.8.2	<i>Cloro residual combinado.....</i>	<i>34</i>
<b>4.0</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	Local e período de estudo.....	37
4.2	Sistema de Abastecimento de água de Campina Grande.....	38
4.3	Coleta de dados.....	41
4.4	Métodos analíticos.....	43
4.4.1	<i>Cloro residual livre (CRL).....</i>	<i>43</i>
4.4.2	<i>Cloro residual combinado (CRC).....</i>	<i>44</i>
4.4.3	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH) .....</i>	<i>44</i>
4.4.4	<i>Temperatura.....</i>	<i>44</i>
4.4.5	<i>Nitrogênio amoniacal.....</i>	<i>45</i>
4.5	Procedimentos estatísticos.....	45
<b>5.0</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>

<b>5.1 Indicadores analisados.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1.1 Cloro residual.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1.2 pH.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.3 Nitrogênio amoniacal.....</b>	<b>63</b>
<b>5.1.4 Temperatura.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2 Análise de variância.....</b>	<b>68</b>
<b>6.0 DISCUSSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>6.1 Situação da água fornecida pelo sistema de Campina Grande.....</b>	<b>75</b>
<b>6.2 Operação e manutenção do sistema distribuidor de água de Campina Grande.....</b>	<b>78</b>
<b>7.0 CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>8.0 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO

Os aspectos qualitativos e quantitativos de uma água dependem das condições do meio ambiente, da forma de escoamento superficial, bem como também da interferência antropogênica que está relacionada diretamente a alguns fatores como o lançamento inadequado de esgotos nos corpos d'água, o uso desordenado de agrotóxicos, o desmatamento, o assoreamento dos rios, o uso inadequado da irrigação, a impermeabilização do solo e entre outras ações que são fatores preponderantes na qualidade da água destinada ao abastecimento público.

Os sistemas de tratamento e distribuição de água são passíveis de erros operacionais ou de manutenção em partes ou em sua totalidade complexa, sendo necessárias ações de controle, mas especialmente de vigilância que continuamente avaliem a qualidade da água consumida pela população, permitindo a identificação de fatores de riscos e o planejamento de medidas de acompanhamento e, quando necessário, medidas de correção da situação existente.

A "Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano" (BRASIL, 2007a), estabelece que todos os municípios brasileiros, independentemente de seu porte, devem, em articulação com os estados, implantar planos de monitoração de vigilância da qualidade da água incluindo os indicadores sentinelas cloro residual livre (CRL) e turbidez. Também, devem realizar análise dos dados de qualidade da água para consumo humano em conexão com as informações constantes no "Sistema de Monitorização das Doenças Diarréicas Agudas – MDDA".

Os indicadores referidos estão relacionados mais diretamente à qualidade sanitária da água, mas outros indicadores como o pH e o cloro residual combinado (CRC) devem fazer parte do elenco de indicadores auxiliares, em vista de sua influência direta na desinfecção da água. O desempenho da desinfecção com cloro é altamente dependente do pH, sendo melhor em águas mais ácidas. O padrão de potabilidade (BRASIL, 2004), ora em vigor no Brasil, recomenda que o pH da água de abastecimento seja mantido na faixa entre 6,0 e 9,5.

O cloro residual combinado (CRC) pode ser considerado um importante indicador da qualidade da operação e principalmente da manutenção de sistemas de abastecimento de água. Monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), resultante da reação de ácido

hipocloroso com sais de amônio, dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ) formadas, respectivamente pela oxidação de mono e dicloramina pelo ácido hipocloroso, constituem o CRC o qual pode coexistir com o CRL em sistemas de abastecimento de água, particularmente em locais da rede de distribuição, como reservatórios e extremidades, que favoreçam a acumulação de matéria orgânica nitrogenada, passível de amonificação. Tal acumulação é comumente favorecida por esquemas de manutenção falhos particularmente do sistema de distribuição de água e em especial dos reservatórios e outros pontos que permitam uma maior exposição da água ao contato com poeiras e outros materiais.

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Investigar a ocorrência de cloro residual combinado (CRC) como contribuição para a manutenção do sistema de abastecimento de água, particularmente dos reservatórios e outros pontos estratégicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Caracterizar e descrever o sistema de distribuição de água de Campina Grande;
- ✓ Identificar os pontos críticos da rede que possam representar risco à saúde da população;
- ✓ Descrever o comportamento do cloro residual combinado com outras variáveis (cloro residual livre, pH, temperatura e nitrogênio amoniacal) em pontos estratégicos;

### 3.0 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Sistemas públicos de abastecimento de água

De acordo com a Portaria MS nº 518/2004 (BRASIL, 2004), sistema de abastecimento de água para consumo humano é uma instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.

A implantação de um sistema de abastecimento de água traz consigo uma rápida e sensível melhoria na saúde e no bem estar de uma comunidade, constituindo-se de um serviço público de fundamental importância, não só do ponto de vista sanitário e social, mas também econômico.

Os aspectos sanitários e sociais são os mais ponderáveis e fundamentam-se, nas seguintes premissas (BRASIL, 2007b):

- controle e prevenção de doenças;
- implantação de hábitos higiênicos na população ;
- limpeza pública;
- práticas desportivas;
- conforto, bem-estar e segurança;
- aumento na esperança de vida da população.

Em 2009, o Ministério da Saúde, através do seu portal de notícias (BRASIL, 2009), revelou que o número de mortes de crianças menores de um ano de idade por diarreia no Brasil caiu 93,9% em 25 anos, passando de 32.704, em 1980, para 1988, em 2005. Essa redução é atribuída a vários fatores, dentre os quais o saneamento básico, o maior acesso da população à água tratada e aos serviços de saúde.

No sentido econômico o abastecimento de água é também de grande relevância, visando em primeiro lugar (ibidem):

- aumento da longevidade pela redução da mortalidade;

- aumento da vida produtiva do indivíduo, quer pelo aumento da vida média quer pela redução do tempo perdido com doença;
- instalação de indústrias, inclusive a de turismo, com o conseqüente maior desenvolvimento das comunidades;
- facilitar o combate a incêndios.

Entretanto, para que a água supra em quantidade compatível e com qualidade adequada as necessidades de uma população, ela percorre um longo caminho e várias etapas, as quais compõem um conjunto de obras de engenharia que se iniciam no local de origem da água (manancial) e se estendem até o local de consumo, as quais devem cumprir com eficiência o papel de proteger a população dos riscos à saúde. Todavia, essas etapas pressupõem a adequação às normas técnicas.

A escolha do manancial é o primeiro passo para o controle de possíveis perigos à saúde e a decisão mais importante em um projeto de abastecimento de água; não devendo restringir-se de forma exclusiva aos aspectos econômico-financeiros, já que nem sempre a melhor solução para um problema de abastecimento de água é a mais econômica, a mais segura ou a mais "moderna", e sim a mais apropriada à realidade social em que será aplicada.

O controle desses possíveis perigos à saúde continua com o planejamento, o projeto e a operação, que deverá ser condizente com o tratamento, devendo ser exercido em todas as unidades do sistema: captação, adução, estações elevatórias, reservação e rede de distribuição cada uma com suas funções e possíveis variantes.

### **3.2 Realidade brasileira quanto à operação e manutenção dos sistemas de abastecimento**

O conceito de operação de um sistema é muito mais que uma mera seqüência de comandos de equipamentos, envolvendo aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infra-estrutura de apoio e atendimento ao usuário, todos considerados simultâneos e interdependentes entre si.

A qualidade da operação atrelada à adequação das características da água bruta e a tecnologia de tratamento são basicamente os principais indicadores para o bom desempenho das estações de tratamento de água (LOPES; LIBÂNIO, 2005). A variedade de fatores a serem observados durante o funcionamento dos processos unitários de tratamento e a falta, muitas vezes, de credenciamento e treinamento dos operadores de estações de tratamento de água, vem dificultando o controle operacional das estações, o qual é feito de forma reducionista, restringindo-se quase que tão somente ao atendimento dos padrões de potabilidade.

No Brasil algumas empresas prestadoras de serviços de saneamento básico, vêm negligenciando os aspectos de operação dos sistemas de abastecimento de água. Muitas delas encontram-se trabalhando acima de sua capacidade nominal ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Constatam-se sérias reclamações por parte dos consumidores, que se ressentem da má qualidade dos serviços, convivendo, algumas vezes, com racionamentos e/ou desabastecimentos, o que compromete a rotina dessas prestadoras, desgastando seriamente sua imagem perante a sociedade.

Essas empresas, buscando suprir a demanda sempre crescente de água e, paralelamente, manter uma boa qualidade defrontam-se com a escassez de recursos, que se acentua a cada dia em virtude das necessidades da sociedade, que são ilimitadas.

Na tentativa desesperada de resolver tais problemas, essas empresas focam erroneamente nos fatores causais; busca-se o aumento da oferta ao invés da redução da demanda de água; aumenta-se a oferta sem considerar o reflexo da mesma na elevação dos custos; convive-se com o desabastecimento independentemente de seus efeitos danosos na qualidade do produto final; toleram-se o desperdício sem se preocupar com a sua eliminação, o que seria bem mais econômico (BÁGGIO, 1998). A qualidade do produto é vista unicamente sob o prisma de produto final, não o vendo sob o aspecto da qualidade total. Desta forma, muitos problemas decorrentes da operação de processos não são equacionados corretamente.

Quando se busca a qualidade nos serviços prestados à população, a visão abrangente de todos os subsistemas componentes do sistema de abastecimento de água se torna extremamente importante (PARSEKIAN, 1998). A autora ainda alerta que a visão industrial de uma estação de tratamento de água

deve ser cada vez mais enfocada, tendo em vista um programa de gerenciamento completo viabilizando-o de forma eficiente e que venha a atender a população da melhor forma, valendo salientar que a indústria da água é uma das poucas à qual todos os seres humanos fazem uso do seu produto e que é essencial para a sua sobrevivência e desenvolvimento.

A falta de recursos humanos, físicos e financeiros é geralmente apontada pelos gerentes dessas empresas como sendo seu principal problema, o que vem a desanimá-los na missão de operar e manter os sistemas de abastecimento de água.

Bággio (1998) alerta sobre o comportamento desses gerentes ao confundirem operação com manutenção, vendo a operação como algo relativo a manter o sistema funcionando ou consertar o que está avariado ou quebrado. Alerta também que, enquanto este fato ocorrer, perdurarão as sobreposições de dois importantes processos de uma empresa de saneamento que mereceriam ser conduzidos de forma independente, porém com grande dose de integração.

### **3.3 Plano de segurança da água**

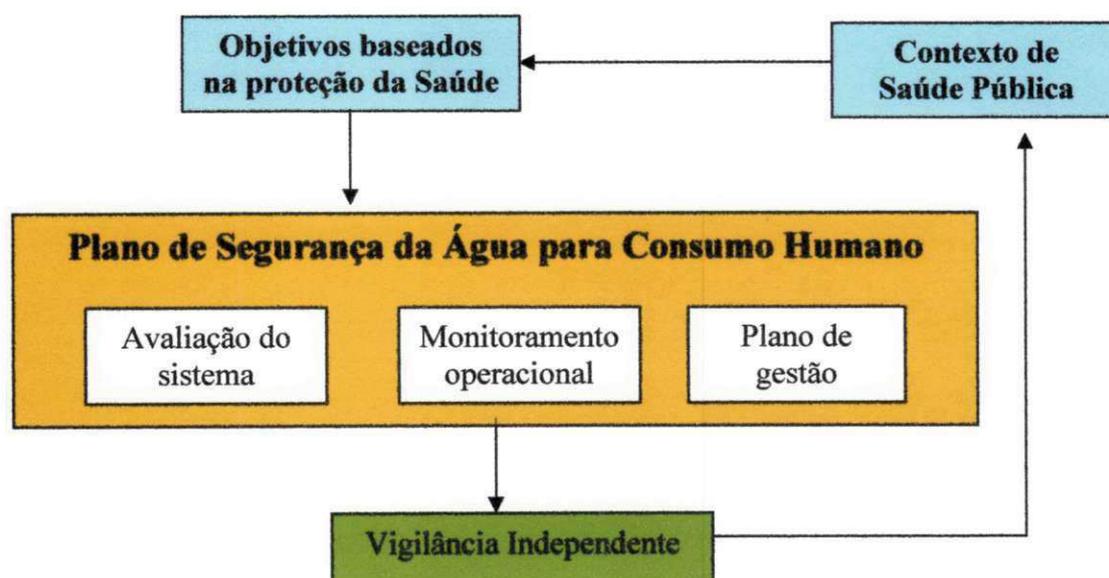
A água para ser considerada potável deve passar pelo controle de qualidade e atender aos padrões de potabilidade estabelecidos por normas de qualidade, fazendo uso de programas de monitoração através de análises e exames de forma proporcional à população atendida pelo sistema de abastecimento.

No entanto, apesar da freqüente monitoração, têm-se verificado o surgimento de doenças relacionadas com o consumo de água devido a problemas que não foram sanados em tempo hábil, tomando evidente que o instrumento de controle não dá garantia de que o fornecimento de água potável seja totalmente seguro. Esta é uma das razões pela qual a Organização Mundial de Saúde recomenda a implementação do Plano de Segurança da Água (*Water Safety Plan*), com o qual se pretende pôr em prática uma mudança na abordagem dos mecanismos de controle de qualidade da água para um processo de gestão de segurança, desde o manancial até o consumidor.

De acordo com as novas Guias da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2004), um Plano de Segurança da Água para Consumo Humano (PSA), pode ser

definido como sendo um documento que identifica e prioriza riscos potenciais que podem ser verificados em um sistema de abastecimento, incluindo todas as etapas desde o manancial até o consumo, desenvolvendo medidas de controle preventivas e corretivas e estabelecendo processos para verificação da eficiência da gestão dos sistemas de controle de qualidade da água para consumo humano. A sua implementação dá-se através da utilização de boas práticas no sistema de abastecimento de água, como a minimização da contaminação nas origens da água, a remoção da contaminação durante o processo de tratamento e a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e a distribuição da água (Figura 3.1).

Um PSA deve ser elaborado e implementado por todo produtor de água para consumo humano, por intermédio de uma equipe multidisciplinar de especialistas, de acordo com critérios técnicos, legislações em saúde, meio ambiente, de recursos hídricos, além da aplicação de normas, especialmente as relativas aos sistemas de abastecimento de água.



**Figura 3.1** – Esquema de referência para o estabelecimento do plano de segurança da qualidade da água (como proposta em WHO, 2004).  
Fonte: VIEIRA; MORAES, 2005.

O plano apresenta complexidade variável dependendo do porte do sistema, do tipo e vulnerabilidade do manancial, das características da equipe de operação, entre outros aspectos. Os principais objetivos de um PSA são a proteção dos mananciais minimizando as possibilidades de contaminação, a redução ou remoção de contaminantes no tratamento e a garantia da qualidade da água de consumo na reservação, distribuição e, até mesmo, no uso pela população abastecida.

As etapas fundamentais que constituem um Plano de Segurança da Água são, segundo Vieira e Moraes (2005):

- Estabelecimento de objetivos para a qualidade da água destinada ao consumo humano, com base em considerações de saúde.
- Avaliação do sistema de abastecimento de água "com vista a assegurar que esse sistema, como um todo (da fonte até a torneira do consumidor, passando pelo tratamento), fornece água com uma qualidade que cumpre com os objetivos estabelecidos, também incluindo a avaliação de critérios de projeto para novos sistemas". Esta avaliação constitui uma primeira "fotografia" para determinar se o sistema demonstra capacidades para atingir os objetivos de proteção de saúde propostos.
- Identificação de medidas de controle "que garantam, de forma global, o controle dos riscos detectados e que assegurem que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água, na perspectiva de saúde pública". Esta componente inclui a metodologia de avaliação e gestão de riscos e assegura a percepção das capacidades e limites das barreiras múltiplas que compõem o sistema. Envolve os aspectos de monitoração operacional.
- Preparação de planos de gestão "que descrevam as ações a tomar em casos de operação de rotina ou em caso de condições excepcionais e documentem a avaliação e monitoração do sistema". Esta componente inclui a elaboração dos planos de monitoração e comunicação, bem como os respectivos programas de suporte.
- Funcionamento de um sistema de vigilância independente.

O PSA deve conter todas as etapas relacionadas aos aspectos constituintes de um sistema de abastecimento de água, contemplando de forma detalhada a caracterização do manancial, identificando as possíveis fontes de poluição na bacia hidrográfica e definindo medidas de proteção do manancial, além da descrição do tratamento, reservação e rede de distribuição. Desta forma permite-se, com maior acurácia, avaliar como os agentes químicos e biológicos podem penetrar no sistema e, conseqüentemente, as possibilidades de risco à saúde. Portanto, o plano deve ser encarado com a visão de saúde pública, tornando-se necessário que haja regularmente a verificação de todos os elementos que o constituem, sua eficácia e conformidade objetivando a garantia de segurança da água a ser consumida (VIEIRA; MORAIS, 2005).

### **3.4 Vigilância e controle da qualidade da água**

Os termos Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, adotados pela OMS, encontram-se definidos na legislação brasileira (BRASIL, 2004), como segue:

- Controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo (s) responsável (is) pela operação do sistema de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;
- Vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública para verificar se a água consumida pela população atende a norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

Tais definições estabelecem as diferentes responsabilidades e mecanismos, os mais claros e objetivos possíveis, para o exercício eficaz e diferenciado, do controle e da vigilância, da qualidade da água para consumo humano. O primeiro é realizado pela concessionária responsável pela operação do

serviço de abastecimento de água, companhia estadual de saneamento, autarquia municipal, prefeitura ou empresa privada. A realização da vigilância cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio das secretarias estaduais, no sentido de verificar se a água distribuída atende às premissas estabelecidas pelo padrão de potabilidade, além de avaliar os riscos à saúde da população abastecida.

O termo vigilância pode ser entendido como uma avaliação freqüente e continuada de vários aspectos, com o objetivo de identificar riscos potenciais à saúde humana, possibilitando formas de intervenção ou controle, assumindo caráter rotineiro e preventivo (CARMO et al., 2008). Nesse contexto quando relacionada à qualidade da água para consumo humano, o caráter preventivo representa um grande desafio para os envolvidos na vigilância, por ser a água dinâmica no tempo e no espaço, e a monitoração deve ser realizada ao mesmo tempo em que a água é captada, distribuída e consumida.

Nesse sentido a legislação brasileira, optou pela busca de um instrumento legal com caráter efetivo e simultâneo de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano: a Portaria nº 518/2004 que, de forma sucinta Bastos et al. (2004), apresenta as atividades inerentes ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água, ora estabelecidas na legislação brasileira.

Em relação ao controle da qualidade da água, deve ser visto por uma perspectiva mais ampla, bem além do simples controle laboratorial e incorporando a promoção das boas práticas em todos os componentes do sistema como segue:

- Manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.
- Promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde.
- Comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia

operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde.

- Encaminhar à autoridade de saúde pública relatórios mensais com informações sobre o controle da qualidade da água.
- Manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública.
- Manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para adoção das providências pertinentes.
- Fornecer a todos os consumidores informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual.

No entanto em se tratando da vigilância da qualidade da água, são estabelecidas as seguintes atividades:

- Sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população.
- Efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento, por meio de informações sobre:
  - a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;
  - as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;
  - o histórico da qualidade da água produzida e distribuída;
  - a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.
- Auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas.

- Implementar um plano próprio de amostragem para a verificação da qualidade da água.

A vigilância deve ser entendida, como cita Waldman (1983), como um pré-requisito para a elaboração de programas de saúde, devendo ser útil também para identificação dos fatores de risco e das populações vulneráveis à exposição ao risco, objetivando tornar mais efetivas as medidas de controle.

Portanto, é importante verificar que as ações de vigilância e controle, apesar de serem executadas por entidades distintas, são a elas atribuídas igual destaque no sentido de gerenciamento de riscos à saúde, garantindo a potabilidade da água consumida pela população.

### **3.5 Padrão de potabilidade da água**

Entende-se por água potável aquela “destinada ao consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde” (BRASIL, 2004). A água potável deve ser agradável aos sentidos, adequada aos usos domésticos, não conter substâncias dissolvidas em níveis tóxicos, ter baixa agressividade e dureza e nem transportar em suspensão microrganismos patogênicos que causem doenças.

Os riscos relacionados às substâncias ou elementos químicos presentes na água para consumo humano são atribuídos a alguns metais pesados dissolvidos, tais como o cromo, chumbo, cádmio, arsênio, prata e mercúrio. São originados, principalmente, de despejos industriais, atividades de garimpo e da agricultura.

Os efeitos tóxicos dos metais causam danos à saúde depois de longos períodos de exposição. Há poucos contaminantes químicos da água que podem levar a problemas na saúde após uma única exposição, exceto uma contaminação acidental em grandes proporções.

O caso fatídico em Minamata, no Japão (1953–1960), é um dos exemplos dessa contaminação que ocasionou o envenenamento por mercúrio de milhares de pessoas e o surgimento da chamada “doença de Minamata”. Nesse acidente, cerca

de três mil pessoas receberam indenização do governo japonês, embora estejam estimados cerca de dez mil intoxicados com cerca de 80 casos letais.

A causa da tragédia foi o consumo de peixes e frutos do mar contaminados por metil-mercúrio oriundo de efluentes de uma indústria de PVC. Esses lançamentos foram paulatinamente contaminando a biota aquática por meio do fenômeno de biomagnificação, que é o aumento da concentração de mercúrio ao longo da cadeia alimentar. A população passou a sentir sintomas como perda de visão e, principalmente, sérios comprometimentos na coordenação motora e muscular, além do nascimento de crianças com danos neurológicos irreversíveis (BASTOS, 2007). Devido a casos como esses, felizmente raros, é que os padrões de potabilidade tornam-se mais rigorosos com o passar dos anos, visto que o uso de novas técnicas de tratamento associadas às descobertas científicas vão contribuindo para este desenvolvimento.

Os padrões de potabilidade não devem ser vistos como um meio de controle da operação das estações de tratamento de água, mas sim como um dos meios para garantir a qualidade da água potável fornecida à população. Um tratamento de água bem conduzido, atrelado a outras providências, como proteção dos mananciais e da área de drenagem, além de medidas para evitar a contaminação da água no sistema de distribuição até o consumo.

A Portaria MS nº 518/2004 (BRASIL, 2004), ora em vigor em nosso país, preconiza que a norma de qualidade da água para consumo humano, deve ser revisada no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto da regulamentação. Portanto, em 2010, provavelmente ocorrerá essa revisão, podendo ser incluídos, alterados ou até mesmo excluídos alguns dos parâmetros que constam no padrão de potabilidade brasileiro atual.

### **3.6 Evolução do padrão de potabilidade da água no Brasil e no mundo**

A melhoria contínua da qualidade da água para consumo humano é uma das metas dos órgãos responsáveis pelas políticas públicas dos setores de

saneamento básico e de saúde pública. Para o desenvolvimento de uma metodologia para operação e manutenção dos sistemas de tratamento de água para abastecimento público, é necessário um sistema de informações quantitativas de modo a fornecer e garantir a qualidade da água para consumo humano.

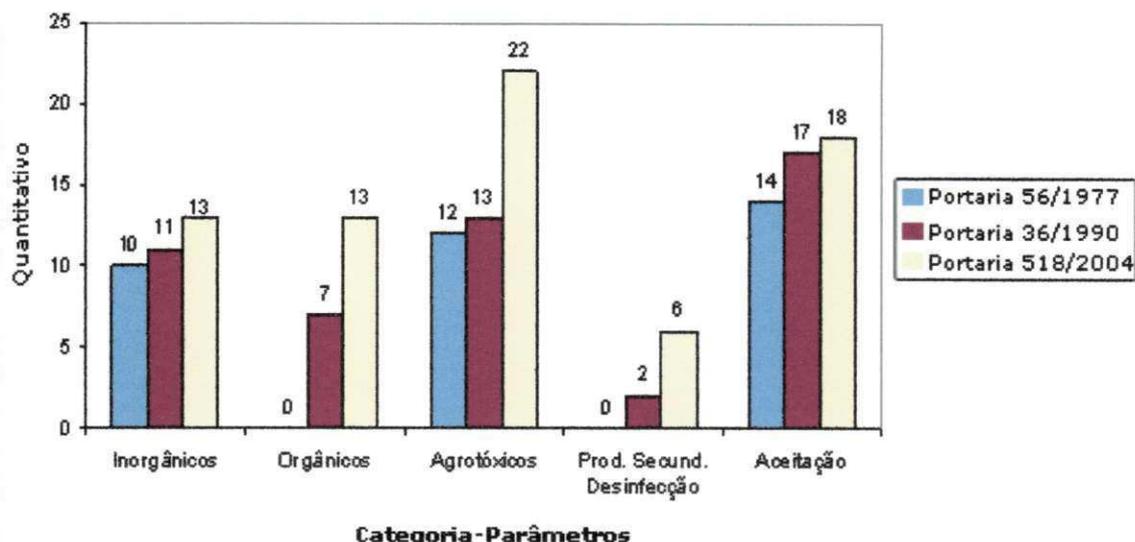
Os critérios de avaliação devem ser criteriosos de modo que a qualidade da água esteja de acordo com as leis ambientais e sanitárias vigentes. A política pública brasileira, de normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano foi inicialmente estabelecida pela Portaria MS nº 56 (BRASIL, 1977) definindo os limites máximos para as diversas características físicas, químicas e biológicas da água. Até então, o único limitador relacionado à água potável eram as recomendações do Serviço Norte-Americano de Saúde Pública (*United States Public Health Service*) (LIBÂNIO, 2008). Posteriormente, em 19/01/1990, o Ministério da Saúde publicou a Portaria MS nº 36 (BRASIL, 1990), revogando a anterior. O número de parâmetros foi aumentado e alguns deles tiveram seus limites mais restritivos.

Decorridos dez anos, tendo sido extrapolada a recomendação do prazo máximo de cinco anos, contida no artigo 3º da Portaria MS nº 36 GM/90 depois de um amplo processo de revisão da Portaria nº 36, foi publicada, em dezembro de 2000, a Portaria MS nº 1469, integrando diversos segmentos relacionados ao tema (BRASIL, 2000).

Em 9 de junho de 2003, foi instaurada a Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), assumindo as atribuições do Centro Nacional de Epidemiologia (CENEPI), o qual, até então, era localizado na estrutura da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Logo, em virtude dessa nova ordenação da estrutura do Ministério da Saúde, em 25/03/2004, a Portaria MS nº 1.469 foi revogada passando a vigorar a Portaria MS nº 518, atualmente em vigor (BRASIL, 2004).

No atual padrão de potabilidade o número e os valores máximos permissíveis de cada parâmetro permaneceram inalterados. As alterações ocorridas referem-se apenas à transferência de competências da Funasa para a SVS e ao estabelecimento do prazo para que as instituições ou órgãos aos quais a Portaria se aplica, promovessem as adequações necessárias ao seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água, suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação da monitoração de cianobactérias e cianotoxinas.

Na passagem da Portaria MS nº 56/1977 à Portaria MS nº 36/1990, e mesmo à Portaria MS nº 1.469/2000, tomando por base a Figura 3.2, verifica-se a inserção de um bom número de substâncias orgânicas e agrotóxicos incorporados à Portaria MS nº 36 e à Portaria MS nº 1.469 (atual Portaria nº 518). Entretanto, em relação às substâncias inorgânicas, foram relativamente poucas as alterações (BASTOS, 2003).



**Figura 3.2** – Discriminação da natureza dos parâmetros das três portarias nacionais.  
Fonte: adaptado de LIBÂNIO (2008).

Observa-se, com essas evoluções ocorridas entre as versões da legislação nacional, que os padrões de potabilidade variam em função do avanço do conhecimento científico, o que permite melhor avaliar as evidências toxicológicas e epidemiológicas dos riscos potenciais de determinadas substâncias, orientando a detecção e remoção das mesmas e, conseqüentemente, a atualização dos VMPs.

Segundo Libânio (2008), os futuros padrões de potabilidade no Brasil deverão focar duas premissas básicas: maior número e valores máximos permissíveis mais restritivos para alguns parâmetros de controle e aspectos relacionados à vigilância da qualidade da água para consumo humano.

Nesse sentido os guias da OMS têm sido a principal referência mundial na elaboração de legislações relacionadas à qualidade da água para consumo humano, em todo o mundo. Essa legitimidade conquistada pelos guias, ao longo dos anos, reafirma a importância de que as autoridades em saúde pública nacionais

estejam em alerta para as novas tendências internacionais ali expressas, quando da atualização de suas legislações.

### 3.7 Desinfecção com a utilização do cloro

O cloro foi descoberto em 1774 pelo sueco Carl Wilhelm Scheele, acreditando que se tratava de um composto contendo oxigênio, mas foi em 1810 que o químico inglês Humphrey Davy demonstrou que se tratava de um elemento químico e lhe deu o nome de cloro, devido à sua coloração amarelo-esverdeada. Suas propriedades bactericidas foram observadas em laboratório pelo bacteriologista alemão Heinrich Hermann Robert Koch, em 1881. O uso do cloro foi acatado pela American Public Health Association (APHA), em 1886, para uso como desinfetante. A partir do início do século XIX, algumas regiões dos Estados Unidos já utilizavam este agente químico no processo de desinfecção de águas para o abastecimento público (CHAMBERS, 1956).

A cloração sofreu, durante um período de cinco décadas, um processo evolutivo que teve início com a adição de pequenas quantidades de cloro em Jersey City, nos Estados Unidos, em 1908, sendo disseminada rapidamente à medida que essa técnica demonstrou ser altamente eficiente na redução da incidência de mortes causadas por doenças de veiculação hídrica.

A evolução dos processos de cloração ocorreu com o tempo, podendo ser caracterizada em diferentes décadas de acordo com Rossin (1987):

- 1908 a 1918 – início da cloração das águas; aplicação de uma pequena quantidade de cloro cujo residual não era conhecido;
- 1918 a 1928 – acentuada expansão no uso do cloro líquido;
- 1928 a 1938 – emprego de cloraminas, adição de amônia juntamente com cloro, de forma a se obter um residual em cloraminas. Entretanto, até então, não se tinha testes específicos para determinar os residuais de cloro;
- 1938 a 1948 – observada a existência do cloro residual livre; utilização de testes para identificação e controle dos residuais de cloro;

- 1948 a 1958 – refinamento da cloração; determinação das formas de cloro livre e combinado; e cloração baseada em controles bacteriológicos.

### **3.7.1 Fundamentação do uso do cloro**

Os processos de desinfecção têm como objetivo a destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. O cloro exerce predominantemente essa função, contribuindo para a manutenção da qualidade microbiológica da água de consumo, há mais de um século.

Muito se tem questionado sobre qual seria o processo de desinfecção “ideal”. Há um rol de critérios (FAUST; ALY, 1988 apud LIBÂNIO, 2008) para definição do desinfetante a ser utilizado, entre os quais:

- capacidade de inativar, nos tempos de contato usuais, uma ampla gama de organismos patogênicos;
- ser pouco sensível à variação das características físico-químicas da água;
- apresentar custo acessível, inclusive para sistemas de pequeno porte, e facilidade de aplicação e acondicionamento;
- conferir residual que favoreça a monitoração da qualidade da água e minimize o crescimento microbiano nas redes de distribuição;
- disposição de técnicas de determinação das concentrações aplicadas precisas e de fácil exequibilidade.

Por atender praticamente a todos esses critérios, o cloro, sob diversas formas, tornou-se o agente químico mais difundido no tratamento de águas de abastecimento, sendo mais comumente utilizado em sua forma gasosa ( $\text{Cl}_2$ ) ou em suas formas líquidas. Ele tem sido empregado como desinfetante primário na vasta maioria das estações de tratamento de água superficial ou subterrânea, tanto como

pré-desinfetante quanto como pós-desinfetante (manutenção do residual na rede) (DANIEL, 2001).

Como o cloro é um reagente não conservativo, sua concentração é reduzida, conforme certas condições encontradas nos reservatórios e nas redes de distribuição, acarretando diferenças entre as condições da água que sai da estação de tratamento de água e da água que chega aos consumidores, sendo necessário um controle de alguns pontos ao longo das canalizações.

A eficiência da cloração é avaliada, dentre outros fatores, pelo potencial deste desinfetante em manter um residual adequado por um tempo de contato especificado, de maneira a constituir uma barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso. Nesse sentido, a OMS recomenda um mínimo detectável de 0,5 mg/L, depois de trinta minutos da dosagem a pH 7, para águas com turbidez menor que 1 (uma) uT. A agência americana EPA propõe um mínimo de 0,2 mg/L, depois de um período de quatro horas. No Brasil, conforme a Portaria 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), é recomendada uma concentração mínima de 0,2 mg/L e no máximo de 2 mg/L, em qualquer ponto da rede de distribuição.

### **3.8 Reações do cloro na água**

#### **3.8.1 Cloro residual livre**

Dentre as características químicas da água, sabe-se que o pH exerce papel significativo na eficiência da desinfecção, ainda que a temperatura da água interfira em menor monta no processo. Em geral, por ser o cloro um forte oxidante, sua reatividade diminui com o aumento do pH, e sua velocidade de reação aumenta com a elevação da temperatura. Quando adicionado à água quimicamente pura ocorrerá a reação, conforme representada a seguir (DEGRÉMONT, 1979):



Na temperatura ambiente, o tempo de reação é de décimos de segundo (VAN BREMEM, 1984). Em valores de pH abaixo de 4, a reação predominante é no sentido de formação do cloro. O ácido hipocloroso (HOCl), formado pela adição de cloro à água, se dissocia rapidamente (DEGRÉMONT, 1979):



A soma das concentrações relativas de ácido hipocloroso e íon hipoclorito é denominado cloro residual livre (OPAS, 1987; ROSSIN, 1977), constituindo o mais importante parâmetro de controle de qualidade na prática da cloração de águas de abastecimento (SILVA; OLIVEIRA, 2001). As concentrações relativas de cloro residual livre são dependentes do pH e da temperatura. A Figura 3.3 mostra a relação que há entre as concentrações relativas de cloro e o pH.

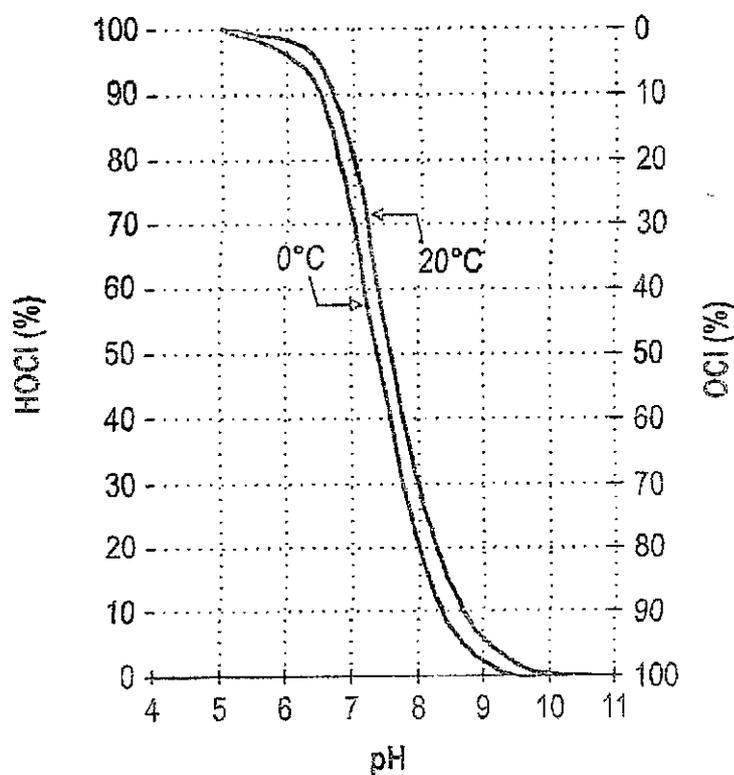


Figura 3.3. – Frações de cloro residual livre em função do pH e temperatura da água. Fonte: LIBÂNIO (2008).

### 3.8.2 Cloro residual combinado

A amônia existe na água como amônia livre ( $\text{NH}_3$ ) e amônia ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), dependendo do pH, de acordo com a seguinte equação :



A adição de cloro em águas de abastecimento que contenham nitrogênio amoniacal oriundo de matéria orgânica ou não acarretará na formação de compostos clorados com pequeno poder desinfetante, denominados cloraminas. O cloro presente sob a forma de cloraminas é denominado Cloro Residual Combinado (CRC) (ROSSIN, 1977), cujas frações dependerão da relação entre a dosagem de cloro aplicado e o nitrogênio amoniacal presente, ( $\text{Cl}_2/\text{NH}_4^+$ ), do pH, da temperatura e do tempo de reação (ROSSIN, 1977; VAN BREMEM, 1984). Inicialmente, o cloro residual combinado aumenta com o aumento do cloro dosado, passando por um valor máximo, e, em seguida, diminui até um valor mínimo, significando a oxidação total das cloraminas. O cloro adicionado após esse mínimo converte-se em cloro livre que, além de disponibilizar o desinfetante para a inativação dos microrganismos, assegura comumente a inobservância de sabor e odor nas águas de abastecimento. O ponto de inflexão encontrado é chamado de ponto de deflexão (break point), como representado na Figura 3.4.

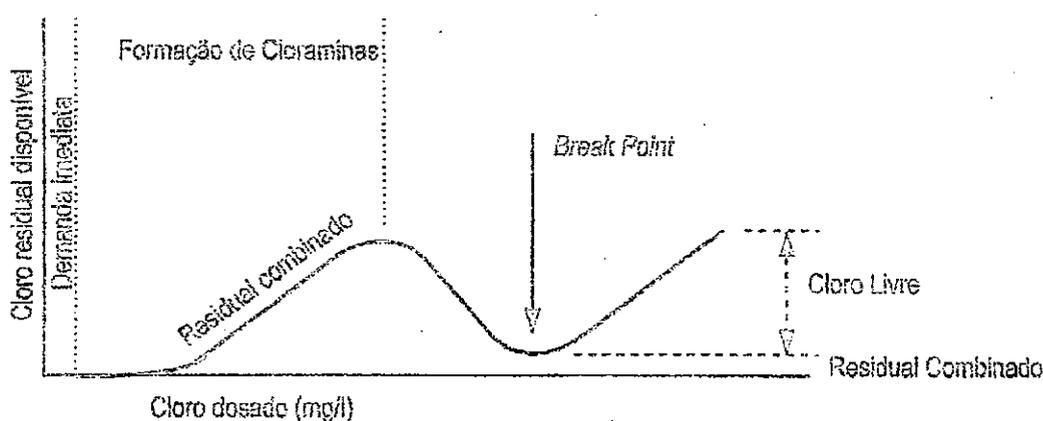
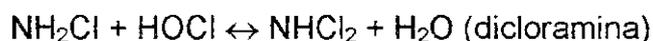
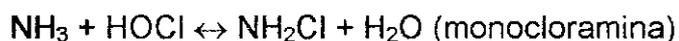


Figura 3.4 – Cloração ao breakpoint.  
Fonte: LIBÂNIO (2008).

Analisando a Figura 3.4, verifica-se que, antes do ponto de inflexão, o cloro residual é combinado. Com o início da cloração, o nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação de cloraminas, atingindo o ponto máximo quando todo o nitrogênio amoniacal disponível se combinou com o cloro para a formação de cloraminas. Por serem compostos quimicamente instáveis, quando o máximo da curva é atingido, com a adição continuada de cloro à água, as cloraminas são oxidadas e destruídas, dando origem a produtos inertes, como  $N_2$  e  $HCl$ . O ponto mínimo é atingido depois da destruição das cloraminas.

A continuação da adição de cloro significará um aumento do cloro residual livre, já que toda demanda de cloro pela água foi satisfeita (OPAS, 1987).

As reações sucessivas de formação das cloraminas, de acordo com (SILVA; OLIVEIRA, 2001), são as seguintes:



As dicloraminas têm maior efeito bactericida do que as monocloraminas e as tricloraminas não apresentam efeito desinfetante. As reações podem ocorrer simultaneamente, e o aumento de acidez e da relação cloro/nitrogênio favorece a formação dos derivados mais clorados. As reações são mais rápidas em valores de pH mais baixos, onde é elevada a concentração de ácido hipocloroso não-dissociado (VAN BREMEM, 1984).

O tricloreto de nitrogênio não se forma em quantidades significativas na faixa de pH entre 4 e 10, onde há predominância da formação da monocloramina e dicloramina, exceto quando se aproxima do ponto de deflexão (break point). As duas espécies prevalecentes,  $NH_2Cl$  e  $NHCl_2$ , equivalem, na prática, ao cloro combinado disponível. As cloraminas têm, para igual tempo de contato, um poder desinfetante estimado em 200 vezes menor que o do ácido hipocloroso (USEPA, 1999), sendo elas, no entanto, mais estáveis e duráveis que o cloro livre.

Devido ao alto poder oxidante do ácido hipocloroso, deve-se compreender que o agente desinfetante com real poder de desinfecção é o cloro residual livre, que deve ser mantido em qualquer ponto da rede de distribuição, o

que assegura qualidade higiênica da água. Em termos de cloro residual combinado é estabelecido um valor máximo permitido apenas para monocloramias que é de 3 mg/L.

A ocorrência de cloro residual combinado está ligada entre outros fatores, ao processo de manutenção do sistema de distribuição, visto que a quantidade e a qualidade da água podem ser comprometidas de acordo com a condição em que se encontra esse sistema. Devido à intrusão de microrganismos patogênicos e de matéria orgânica em geral na rede de distribuição, ocorrem reações dentro das tubulações que provocam o aumento nas concentrações de cloro residual combinado. No entanto, deve haver preocupação com a manutenção dessas tubulações, pois o desgaste, principalmente dos sistemas mais antigos, são responsáveis pela perda da estanqueidade e danos nas juntas de tubulações, favorecendo a contaminação da água a ser distribuída para a população.

## 4.0 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local e período de estudo

A pesquisa em questão contemplou o estudo das zonas de Pressão A, B e C da rede de abastecimento de água da cidade de Campina Grande (7°13'50" Sul e 35°52'52" Oeste), estado da Paraíba, situada a 552 m acima do nível médio do mar. A monitoração dessas zonas de pressão está inserida num projeto mais abrangente sobre a vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade, envolvendo mais uma zona de pressão (D), cujos resultados preliminares foram publicados anteriormente (GALDINO, 2009).

No período de março a dezembro de 2009 foram amostrados seis pontos considerados estratégicos em conformidade com a "Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano" (BRASIL, 2006). Os pontos de coleta, caracterizados na Tabela 4.1, seguem a codificação no projeto principal:

**Tabela 4.1** – Localização dos pontos de coleta

PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE (m)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
<b>P4</b> Escola Municipal Ana Azevedo	Av. Das Nações s/n. Bairro Das Nações.	565	7°11'45.2" Sul e 35°52'47.1" Oeste
<b>P5</b> Vila Olímpica Plínio Lemos	R. Josino Agra s/n. Bairro José Pinheiro.	514	7°13'14.7" Sul e 35°52'14.3" Oeste
<b>P6</b> E.E.E.F.M. Sólon de Lucena	R. Hernani Laurentzi s/n. Centro.	525	7°12'55.7" Sul e 35°52'55.8" Oeste
<b>P7</b> E.E.E.F.M Monte Carmelo	Av. Prof. Carlos Fco de Almeida s/n Bairro Belo Vista	584	7°13'18.4" Sul e 35°54'12.5" Oeste
<b>P8</b> E.E.E.F.M Clementino Procópio	R. Felipe Camarão s/n. Bairro São José.	549	7°13'30.3" Sul e 35°53'26.2" Oeste
<b>P9</b> E.E.E.F.M Félix Araújo	R. Severino Pimentel s/n. Bairro Liberdade.	528	7°14'35.1" Sul e 35°14'35.1" Oeste

Nota: E.E.E.F.M = Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio.

## 4.2 Sistema de Abastecimento de água de Campina Grande

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é a responsável pelo Serviço de Abastecimento de Água de Campina Grande. O sistema de abastecimento de água é integrado e abastece, além de Campina Grande, as sedes municipais de Barra de Santana, Queimadas, Caturité, Pocinhos e Lagoa Seca, além dos distritos de Galante e São José da Mata, com projeção de abastecimento para Matinhas e Alagoa Nova.

O município de Campina Grande, com aproximadamente 360 000 habitantes, dos quais 90% constituem a população urbana, demanda grande quantidade de água para usos diversos. O abastecimento de água é feito através de uma rede de distribuição de 1.216 km de extensão composta por 114.604 ligações domiciliares, atendendo 99,51% da população urbana. O manancial responsável pelo abastecimento é o Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, a 44 km de Campina Grande, com capacidade de armazenamento de 575.000. 000 m<sup>3</sup> de água e disponibilidade de captação máxima de 1 500 L/s. Após a captação a água bruta é transportada através de duas adutoras, uma de 900 mm e outra de 800 mm de diâmetro, até a Estação de Tratamento de Água localizada no distrito de Gravatá de Boqueirão distando um pouco mais de 20 km de Campina Grande. O sistema de abastecimento fornece aproximadamente 78 000 m<sup>3</sup>/d de água potabilizada através de tratamento convencional. Através de três linhas adutoras de, respectivamente, 500, 700 e 800 mm, a água tratada chega ao reservatório semi-enterrado R-9 (Figura 4.1), localizado no Bairro de Santa Rosa, com capacidade de acumulação de 26 000 m<sup>3</sup> o que corresponde a cerca da metade do volume de água produzido diariamente pela ETA. A partir desse reservatório saem canalizações que abastecem outros 30 reservatórios espalhados por toda a área da cidade, estando três deles (R8, R16 e o R21) desativados de acordo com informação do setor de cadastro da CAGEPA. Esses reservatórios são distribuídos entre quatro zonas de pressão: A, B, C e D, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 4.2 e descrito em seguida, de forma que as pressões na rede atendam aos limites de valores, estático máximo de 50 m.c.a e dinâmico mínimo de 10 m.c.a., estabelecidos pela NB 12218 (ABNT, 1994).

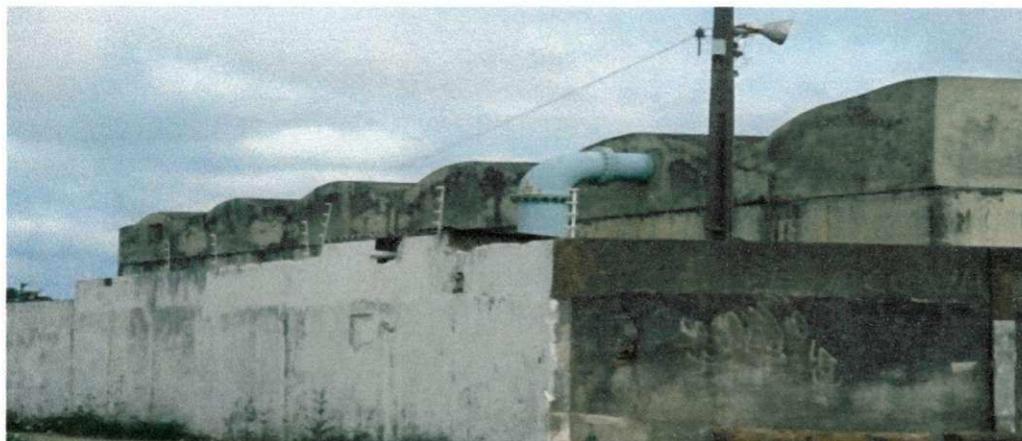


Figura 4.1 – Reservatório de distribuição de água R-9.

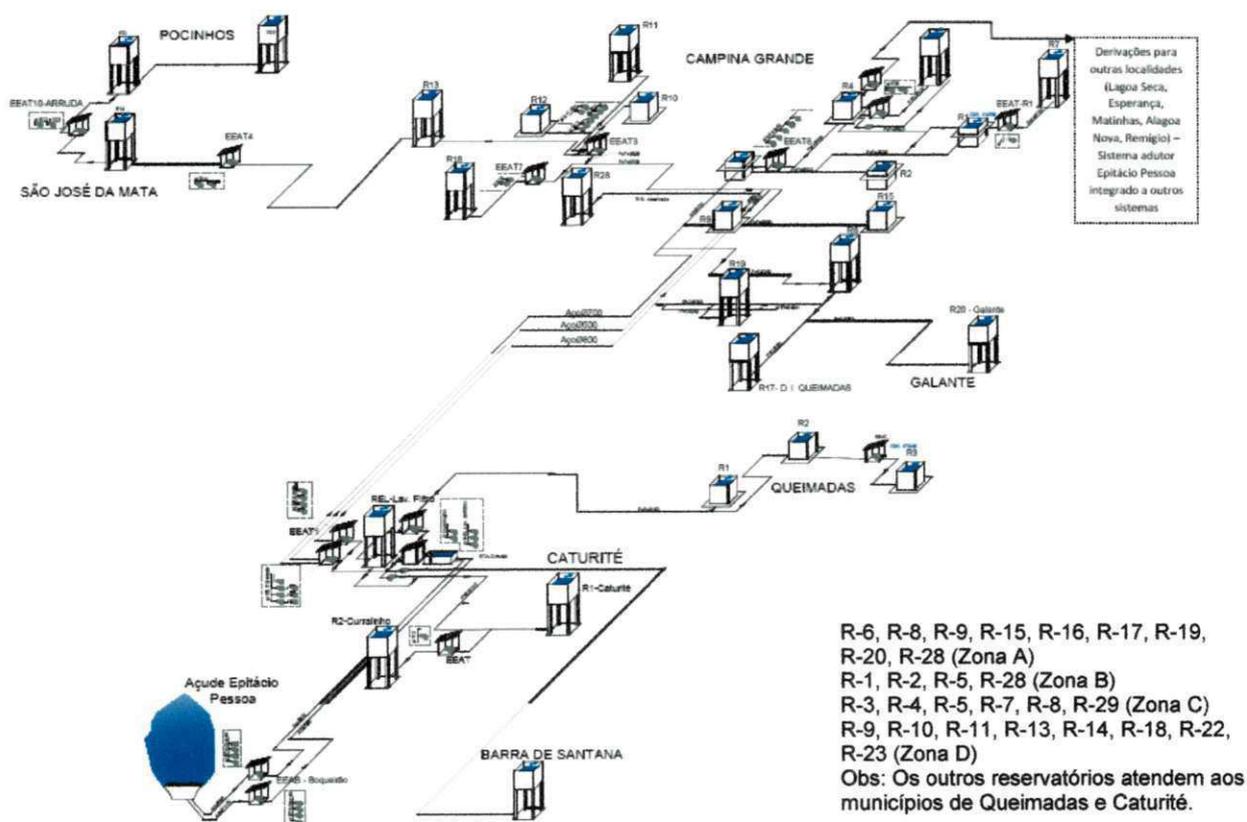


Figura 4.2 – Rede de distribuição de água de Campina Grande.  
 Fonte: CAGEPA.

### **Zona de Pressão A**

O abastecimento dessa zona se faz por gravidade através do reservatório R-9.

### **Zona de Pressão B**

Os reservatórios responsáveis pelo abastecimento dessa zona de pressão são: R-5, R-2 e R-1. A tubulação que interliga os reservatórios R-5 e R-2, em aço carbono com diâmetro (DN) de 550 mm, cuja extensão é de 1878 metros, encontra-se desativada por não suportar mais a pressão de trabalho, motivo pelo qual as zonas de pressão B e C hoje, operam como uma só zona de pressão, pois o reservatório R-4, que pertence a zona de pressão C, está abastecendo parte da zona de pressão B.

A tubulação que interliga os reservatórios R-5 e R-2 será substituída por tubos de ferro fundido DN 600 mm de forma que venha a suportar a pressão de trabalho e assim permitir a separação das zonas de pressão B e C.

### **Zona de Pressão C**

Na Zona de Pressão C o abastecimento se faz através do R-4, no Bairro da Palmeira. A separação das zonas de pressão "B" e "C" só poderá ser feita após a intervenção citada anteriormente. Tal procedimento era previsto para ocorrer no primeiro semestre de 2007, mas ainda não ocorreu.

### **Zona de Pressão D**

Composta pelos reservatórios R-10, R-11, R-13 e R-14, abastecendo, dentre outros, os bairros de Bodocongó e Ramadinha, além do distrito de São José da Mata e o município de Pocinhos.

A Tabela 4.2 resume algumas características dos reservatórios do sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande.

**Tabela 4.2** – Caracterização dos reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Campina Grande

RESERVATÓRIO	TIPO	CAPACIDADE (m <sup>3</sup> )	N.A. (m)		LOCALIZAÇÃO	ZONA DE PRESSÃO
			Max.	Mín.		
R-1	Semi-enterrado	3 080	563,00	560	Alto Branco	B
R-2	Semi-enterrado	2 290	554,80	552	Centro	B
R-3	Semi-enterrado	500	575,17	572	Monte Santo	C
R-4	Apoiado	10 000	607,34	602,34	Palmeira	C
R-5	Semi-enterrado	8 000	567,00	563	Prata	B e C
R-6	Elevado	400	530,50	524,7	Distrito Industrial C. Grande	A
R-7	Elevado	200	616,36	612,56	Nações	C
R-9	Apoiado	39 000	554,00	548,5	Santa Rosa	A e D
R-10	Apoiado	2 000	571,00	566	Bodocongó	D-1
R-11	Elevado	250	616,50	613	Bodocongó	D-2
R-12	Elevado	200	617,74	611,24	BR-230 Serrotão	D
R-13	Elevado	250	665,00	662	Serrotão	D
R-14*	Elevado	300	704,50	669	São José da Mata	D
R-15	Apoiado	350	517,50	513	Mirante	A6
R17*	Elevado	600	535,00	530	Distrito Industrial Queimadas	A
R-18	Elevado	200	620,00	616	Mutirão Serrotão	D
R-19	Elevado	250	512,00	508	Ligeiro	A
R-20*	Elevado	150	378,88	373,88	Galante	A
R-22*	Elevado	250	-	-	Pocinhos	D
R-23*	Elevado	250	552,00	546	Velame	D
R-28	Apoiado/Elevado	300 + 200	-	-	Nenzinha Cunha Lima	A e B
R-29	Elevado	300	683,00	677	Cuités	C

**NOTA:** \*: Abastecem distritos (fora da zona urbana); -: sem informação.

Fonte: CAGEPA, 2009

### 4.3 Coleta de dados

Em cada ponto, amostras foram coletadas uma vez a cada duas semanas, em dias variados, no período de março a dezembro de 2009, garantindo com isso a uniformidade das coletas no período de amostragem. A monitoração das

variáveis de qualidade da água foi baseada na análise de três amostras coletadas ao longo do dia, nos seguintes horários:

- 7 horas – amostras representativas das condições preponderantes no período noturno e início do abastecimento;
- Entre 11 e 13 horas – amostras representativas do período de maior consumo de água no sistema de distribuição;
- 17 horas – amostras representativas do final do ciclo diurno e início do ciclo noturno de abastecimento.

As coletas foram realizadas manualmente de uma torneira diretamente ligada ao sistema público de distribuição de água, após uma descarga de dois minutos, e as amostras mantidas em um frasco PET recoberto por uma capa escura e com capacidade de 1 litro de acordo com as recomendações de APHA, AWWA, WPCF (1999). As amostras foram analisadas em triplicata e as variáveis cloro residual (livre e combinado), pH e temperatura foram analisadas *in loco* – Laboratório Itinerante – devido à instabilidade do cloro e da inadequação de qualquer procedimento de preservação das amostras coletadas. A Figura 4.3 ilustra os procedimentos de coleta e análise de amostras nos pontos de monitoração.



**Figura 4.3** - Procedimentos para execução das análises.

Para a análise da variável nitrogênio amoniacal foi coletada uma amostra de cada ponto, nos respectivos horários de coleta, preservada com a adição de solução de ácido sulfúrico e enviada (Figura 4.4) ao Laboratório de Análise de Água da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



**Figura 4.4** - Forma de transporte das amostras.

#### **4.4 Métodos analíticos**

Os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram os procedimentos padrões descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1999), os quais são também descritos por Silva e Oliveira (2001).

##### **4.4.1 Cloro residual livre (CRL)**

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Neste método as espécies de cloro residual são determinadas por análise volumétrica de oxidação-redução, utilizando o sulfato ferroso amoniacal (SFA) como titulante e o oxalato ou sulfato de N,N – dietil – p - fenilenediamina (DPD) como indicador. O cloro livre reage instantaneamente com DPD, na ausência de íons iodeto, com produção de coloração vermelha cuja intensidade está relacionada à quantidade de cloro livre disponível. O cloro livre pode ser imobilizado com glicina (ácido aminoacético) permitindo a determinação de frações interferentes de bromo e iodo sendo este valor usado para subtrair do resultado de uma prova na qual o cloro livre não tenha sido imobilizado.

#### **4.4.2 Cloro residual combinado (CRC)**

À mistura remanescente do teste de CRL é adicionada, primeiramente, uma pequena porção de cristais de iodeto de potássio (KI), seguida de titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, para a determinação de monocloramina. Em seguida, é adicionada uma porção maior de cristais de KI e procedida à titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para a determinação de dicloramina. Tricloramina é determinada por titulação com solução padrão de SFA na presença de DPD e KI, numa alíquota de amostra tomada à parte.

#### **4.4.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

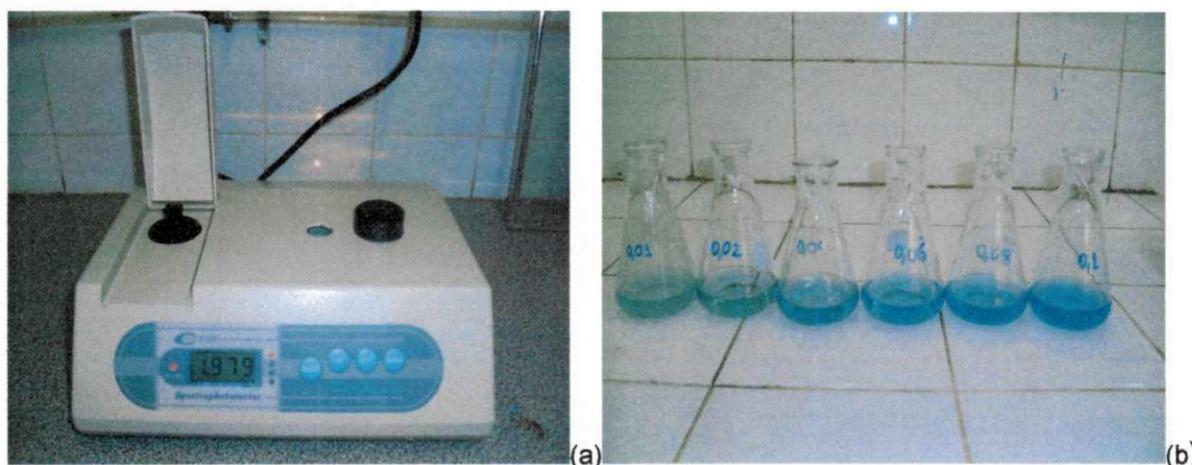
O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio do pH - metro portátil TECNOPON modelo PA210 P, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7. As leituras de pH foram feitas de forma direta em alíquotas das réplicas (três) de amostras coletadas.

#### **4.4.4 Temperatura**

A temperatura foi determinada com o auxílio de um termômetro de filamento de mercúrio, escala de 0 a 60°C.

#### 4.4.5 Nitrogênio amoniacal

O teor de amônia foi determinado através do método colorimétrico do fenato, por se tratar de concentrações inferiores a 0,1mg/L. Foi utilizado o espectrofotômetro Coleman modelo 35D, conforme Figura 4.5a.



**Figura 4.5** - Espectrofotômetro Coleman 35D (a) e amostras após reação (b).

O método consiste em adicionar à amostra neutralizada, pequenas quantidades da solução de fenol, nitroprussiato de sódio e solução oxidante. Promove-se a mistura e em seguida cobre-se a amostra com plástico filme deixando-a em um ambiente com pouca luz e temperatura entre 22 e 27°C, por no mínimo 1 hora. Nesse intervalo ocorre a reação da amônia com os reagentes dando origem a uma coloração azul de indofenol (Figura 4.5b); por fim, a absorbância era medida a 640 nm utilizando-se uma prova branco para zerar o espectrofotômetro.

O resultado era obtido diretamente da curva de calibração, em mg  $\text{NH}_3/\text{L}$  e transformada em  $\mu\text{g}$   $\text{NH}_3/\text{L}$  para melhor representação numérica.

#### 4.5 Procedimentos estatísticos

Inicialmente o conjunto de dados amostrais foi submetido à análise estatística descritiva onde foram estimadas as medidas de tendência central, de

dispersão e de forma. A medida de tendência central determinada foi a média, as medidas de dispersão foram amplitude (valor máximo e valor mínimo), desvio padrão e variância e as medidas de forma foram curtose e assimetria.

Para dar informação do todo, com base no conhecimento da amostra, foram aplicados métodos estatísticos de inferência. Em todos os testes empregados nas análises estatísticas, foi sempre considerado o nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Como método estatístico de inferência foi aplicado a análise de variância (ANOVA) que permite testar se duas ou mais médias amostrais são ou não oriundas de populações com a mesma média paramétrica, com base na existência de diferença significativa entre elas. Este é um método paramétrico se baseia em uma população com parâmetros específicos, tais como a média  $\mu$ , o desvio padrão  $\sigma$  ou a probabilidade  $p$ . Para a aplicação da ANOVA foram observados os pressupostos básicos (aleatoriedade, independência, normalidade e homogeneidade).

O método não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi empregado na verificação da normalidade dos dados, cuja estatística é baseada na maior diferença entre a distribuição de frequência observada (dos dados) e a distribuição de frequência normal num determinado nível de significância. No entanto, para as variáveis estudadas que não demonstraram normalidade foram aplicadas sucessivas transformações para atingir a normalidade. O uso da transformação se fez necessário para induzir a normalidade, a aditividade e a homogeneidade das variâncias (SOKAL; ROHLF, 1995) na variável que, após a aplicação preliminar do teste de Kolmogorov-Smirnov, demonstrou não possuí-la.

Satisfeita a condição de normalidade foi realizada a análise de variância e, uma vez detectada a existência de diferenças significativas, surgiu a necessidade de serem identificadas as médias que diferiam dentro do conjunto. Para tanto, foi empregado o método GT-2 (modificado por Gabriel, 1978), que ilustra graficamente onde essas diferenças ocorreram. Este método apresenta a média e intervalos de comparação de um grupo de dados a um nível de significância pré-determinado e considera duas médias significativamente diferentes quando não ocorre interseção entre seus limites.

Nos procedimentos supracitados foram utilizados os fundamentos teóricos descritos por SOKAL e ROHLF (1995), o programa SPSS 13.0 e a planilha EXCEL 2003.

## 5.0 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da monitoração dos indicadores de qualidade da água do sistema de distribuição de Campina Grande (PB), no período de março a dezembro de 2009, nos pontos de coleta previamente definidos

Na Tabela 5.1 é feita uma demonstração quantitativa das análises realizadas nos pontos (P<sub>4</sub>), (P<sub>5</sub>), (P<sub>6</sub>), (P<sub>7</sub>), (P<sub>8</sub>) e (P<sub>9</sub>), nas Zonas de Pressão A, B e C da rede de distribuição de água de Campina Grande. Ocasionalmente, em virtude de circunstâncias alheias, como ponto de coleta indisponível, falta de água e outros problemas relacionados ao trabalho *in loco*, algumas análises deixaram de ser efetuadas.

**Tabela 5.1** - Demonstrativo quantitativo das análises nos pontos de monitoração.

PONTOS	INDICADOR	Nº ANÁLISES REALIZADAS/HORÁRIO		
		7h	12h	17h
P <sub>4</sub>	Cloro residual	18	17	18
	pH	17	16	16
	Nitrogênio amoniacal	12	12	12
	Temperatura	17	17	17
P <sub>5</sub>	Cloro residual	17	18	18
	pH	16	17	16
	Nitrogênio amoniacal	11	11	11
	Temperatura	17	17	16
P <sub>6</sub>	Cloro residual	19	18	19
	pH	18	17	18
	Nitrogênio amoniacal	11	11	11
	Temperatura	18	17	18
P <sub>7</sub>	Cloro residual	16	16	17
	pH	17	16	17
	Nitrogênio amoniacal	9	9	10
	Temperatura	17	16	17
P <sub>8</sub>	Cloro residual	17	17	17
	pH	17	17	17
	Nitrogênio amoniacal	11	11	11
	Temperatura	17	17	17
P <sub>9</sub>	Cloro residual	18	18	18
	pH	18	18	18
	Nitrogênio amoniacal	12	12	12
	Temperatura	18	18	18

## 5.1 Indicadores analisados

### 5.1.1 Cloro residual

As espécies de cloro residual foram monitoradas no período de março a dezembro de 2009, permitindo a estimativa de parâmetros descritivos, como a concentração média e o desvio padrão, entre outros, das amostras analisadas nos pontos distribuídos nas Zonas de Pressão A, B e C do sistema de distribuição de água de Campina Grande, conforme apresentado na Tabela 5.2.

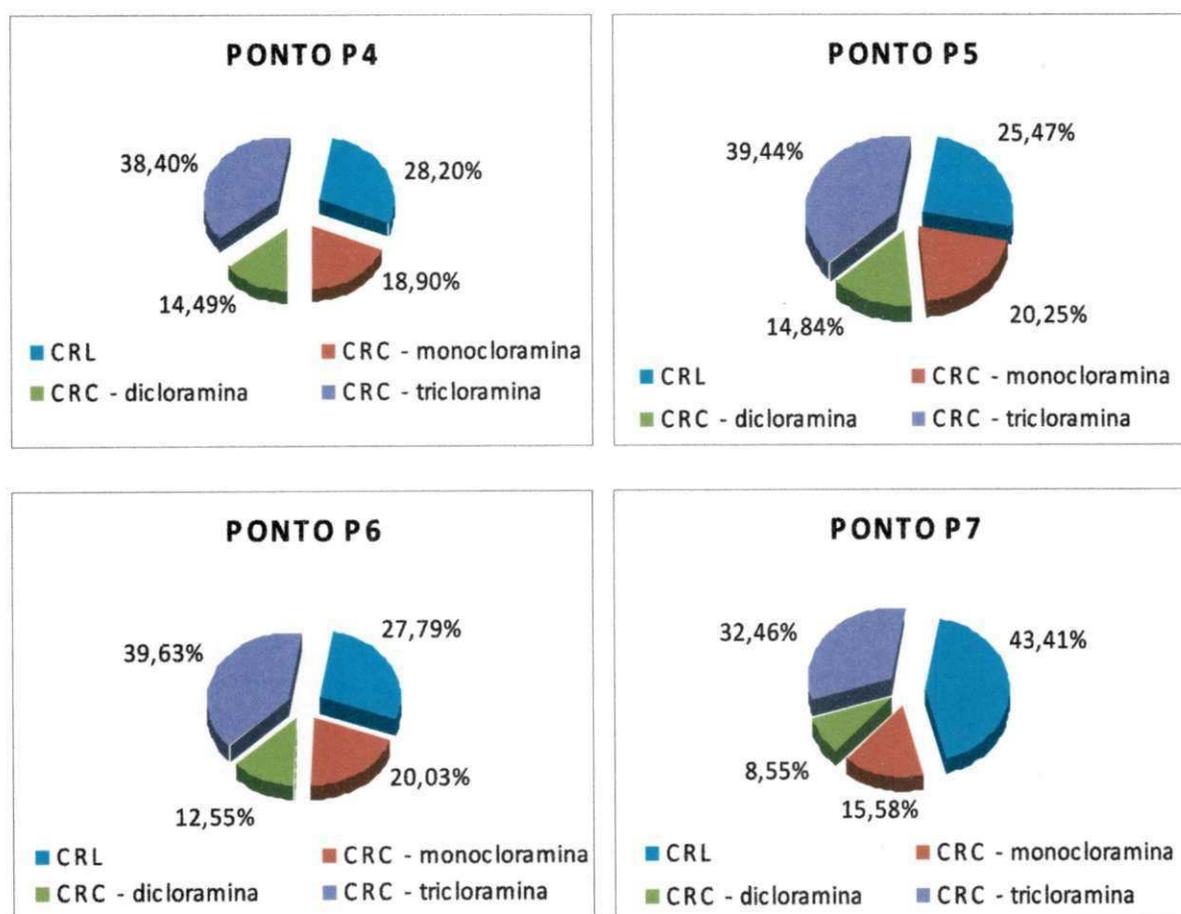
**Tabela 5.2** – Parâmetros descritivos das amostras de dados das espécies de cloro residual monitoradas nos pontos de coleta.

PONTOS	VARIÁVEIS	CLORO RESIDUAL			
		CRL	MON	DI	TRI
P <sub>4</sub>	Média	1,13	0,75	0,58	1,53
	Mediana	1,18	0,68	0,51	1,41
	Moda	-	0,96	0,41	1,56
	Desvio padrão	0,76	0,35	0,26	0,71
P <sub>5</sub>	Média	1,01	0,83	0,59	1,60
	Mediana	1,00	0,76	0,46	1,49
	Moda	1,07	0,84	0,34	-
	Desvio padrão	0,64	0,43	0,35	0,89
P <sub>6</sub>	Média	1,22	0,89	0,57	1,77
	Mediana	1,10	0,84	0,48	1,65
	Moda	-	0,51	-	2,83
	Desvio padrão	0,71	0,47	0,31	0,91
P <sub>7</sub>	Média	2,43	0,87	0,48	1,82
	Mediana	2,02	0,81	0,45	1,76
	Moda	1,89	-	-	1,21
	Desvio padrão	1,52	0,45	0,18	0,95
P <sub>8</sub>	Média	0,25	0,27	0,38	0,55
	Mediana	0,00	0,20	0,37	0,38
	Moda	0,00	0,20	-	0,44
	Desvio padrão	0,77	0,31	0,14	0,66
P <sub>9</sub>	Média	1,41	0,89	0,56	1,78
	Mediana	1,34	0,74	0,51	1,43
	Moda	0,71	-	-	-
	Desvio padrão	0,87	0,55	0,20	1,12

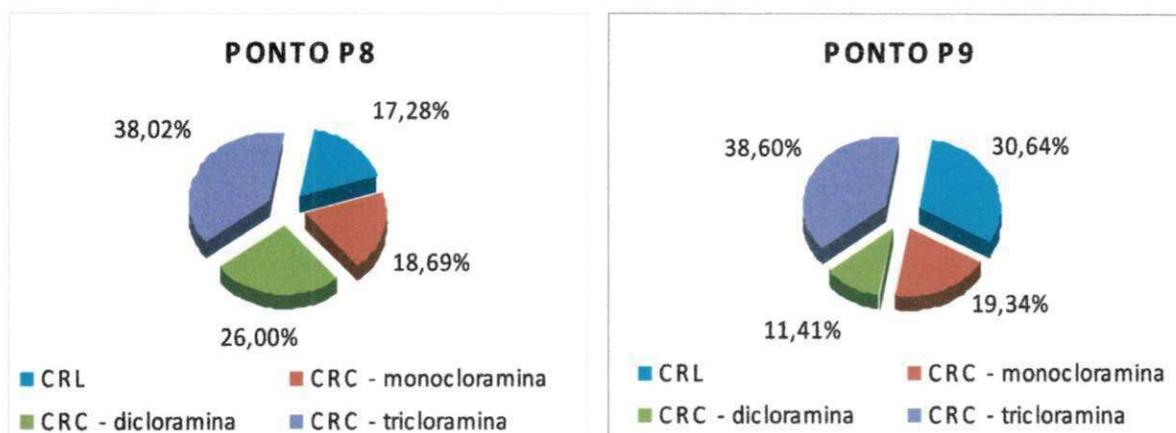
NOTA: CRL = Cloro residual livre. MON = Monocloramina. DI = Dicloramina. TRI = Tricloramina

Dentre os pontos monitorados o (P<sub>8</sub>) apresentou a menor concentração média de cloro residual livre, provavelmente relacionado à sua localização, caracterizada como uma ponta de rede do sistema de distribuição.

O cloro residual presente na rede é constituído na sua maioria por cloro residual combinado, que tem um poder desinfetante infinitamente menor que o cloro residual livre, sendo, de acordo com (USEPA, 1999), cerca de 200 vezes menor que o cloro residual livre (USEPA, 1999). Quando são consideradas as espécies de cloro residual combinado, as dicloraminas têm maior efeito bactericida seguidas das monocloraminas, sendo que as tricloraminas não apresentam qualquer efeito desinfetante. Dentre as frações de cloro residual combinado, a maior concentração observada, foi justamente de tricloraminas, como pode ser visto nas Figuras 5.1 e 5.2 que ilustram a distribuição percentual das espécies de cloro em todos os pontos monitorados.



**Figura 5.1** – Percentual das espécies de cloro residual monitorados nos pontos P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub> e P<sub>7</sub>.

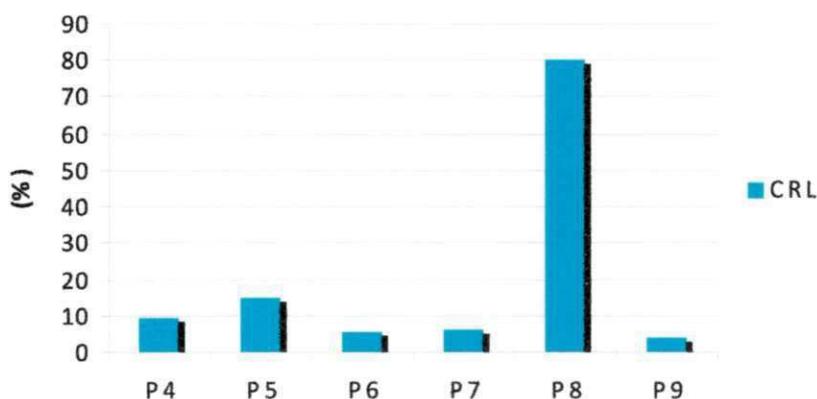


**Figura 5.2** - Percentual das espécies de cloro residual monitorados nos pontos P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>.

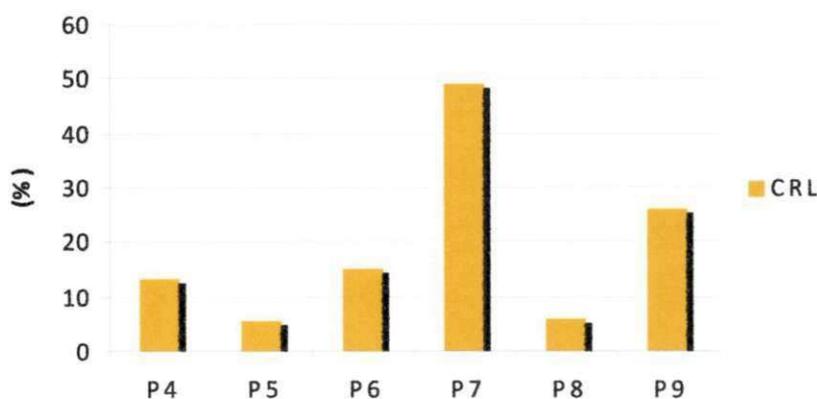
Em todos os pontos de coleta foi constatada, durante o período de análise, em diferentes dias, concentração de cloro residual livre abaixo do recomendado pela Portaria nº 518/2004 que estabelece, em qualquer ponto da rede de distribuição, uma concentração mínima de 0,2 mgCl<sub>2</sub>/l, caracterizando, portanto, uma situação de potencial risco à saúde da população atendida. A Figura 5.3 ilustra a frequência de concentrações em desacordo com a legislação vigente no que se refere à concentração mínima de cloro residual livre em pontos da rede de distribuição de água. O ponto (P<sub>8</sub>) apresentou a maior frequência dessas concentrações em desacordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. Em 80% das amostras coletadas e analisadas nesse ponto de monitoração, a legislação foi violada, reforçando, ainda mais, que pontos da rede de distribuição distantes das estações de tratamento de água (ETA's), onde ocorre o processo de desinfecção da água, favorecem uma maior prevalência de baixas concentrações de cloro residual livre.

Com relação às concentrações de cloro residual livre acima do valor máximo, de 2,0 mgCl<sub>2</sub>/l, recomendado pela legislação, em todos os pontos monitorados, foram constatadas violações, conforme ilustrado na Figura 5.4. Nesse aspecto, nos pontos (P<sub>7</sub>) e (P<sub>9</sub>) ocorreram os maiores números de análises em contradição com a Portaria nº 518/2004, ocorrendo essas violações em, respectivamente, 49,02% e 25,93% das amostras analisadas durante todo o período de monitoração, indicando a ocorrência de superclorações na estação de tratamento de água. Isso, possivelmente, pode ser atribuído a uma prática operacional visando o atendimento da concentração mínima recomendada. A ocorrência de

concentrações elevadas de cloro residual, muitas vezes, pode provocar problemas relacionados com sabor e odor, principalmente nas áreas de influência direta da estação de tratamento de água, bem como problemas relacionados à saúde, pela possibilidade de geração de subprodutos de potencial carcinogênico (SALGADO, 2008; HELLER, 2006).



**Figura 5.3** – Frequência (%) de concentrações abaixo do mínimo permitido pela Portaria MS 518/2004, para concentração de cloro residual livre.



**Figura 5.4** – Frequência de concentrações acima do máximo permitido pela Portaria MS 518/2004, para concentração de cloro residual livre.

Do ponto de vista das doenças de veiculação hídrica a ocorrência de concentrações de cloro residual livre abaixo do mínimo estabelecido pela legislação assume uma importância maior que a ocorrência de valores acima do máximo. Nesse sentido, a supercloração é uma tentativa de manter um residual do desinfetante em pontos distantes da estação de tratamento, nos quais há uma maior

possibilidade de alterações nas características da água. A variação temporal do cloro residual livre nos seis pontos de monitoração, nos diferentes horários de coleta, é ilustrada nas Figuras 5.5 e 5.6.

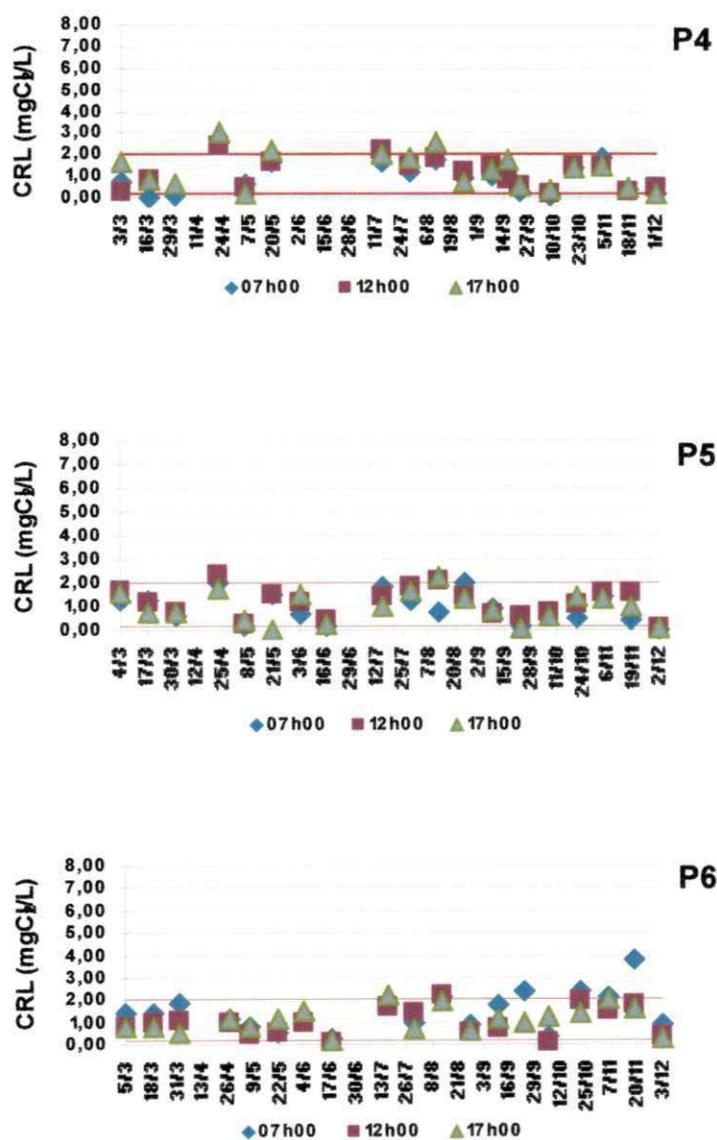
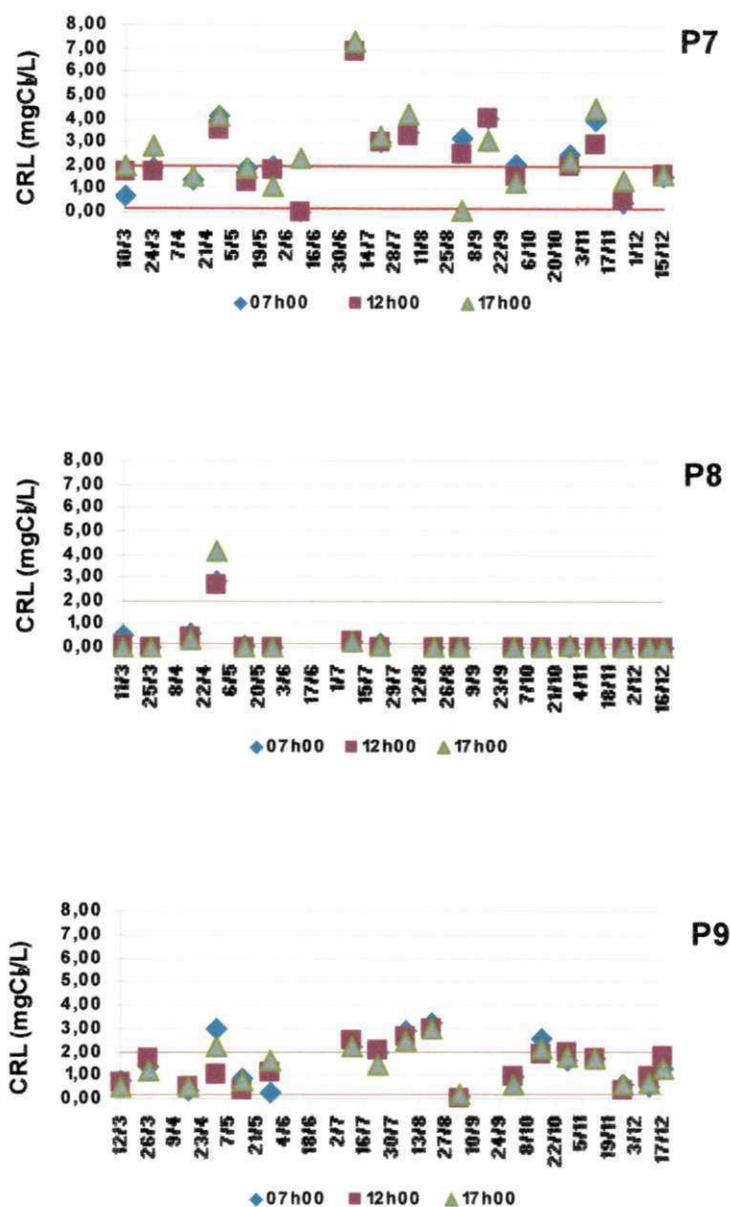


Figura 5.5 - Variação temporal do CRL nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>.



**Figura 5.6** – Variação temporal do CRL nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>.

A variação temporal das espécies de cloro residual combinado tem seu comportamento ilustrado nas Figuras 5.7 a 5.12. As maiores concentrações de cloro residual combinado foram verificadas entre os meses de julho e setembro, período em que ocorreram muitas chuvas, o que comumente favorece o carreamento de materiais particulados de origem orgânica para o interior dos mananciais e, provavelmente, para o interior das tubulações, quando do surgimento de pressões negativas, perda da estanqueidade e danos nas juntas dessas tubulações. Apesar de, no período citado, terem ocorrido as maiores concentrações de cloro residual

combinado, a legislação não foi violada, pois todos os pontos analisados apresentaram valores de monocloramina inferiores a 3,0 mgCl<sub>2</sub>/l, limite recomendado pela a Portaria MS 518/2004. Uma concentração acima do recomendado, confere odor e sabor à água fornecida à população podendo, também, ocasionar irritações nos olhos, pele e vias respiratórias.

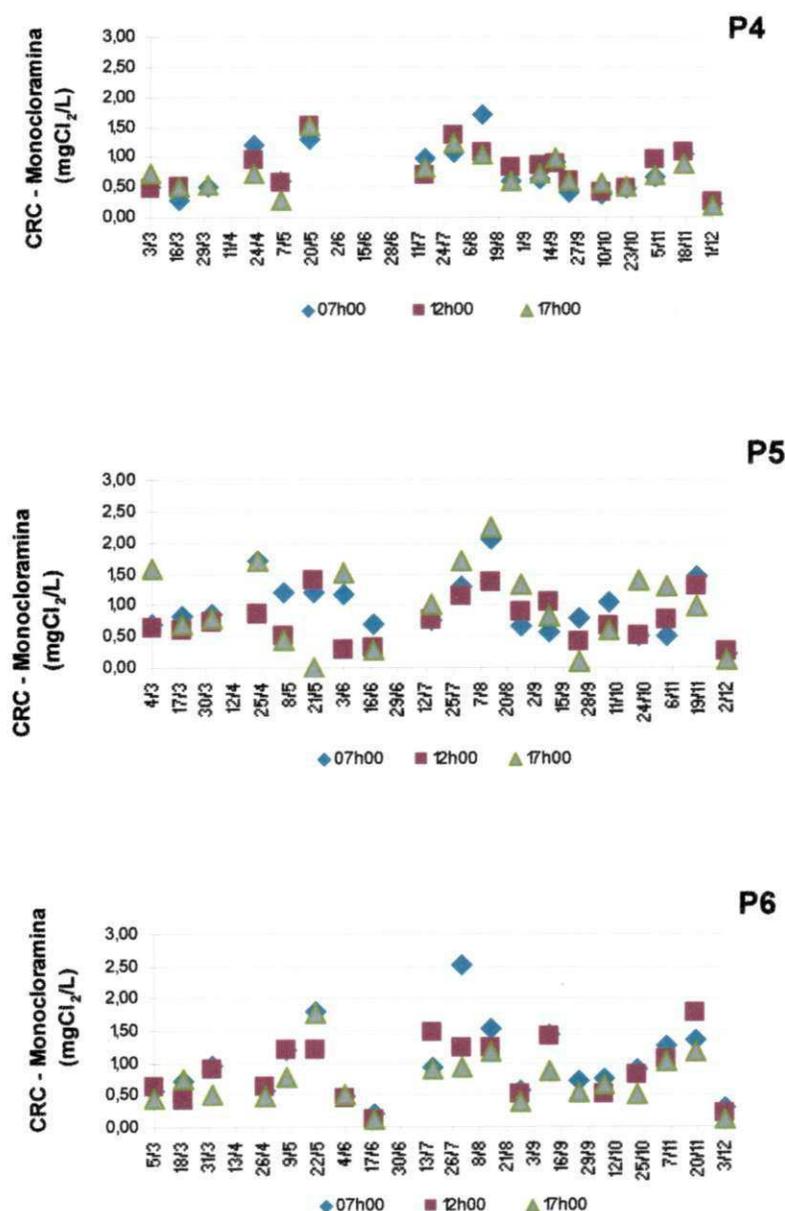


Figura 5.7 – Variação temporal da monocloramina nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>

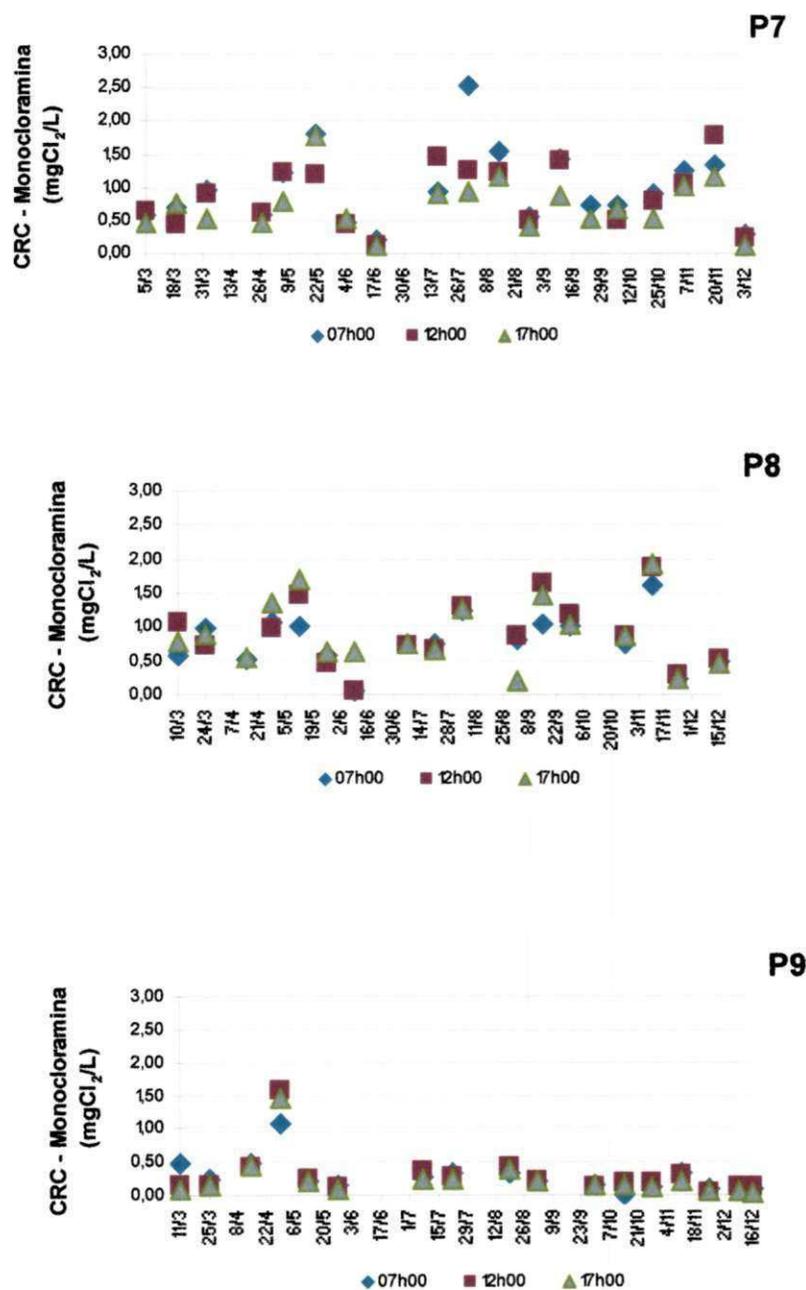


Figura 5.8 – Variação temporal da monocloramina nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>

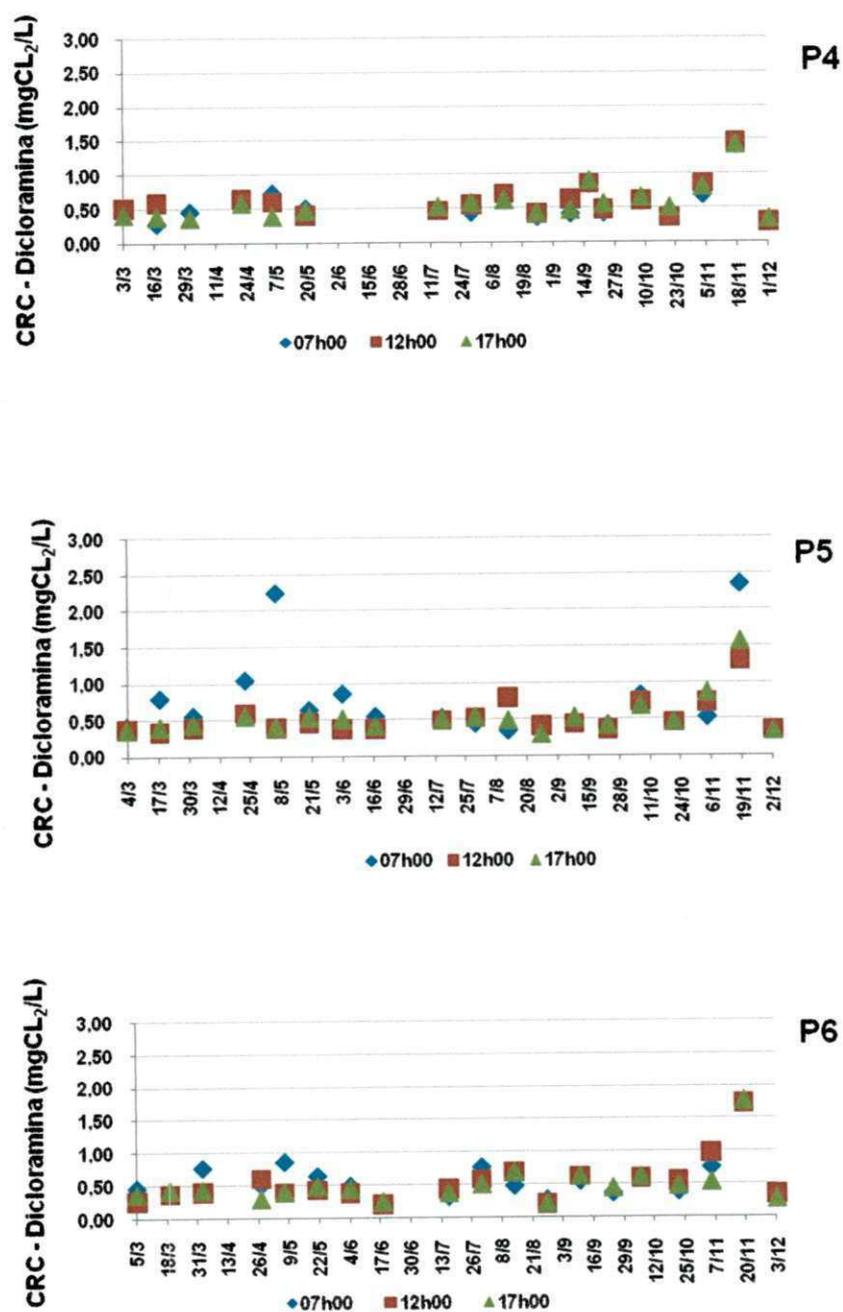
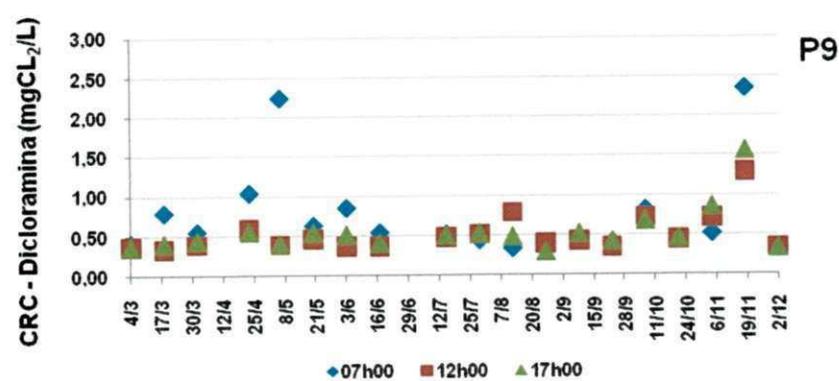
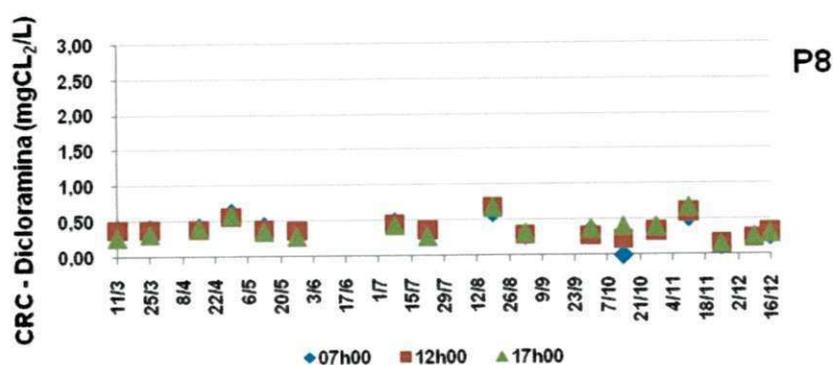
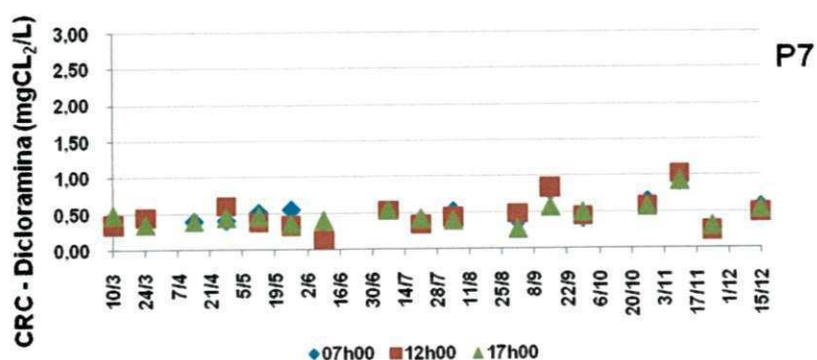


Figura 5.9 – Variação temporal de dicloramina nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>



**Figura 5.10** - Variação temporal de dicloramina nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>

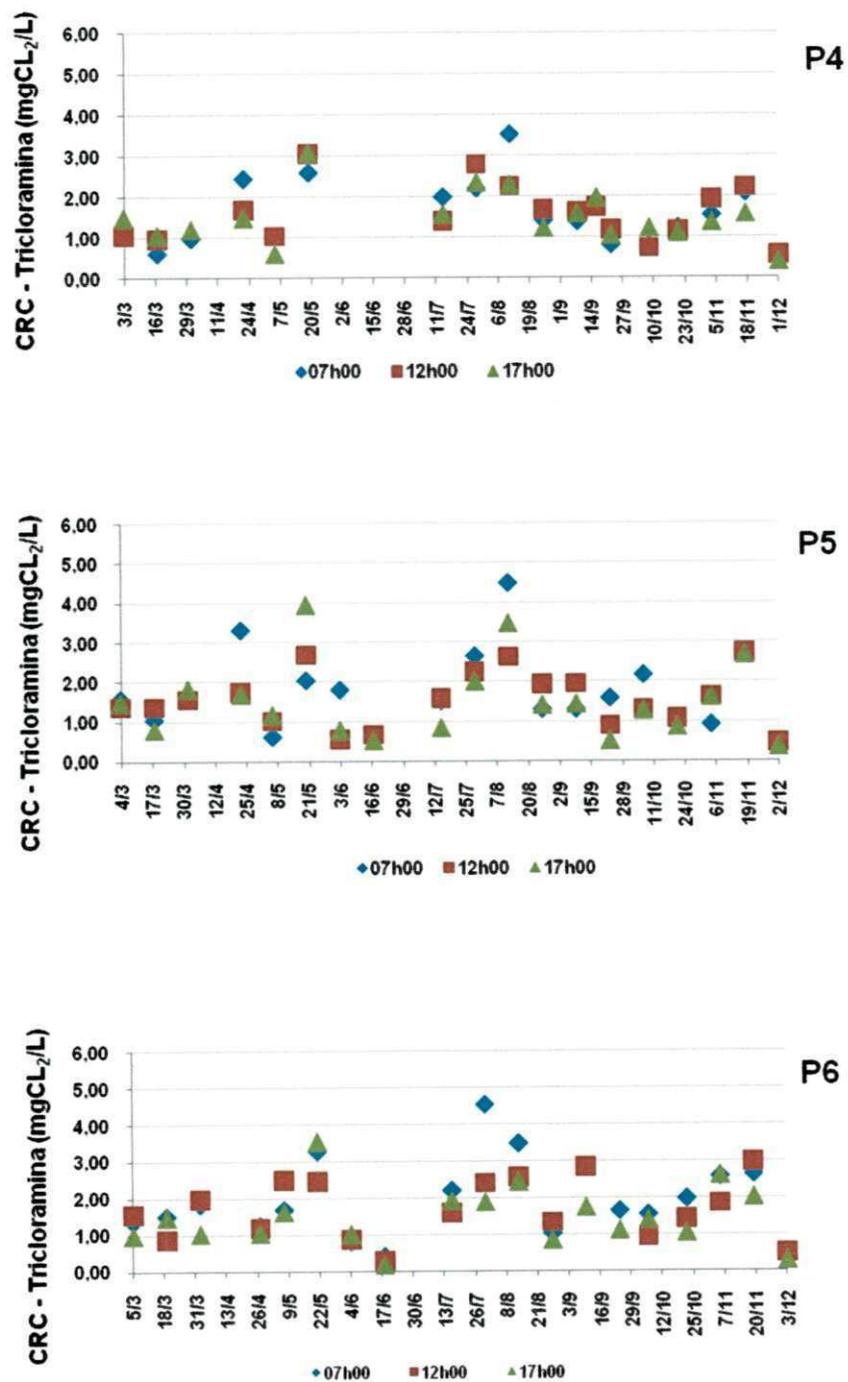
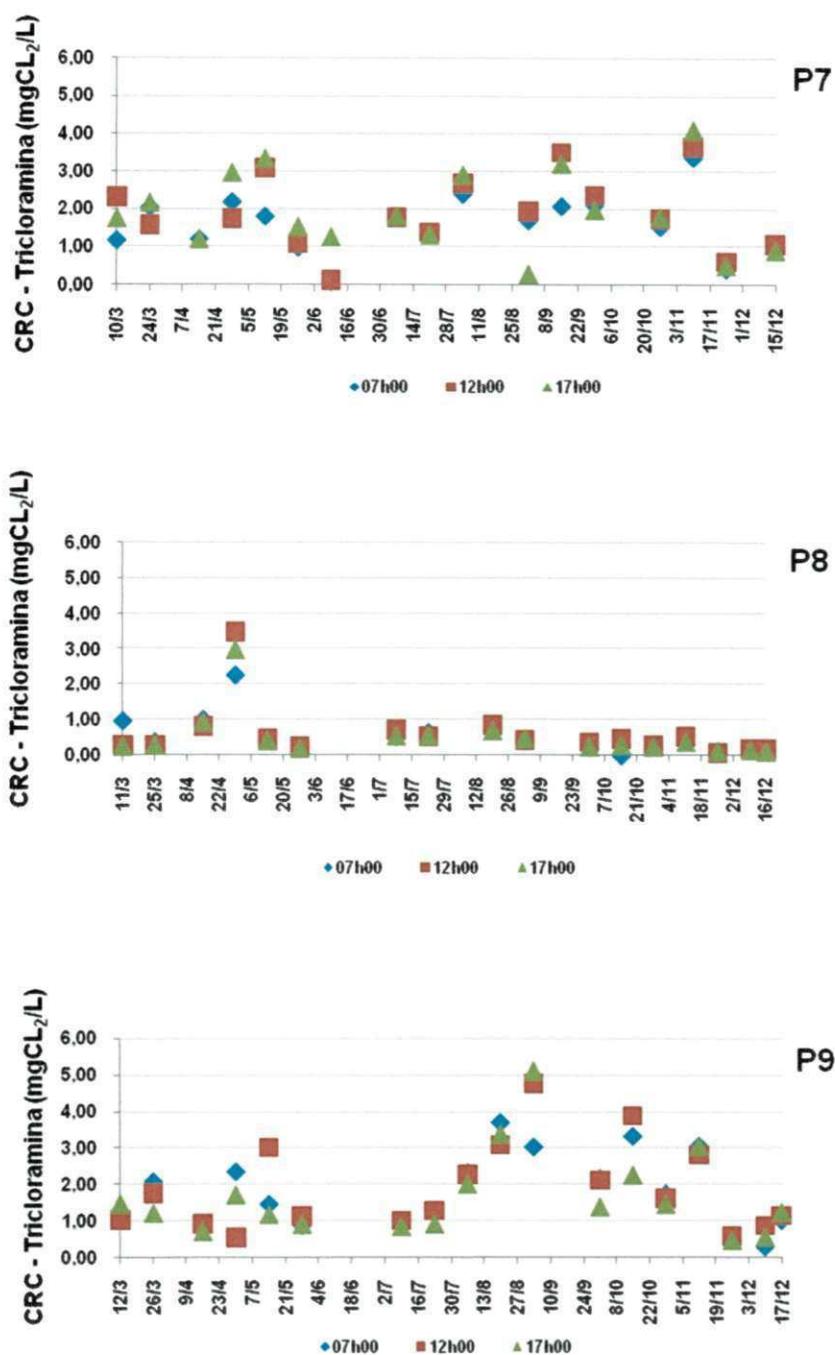


Figura 5.11 - Variação temporal da tricloramina nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>.



**Figura 5.12** - Variação temporal da tricloramina nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, e P<sub>9</sub>

A variação temporal dessas espécies mostrou um comportamento semelhante entre as monocloraminas e tricloraminas, revelando que essas duas espécies desenvolvem-se sob as mesmas condições no tocante as características físico-químicas da água. A espécie dicloramina apresentou comportamento diferente, indicando que seu desenvolvimento depende de condições distintas das

demais espécies. Dentre as frações de cloro residual combinado foi a que apresentou as mais baixas concentrações em todos os pontos monitorados e é a que apresenta maior poder desinfetante, em certos casos, três vezes maior que a monocloramina, sua ação bactericida é explicada pela baixa constante de hidrólise da monocloramina formando pouca quantidade de HClO (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991) Esse resultado reforçar ainda mais a vulnerabilidade da rede de distribuição de Campina Grande a doenças de veiculação hídrica.

### 5.1.2 pH

As faixas de pH observadas no conjunto de dados obtidos em todos os pontos monitorados foram compatíveis com aquelas obtidas por Galdino (2009), as quais ficaram entre 6,0 e 9,5, faixa estabelecida pela Portaria MS 518/2004). No entanto, entre abril e maio, ocorreram valores de pH bem altos com relação aos demais, variando de 8,5 a 9, 0, o que contribui de forma negativa na desinfecção, pelo fato de valores elevados de pH acelerar a dissociação do ácido hipocloroso, que dentre os componentes do cloro residual livre, possui um poder bactericida em algumas circunstâncias até 80 vezes maior que o íon hipoclorito. Por essa razão, a Portaria 518 recomenda que a desinfecção com compostos de cloro deva ser realizado com pH inferior a 8,0, assegurando a prevalência superior a 80% do ácido hipocloroso. As Figuras 5.13 e 5.14 mostram a evolução temporal do pH para os diferentes pontos de coleta.

O pH é um dos indicadores mais importantes no que se refere à caracterização físico-química da água e, praticamente, todas as fases do tratamento de águas de abastecimento dependem do pH, podendo-se citar como exemplo, neutralização, abrandamento, precipitação, coagulação, desinfecção e controle de corrosão.

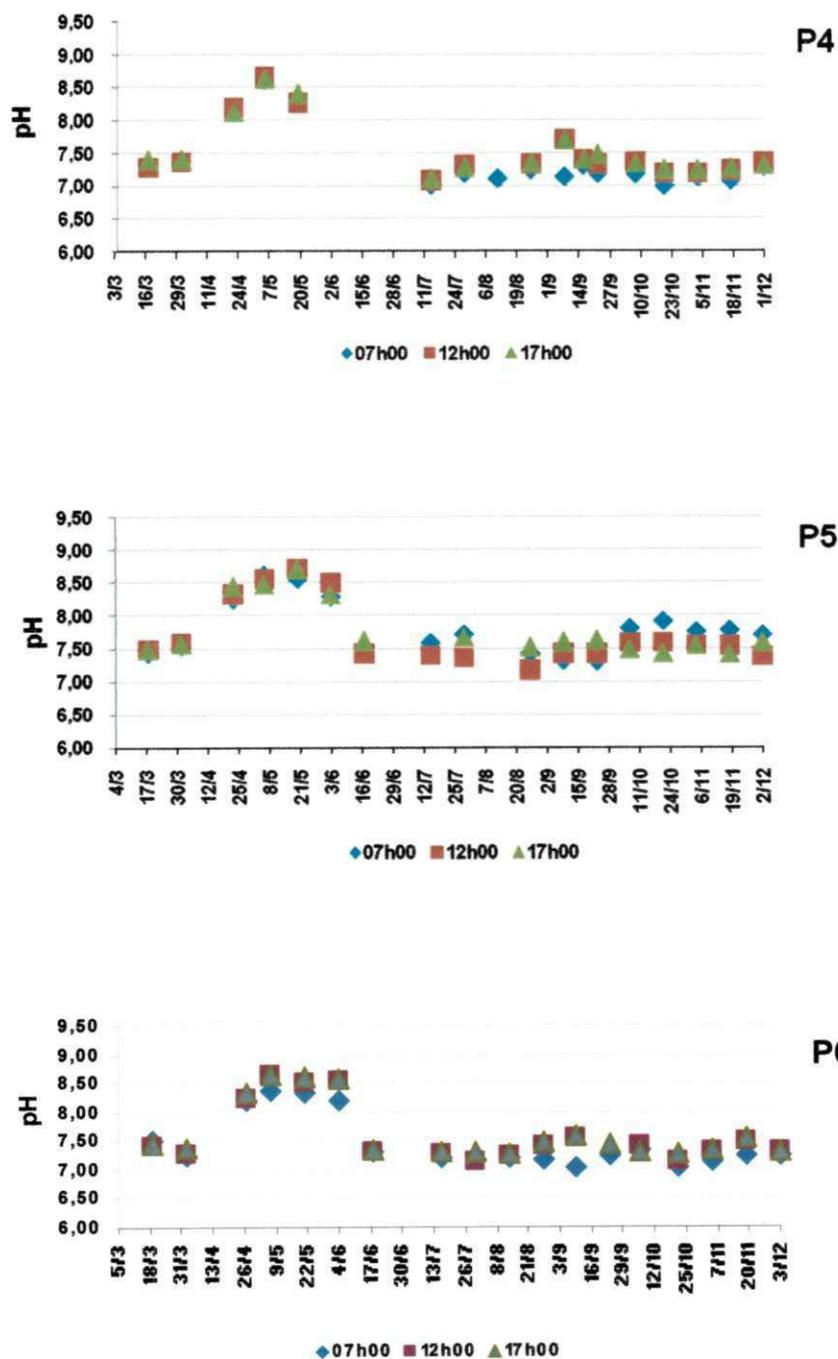


Figura 5.13 – Variação temporal do pH nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>.

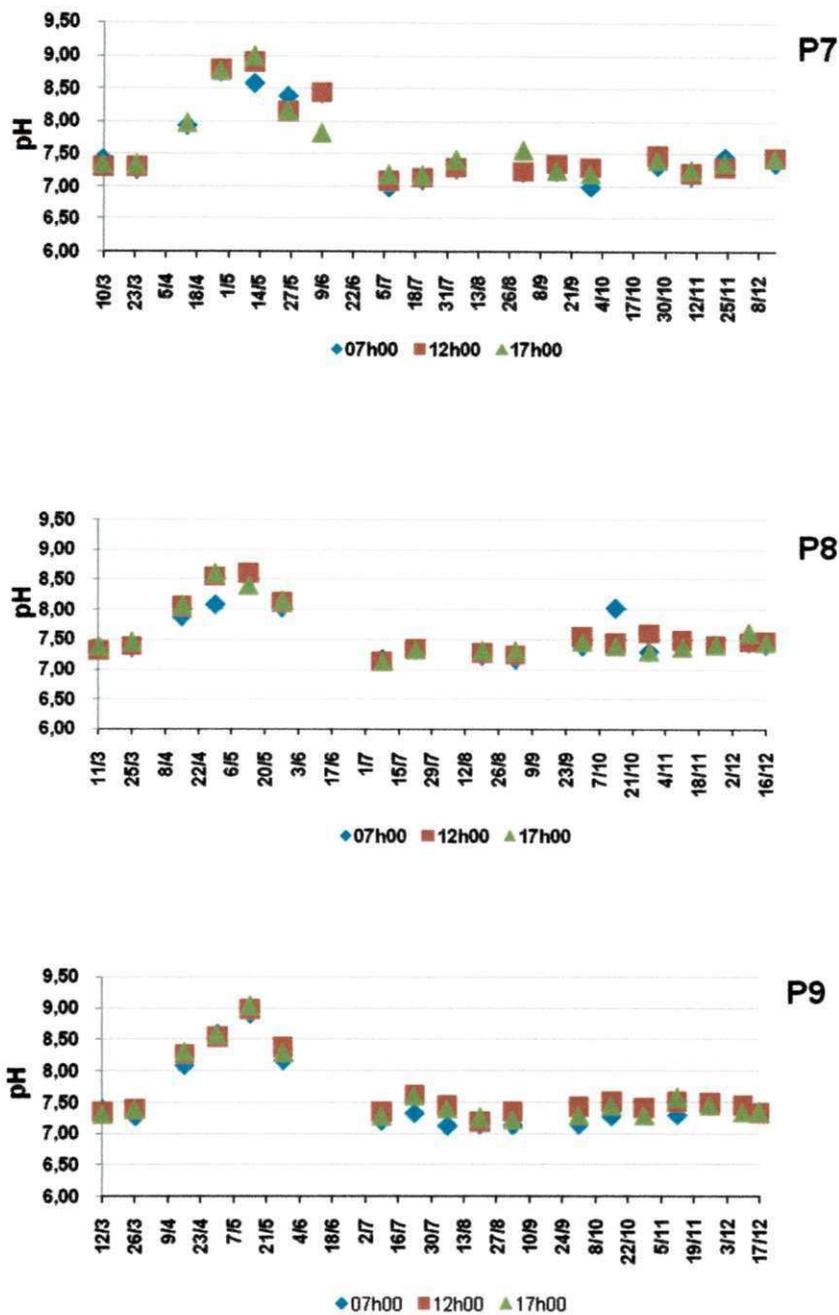
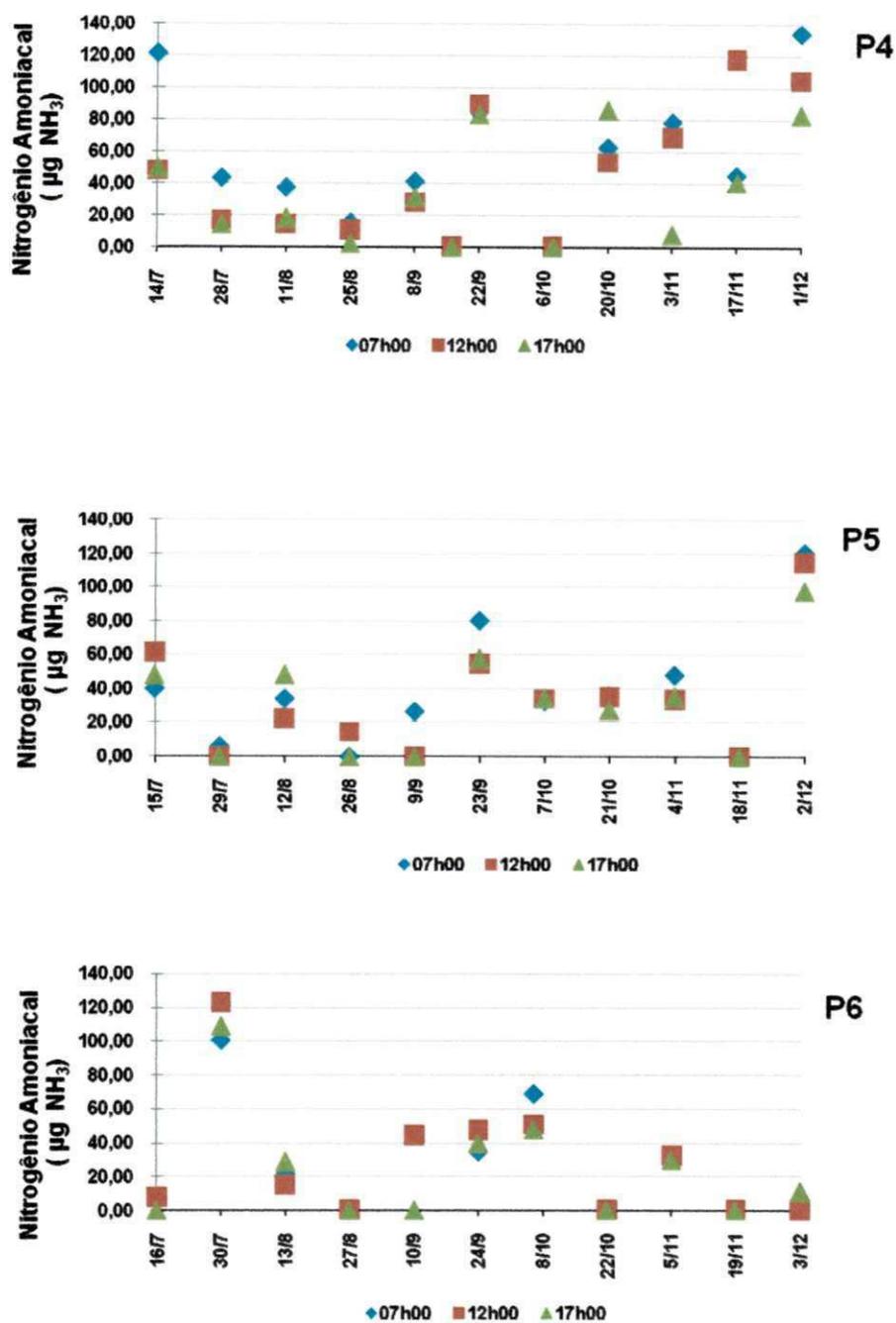


Figura 5.14 – Variação temporal do pH nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>

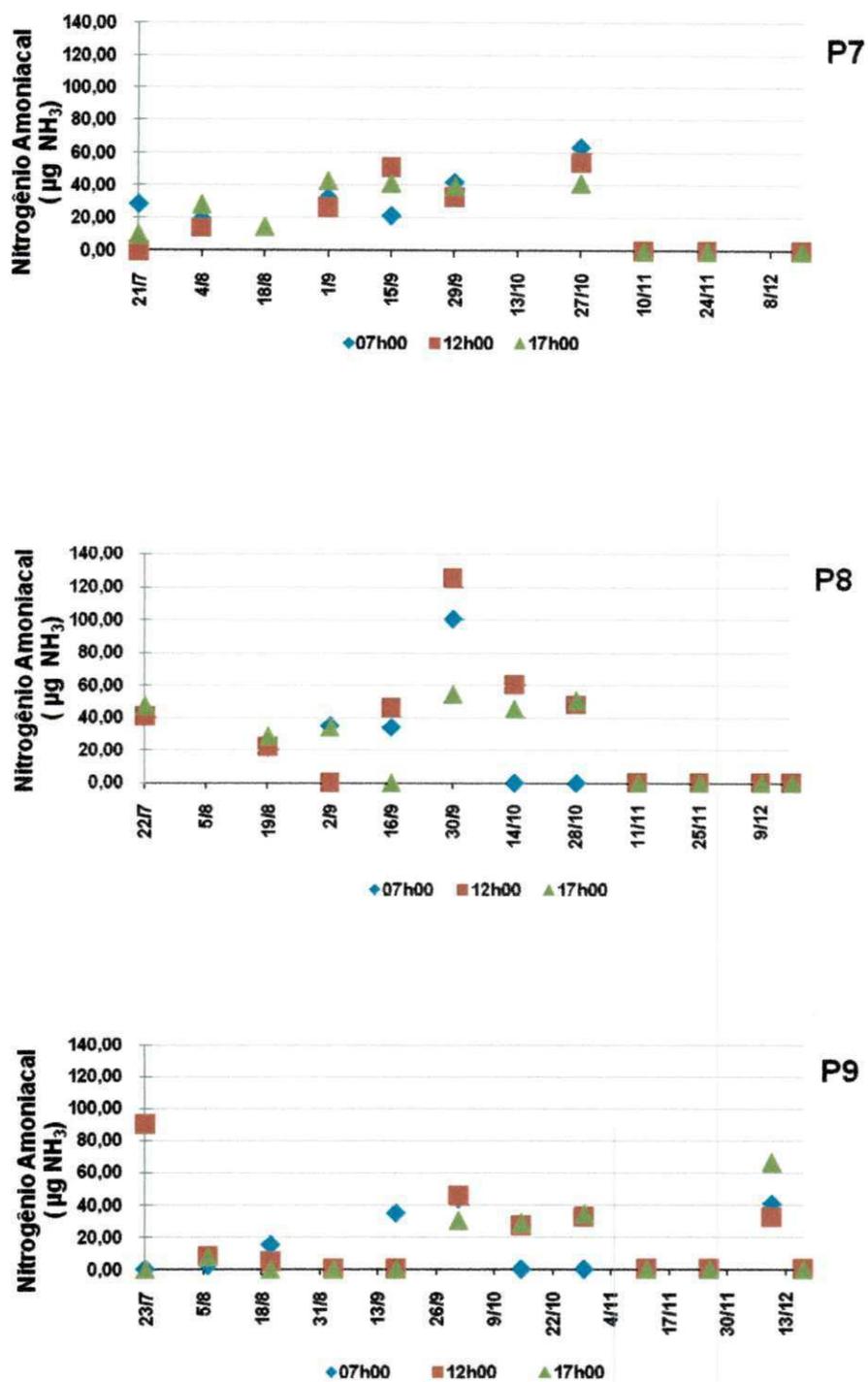
### **5.1.3 Nitrogênio amoniacal**

Do conjunto de 199 análises referentes a nitrogênio amoniacal feitas nos seis pontos de monitoração, nenhuma apresentou valores superiores a 1,5 mg/l, limite máximo recomendado pela Portaria nº 518/2004.

A quantidade de nitrogênio amoniacal presente na água atrelada à quantidade de cloro dosado, a variação da temperatura e do pH são fatores determinantes na formação das cloraminas, constituintes das espécies de cloro residual combinado. As Figuras 5.15 e 5.16 ilustram a distribuição temporal de nitrogênio amoniacal durante o período de monitoração para os seis pontos de coleta. Foram observadas, durante esse período, concentrações muito baixas de amônia, da ordem de microgramas por litro. Essas concentrações referem-se à parcela remanescente do total de amônia presente na água que, teoricamente, não foi oxidada pelo cloro para a formação de cloraminas, ou seja, quase todo o nitrogênio amoniacal foi oxidado durante tal processo. O nitrogênio amoniacal pode ter origem no próprio manancial, pois o período chuvoso concorre para o aumento do transporte de matéria orgânica e inorgânica para os corpos d'água, ocasionando maiores concentrações de amônia e conseqüentemente de cloraminas nesse período. Pode ser percebido no conjunto de dados apresentado que as maiores concentrações médias de monocloramina, ocorreram no mês de julho, mês de inverno, e as menores em dezembro, mês de verão.



**Figura 5.15** – Variação temporal do nitrogênio amoniacal nos pontos de monitoração P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>



**Figura 5.16** – Variação temporal do nitrogênio amoniacal nos pontos de monitoração P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>

### 5.1.4 Temperatura

Com base nos dados apresentados nas Figuras 5.17 e 5.18 pode-se observar que a temperatura média da água se manteve em torno dos 25°C. Os valores mais baixos foram constatados entre os meses de junho e agosto, coincidindo com o período em que o tempo se caracteriza pelas mais baixas temperaturas registradas durante a realização das análises.

O aumento da temperatura favorece a desinfecção, estudos apontam que a taxa de destruição de bactérias cresce com a elevação da temperatura, muitas vezes cerca de 2 a 3 vezes para cada elevação de 10° C (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). No entanto é um fator a que não se dá muita importância no Brasil porque a temperatura das águas de abastecimento não sofre grandes variações.

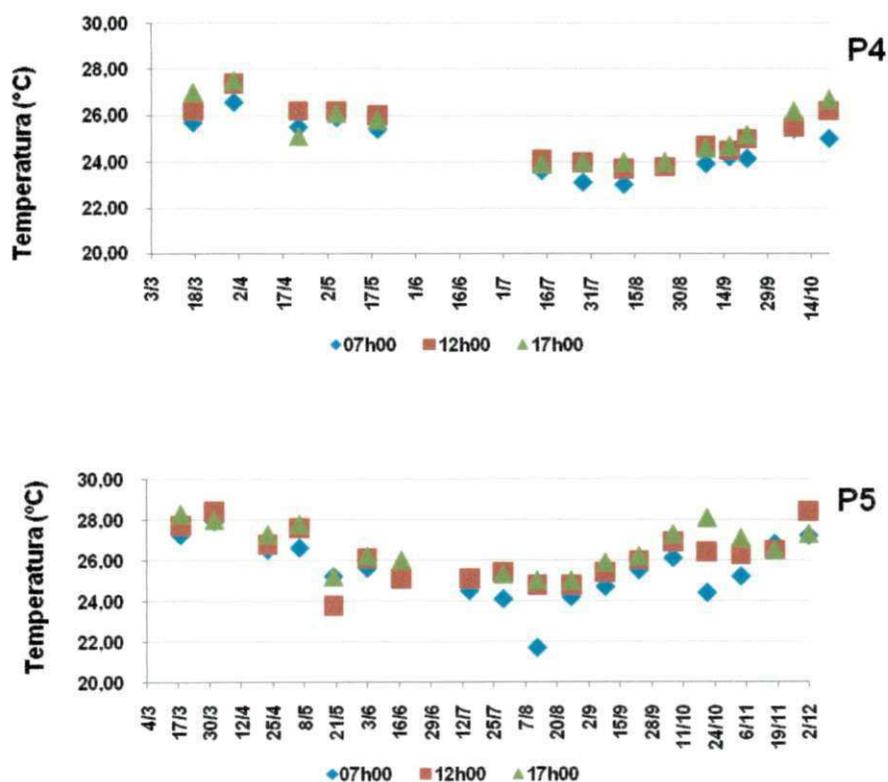


Figura 5.17 – Variação temporal da temperatura nos pontos de monitoração P<sub>4</sub> e P<sub>5</sub>.

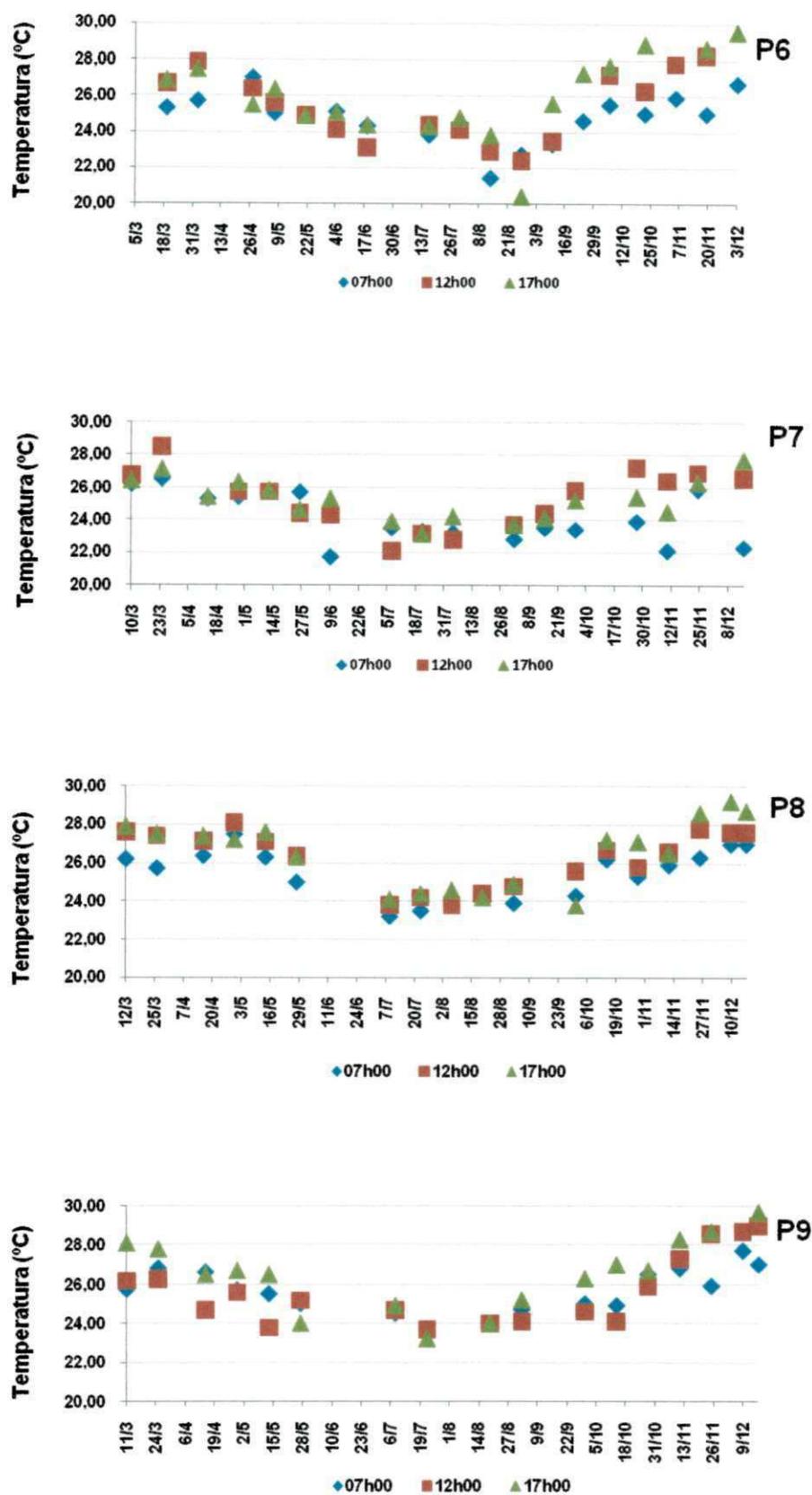


Figura 5.18 – Variação temporal da temperatura nos pontos de monitoração P<sub>6</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>9</sub>

## 5.2 Análise de variância

Inicialmente, foi aplicado ao conjunto dos grupos de dados amostrais de cada indicador analisado, o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajuste à distribuição normal, sendo utilizado para tal, o programa estatístico SPSS versão 13.0. A maioria dos grupos apresentou distribuição normal e para alguns se fez necessária a utilização de artifícios matemáticos simples, como a aplicação de transformação de dados, para a obtenção da normalização. Em seguida, através do referido programa estatístico, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) de fator único, ao nível de significância de 5%, ao conjunto dos grupos amostrais de cada variável, no intuito de comparar a influência dos horários e pontos de coleta no comportamento dos indicadores monitorados. De fato, essa aplicação visa verificar a existência ou não de diferenças significativas entre as médias desses diversos grupos amostrais. Essa comparação é feita com base nas estatísticas P, F e  $F_{\text{crítico}}$  capazes de mostrar a existência de diferenças significativas para ( $P < 0,05$ ), ( $F > F_{\text{crítico}}$ ) ou não, para ( $F < F_{\text{crítico}}$ ), ( $P > 0,05$ ). Neste trabalho as comparações foram baseadas na estatística P. Para as variáveis em que foram observadas diferenças significativas, foi utilizado o método gráfico GT-2, no qual as médias são julgadas significativamente diferentes quando não ocorre a intercessão dos respectivos intervalos de comparação e a igualdade fica evidenciada pela intercessão desses intervalos.

Nas Tabelas 5.3 a 5.8 são apresentados os resumos das análises de variância dos indicadores monitorados para cada horário nos diferentes pontos de coleta. Tendo o valor da estatística P sido superior ao nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ), para todos os casos, no conjunto das referidas tabelas, fica evidenciada a não existência de diferenças significativas entre as médias comparadas. Portanto fica constatado que as médias de uma determinada variável de qualidade da água monitorada num determinado ponto de amostragem nos três diferentes horários de coleta não apresentaram diferenças significativas indicando que, na prática, os horários de coleta não afetam o comportamento dos indicadores ao longo do dia, podendo, então, essas coletas, serem feitas em qualquer horário.

**Tabela 5.3** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>4</sub>.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	0,852	2	,426	,712	,496
	Dentro dos grupos	30,522	51	,598		
	Total	31,374	53			
Monocloramina	Entre grupos	0,002	2	,001	,008	,992
	Dentro dos grupos	6,891	51	,135		
	Total	6,894	53			
Dicloramina	Entre grupos	,352	2	,176	,391	,678
	Dentro dos grupos	22,511	50	,450		
	Total	22,864	52			
Tricloramina	Entre grupos	,052	2	,026	,048	,953
	Dentro dos grupos	27,903	51	,547		
	Total	27,955	53			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	1180,047	2	590,024	,373	,691
	Dentro dos grupos	52182,393	33	1581,285		
	Total	53362,440	35			
pH	Entre grupos	,178	2	,089	,417	,662
	Dentro dos grupos	9,632	45	,214		
	Total	9,811	47			
Temperatura	Entre grupos	4,731	2	2,365	1,621	,208
	Dentro dos grupos	70,021	48	1,459		
	Total	74,752	50			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.4** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>5</sub>.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	,752	2	,376	,913	,407
	Dentro dos grupos	22,228	54	412		
	Total	22,979	56			
Monocloramina	Entre grupos	,510	2	,255	1,395	,257
	Dentro dos grupos	9,869	54	183		
	Total	10,379	56			
Dicloramina	Entre grupos	28,934	2	14,467	40,439	,237
	Dentro dos grupos	19,319	54	,358		
	Total	48,253	56			
Tricloramina	Entre grupos	,453	2	,226	,274	,762
	Dentro dos grupos	44,683	54	,827		
	Total	45,136	56			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	268,039	2	134,019	,118	,889
	Dentro dos grupos	34164,487	30	1138,816		
	Total	34432,526	32			
pH	Entre grupos	,066	2	,033	,168	,846
	Dentro dos grupos	9,265	47	,197		
	Total	9,331	49			
Temperatura	Entre grupos	11,675	2	5,838	3,413	,960
	Dentro dos grupos		50	1,711		
	Total		52			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.5** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>6</sub>

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	2,323	2	1,161	2,329	,107
	Dentro dos grupos	26,432	53	,499		
	Total	28,755	55			
Monocloramina	Entre grupos	,721	2	,361	1,606	,210
	Dentro dos grupos	11,903	53	,225		
	Total	12,624	55			
Dicloramina	Entre grupos	,418	2	,209	,256	,775
	Dentro dos grupos	43,215	53	,815		
	Total	43,633	55			
Tricloramina	Entre grupos	2,294	2	1,147	1,459	,242
	Dentro dos grupos	41,659	53	,786		
	Total	43,953	55			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	170,619	2	85,310	,071	,932
	Dentro dos grupos	36122,921	30	1204,097		
	Total	36293,540	32			
pH	Entre grupos	,209	2	,105	,425	,656
	Dentro dos grupos	12,296	50	,246		
	Total	12,506	52			
Temperatura	Entre grupos	26,910	2	13,455	4,197	,052
	Dentro dos grupos	160,303	50	3,206		
	Total	187,213	52			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.6** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>7</sub>.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	1,182	2	,591	,246	,783
	Dentro dos grupos	110,485	46	2,402		
	Total	111,666	48			
Monocloramina	Entre grupos	,151	2	,075	,356	,703
	Dentro dos grupos	9,736	46	,212		
	Total	9,886	48			
Dicloramina	Entre grupos	,000	2	,000	,006	,994
	Dentro dos grupos	1,602	46	,035		
	Total	1,603	48			
Tricloramina	Entre grupos	1,218	2	,609	,664	,520
	Dentro dos grupos	42,187	46	,917		
	Total	43,404	48			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	59,367	2	29,684	,067	,935
	Dentro dos grupos	11065,067	25	442,603		
	Total	11124,434	27			
pH	Entre grupos	,020	2	,010	,029	,971
	Dentro dos grupos	15,825	47	,337		
	Total	15,844	49			
Temperatura	Entre grupos	13,775	2	6,887	2,869	,067
	Dentro dos grupos	112,811	47	2,400		
	Total	126,586	49			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.7** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>8</sub>.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	,057	2	,029	,046	,955
	Dentro dos grupos	29,970	48	,624		
	Total	30,027	50			
Monocloramina	Entre grupos	,011	2	,006	,058	,943
	Dentro dos grupos	4,649	48	,097		
	Total	4,661	50			
Dicloramina	Entre grupos	,004	2	,002	,104	,901
	Dentro dos grupos	1,034	48	,022		
	Total	1,039	50			
Tricloramina	Entre grupos	,074	2	,037	,084	,920
	Dentro dos grupos	21,271	48	,443		
	Total	21,346	50			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	115,920	2	57,960	,055	,947
	Dentro dos grupos	31725,011	30	1057,500		
	Total	31840,931	32			
pH	Entre grupos	,046	2	,023	,129	,880
	Dentro dos grupos	8,494	48	,177		
	Total	8,539	50			
Temperatura	Entre grupos	13,609	2	6,805	1,990	,148
	Dentro dos grupos	164,104	48	3,419		
	Total	177,713	50			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.8** – Resumo da análise de variância para comparação de médias, nos diferentes horários, dos indicadores medidos no ponto P<sub>9</sub>.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	,054	2	,027	,034	,966
	Dentro dos grupos	39,968	51	,784		
	Total	40,022	53			
Monocloramina	Entre grupos	,167	2	,083	,266	,768
	Dentro dos grupos	15,980	51	,313		
	Total	16,146	53			
Dicloramina	Entre grupos	,199	2	,100	,261	,772
	Dentro dos grupos	19,488	51	,382		
	Total	19,688	53			
Tricloramina	Entre grupos	,383	2	,191	,148	,863
	Dentro dos grupos	65,968	51	1,293		
	Total	66,350	53			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	288,999	2	144,499	,277	,760
	Dentro dos grupos	17208,736	33	521,477		
	Total	17497,735	35			
pH	Entre grupos	,179	2	,089	,325	,724
	Dentro dos grupos	14,032	51	,275		
	Total	14,211	53			
Temperatura	Entre grupos	11,470	2	5,735	2,474	,094
	Dentro dos grupos	118,238	51	2,318		
	Total	129,708	53			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

**Tabela 5.9** – Resumo da análise de variância para comparação de médias dos indicadores medidos nos diferentes pontos monitorados.

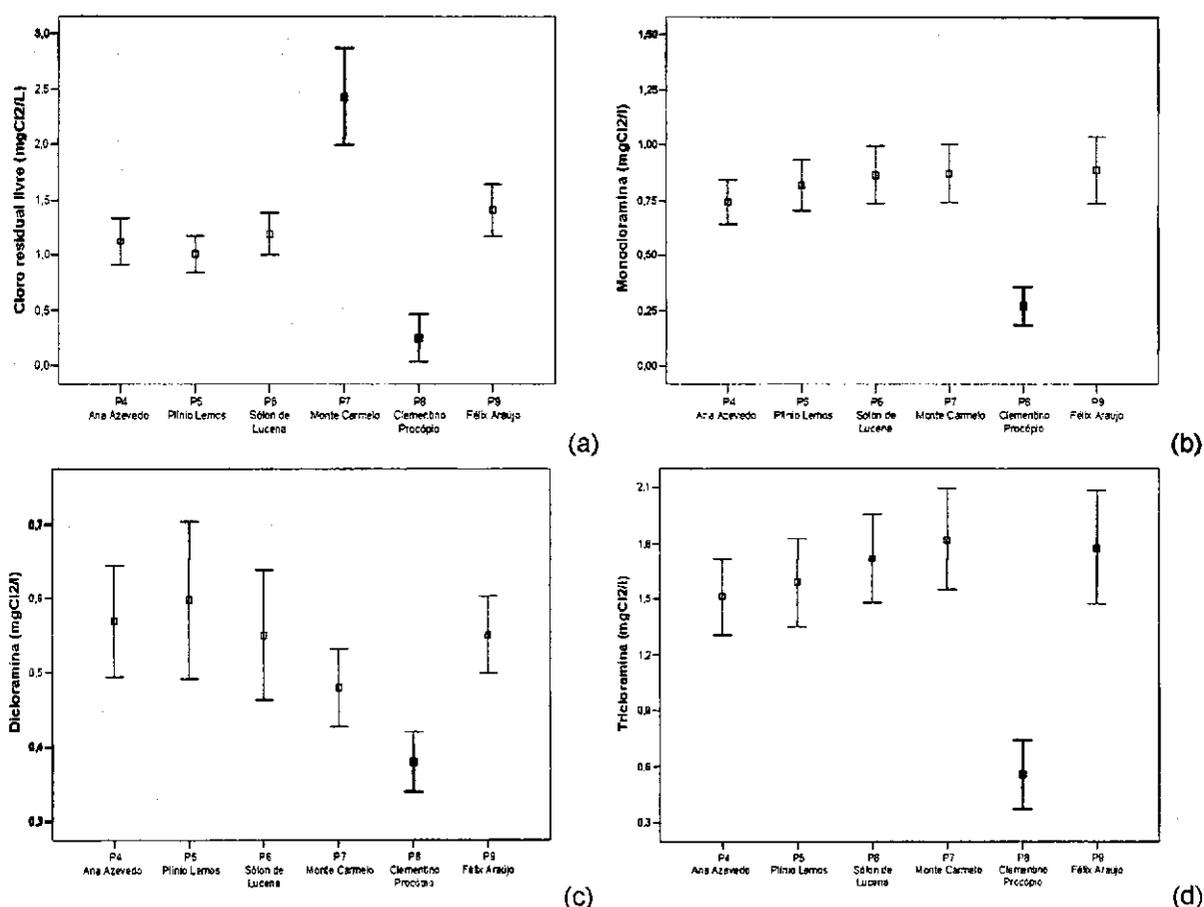
		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Cloro residual livre	Entre grupos	124,758	5	24,952	29,605	,000
	Dentro dos grupos	263,798	313	,843		
	Total	388,556	318			
Monocloramina	Entre grupos	14,484	5	2,897	14,983	,000
	Dentro dos grupos	60,515	313	,193		
	Total	74,999	318			
Dicloramina	Entre grupos	290,454	5	58,091	120,110	,000
	Dentro dos grupos	150,413	311	,484		
	Total	440,867	316			
Tricloramina	Entre grupos	57,726	5	11,545	14,575	,000
	Dentro dos grupos	247,935	313	,792		
	Total	305,661	318			
Nitrogênio amoniacal	Entre grupos	21169,337	5	4233,867	4,428	,001
	Dentro dos grupos	184551,606	193	956,226		
	Total	205720,943	198			
pH	Entre grupos	1,808	5	,362	1,544	,176
	Dentro dos grupos	70,243	300	,234		
	Total	72,051	305			
Temperatura	Entre grupos	57,470	5	11,494	4,434	,001
	Dentro dos grupos	793,173	306	2,592		
	Total	850,643	311			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio.

Com a reunião dos dados de uma mesma variável obtidos nos três horários de monitoração num mesmo ponto foi formado um novo grupo amostral daquela variável naquele ponto. Foi aplicada análise de variância de fator único na comparação das médias desses conjuntos amostrais de uma mesma variável nos diferentes pontos de monitoração. O resumo da análise de variância apresentado na Tabela 5.9 demonstra que o pH foi o único indicador para o qual não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre suas médias nos diversos pontos monitorados, ou seja, o ponto de coleta não exerce influência sobre o comportamento desse indicador, podendo assim ser analisado em qualquer um dos pontos monitorados. Os demais indicadores tiveram seus comportamentos significativamente influenciados pelas condições dos locais, onde se inserem os pontos de monitoração da qualidade da água ( $P < 0,05$ ), sejam essas condições operacionais, ambientais, antropogênicas ou de manutenção.

As Figuras 5.19 e 5.20 ilustram graficamente aonde ocorrem essas diferenças significativas. A Figura 5.19a faz a comparação gráfica simultânea das médias e dos intervalos de comparação de 95% (método GT-2) de cloro residual livre, sendo destacados os pontos P8 (E.E.E.F.M Clementino Procópio) e P7

(E.E.E.F.M Monte Carmelo). O ponto P8 apresentou menor concentração média de todas as espécies de cloro residual livre e combinado (Figura 5.19), provavelmente porque se trata de uma ponta de rede localizada num setor demograficamente concentrado. As tubulações antigas podem contribuir expressivamente para a degradação da qualidade da água provocando o decaimento do cloro ao longo da rede. Adicionalmente, a manutenção deficiente do reservatório R5 que, juntamente com o reservatório R9, abastece a zona de pressão na qual o ponto se localiza concorre para a deterioração da qualidade da água. O ponto P7 apresentou concentrações elevadas, podendo isso ser justificado pela sua proximidade (1,02 km) com o reservatório R9, o qual recebe a água recém tratada diretamente da estação de tratamento.



**Figura 5.19** – Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para cloro residual livre (a), monocloramina (b), dicloramina (c) e tricloramina (d) nos pontos de monitoração.

Com relação ao indicador nitrogênio amoniacal, pode ser constatado, na Figura 5.20, que no ponto P8 (E.E.E.F.M Clementino Procópio) ocorreram as

maiores concentrações médias, devido aos mesmos fatores anteriormente apresentados.

A Figura 5.20 aponta também como foi o comportamento das variações médias de temperatura, donde pode ser observado que no ponto P7 (E.E.E.F.M Monte Carmelo), ocorreu a menor variação desse indicador. Esse fator pode estar relacionado com a altitude onde se encontra esse ponto (584 m), com relação aos outros pontos é o que apresenta maior elevação, um outro fator seria sua proximidade com o reservatório R9, dentre os pontos é o que se encontra mais próximo, o que pode ser justificado pelo pequeno percurso que a água faz ao ser aduzida deste reservatório até o ponto P7.

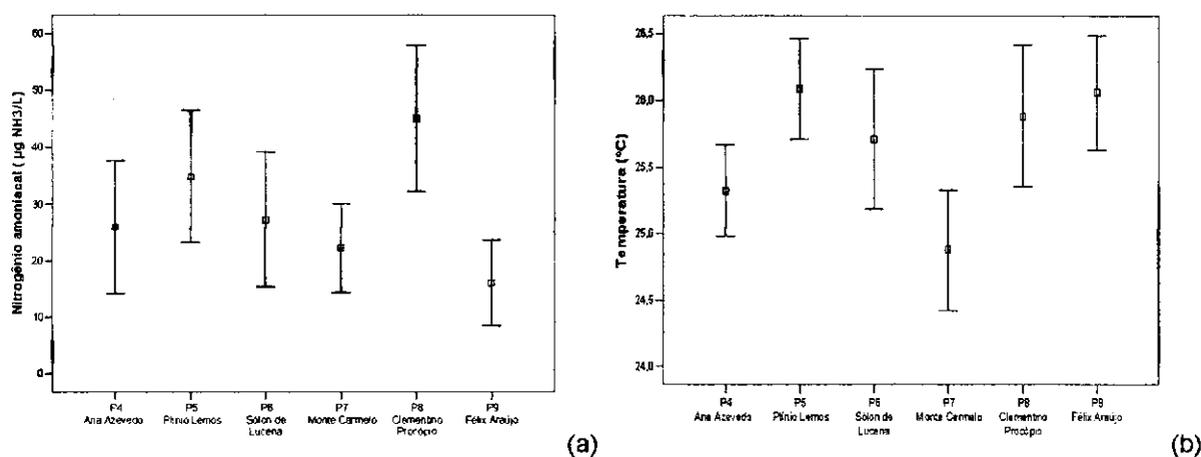


Figura 5.20 – Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para nitrogênio amoniacal (a) e temperatura (b) nos pontos de monitoração.

## 6.0 DISCUSSÃO

### 6.1 Situação da água fornecida pelo sistema de Campina Grande

Os resultados obtidos da monitoração dos indicadores analisados durante a pesquisa revelaram que apenas o cloro residual livre não apresentou atendimento integral aos padrões de qualidade recomendados pela Portaria MS 518/2004 em nenhum dos pontos analisados, na sua maioria apresentando valores abaixo do limite estabelecido pela legislação e sinalizando a existência de condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos patogênicos na água, como bactérias, protozoários, vírus e vermes. Daí, algumas enfermidades são passíveis de serem transmitidas à população por ingestão ou contato com águas contaminadas. Segundo o IBGE, a maior parte das internações hospitalares registradas pelo SUS tem origem em doenças de veiculação hídrica. Estima-se que 50 pessoas morram por dia no Brasil por causa dessas doenças, na maioria crianças de zero a seis anos, acometidas de diarreias.

Do total de 315 amostras coletadas em todos os pontos monitorados, 39% estavam em desacordo com a legislação, dessas violações, 20% apresentaram concentrações de cloro residual livre abaixo do mínimo recomendado pela Portaria 518 (MS), 0,2 mgCl<sub>2</sub>/L. Essa situação pode estar relacionada com a ocorrência de vazamentos ou de negligências nas operações de manutenção das tubulações e reservatórios do sistema, as quais dão origem a contaminações que reduzem o teor de cloro livre na rede, comprometendo o fornecimento de água potável à população.

Por outro lado, 19% das amostras coletadas apresentaram concentrações acima do limite máximo (2,0 mgCl<sub>2</sub>/L), recomendado. Essa situação pode estar relacionada com a tentativa de manter um residual do desinfetante em pontos distantes da estação de tratamento, a fim de garantir a inativação de possíveis microrganismos patogênicos presentes na água. Com essa "estratégia" há maiores possibilidades de alterações nas características da água, conferindo sabor e odor à água, podendo levar à rejeição por parte dos consumidores. De acordo com as diretrizes da Organização Mundial de saúde, para valores superiores a 0,3 mg/L, os consumidores mais sensíveis podem detectar sabor e cheiro na água.

O maior número de violações à legislação ocorreu no ponto de monitoração (P<sub>8</sub>), apresentando dentre o total de amostras coletadas, 41 concentrações de cloro residual livre abaixo do recomendado pela Portaria 518 (MS). Essas baixas concentrações se deram neste local, provavelmente, por ser um ponto considerado como ponta de rede e por estar localizado em um trecho que possui tubulações muito antigas, algumas constituídas de ferro fundido, o que pode contribuir para a degradação do cloro ao longo da rede de distribuição devido a compostos de natureza inorgânica e orgânica que podem estar presentes nessas tubulações.

Quanto às espécies de cloro residual combinado, em todos os pontos de monitoração houve a sua predominância, principalmente de tricloraminas, revelando um alto índice de nitrogênio amoniacal na água de abastecimento. Um fator que favorece esse resultado é o provável comprometimento da qualidade da água do manancial que abastece o sistema, o Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). A deterioração da qualidade da água pode ser justificada por fatores de ordens antropogênica e climática. Nas proximidades das margens que circundam o açude Boqueirão, há plantações de culturas diversificadas de leguminosas, cultivadas à base de fertilizantes e, em períodos de chuvas, os resíduos desses produtos, como também materiais particulados de origem orgânica, são carregados para as águas do manancial, aumentando as concentrações de nitrogênio amoniacal. As falhas nas operações de uma estação de tratamento e as incidências de vazamentos na rede favorecem o surgimento das espécies de cloro residual combinado, que possui baixo poder de desinfecção. Essa situação implica em baixas concentrações de cloro residual livre na rede, em virtude da maior demanda de cloro para oxidação das espécies de cloraminas, tornando o sistema de abastecimento público de água vulnerável a situações de risco, sem oferecer uma proteção sanitária adequada aos usuários da água.

Dentre os seis pontos monitorados, o ponto P8 apresentou a maior concentração de cloro residual combinado, o que pode ser justificado pelas relativamente altas quantidades de nitrogênio amoniacal, que podem ter sido originadas dentro das tubulações ou advindas do próprio manancial e que não foram eliminadas durante o processo de tratamento.

O indicador pH em todos os pontos de monitoração, variou dentro dos limites estabelecidos pela legislação (6,0 a 9,5), sendo observados, entre os meses

de maio e junho, valores significativos desse indicador, entre 8,0 e 9,0. A partir de julho houve uma certa diminuição, o que pode estar relacionado com o aumento da dosagem de sulfato de alumínio que, ao dissociar-se libera íons hidrogênio promovendo uma redução no pH. Este fator contribui de maneira positiva na desinfecção, pois, em meio ácido, a predominância do ácido hipocloroso é maior, tornando o processo mais eficiente.

Com base nos resultados obtidos para nitrogênio amoniacal, foram observadas concentrações muito baixas, demonstrando que praticamente toda a amônia foi oxidada durante o processo de desinfecção, na formação das cloraminas.

O comprometimento da água que abastece a cidade de Campina Grande pode ser consequência de alguns fatores já indicados anteriormente por Galdino (2009):

- alteração da qualidade das águas do manancial que abastece a cidade;
- falhas na operação da estação de tratamento de água;
- intermitência do abastecimento de água pelas manobras realizadas na rede de distribuição em função da obsolescência da rede de distribuição e falta de capacidade dos reservatórios em atender à demanda da população, gerando pressão negativa na rede e, fazendo com que águas de qualidade inadequada sejam succionadas para dentro das canalizações de água potável, caso haja alguma pequena abertura;
- manutenção pouco efetiva da rede de distribuição;
- falta de esgotamento sanitário em alguns setores da cidade;

Diante de tal situação é perceptível que se fazem necessários investimentos e uma melhor observância dos preceitos legais destinados à manutenção da qualidade da água por parte dos envolvidos nesse setor, visando o bem-estar da população atendida pelos serviços de abastecimento, garantindo água em quantidade e qualidade de acordo com as normas e padrões de potabilidade.

## 6.2 Operação e manutenção do sistema distribuidor de água de Campina Grande

Um programa de controle de qualidade da água é essencial para a operação de qualquer sistema de abastecimento de água, não somente na estação de tratamento, por ser uma medida necessária para a garantia da saúde da população. Deve ser uma atividade de caráter dinâmico que deve ser exercido nos sistemas de abastecimento de água tanto no meio urbano como no meio rural.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA promove o controle da qualidade da água distribuída por meio de análises físico-químicas e microbiológicas. Essas análises são realizadas mensalmente em pontos da rede do sistema de distribuição, combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos, tais como locais de grande circulação de pessoas, locais afetados por obras no sistema, pontas de rede e reservatórios, entre outros.

Com relação ao indicador cloro residual livre (CRL), o controle realizado pela CAGEPA, como na maioria das empresas de abastecimento de água do Brasil, utiliza como método de determinação da concentração a ortotolidina, que é um método que apresenta erros relativos na ordem de 20,2 a 42,5%, o que conseqüentemente causa erros na dosagem do desinfetante cloro, implicando em maiores despesas operacionais na Estação de Tratamento de Água. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o sistema de distribuição de água de Campina Grande tem cloro residual combinado em níveis variáveis o que pode estar mascarando os resultados de cloro residual livre monitorado pela CAGEPA na sua ação de controle da qualidade da água distribuída em Campina Grande, já que no método da ortotolidina não se consegue quantificar separadamente as concentrações de cloro livre e combinado.

No entanto o controle da qualidade da água deve ser considerado em todas as etapas do serviço de abastecimento de água, desde o manancial, captação, recalque, adução, tratamento e distribuição, terminando na torneira; e não se restringir somente a verificar, por meio de exames e análises, se a mesma está atendendo os padrões de potabilidade regulamentares.

Para isto devem ser levados em consideração fatores ligados à concepção do sistema de abastecimento de água, a vida útil de projeto e a adoção de planos de manutenção do sistema quanto ao seu funcionamento e que venha a atender as finalidades desejadas quanto à qualidade da água com o intuito de evitar sua deterioração ao longo da duração do projeto.

Todavia, se faz necessário que toda a rede de distribuição seja mantida em condições sanitárias adequadas evitando-se todas as possibilidades de poluição ou contaminação durante a execução de reparos, substituições, remanejamentos e prolongamentos. Tais contaminações trazem consigo o surgimento de microrganismos patogênicos e de matéria orgânica em geral. No caso da intensidade dessa poluição ser moderada, o cloro residual presente na água do sistema de distribuição poderá garantir a desinfecção. Por outro lado, caso a poluição seja maior, o cloro residual será totalmente consumido. Desse modo, o cloro residual da rede poderá servir como indicador de qualidade da água facilmente monitorado.

Paralelamente ao consumo parcial ou total do cloro residual, surge o cloro residual combinado, resultado das reações ocorridas entre o cloro e nitrogênio amoniacal, o qual também poderá servir como indicador de qualidade da água, no sentido de que, sua presença indicará a existência de contaminação da água.

Percebendo a carência de programas que contemplassem a vigilância da qualidade da água no município de Campina Grande, Galdino (2009) propôs em seu trabalho a elaboração de um plano de amostragem baseado na monitoração de indicadores sentinelas para identificação de setores problemáticos na rede de distribuição de água do município e, nesse sentido, o autor se deteve na monitoração da zona de pressão D do sistema de distribuição de água de Campina Grande. De forma complementar o presente trabalho caracterizou e descreveu as zonas de pressão A, B e C do mesmo sistema, possibilitando, com isso, a elaboração de um plano de manutenção da qualidade da água do sistema de abastecimento de água de Campina Grande.

Desse plano de manutenção poderia constar a introdução, após rigorosa avaliação inclusive do aspecto do custo, de operações unitárias de tratamento como pré-cloração e aeração com vistas à redução do nitrogênio amoniacal responsável por considerável demanda de cloro livre, dando como produto o cloro residual combinado.

## 7.0 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos revelaram que os pontos extremos da rede ou os pontos inseridos em locais com limitações na infra-estrutura, como a existência de redes de distribuição antigas (P8), são setores vulneráveis do sistema de distribuição de água de Campina Grande, por apresentarem um residual de cloro livre abaixo do recomendado pela legislação específica e a predominância de cloro residual combinado, conferindo riscos à saúde da população atendida. Assim como pontos, cujas localizações são muito próximas a reservatórios (P7), estão sujeitos a supercloração que pode induzir sabor e odor na água e objeção ao seu consumo por parte dos consumidores.

Foram determinadas concentrações expressivas de cloro residual combinado nas zonas de pressão A, B e C do sistema de distribuição de água de Campina Grande, as quais não têm poder desinfetante significativo e que podem ser atribuídas a um conjunto de fatores associados à degradação da qualidade da água, bem como a aspectos relacionados à operação e, principalmente, manutenção do sistema.

Os resultados da pesquisa mostraram que os horários de análise não apresentaram diferenças significativas quanto ao valor do indicador analisado. Portanto, a realização de análises pode ser feita em um único horário ao longo do dia para cada ponto de coleta escolhido, com frequência diária, no sentido de manter a rede de distribuição de água sob vigilância permanente, quanto à sua potabilidade, desde a saída do reservatório abastecedor (R-9) até as ligações domiciliares.

Foi constatado diante dos resultados das análises que a qualidade da água sofre alterações sazonais, em virtude de fatores climáticos, apontando alterações significativas em variáveis como cloro residual e nitrogênio amoniacal, havendo a necessidade de utilização de medidas corretivas nos setores da rede de distribuição afetados por essas alterações.

Por fim, é importante ressaltar que a melhoria da qualidade da água passa por medidas que vão desde a proteção dos mananciais, passando por ações preventivas e corretivas nos sistemas de abastecimento de água, até as instalações domiciliares. Isto exige um planejamento integrado das atividades de controle,

vigilância e de educação sanitária e ambiental que deve envolver não só os prestadores dos serviços e órgão de vigilância, como também toda a população.

## 8.0 RECOMENDAÇÕES

É recomendável que a empresa responsável pelo serviço de abastecimento de água introduza programas de operação e manutenção em todas as unidades do sistema de abastecimento de água com vistas ao aproveitamento eficiente do desinfetante e conseqüente melhoria da qualidade e redução de risco da água à população.

É recomendável um estudo mais aprofundado com ênfase na vigilância da qualidade da água distribuída na área em que se localiza o ponto P8 (E.E.E.F.M Clementino Procópio), visto que se trata de um trecho crítico em termos de qualidade e risco da água para a população. Após o estudo, o responsável pelo serviço, de acordo com o órgão responsável pela vigilância da qualidade da água, deve verificar a viabilidade da implantação de pontos de desinfecção em trechos críticos da rede e aumentar a freqüência das análises nesses pontos, como forma de garantir o padrão de qualidade da água para consumo humano.

É recomendável a divulgação dos resultantes das ações de controle e vigilância de forma contínua ao público em geral visando ampliação da consciência ambiental da sociedade, promovendo a prática da preservação do manancial abastecedor e do meio ambiente como um todo, protegendo as fontes hídricas contra possíveis fontes poluidoras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1999. 1220p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218** - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BÁGGIO, M.A. **Gerenciamento da operação de sistemas de abastecimento de água: nova filosofia**. Londrina: SANEPAR, 1998. 21p.

BASTOS, R. K. X. Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano – evolução da legislação brasileira. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS, 4, 2003, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003. 1 CD-ROM.

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; BEVILACQUA, P. D.; PÁDUA, V. L.; BRANDÃO, C. S. Legislação sobre controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. A experiência brasileira comparada a panamericana. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29, 2004, San Juan. **Anais...** Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org>>. Acesso em 18 de dez. 2009.

BASTOS, W. Mercúrio. **Revista Enfoque**, São Paulo, n. 49 2007. Disponível em <<http://www.revistaenfoque.com.br>>. Acesso em 25 de jan. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 56**, de 13 de março de 1977. Aprova as normas e o padrão de potabilidade da água a serem observados em todo território nacional. Brasília, 1977.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 36**, de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano em todo o território nacional. Brasília, 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 1.469**, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância

da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 211p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 2ªed. Brasília: Funasa/MS, 2007b. 409p.

BRASIL. Ministério do Planejamento. *Orçamento e Gestão*. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE). **Censos Demográficos**. Brasília: 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> . Acesso: 13 dez. 2009.

CARMO, R.F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. **Engenharia Sanitária Ambiental** [online], Rio de Janeiro, vol. 13, n.4, p.426-434, 2008.

CHAMBERS, C.W. A procedure for evaluating the efficiency of bactericidal agents. **Journal of. Milk Food Technology**, v.19, n.17, p.183-187, 1956.

DANIEL, L. A. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. São Carlos, SP: PROSAB, 2001.

DEGRÉMONT. **Water Treatment Handbook**. New York: John Wiley e Sons, 1979.

GALDINO, F. A. G. **Indicadores sentinelas para a formulação de um plano de amostragem de vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859p.

LIBANIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ª ed. São Paulo: Átomo, 2008. 444p.

LOPES, V. C.; LIBÂNIO, M. Proposição de um índice de qualidade de estações de tratamento de água (IQETA). **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro, v.10, n.4, p.318, 2005.

OPAS - Organización Panamericana de la Salud. **Guias para la Calidad del Agua Potable**. Volumes I, II e III. Genebra: Opas, 1987.

PARSEKIAN, M.P.S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo**. 1998. 194f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, SP, 1998.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água. Tecnologia Atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 332p.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: CETESB. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, 2ªed., São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

SALGADO, S.R.T. **Estudo dos parâmetros de decaimento do cloro residual em sistema de distribuição de água tratada considerando vazamento**. 2008. 161f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, 2008.

SILVA; S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande: O Autor, 2001. 266p.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1995. 850 p.

USEPA – United States. Environmental Protection Agency EPA-815-R-99-014. **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. Washington, 1999. 346p.

VAN BREMEN, J., **Water Quality. International Course in Sanitary Engineering**. Delf: IHE/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. (Mimeo), 1984.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento**. Série Guias Técnicos, Portugal: Universidade do Minho, 2005. 161p.

WALDMAN, E.A. Usos da vigilância e da monitorização em saúde pública. **Informe Epidemiológico do SUS**, ano VII, n. 3, p. 7-26, 1983.

WHO (2004) Guidelines for drinking – water quality, Volume 1: Recommendations. WHO, Geneva (3rd edition).