

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

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

CONFORMIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)
COM O PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA O CONSUMO HUMANO

JOSENETO DE SOUZA

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**

**CONFORMIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)
COM O PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA O CONSUMO HUMANO**

JOSENETO DE SOUZA

**CAMPINA GRANDE – PB
MARÇO – 2010**

626.001/2013
2292

SECRETARIA DE
CAMPINA GRANDE

JOSENETO DE SOUZA

**CONFORMIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)
COM O PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA O CONSUMO HUMANO**

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: Recursos Hídricos

Sub-área: Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadores: Prof. Dr. Rui de Oliveira

Prof^a. Dr^a. Mônica de Amorim Coura

CAMPINA GRANDE – PB
MARÇO – 2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S729c

2010 Souza, Joseneto de.

Conformidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB) com o padrão de aceitação para o consumo humano / Joseneto de Souza. – Campina Grande, 2010.

91 f. : il. col.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Prof^a. Dr^a. Mônica de Amorim Coura.

1. Água - Abastecimento. 2. Água – Consumo Humano. 3. Vigilância da Água. 4. Alumínio na Água. 5. Qualidade da Água. I. Título.

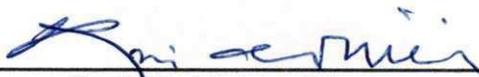
CDU – 626.814(043)

JOSENETO DE SOUZA

CONFORMIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)
COM O PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA CONSUMO HUMANO

Aprovada em: 31/03/2010

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui de Oliveira
(Orientador)



Prof^a. Dr^a. Mônica de Amorim Coura
(Orientadora)



Prof^a. Dr^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira
(Examinadora Interna)



Prof. Dr. Valderi Leite Duarte
(Examinador Externo)

CAMPINA GRANDE – PB
MARÇO – 2010

*Dedico, primeiramente, a Deus por ter sido meu guia e minha
fortaleza.*

*Aos meus pais, Nequinho e Lindalva, por todo amor,
orientação, dedicação, equilíbrio e incentivo.*

*Às minhas amadas irmãs, Zuleide, Lucinete, Ivonete e
Claudineta, pela amizade e estímulo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela minha existência e proteção, dando-me sempre saúde e força para enfrentar as adversidades surgidas em meu caminho.

Aos meus pais, por terem dado todo o suporte e apoio na minha vida, estando sempre do meu lado em todas as minhas decisões, mesmo quando parece ter se esgotado a última dela

Aos meus tios Irineu e Bastinha, pelo apoio, confiança e incentivo para a conclusão de trabalho.

Aos meus irmãos, João Neto, Irineteo, Bruno, Claudinete e Petrônio pelo apoio, incentivo e confiança.

Ao meu irmão de coração Rodrigo Marmo e sua esposa Ana Teresa pela força, confiança que depositarão em me e por acreditar no meu potencial.

À minha irmã Zuleide pelo apoio, confiança e por acreditar na minha vitória.

Ao professor Dr. Rui de Oliveira, pela orientação dispensada, incentivo, amizade e compreensão.

As professoras Dr^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira e Dr^a. Mônica de Amorim Coura, pela dedicação e conselhos dispensados.

Aos meus amigos de pesquisa Emanuel, Thassio, Cayo, Thacyanne, Rafael, Danilo, Juscelino e todos os outros que comporão o grupo de pesquisa, pelo compromisso e apoio na realização das análises, sendo fundamentais para conclusão desse trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande, como entidade de ensino responsável pela minha formação acadêmica.

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

Às funcionárias Cristina, Valmaria e Joseth pela assistência dispensada

Aos colegas de Curso de Mestrado de Engenharia Civil: Riveka, Cristina, Heloisa, Rogério Flávia e Fábio, pela convivência e estudos realizados ao longo do curso.

À amiga Doutora Karina, por sua humildade em transmitir seus conhecimentos e pela amizade.

Aos meus familiares, pelo incentivo e valorização da minha profissão.

Às amigas de Campina Grande, Josy, Petrucia, Polidora, Dira e Joyce, pelas orações e amizade.

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

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

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo verificar o grau de conformidade da qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande (7°13'50" Sul e 35°52'52"Oeste), estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, com o padrão de aceitação para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde 518/2004, com base nos indicadores selecionados, alumínio, cloreto, dureza, ferro, manganês e turbidez. Foram amostrados seis pontos em três diferentes horários do ciclo diário, no período de março a dezembro de 2009, nas zonas de pressão A e B da rede de distribuição de água. A escolha desses pontos estratégicos foi feita seguindo os critérios definidos pela Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano. A aplicação de análise de variância de fator único aos vários conjuntos de dados amostrais de uma mesma variável demonstrou que as variações de comportamento dos indicadores não dependem do horário, mas do ponto de monitoração. Dos indicadores analisados somente alumínio (62,12%) e turbidez (3,42%) apresentaram não conformidade com o supramencionado padrão de aceitação sendo tais não-conformidades atribuídas às alterações da qualidade da água bruta do manancial no período chuvoso e a um esquema operacional da estação de tratamento de água sem flexibilidade para responder a essas mudanças. Assim, numa estação de tratamento que ordinariamente não utiliza agente coagulante durante a estação seca, o início da estação chuvosa trazendo significativo aumento de turbidez à água, provoca como resposta uma dosagem do coagulante, sulfato de alumínio, que, sem o acompanhamento de um controle rigoroso das condições ótimas para o desempenho das operações de clarificação, tende a ultrapassar a sua real demanda e deixar um residual de alumínio que ultrapassa o valor máximo permissível padronizado de 0,2mgAl/L.

Palavras-chave: 1. Água – Abastecimento. 2. Água- Consumo Humano. 3. Vigilância da Água. 4. Alumínio na água. 5. Qualidade da Água

ABSTRACT

This study aimed to verify compliances and non-compliances of the water indicators, aluminum, chloride, hardness, iron, manganese and turbidity with the standard of acceptance for human consumption, according Brazilian Ministry of Health Ordinance 518/2004, of water distributed at pressure zones A and B of water network of Campina Grande (7°13'50" S and 35°52'52"W), Paraíba state, northeast Brazil. Samples from six monitoring points were collected at three distinct times within the daily cycle from March to December 2009. These points were chosen according the criteria established in the National Guidance for the Sampling Plan on Health Surveillance related with water quality for human consumption. The application of one-factor analysis of variance (ANOVA) to the various data sets from monitoring of a same variable demonstrated that variations in the behavior of indicators were dependent on the position of sampling point rather than on time collection. From all indicators analyzed only aluminium (62.12%) and turbidity (3.42%) presented non-compliances with the already mentioned standard for human consumption acceptance, being these non-compliances related with both changes in raw water stored at the reservoir in rainy season and a water treatment plant operation schedule without flexibility to work with those changes. Ordinarily, none coagulation chemical agent is used during dry season, but from the beginning of rainy season aluminium sulphate is dosed in order to face up the significant increase on turbidity in raw water. But, without a rigorous control of factors which promote an optimal clarification, coagulant dosage tend to overlap its real demand and leave a residue of aluminium in the water which is more than the standardized maximum permissible concentration of 0.2mgAl/L.

Keywords: Water - Supply. 2. Água - Human Consumption. 3. Monitoring of Water. 4. Aluminum in Water. 5. Water Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	Aspectos considerados no controle de um sistema de qualidade da água.....	22
Figura 3.2	Número de parâmetros contemplados no padrão de potabilidade estabelecido pelas Portarias brasileiras.....	30
Figura 4.1	Receptor GPS Garmin GPSMAP CSx.....	38
Figura 4.2	Reservatório de distribuição de água R-9.....	41
Figura 4.3	Sistema Adutor Epitácio pessoa, responsável pelo abastecimento de Campina Grande.....	45
Figura 4.4	Espectrofotômetro Coleman 35D.....	47
Figura 4.5	Titulação na determinação do cloreto.....	48
Figura 4.6	Turbidímetro.....	51
Figura 5.1	Percentagens de conformidade e não conformidade do alumínio com o padrão de aceitação para consumo humano nos pontos monitorados.....	56
Figura 5.2	Variação temporal da concentração de alumínio no ponto P4.....	56
Figura 5.3	Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos P5, P6 e P7.....	57
Figura 5.4	Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos P8 e P9.....	58
Figura 5.5	Variação temporal de cloreto no ponto monitoração P4 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB).....	59
Figura 5.6	Variação temporal de cloreto nos pontos monitoração P5, P6 e P7 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB).....	60
Figura 5.7	Variação temporal de cloreto nos pontos monitoração P8 e P9 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB).....	61
Figura 5.8	Variação temporal da dureza nos pontos de monitoração P4, P5 e P6.....	63
Figura 6.9	Variação temporal da dureza nos pontos de monitoração P7, P8 e P9.....	64

Figura 6.10	Variação temporal das concentrações de ferro no ponto de monitoração 5.10.....	65
Figura 6.11	Variação temporal das concentrações de ferro nos pontos de monitoração P5, P6 e P7.....	66
Figura 6.12	Variação temporal das concentrações de ferro nos pontos de monitoração P8 e P9.....	67
Figura 6.13	Variação temporal de manganês nos pontos de monitoração P4 e P5.....	68
Figura 6.14	Variação temporal de manganês nos pontos de monitoração P6, P7 e P8.....	69
Figura 6.15	Variação temporal de manganês no ponto de monitoração P9.....	70
Figura 6.16	Conformidade e não conformidade do indicador turbidez com o padrão de aceitação para consumo humano nos pontos de monitoração	71
Figura 6.17	Variação temporal da turbidez no ponto de monitoração P4.....	71
Figura 6.18	Variação temporal da turbidez nos pontos de monitoração P5, P6 e P7.....	72
Figura 6.19	Variação temporal da turbidez nos pontos de monitoração P8 e P9.....	73
Figura 6.20	Ilustrado graficamente onde ocorre essa diferença, a qual é observada entre os horários da manhã e noite no ponto P8.....	77
Figura 6.21	Demonstra a diferenças significativas dos pontos monitorado com base no método gráfico Hochberg GT-2.....	79
Figura 6.22	Demonstra a diferenças significativas dos pontos monitorado com base no método gráfico Hochberg GT-2.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Etapas e objetivos para estruturação do PSA.....	22
Tabela 3.2	Evolução dos primeiros padrões de potabilidade americanos.....	28
Tabela 3.3	Discriminação da natureza dos parâmetros das portarias nacionais.....	30
Tabela 3.4	Evolução do padrão de aceitação para consumo humano de água nas portarias nacionais.....	31
Tabela 4.1	Localização dos pontos de coletas	39
Tabela 4.2	Dimensões das canalizações da rede de distribuição de água de Campina Grande.....	40
Tabela 4.3	Caracterização dos reservatórios de distribuição de água da Zona de Pressão A.	42
Tabela 4.4	Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão B.	43
Tabela 4.5	Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão C.	43
Tabela 4.6	Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão D	44
Tabela 5.1	Demonstrativo das concentrações médias nos pontos monitorados.....	53
Tabela 5.2	Freqüências das amostras nos pontos monitorados.....	53
Tabela 5.3	Demonstrativo quantitativo das análises nos ponto de monitoração	54
Tabela 5.4	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P4, nos diferentes horários do dia.....	74
Tabela 5.5	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P5, nos diferentes horários do dia.....	75
Tabela 5.6	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P6, nos diferentes horários do dia.....	75

Tabela 5.7	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P7, nos diferentes horários do dia.....	76
Tabela 5.8	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P8, nos diferentes horários do dia.....	76
Tabela 5.9	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P9, nos diferentes horários do dia.....	77
Tabela 5.10	Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados em todos os pontos monitorados.....	78

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
- CGVAM** – Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental
- DWD** – Drinking Water Directive
- ETA** – Estação de Tratamento de Água
- FUNASA** – Fundação Nacional de Saúde
- ISO** – International Standardization Organization
- MS** – Ministério da Saúde
- NBR** – Norma Brasileira
- OMS** – Organização Mundial de Saúde
- OPAS** – Organização Pan-Americana da Saúde
- PSA** – Plano de Segurança da Água
- SES** – Secretaria Estadual de Saúde
- SISAGUA** – Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
- SUS** – Sistema Único de Saúde
- SVS** – Secretaria de Vigilância em Saúde
- UFCG** – Universidade Federal de Campina Grande
- USEPA** – United States Environmental Protection Agency
- VIGIAGUA** – Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano
- VQA** – Vigilância em Qualidade da Água
- WEF** – Water Environmet Federation
- WHO** – World Health Organization

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	16
2.0	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3.0	Revisão de Literatura.....	19
3.1	Sistema de abastecimento de água.....	19
3.2	Realidade brasileira quanto à operação, manutenção e qualidade da água de abastecimento público.....	20
3.3	Plano de segurança da água (PSA).....	21
3.4	Gestão pública em qualidade da água para consumo humano.....	23
3.5	Controle de qualidade da água de abastecimento.....	24
3.6	Vigilância da qualidade da água para consumo humano.....	25
3.7	Plano de amostragem para vigilância da qualidade da água de abastecimento público.....	26
3.8	Padrões de potabilidade da água.....	27
3.8.1	<i>Histórico no Brasil e no Mundo.....</i>	27
3.8.2	<i>Evolução do padrão de potabilidade no Brasil.....</i>	28
3.9	Padrão de Aceitação para consumo humano	30
3.9.1	<i>Principais Indicadores para aceitação da água de consumo humano.....</i>	31
4.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1	local e período de estudo.....	38
4.2	O sistema de abastecimento.....	39
4.3	Metodologia de amostragem.....	46
4.4	Indicadores fisico-químicos analisados.....	46
4.4.1	<i>Alumínio</i>	47
4.4.2	<i>Cloreto.....</i>	47
4.4.3	<i>Dureza.....</i>	48
4.4.4	<i>Ferro.....</i>	49
4.4.5	<i>Manganês.....</i>	50

4.4.6	<i>Turbidez</i>	51
4.5	<i>Procedimentos estatísticos</i>	51
5.0	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
5.1	Indicadores selecionados de qualidade da água relacionados à sua aceitação para consumo humano	55
5.1.1	<i>Alumínio</i>	55
5.1.2	<i>Cloreto</i>	58
5.1.3	<i>Dureza</i>	61
5.1.4	<i>Ferro</i>	65
5.1.5	<i>Manganês</i>	67
5.1.6	<i>Turbidez</i>	70
5.2	Análise de variância	73
6.0	DISCUSSÃO	80
6.1	Comportamento dos indicadores selecionados na água de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)	81
7.0	CONCLUSÕES	85
8.0	RECOMENDAÇÕES	86
	REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	87

1.0 INTRODUÇÃO

A Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde (MS) estabelece cinco conjuntos de padrões que devem ser atendidos pelas águas, não envasadas, destinadas ao consumo humano: padrão microbiológico, padrão de turbidez, padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de radioatividade e padrão de aceitação para consumo humano. Tais padrões de qualidade devem ser observados tanto pelas ações de controle, exercidas pelo operador do sistema de abastecimento, como pelas ações de vigilância, exercidas pela autoridade de saúde.

Há no Brasil uma crescente preocupação com a qualidade da água de abastecimento, especialmente com o aspecto da vigilância, em vista dos riscos à população representados por contaminantes microbiológicos, químicos e radioativos. De acordo com a "Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano" (BRASIL, 2006a), a monitoração da qualidade da água pode ser entendida como atividade de vigilância ou de investigação. Enquanto a monitoração de investigação consiste em buscar informações sobre a qualidade da água, em casos de acidentes ou eventos de surto/epidemia, a monitoração de vigilância consiste em avaliar, continuamente, a qualidade da água consumida pela população, permitindo a identificação de fatores de riscos e a definição de estratégias de melhoria da situação existente, além do acompanhamento dos impactos resultantes das medidas implementadas.

Os padrões de aceitação para consumo humano referem-se à presença de espécies que conferem à água características indesejáveis tais como gosto, odor ou qualquer outra característica que possa vir a suscitar objeção ao seu consumo por ferir, de algum modo, o senso estético do consumidor. Nesse conjunto de padrões são estabelecidos valores máximos permissíveis para alumínio, amônia, cloreto, cor aparente, dureza, etilbenzeno, ferro, manganês, monoclorobenzeno, sódio, sólidos dissolvidos totais, sulfato, sulfeto de hidrogênio, surfactantes, tolueno, turbidez, zinco, xileno, além de ser definido o nível "não objetável" para odor e gosto.

Este projeto de pesquisa, detalhado a seguir, de acordo com um roteiro padrão, é um estudo preliminar sobre conformidade da água do sistema de distribuição da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Região Nordeste do

Brasil, com o padrão de aceitação para consumo humano estabelecido no padrão de potabilidade anexo à Portaria Nº 518/2004 (MS).

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a conformidade de indicadores selecionados (Alumínio, Cloreto, Dureza, Ferro, Manganês e Turbidez) com o padrão de aceitação para consumo humano da zona de pressões A e B da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Descrever o comportamento dos indicadores selecionados em pontos estratégicos do sistema de distribuição de água da cidade de Campina Grande;
- ✓ Estudar a associação entre esses indicadores e as características da zona de pressão investigada;
- ✓ Verificar conformidades e não conformidades dos valores levantados com o padrão de potabilidade.

3.0 Revisão de Literatura

3.1 Sistema de abastecimento de água

Sistema de abastecimento de água para consumo humano é um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinado à produção, distribuição e canalização de água potável para populações sob a responsabilidade do poder público (BRASIL, 2005).

Em geral, os sistemas de abastecimento de água são compostos pelas unidades de captação, tratamento, reservação e distribuição até o ramal predial. Para a implantação do sistema de abastecimento faz-se necessário um estudo e elaboração do projeto com vistas à definição das obras a serem empreendidas. Essas obras deverão ter as suas capacidades determinadas não somente para as necessidades atuais, mas para atendimento futuro da comunidade, prevendo-se a construção por etapas e um plano, que varia normalmente entre 10 e 30 anos, (AZEVEDO NETTO, 1998).

A NBR 12.211/1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1989) fixa as condições exigíveis para o estudo de concepção dos sistemas públicos de abastecimento de água. Essas condições abrangem o estudo de arranjos, sob o ponto de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, que devem ser organizadas de modo a formarem um todo integrado resultado da melhor solução sob os pontos de vista técnico e social.

Um sistema de abastecimento de água deve ser preparado para suprir um conjunto amplo e diferenciado de demandas, tais como população residente, flutuante, temporária, abastecida, abastecível, consumidor singular que é aquele que, ocupa parte de uma área específica que apresenta um consumo específico significativamente maior que o produto da vazão específica da área, pela área por ele ocupada, consumidor espacial e alcance do plano, data prevista para o sistema planejado passar a operar com utilização plena de sua capacidade.

3.2 Realidade brasileira quanto à operação, manutenção e qualidade da água de abastecimento público.

Tem sido imensa a dificuldade das empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água em viabilizar a consecução de metas de redução de perdas e de custos, de melhoria da qualidade do produto final e de aumento de receita. Mas, a principal dificuldade tem residido na falta de gerenciamento no controle dos processos de captação até os de distribuição, sendo esta a única forma de reunir todas as causas que comprometem qualidade e produtividade.

O processo de operação deve ser valorizado de forma estratégica, o que muitas vezes depende da vontade política da alta administração e da implantação sucessiva de várias fases (BÁGGIO, 1998). Para isso, devem ser cuidadosamente concebidas e padronizadas, planejadas e programadas; de forma que o consumidor e o processo de operação venham a contribuir com a melhoria dos serviços oferecidos.

No entanto, as necessidades do consumidor devem ser definidas e as empresas devem se moldar a elas, procurando sempre atendê-las. Porém, precisam ser gerenciadas a partir de um dos seus processos, como por exemplo, o processo de operação.

Para uma melhoria nos conhecimentos dos operadores, várias ações devem ser concentradas no intuito de que levem a sério e eficazmente a rotina a que estão submetidos, pois a qualidade dos produtos e serviços é viabilizada por quem produz.

Dessa forma, faz-se necessário um programa de controle de qualidade da água voltado para todos os aspectos de seu tratamento, o qual contemple a operação e a manutenção, de forma que garanta água em qualidade e quantidade adequadas para a população.

3.3 Plano de Segurança da Água (PSA)

O abastecimento seguro de água para consumo humano é fundamental para uma sociedade saudável e para o seu desenvolvimento econômico. Neste contexto surge o conceito de Plano de Segurança da Água (PSA) como forma de garantir uma melhor qualidade da água para consumo humano.

O Plano de Segurança da Água (PSA), tal como preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2003), é definido como um documento que identifica e prioriza riscos plausíveis que podem ser verificados em um sistema de abastecimento, desde o manancial até o ramal predial. O mesmo estabelece medidas de controle para verificar a eficiência da gestão dos sistemas de abastecimento e a qualidade da água produzida.

O principal objetivo do PSA é garantir a qualidade da água para consumo humano através da utilização de boas práticas no sistema de abastecimento, tais como minimização da contaminação nas origens de água, redução ou remoção da contaminação durante o processo de tratamento, prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e o manuseio da água na distribuição (VIERA; MORAIS, 2005).

Alguns aspectos devem ser considerados para o efetivo controle do sistema de qualidade da água, tais como, monitoração da qualidade da água bruta, monitoração operacional, controle de armazenamento e monitoração da qualidade da água no sistema de distribuição. A Figura 3.1 apresenta os aspectos que devem ser considerados para o controle de um sistema de qualidade da água.

O PSA apresenta uma estrutura organizada de um sistema operacional de gestão da qualidade da água. Neste contexto são identificadas três etapas fundamentais: a avaliação do sistema, a monitoração operacional e os planos de gestão (Ibid.). A Tabela 3.1 apresenta as três principais etapas e os seus objetivos para a estruturação do PSA.

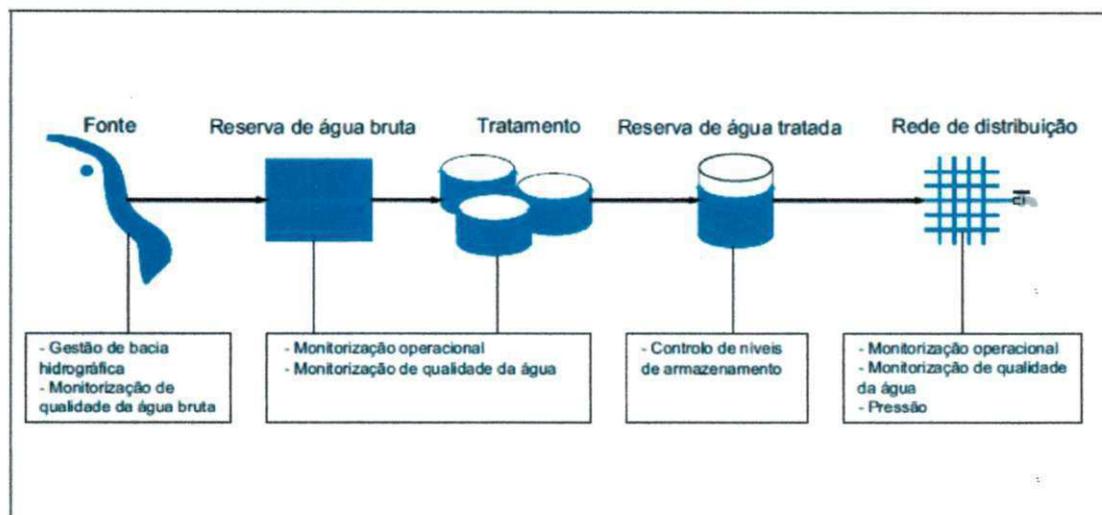


Figura 3.1 – Aspectos considerados no controle de um sistema de qualidade da água.
Fonte: Vieira ; Morais, 2005

Tabela 3.1 – Etapas e objetivos para estruturação do PSA.

ETAPA	OBJETIVO	INFORMAÇÃO
Avaliação do Sistema	Assegurar que o sistema de abastecimento de água, como um todo, forneça água com uma qualidade que garante os objetivos de saúde estabelecidos	Identificação de perigos. Caracterização de riscos Identificação e avaliação de medidas de controle.
Monitoramento Operacional	Garantir o controle dos riscos detectados e assegurar que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água.	Estabelecimento de limites. Estabelecimento de procedimentos de monitoramento. Estabelecimento de ações Corretivas
Plano de Gestão	Assegurar que descrevem as ações a realizar e documentam a avaliação e monitoramento do sistema	Estabelecimento de procedimentos para a gestão de rotina. Estabelecimento de procedimentos para a gestão em condições excepcionais. Estabelecimento de documentação e de protocolos de comunicação.

Fonte: Souza, 2008.

No entanto, para a devida aplicação do PSA, algumas etapas são fundamentais, tais como: definição de uma equipe técnica para elaboração, aplicação e avaliação do PSA, descrição do sistema de abastecimento, identificação dos perigos, caracterização dos riscos, identificação das medidas de controle, monitoramento do sistema operacional.

3.4 Gestão pública em qualidade da água para consumo humano

A gestão pública em qualidade da água para consumo humano está interligada com a vigilância em saúde ambiental, e é organizada de forma a contemplar os princípios de descentralização político-administrativa, com direção única em cada esfera de governo, conforme estabelecido na Lei nº 8.080/1990. A atuação da vigilância em saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano contempla desde o manancial até o ramal predial, aplicando-se, assim, o princípio da integralidade.

De acordo com Brasil (2005), as ações de vigilância em saúde ambiental relacionadas à qualidade da água para consumo humano devem estar articuladas com as políticas e os programas no contexto da vigilância em saúde, por meio de mecanismos que possibilitem o trabalho conjunto entre as vigilâncias epidemiológicas e sanitárias. Devem estar articuladas com as políticas e ações dos órgãos ambientais, de saneamento e gestores de recursos hídricos, visando a proteção desde o manancial até o ramal predial.

A busca da melhoria dos serviços de abastecimento de água deve ser garantida pela integração dos setores de Saúde, meio ambiente e saneamento, a partir da priorização da alocação de recursos e orientação programática, com base nos indicadores epidemiológicos e ambientais resultantes do exercício da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano.

O acesso à água potável deve ser garantido, aplicando-se os princípios da universalidade, igualdade e equidade. O princípio da universalidade é entendido como o direito da população à água, o da igualdade refere-se à quantidade e padrão adequado de qualidade e o da equidade está relacionado ao estabelecimento de mecanismos e definição de critérios para priorização de acesso à água para consumo humano para as populações mais necessitadas (Ibid.).

3.5 Controle de qualidade da água de abastecimento

O controle de qualidade da água de abastecimento está relacionado ao monitoramento das características físicas, químicas e biológicas da água e está associado a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e em toda sua bacia de drenagem (BRASIL, 2006b). Na questão da qualidade da água é fundamental ter em mente que o meio líquido apresenta duas características marcantes, que condicionam, de maneira absoluta, a conformação desta qualidade:

- Capacidade de dissolução;
- Capacidade de transporte.

Constata-se que a água, além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio na proporção de dois para um, também pode dissolver uma ampla variedade de substâncias, as quais conferem as suas características peculiares. Além disso, as substâncias, dissolvidas e as partículas presentes no seio da massa líquida são transportadas pelos cursos d'água, mudando continuamente de posição e estabelecendo um caráter fortemente dinâmico para a questão da qualidade da água.

A qualidade da água é um aspecto que assegura determinado uso ou conjunto de usos, sendo representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Estas características, se mantidas dentro de certos limites (critérios ou padrões), viabilizam determinado uso.

Os padrões podem mudar ao longo do tempo, dependendo dos objetivos, da tecnologia e das condições econômicas da sociedade em cada estágio de seu desenvolvimento.

Caso a qualidade da água não apresente as condições especificadas, medidas de controle da poluição devem ser adotadas. O enfoque dado na legislação brasileira de controle da qualidade da água baseia-se em usos da água e correspondente limite aceitável de poluição. Como esses limites foram estabelecidos normalmente em países de condições ambientais diversas do nosso, podem ocorrer avaliações equivocadas, em certos casos.

3.6 Vigilância da qualidade da água para consumo humano

A vigilância da qualidade da água para consumo humano é o conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende ao Padrão de Potabilidade Portaria Nº 518/2004, e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana, (BRASIL, 2004).

Segundo Brasil (2005), a vigilância da qualidade da água procura compreender o processo saúde-doença envolvendo a transmissão e/ou origem hídrica, qualifica-se numa complexidade tal que ultrapassa a visão reducionista limitada ao agente etiológico e o susceptível. O olhar epidemiológico busca entender o comportamento das doenças de veiculação e / ou origem hídrica em uma comunidade e encontra inúmeros fatores intervenientes do processo saúde-doença envolvendo hábitos higiênicos, acondicionamento inadequado de água, não conformidade com o padrão de potabilidade.

Segundo o Art. 17 na Portaria Nº 518/2004 (BRASIL, 2004), as metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicas, microbiológicos e radiológicos devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinam a matéria ou à falta destas, da edição mais recente da publicação Standard Methods for the Examination of water (APHA, AWWA WPCF 1999), ou das normas publicadas pela International Standardization Organization (ISO).

Parágrafo único. As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não que, em qualquer caso, devem manter programa de controle de qualidade interna ou eterna ou ainda ser acredita por programas de gestão e garantia da qualidade pelo Inmetro.

3.7 Plano de amostragem para vigilância da qualidade da água de abastecimento público

O plano de amostragem para a vigilância da qualidade da água de abastecimento público é definido com o objetivo de assegurar a representatividade e validade das amostras coletadas e analisadas em laboratórios (HELLER; PÁDUA, 2006). Para serem representativas, as amostras precisam ser analisadas em triplicatas, as mais exatas possíveis, do ambiente físico, químico e biológico de onde forem coletadas, a fim de assegurar a representatividade e a validade, e devem ser coletadas, transportadas e preservadas corretamente, antes de serem encaminhadas ao laboratório.

O programa de amostragem define direta e indiretamente os locais mais adequados para a coleta, segundo a informação que se quer obter. Quando se faz coleta em sistema de abastecimento de água tratada, o critério de abrangência espacial consiste em considerar a importância de ter amostras em pontos estratégicos e outros que sejam próximos a locais onde há grande circulação de pessoas, tais como terminais rodoviários, edifícios que abrigam grupos populacionais de risco (hospitais, creches, escolas, etc.), possivelmente associados à agentes de veiculação hídrica e trechos mais vulneráveis do sistema de distribuição, tais como pontos de queda de pressão, locais sujeitos à intermitência de abastecimento, pontas de rede, reservatórios e locais afetados por manobras realizadas na rede (Ibid.).

A frequência das coletas tem como objetivo obter as informações necessárias, com o menor número possível de amostras, levando-se em conta o aspecto custo-benefício. A coleta de amostras pontuais, não distribuídas de modo a contemplar as variações sazonais da qualidade da água, produz informações incompletas e conduz a erros. Para eliminar esses erros, devem-se ter os dados relativos a um ciclo hidrológico, abrangendo todos os indicadores que apresentam variações sazonais significativas e que sejam relevantes à tomada de decisão (Ibid.).

3.8 Padrões de potabilidade da água

3.8.1 Histórico no Brasil e no Mundo

O padrão de potabilidade da água surgiu com a necessidade de contribuir para a diminuição das doenças de veiculação hídrica. Segundo Libânio (2008), na Grécia antiga 460 anos a.C., Hipócrates já fazia menção à importância da escolha do manancial que abastecia a população. Em 1799 surgiu o primeiro sistema de abastecimento de água na América do Norte, na cidade de Philadelphia (EUA), e já no início do Século XX (1900) haviam sido implantados mais de 3000 sistemas de abastecimento, nas cidades americanas, que contribuíram para inúmeros surtos de doenças de transmissão hídrica. Com esses surtos de doença de veiculação hídrica começou a preocupação com o padrão de potabilidade, nos EUA, o qual teve início somente em 1914, referenciado somente à contaminação bacteriológica.

Em 1925, a revisão do padrão de potabilidade vigente, foi baseada nos bons resultados alcançados na redução dos surtos das doenças de veiculação hídrica, por meio do tratamento das águas de abastecimento, principalmente com o advento da cloração. Foram implantadas recomendações acerca da definição e proteção dos mananciais de abastecimento público contra os efeitos da poluição, embora ainda sem especificar a prioridade de especificar o número de amostras, que poderiam conter *Bacterium coli*, (*B. coli*) bem como os aspectos estéticos. É bom enfatizar que os limites referentes a cor aparente (10 uC) e a ferro (0,3 mg/L) até hoje ainda estão em vigor (Ibid.).

Sucessivas revisões ocorreram entre os anos 1914 e 1962 nas quais foram inseridos pontos e números de amostragens para análises bacteriológicas, além da inclusão de vários parâmetros relacionados à necessidade de operação e manutenção de profissional qualificado. A Tabela 3.2 apresenta a evolução desses parâmetros.

Tabela 3.2. Evolução dos primeiros padrões de potabilidade americanos.

Parâmetros	1914	1925	1942	1946	1962
Turbidez (UT)	-	-	-	10	5***
Cor aparente (uC)	-	20 (preferencialmente ¹⁰)	-	20	15
Arsênio (mg/L)	-	-	-	-	0,001
Cloreto (mg/L)	-	250	250	250	250
Cobre (mg/L)	-	-	3,0	3,0	1,0
Fenóis (mg/L)	-	-	0,001	0,001	0,001
Ferro (mg/L)	-	0,3	*	*	0,3
Fluoreto	-	-	-	-	0,8 à 1,7****
Manganês (mg/L)	-	-	*	*	0,05
Nitrato (mg/L)	-	-	-	-	45**
Coliforme	NMP≤2,2 Org/100mL	NMP≤1,0 Org/100mL	Idem 1925	Idem 1925	Idem 1925
Nº mínimo de amostras	Não especificado	Idem 1914	Nº mensal dependendo da população abastecida	Idem 1942	Idem 1942 com maior nº mensal

Nota: * A concentração de ferro e manganês inferior a 0,3 mg/L.

** Para concentração maior, o consumidor deverá ser orientado a não utilizar água para alimentação de bebês.

*** Monitoramento mínimo semanal.

**** Variável em função da temperatura.

Fonte: LIBÂNIO (2008)

O órgão de regulamentação da qualidade da água nos EUA é a United States Environmental Protection Agency (USEPA), que já em 1974 recomendava o padrão de turbidez máxima de 1,0 UT, que só veio a ser recomendado no Brasil, mais tarde, com a elaboração do primeiro padrão de potabilidade brasileiro no ano de 1977, antes disso o padrão de potabilidade era o recomendado pelo Serviço Norte-Americano de Saúde Pública.

3.8.2 Evolução do padrão de potabilidade no Brasil

No Brasil, o padrão de potabilidade vigente, Portaria Nº 518/2004, é constituída por: a) padrão microbiológico; b) padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção; c) padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde; d) padrão de radioatividade; e) padrão de aceitação para consumo humano.

A normatização da qualidade da água para consumo humano foi inicialmente estabelecida com o advento do Decreto nº. 79.367/1977 atribuindo competência ao Ministério da Saúde (MS), para elaborar normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano a serem adotados em todo o território nacional. O exercício da fiscalização, controle do cumprimento das normas e padrão estabelecido era competência das Secretarias Estaduais de Saúde (SES). A partir do Decreto supracitado surgiu o primeiro padrão de potabilidade brasileiro através da Portaria Nº. 56 de 14 de março de 1977 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1977), definindo os limites máximos para as diversas características químicas, físicas e biológicas referentes à qualidade da água para consumo humano.

O levantamento do MS em 1986, sobre as atividades exercidas pelas SES, constatou que, com exceção do Paraná, os demais estados não desenvolviam as atividades de Vigilância da Qualidade da Água (VQA) ou não as exerciam de forma sistemática. O MS criou, então, o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano, com a meta de efetuar a revisão da legislação federal, capacitar tecnicamente os profissionais das SES e definir estratégias para garantir o bom desempenho laboratorial quanto ao padrão físico-químico e bacteriológico da água.

A Portaria Nº. 56/1977 foi revogada pela Portaria Nº. 36 de 19 de janeiro de 1990 (BRASIL, 1990) e, uma década depois, após um amplo processo de revisão da Portaria Nº 36, integrando diversos segmentos relacionados ao tema, foi publicada a Portaria Nº 1.469 em dezembro de 2000 (BRASIL, 2001), mas com implementação efetiva em janeiro de 2003. Em junho do mesmo ano, foi instituída a Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) do Ministério da Saúde que assumiu as atribuições do Centro de Epidemiologia (Cenepi), até então localizado na estrutura da Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Em virtude desse ordenamento na estrutura do Ministério da Saúde, a Portaria Nº 1.469 foi revogada, passando a vigorar a Portaria Nº 518 de março de 2004 (BRASIL, 2004), as alterações processadas foram apenas, relacionadas à transferência de competência da Funasa para a SVA e à prorrogação no prazo, para que as instituições ou os órgãos aos quais a Portaria se aplica promovessem as adequações necessárias ao seu cumprimento em alguns quesitos.

A Portaria Nº 518/2004, atualmente em vigor, estabelece os procedimentos e responsabilidades ao controle e vigilância da qualidade da água

para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, além de dar outras providências. A Figura 3.2, apresenta a evolução dos padrões brasileiros com relação ao número de parâmetros contemplados e a Tabela 3.3 apresenta a discriminação do tipo dos parâmetros integrantes desses padrões.

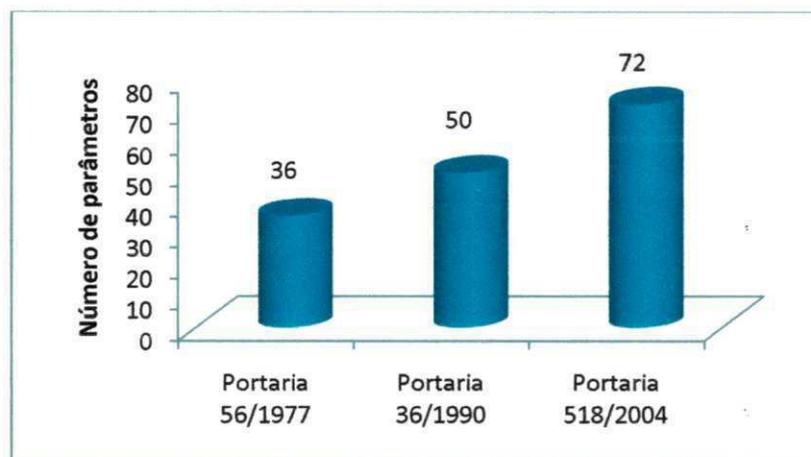


Figura 3.2 – Número de parâmetros contemplados no padrão de potabilidade estabelecido pelas Portarias brasileiras.

Fonte: Portarias n°56/1977, n°36/1990 e n° 518/2004 (MS)

Tabela 3.3 – Discriminação da natureza dos parâmetros das portarias nacionais.

Tipo de Parâmetro	Número de parâmetros		
	Portaria 56/1977	Portaria 36/1990	Portaria 518/2004
Inorgânicos	10	11	13
Orgânicos	0	7	13
Agrotóxicos	12	13	22
Subprodutos	0	2	6
Aceitação	14	17	18

Fonte: Portarias n°56/1977, n°36/1990 e n° 518/2004 (MS)

3.9 Padrão de Aceitação para consumo humano

O padrão de aceitação para o consumo humano é estabelecido com base em critérios de ordem estética e organoléptica (gosto e odor) e visa evitar rejeição da água ao consumo e busca de outras fontes, eventualmente menos seguras do ponto de vista sanitário (HELLER; PÁDUA, 2006). Algumas substâncias apresentam risco à saúde, porém o limiar de percepção de gosto e odor ocorre em

concentrações inferiores ao critério estabelecido pela Portaria Nº 518/2004. Portanto, fazem parte do padrão de aceitação para consumo e a Tabela 3.4 apresenta a evolução desses padrões.

Tabela 3.4 – Evolução do padrão de aceitação para consumo humano de água nas portarias nacionais

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR MÁXIMO PERMISSIVEL		
		Portaria Nº 56/1977	Portaria Nº 36/1990	Portaria Nº 514/2004
Alumínio	mg/L	0,1	0,2	0,2
Amônia(NH ₃)	mg/L	*	*	1,5
Cloreto	mg/L	250	250	250
Cor aparente	uH ⁽¹⁾	20	5 ⁽⁴⁾	15
Dureza	mg/L	*	500	500
Etilbenzeno	mg/L	*	*	0,2
Ferro	mg/L	1	0,3	0,3
Manganês	mg/L	0,5	0,1	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	*	*	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽²⁾	Não objetável ⁽²⁾	Não objetável ⁽²⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽²⁾	Não objetável ⁽²⁾	Não objetável ⁽²⁾
Sódio	mg/L		*	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000	1.000	1.000
Sulfato	mg/L	250	400	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	*	*	0,05
Surfactantes	mg/L	*	*	0,5
Tolueno	mg/L	*	0,17	0,17
Turbidez	UT ⁽³⁾	5	5	5
Zinco	mg/L	5	5	5
Xileno	mg/L	*	*	0,3

Nota: (1) Unidade Hazen (mg Pt-C₆L), (2) Critério de referência. (3) Unidade de turbidez. (4) Valor recomendado para o efluente da estação podendo atingir 15uC na rede de distribuição.(*) parâmetros ainda não existentes.

Fonte: Portarias nº56/1977, nº36/1990 e nº 518/2004 (MS).

3.9.1 Principais Indicadores para aceitação da água de consumo humano

Alumínio

O alumínio está presente em todos os gêneros alimentícios e na águas naturais, etc. É introduzido nas águas naturais através dos ciclos biogeoquímicos, do intemperismo das rochas e pelas atividades humanas. Na água de abastecimento,

seu aumento da concentração aparece como resultado de seu uso na coagulação, operação unitária do processo de clarificação da água.

Na água o alumínio é complexado e sofre influência de pH, temperatura, fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. Por isso deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose (FIGUEIREDO, 2004).

O metabolismo do alumínio no organismo humano, ainda não é bem conhecido, mas existem trabalhos que sugerem sua associação com a doença de Alzheimer, mas, até o momento, os efeitos tóxicos do alumínio não são comprovados cientificamente.

Em 1994, durante a 4ª Conferência Internacional sobre a doença de Alzheimer, foram apresentados 655 trabalhos, mas apenas 13 mencionaram o alumínio como potencial agente etiológico. Alguns fatores ratificam essas condições, entre eles destacam-se, a elevação da concentração do alumínio no cérebro estaria associado a um processo natural de envelhecimento ou a uma consequência da própria doença. Apesar das diversas teorias existentes sobre as causas da doença de Alzheimer, os fatores genéticos parecem firmar, cada vez mais, a sua importância determinante para a doença, ou seja, a hipótese do alumínio ainda não é comprovada cientificamente como causa predominante da doença de Alzheimer.

Moore et al. (2000) relaciona alumínio presente na água de abastecimento como um fato agravante para a aceleração da ocorrência da doença de Alzheimer. Mas já Wisniewski (2000) correlaciona o mal de Alzheimer, na verdade uma síndrome e não uma entidade patológica, com várias causas diferentes. Adicionalmente, não há qualquer evidência que implique o alumínio na progressão dessa doença, seja como causa direta ou agravante da patogênese dessa doença, o que é confirmado pelos relatórios da OMS publicados em 1998 que, também concluíram não haver risco significativo do alumínio para as populações humanas.

Para Flaten (2001), no entanto, não há dúvida que alumínio seja uma potente neurotoxina, tanto em animais como em seres humanos, existindo, para ele, considerável evidência de que o alumínio pode desempenhar um papel na etiologia ou patogênese do Mal de Alzheimer, mas a ligação ainda é causal. As evidências disponíveis atualmente sugerem a manutenção de valores máximos permissíveis de

alumínio referentes apenas ao padrão de aceitação para consumo (aspectos estéticos): Portaria Nº518/2004 concentrações maiores de 0,2mg/L, valores esses que podem provocar depósitos de flocos de hidróxido de alumínio em sistemas de distribuição e acentuar a coloração da água (HELLER; PÁDUA, 2006)

Segundo Flaten (2001), existem duas fontes principais do alumínio na água potável: Primeiro, o alumínio dissolvido está presente naturalmente na água, como resultado da lixiviação de minerais no solo e rocha na bacia de captação da água. Em valores de pH neutro as concentrações de alumínio dissolvido geralmente são muito inferiores a 0,1mg/L. No entanto, essa lixiviação pode ser bastante reforçada, pela precipitação ácida, como é a situação em grande parte da Noruega e em muitas outras áreas do mundo. Segundo, o alumínio é amplamente utilizado no tratamento da água como coagulante usado para reduzir o número de partículas pequenas e melhorar a cor da água. O principal mecanismo é que os íons de alumínio, com uma alta carga elétrica positiva, ligam-se às partículas carregadas negativamente, com substâncias húmicas e cor que forma "pontes" entre eles. Assim, as partículas são formadas, tornando-se suficientemente grandes para serem removidas por sedimentação e/ou filtração e a maioria do alumínio que é adicionado é removida em conjunto com as partículas e substâncias húmicas. Isso resulta muitas vezes no aumento das concentrações de alumínio na água, mas, se o processo de tratamento estiver funcionando corretamente, a adição de alumínio pode realmente resultar em valores mais baixos na água tratada.

Cloreto

Concentrações do íon cloreto (Cl⁻) fazem-se presentes na maioria das águas naturais superficiais e subterrâneas. Sua origem pode advir da dissolução de sais, da intrusão de águas salinas e do lançamento de efluentes doméstico e industriais. O aumento progressivo da concentração de cloretos é relativamente comum em açudes da região Nordeste do País, devido à significativa evaporação e da curta duração da estação chuvosa (LIBÂNIO, 2008). Apesar de não apresentar significado sanitário, maiores concentrações de cloretos conferem sabor à água de consumo humano e maior índice de rejeição por parte da população abastecida. O padrão de potabilidade brasileiro estabelece a mesma concentração máxima permissível do americano e canadense de 250mg/L (Ibid).

O íon cloreto não participa de maneira significativa dos processos geoquímicos e biológicos que ocorrem nos meios naturais, de modo que ele pode ser considerado um elemento conservativo de grande utilidade para caracterizar a origem de uma massa d'água e seu percurso da evaporação (ou precipitação), entre outros (HELLER; PÁDUA, 2006). Um excesso de cloretos é usualmente um sinal de perigo, pois, por ser um elemento conservativo, o íon cloreto é encontrado em esgoto doméstico com elevadas concentrações (BABBITT, 1967). Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de gosto e teores elevados podem interferir na coagulação durante o tratamento da água. Os cloretos que alteram o gosto da água são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio.

Concentrações muito elevadas de cloretos podem ser prejudiciais a pessoas portadoras de doença cardíaca ou renal, embora a concentração de sais na alimentação seja mais significativa que os cloretos encontrados em águas de abastecimento. No tratamento convencional os íons cloretos não são removidos, e sim só através de tratamentos especiais, tais como osmose reversa, troca iônica e eletrodiálise.

Os cloretos presentes nas águas naturais podem ser provenientes de depósitos de minerais, aerossóis oceânicos levados pelo vento, poluição por material fecal, despejos indústrias, etc.

Os cloretos podem ser encontrados em águas superficiais e subterrâneas. Sob o aspecto sanitário, um aumento súbito de seu teor na água de um rio ou lago, pode ser incluído de poluição por esgotos, ou seja, a determinação do teor de cloreto em uma água permite que sejam obtidas informações sobre o seu grau de mineralização ou índices de poluição.

Dureza

A dureza da água é a propriedade agregada decorrente da presença de metais alcalino-terrosos dissolvidos de solos e rochas ou provenientes da poluição direta de resíduos industriais. O cálcio e o magnésio são os principais alcalino-terrosos nas águas naturais.

A dureza é geralmente caracterizada pela soma de cátions polivalentes presentes na água e expressa em termos de uma quantidade equivalente de CaCO_3 . Os principais íons que conferem dureza à água são principalmente cálcio (Ca^{2+}) e

magnésio (Mg^{2+}), quase sempre associados ao íon sulfato, e, em menor grau, ao íon ferroso (Fe^{2+} -associado ao nitrato), ao manganês (Mn^{2+} - associado ao nitrato), ao estrôncio (Sr^{2+} - associado ao cloreto), alumínio e zinco. A dureza é caracterizada pela extinção da espuma formada pelo sabão (índice visível de uma reação mais complexa), o que dificulta o banho e a lavagem de utensílios domésticos e roupas, criando problemas higiênicos (HELLER; PADUA, 2006).

Na água tratada é limitada a 500mg/L de $CaCO_3$ (dureza total), segundo a Portaria N° 518/2004, porém, está associada a incrustações em sistemas de ar quente, podendo causar problemas sérios em aquecedores em geral. Na maioria dos casos, a dureza é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, que se transforma em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação de pH (denominada de dureza temporária). A dureza devida a cátions associados a outros ânions é denominada dureza permanente. Nas estações de abrandamento (redução da dureza), podem ser empregadas resinas específicas para troca de cátions ou elevação do pH para causar a precipitação, principalmente de sais ou hidróxidos de cálcio e magnésio.

Existem estudos epidemiológicos mostrando uma relação inversa, estatisticamente significativa, entre a dureza na água e as doenças cardiovasculares, porém os dados disponíveis são insuficientes para permitir uma conclusão de que a associação é causal. Há algumas indicações de que águas com teores de dureza muito baixa podem ter um efeito adverso sobre o balanço mineral do organismo (WHO, 1996).

Ferro

Por ser um dos elementos mais abundantes, o ferro é comumente encontrado nas águas naturais, superficiais e subterrâneas, apresentando-se nas formas insolúvel (Fe^{3+}) e dissolvida (Fe^{2+}). A segunda forma é freqüente em águas subterrâneas de poços artesianos, no fundo de lagos e reservatórios de acumulação onde se verificam baixas concentrações de oxigênio dissolvido (LIBÂNIO, 2008).

A eventual oxidação do ferro na rede de distribuição para a forma insolúvel pode conferir cor marrom ou avermelhada à água de consumo e ensejar a rejeição pela população abastecida. Em águas subterrâneas, o ferro constitui nutriente para algumas espécies de bactérias, principalmente do gênero *Crenotrix* e *Gallionella*, denominadas

ferrobactérias, que podem crescer no interior das redes de distribuição, também conferindo cor, odor e sabor à água, além da possibilidade de incrustação da mesma.

O ferro não apresenta inconveniente sanitário, mas de caráter econômico, pode produzir manchas em roupas e aparelhos sanitários em concentrações a 0,3mg/L e em maiores concentrações, confere sabor à água de consumo humano. A Portaria Nº 518/2004 estabelece um valor máximo de ferro total 0,3mg/L, idêntico ao valor adotado pelo padrão americano e canadense (Ibid.). A sua remoção pode ser realizada por aeração para favorecer a oxidação à forma insolúvel, coagulação ou pré-desinfecção com composto a base de cloro.

Manganês

O manganês apresenta comportamento físico-químico semelhante ao do ferro, aparecendo, na maioria das vezes, conjuntamente.

O manganês está presente em águas subterrâneas geralmente sob a forma de íon bivalente, Mn^{2+} , aparecendo nas águas superficiais na forma trivalente e tetravalente com relativa estabilidade. Também aparece em efluentes domésticos e industriais, e em águas de sistema de resfriamento.

O manganês, geralmente, apresenta-se na forma de óxidos, carbonatos ou hidróxidos poucos solúveis e suas concentrações em águas superficiais raramente excedem 1,0mg/L. Apresenta os mesmos inconvenientes que o ferro em superfícies de troca de calor (formação de depósitos) e em processos de tingimento de tecidos (ocorrência de manchas).

A Portaria Nº 518/2004, estabelece o valor máximo de manganês de 0,05mg/L. De uma forma geral, o manganês pode ser removido da água através dos seguintes processos de tratamento: precipitação química, ajuste do pH, aeração, oxidação química, desmineralização e evaporação da água.

Turbidez

A turbidez representa a redução da transparência da água devido à presença de material em suspensão, tal como matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, fitoplâncton e outros organismos microscópicos. Na água bruta tem grande importância, na medida em que é um dos principais indicadores para a

seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento. Na água filtrada, a turbidez assume a função de indicador sanitário e não meramente estético; sendo também um indicador de controle da eficiência da desinfecção, no entendimento de que partículas em suspensão podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante em água precedida ou não de filtração após a pré-desinfecção. Sendo assim, o padrão de turbidez da água pré-desinfecção ou pós-filtração é um componente do padrão microbiológico de potabilidade da água, pois valores baixos de turbidez, ao mesmo tempo, indicam eficiência da filtração na remoção de microrganismos e garantia de eficiência da desinfecção.

No Brasil, o padrão de potabilidade estabelece que a turbidez deve atingir, no máximo, o valor de 1 unidade de turbidez (UT) na saída da Estação de Tratamento de Água (ETA) e 5UT no ponto mais desfavorável da rede de distribuição.

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local e período de estudo

A pesquisa contempla o estudo do sistema de abastecimento de água do município de Campina Grande, situado no estado da Paraíba a 552 m acima do nível do mar ($7^{\circ}13'50''$ Sul e $35^{\circ}52'52''$ Oeste). O sistema de distribuição de água cidade de Campina Grande (PB) é definido por quatro zonas de pressão, denominadas A, B, C e D. A coleta de dados ocorreu no período de março a dezembro de 2009, nas zonas de pressões (A, B e C) tendo sido analisados os parâmetros físico-químicos.

O critério para a definição dos pontos de coletas das amostras foi inicialmente realizado um estudo na área para a definição dos mesmos, onde foram obtidas as informações sobre áreas de risco (áreas vulneráveis e que abasteciam maior número de pessoas). Com base nesse critério, foram escolhidos seis (6) pontos considerados como áreas de risco, visto que todos abastecem grande número de pessoas. As coordenadas de todos os pontos foram determinadas com um receptor GPS de Marca Garmin, Modelo GPSMAP 76 CSx (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Receptor GPS Garmin GPSMAP CSx

A localização dos pontos de coletas das amostras e suas respectivas coordenadas geográficas são discriminadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Localização dos pontos de coletas e suas respectivas coordenadas geográficas

PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE (m)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
P4 – Escola Municipal Ana Azevedo	Av. Das Nações s/n. Bairro Das Nações.	565	7°11'45.2" Sul e 35°52'47.1" Oeste
P5 – Vila Olímpica Plínio Lemos	R. Josino Agra s/n. Bairro José Pinheiro.	514	7°13'14.7" Sul e 35°52'14.3" Oeste
P6 – 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
P7 – E.E.E.F.M Monte Carmelo	Av. Prof. Carlos Fco de Almeida s/n Bairro Bela Vista	584	7°13'18.4" Sul e 35°54'12.5" Oeste
P8 – 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
P9 – 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

4.2 O sistema de abastecimento

O Sistema de abastecimento de água, do Município de Campina Grande (PB) tem a capacidade de potabilizar 1.500L/s e atende a uma população de mais de 400.000 habitantes e fornece a água potabilizada a Estação de Tratamento de água é, situada no distrito de Gravatá e uma distância um pouco mais 20km da cidade Campina Grande.

Sistema de abastecimento público é responsável pelos processos de captação, tratamento, distribuição, monitoramento da qualidade da água e administração. Além de abastecer o centro urbano da cidade de Campina Grande e seus distritos (São José da Mata e Galante), o sistema adutor do açude Epitácio Pessoa serve ainda a outras localidades; algumas vezes, com derivações diretas das adutoras (Barra de Santana, Curralinho, Caturité, Queimadas); outras vezes com derivações da própria rede de distribuição de Campina Grande, (Lagoa Seca, Matinhas); e ainda, integrado em menor porte ao sistema de Alagoa Nova.

O abastecimento de água da cidade de Campina Grande é feito através de uma rede de distribuição de 1.216km de extensão composta por 114.604 ligações domiciliares, e atende 99,51% da população urbana. Já o percentual de medição

com e sem hidrômetros é 87,49% e 12,02%, respectivamente (CAGEPA, 2009). A Tabela 4.2 discrimina a rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande, PB.

Tabela 4.2 – Discrimina a rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande, PB.

Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Diâmetro (mm)	Extensão (m)
20	9.354,31	200	40.458,00
25	10.169,00	250	46.388,00
32	20.836,00	300	18.418,69
40	1.730,00	350	18.585,00
50	244.716,08	400	9.692,74
60	521.262,45	450	1.624,61
75	54.097,75	500	16.480,74
85	10.586,77	550	2.003,99
100	80.704,00	600	3.592,91
110	1.047,07	700	7.719,24
125	5.537,56	800	7.016,49
140	4.226,24	900	83,23
150	76.149,58	1.000	70,26
160	3.345,17		
		TOTAL DA REDE	1.215.895,88

Fonte: GALDINO, 2009

Considerações: 1) Dados de outubro de 2006, com exceção das redes dos Conjuntos Glória I e II e do Distrito de Catolé de Boa Vista que são mais recentes.

2) Os dados do Distrito de Galante não foram informados.

A rede de distribuição de água do município de Campina Grande, devido aos condicionantes do relevo da cidade, foi subdividida em quatro zonas de pressão para que possam atender toda população, e foram denominadas zonas A, B, C e D, para que as pressões na rede atendessem aos limites de valores, estático máximo de 50m.c.a. e dinâmico de 10m.c.a., estabelecidos pela NBR 12.118 (ABNT, 1994). A longa distância entre a Estação de Tratamento e a cidade, na qual a água é tratada, a grande extensão da rede de distribuição, seu estado de conservação e o grande número de reservatórios (30), são fatores que contribuem para a deterioração da qualidade da água distribuída em Campina Grande, principalmente quando são considerados os pontos mais distantes e as extremidades da rede, sendo que desses 30 reservatórios três estão desativados, o R8, R16 e o R2. Após a captação do açude Epitácio Pessoa, a água bombeada por duas linhas adutoras de 900 e 800mm para Estação de Tratamento no distrito de Gravatá PB, a água tratada é bombeada por meio de três linhas adutoras de 500, 700 e 800mm. As

adutoras de (800 e 500mm) aduzem para o reservatório semi-enterrado R9, (Figura 4.2) principal reserva de água do sistema localizado na Rua Ana Almeida de Castro, S/N no Bairro de Santa Rosa, com capacidade de acumulação de 29 000m³, que corresponde a cerca de um terço do volume de água potabilizada diariamente pela ETA. A adutora de 700mm aduz água diretamente para o reservatório R5. A partir desses reservatórios saem canalizações que abastecem outros 26 reservatórios espalhados por toda a área da cidade, de forma esquemática, a Figura 4.3 apresenta esquematicamente o sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande e outras localidades citadas anteriormente. Desse modo, torna-se necessários um controle exercido pela empresa operadora do sistema, o estabelecimento de um plano de vigilância da qualidade da água o qual deverá compreender a monitoração de indicadores diversos com vistas à verificação de sua conformidade com os padrões estabelecidos na legislação.

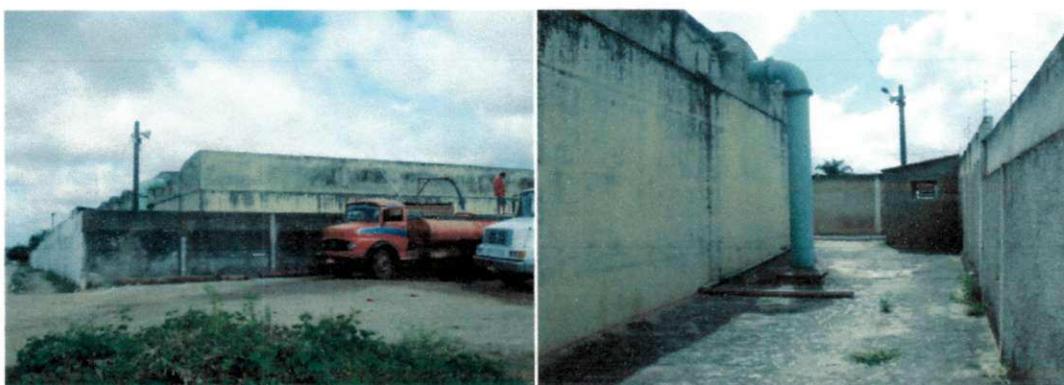


Figura 4.2 - Reservatório de distribuição de água R-9.

Zona de Pressão “A”

A distribuição de água na Zona de Pressão A se faz por gravidade através do reservatório R9 para os demais reservatórios: R-6, R-6T, R-8, R-9, R-15, R-16, R-17, R-18 e R-19. Os reservatórios R-8 e R-16 encontram desativados, e as caracterizações dos reservatórios da Zona de Pressão A, estão descritos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão A.

RESERVATÓRIO	TIPO	CAP. (m ³)	Cotas N.A (m)		DIMENS. (m)	ZONA PRESSÃO
			Max.	Mín.		
R-6 – Av Assis Chateaubriand, SN	Semi-enterrado	2.000	501,45	498,45	30 x 18	A
R-6T – Av. Assis Chateaubriand, SN Distrito Industrial	Elevado	400	530,50	524,70	D = 10	A
R-9 – R. Ana Almeida de Castro, SN Sta Rosa	Apoiado	29.000	554,00	548,50	84 x 91	A e D
R-15 – Av. Severino Bezerra Cabral, SN Mirante	Apoiado	350	517,50	513,00	D = 10	A-6
R-17 – Av. Júlia Maciel, SN Distrito Industrial Queimadas	Elevado	600	535,00	530,00	6,4 x 6,4	A
R-18 – R. Maria Bandeira Silva, SN - Mutirão do Serrotão	Elevado	200	620,00	616,00	D = 7,4	D
R-19 – Alça Sudoeste, SN Ligeiro	Elevado	250	512,00	508,00	10 x 10	A

NOTA: CAP. = Capacidade do reservatório. DIMENS. = Dimensão do reservatório. D = Diâmetro.

Fonte: CAGEPA, 2009

Zona de Pressão “B”

A distribuição de água da Zona de Pressão B faz-se através dos reservatórios: R-1, R-2, R-5 e R-29. A tubulação que interliga os reservatórios R-2 e R-5 é de aço carbono com diâmetro DN 550mm, numa extensão de 1878 metros, e encontra-se desativado por não suportar mais a pressão de trabalho, motivo pelo qual as zonas de pressões B e C hoje, operam como uma só zona de pressão, pois o reservatório R-4, zona de pressão C, está abastecendo parte da zona de pressão B (ALMEIDA, 2007). A tubulação que interliga os reservatórios R-5 e R-2 será substituído por tubos de ferro fundido DN 600mm, permitindo a conclusão da separação das zonas de pressões B e C e a caracterizações dos reservatórios desta zona encontra-se descrito na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão B.

RESERVATÓRIO	TIPO	CAP. (m ³)	Cotas N.A (m)		DIMENS. (m)	ZONA PRESSÃO
			Max.	Mín.		
R-1 – R. Dr. Vasconcelos, SN Centro	Semi-enterrado	3.080	563,00	560,00	55 x 21	B
R-2 – R. Bartolomeu de Gusmão, SN Centro	Semi-enterrado	2.290	554,80	552,00	44 x 22	B
R-5 – R. João da Costa e Silva, SN Prata	Semi-enterrado	8.000	567,00	563,50	42 x 25	B e C
R-29 – R. Euclides Cunha Lima, SN Cuités	Elevado	300	683,00	677,00	8,5 x 8,5	C

NOTA: CAP. = Capacidade do reservatório. DIMENS. = Dimensão do reservatório. D = Diâmetro.

Fonte: CAGEPA, 2009

Zona de Pressão “C”

Na zona de Pressão “C” a distribuição de água faz-se através dos reservatórios: R-4, R-7, R-28 e R-28T. Suas caracterizações encontram-se discriminadas na Tabela 4.5, a separação das zonas de pressões “B” e “C” só poderá ser feita após a intervenção citada no parágrafo anterior, zona de pressão “B”. Tal procedimento deveria ser realizado desde 2007, o que ainda não ocorreu.

Tabela 4.5 – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão C.

RESERVATÓRIO	TIPO	CAP. (m ³)	Cotas N.A (m)		DIMENS. (m)	ZONA PRESSÃO
			Max.	Mín.		
R-4 – R. Quinze de Novembro, SN Palmeira	Apoiado	10.000	607,34	602,34	60 x 30	C
R-7 – R. República Francesa, SN Bairro das Nações	Elevado	200	616,36	612,56	7,5 x 7,5	C
R-28 – R. Manoel da Silva, SN Nenzinha Cunha Lima	Apoiado	300	518,50	514,00	D = 7,4	A/B
R-28T – Rua Manoel da Silva, SN Nenzinha Cunha Lima	Elevado	200	620,50	616,50	D = 7,4	A/B

NOTA: CAP. = Capacidade do reservatório. DIMENS. = Dimensão do reservatório. D = Diâmetro.

Fonte: CAGEPA, 2009

Zona de Pressão “D”

A Zona de Pressão “D” atende os bairros de Bodocongó e Ramadinha, o distrito de São José da Mata e a cidade de Pocinhos. A descrição dos reservatórios desta zona é caracterizada na Tabela 4.6. Os reservatórios do sistema de distribuição desta zona são: R-10, R-11, R-13 e R-14.

Tabela 4.6 – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão D

RESERVATÓRIO	TIPO	CAP. (m ³)	Cotas N.A (m)		DIMENS. (m)	ZONA PRESSÃO
			Max.	Mín.		
R-10 – R. Compositor Rosil Cavalcante, SN Bodocongó	Apoiado	2.000	571,00	566,00	28 x 22	D-1
R-11 – R. Emiliano Rosendo, SN Bodocongó	Elevado	250	616,50	613,00	9 x 9	D2-1
R-13 – R. Nossa Senhora das Dores, SN Serrotão	Elevado	250	665,00	662,00	8,8 x 8,8	D-3.3
R-14 – R. Francisco Nogueira, SN São José da Mata	Elevado	300	704,50	699,00	11 x 11	D

NOTA: CAP. = Capacidade do reservatório. DIMENS. = Dimensão do reservatório. D = Diâmetro.

Fonte: CAGEPA, 2009

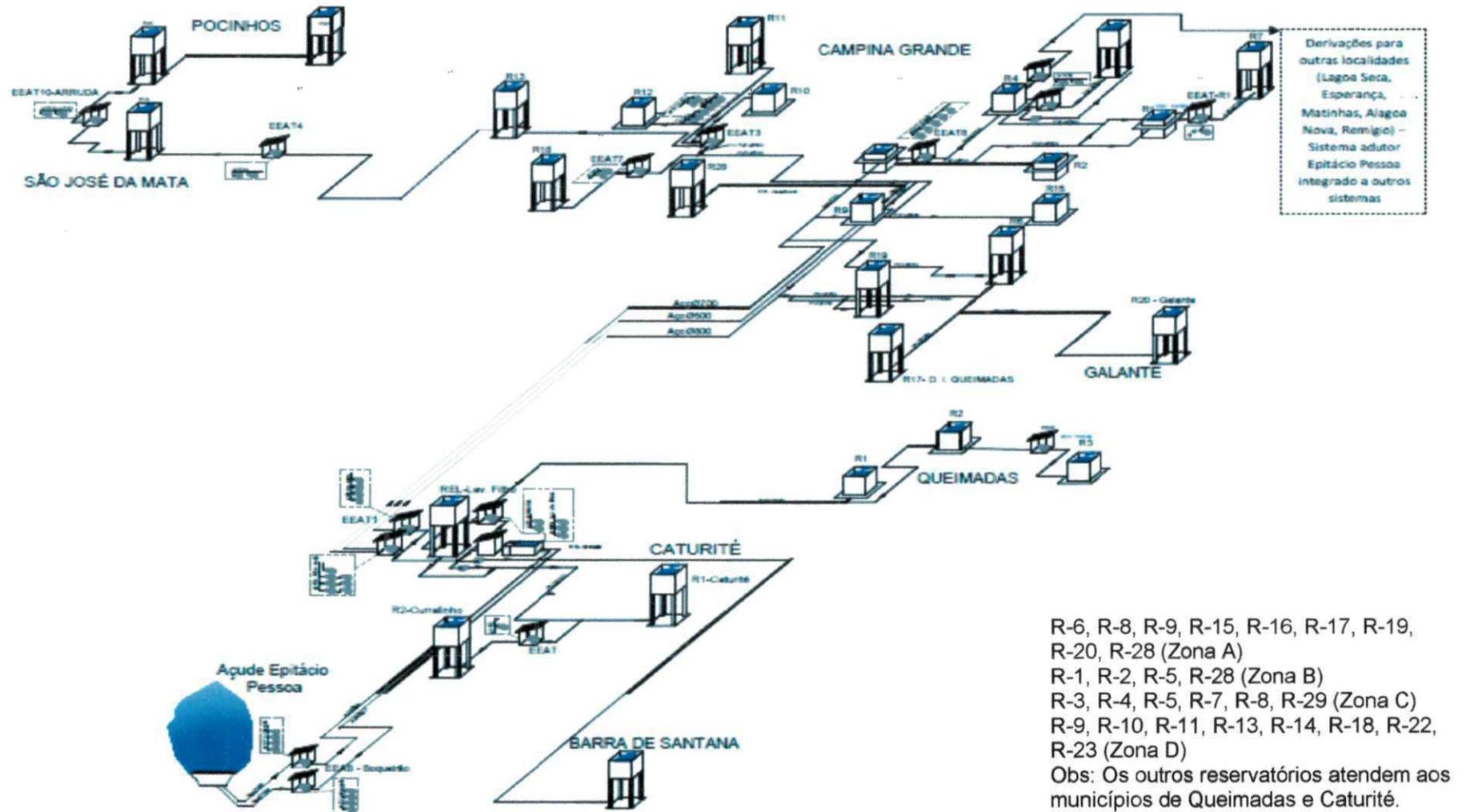


Figura 4.3 - Sistema Adutor Epiácio pessoa, responsável pelo abastecimento de Campina Grande (Fonte: CAGEPA).

4.3 Metodologia de amostragem

Para garantir a distribuição uniforme, foram amostrados uma vez a cada duas semanas, em dias variados, no período de março a Dezembro de 2009, garantindo a uniformidade das coletas no período de amostragem. As coletas foram realizadas nos seguintes horários:

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

Em todos os pontos de coleta foram utilizadas torneiras ligadas diretamente à rede de distribuição, a fim de diminuir o erro em relação aos resultados.

Os procedimentos de coleta foram de acordo com as recomendações de APHA, AWWA, WPCF (1999), em conformidade com a diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2006b). As coletas das amostras foram feitas manualmente, após uma descarga na torneira de dois a três minutos, e acidificada com adição de ácido nítrico (HNO_3) até $\text{pH} \leq 2$ e mantido em frascos de polietileno, estéreis. O parâmetro de turbidez foi analisado *in loco*, e as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Águas da Universidade Federal de Campina Grande para a determinação dos demais indicadores.

4.4 Indicadores físico-químicos analisados

Foram analisados os indicadores físico-químicos pelo método colorimétrico (ferro, manganês, alumínio, cloreto e dureza), turbidez pelo método

nefelométrico da água de distribuição do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande/PB.

4.4.1 Alumínio

O alumínio foi determinado pelo método colorimétrico da Eriocromo Cianina-R utilizando o espectrofotômetro Coleman Modelo 35D ver Figura 4.4. Na sua determinação foi efetuado a acidificação da amostra com uma titulação com ácido sulfúrico adicionando um 1 ml em excesso além do ponto de metilorange para a remoção da alcalinidade. A interferência relacionada ao ferro e manganês foi eliminada comumente através da adição de ácido ascórbico. Em seguida, adicionado a solução tamponada de pH 6,0 e corante eriocromo cianina R que produziu um complexo vermelho rósea e que apresenta absorção máxima em 535 nm. A intensidade da cor desenvolvida é influenciada pela concentração do alumínio, com a reação da amostra. Fez-se um branco para eliminar os interferentes.

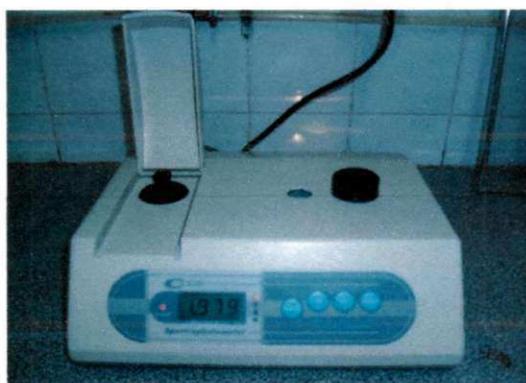
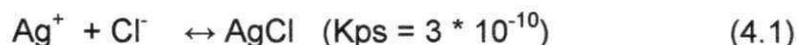


Figura 4.4 – Espectrofotômetro Coleman 35D.

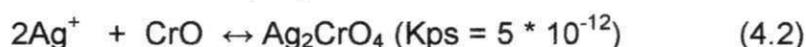
4.4.2 Cloreto

Na determinação de cloreto foi utilizado o método titulométrico argentométrico (Método de Mohr). Neste método foram determinadas todas as espécies de cátions associados ao cloreto. O cloreto presente nas amostras de águas

foi determinado por titulação com uma solução padrão de nitrato de prata, a durante a titulação, os íons cloreto são precipitados na forma de cloreto de prata, de acordo com a equação 4.1.



O cromato de potássio é utilizado como indicador do ponto final da reação. O indicador forma um excesso de nitrato de prata, o precipitado vermelho de cromato de prata conforme a equação 4.2.



Foi realizada uma prova em branco com o objetivo de eliminar as interferências. A Figura 4.5 mostra a determinação do cloreto.



Figura 4.5 – Titulação na determinação do cloreto.

4.4.3 Dureza

Para a determinação da dureza foi utilizado o método titulométrico do EDTA. Neste método foram determinados todos os íons que causa dureza na água principalmente cálcio Ca^{2+} e magnésio Mg^{2+} e é expresso em termo de carbonato de cálcio, e outros íon bivalentes causadores da dureza, como mostra a equação 4.3.

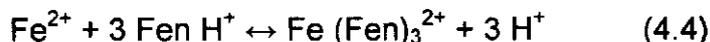


A solução tampão é adicionado para elevação do pH na faixa de $10,0 \pm 0,1$, e o indicador negro de eriocromo T é adicionado para complexar todas as espécies que causa dureza a água, principalmente os íons cálcio e magnésio.

Quando foi titulado com EDTA, o cálcio e o magnésio foram complexados, tornando a solução azul, indicando o ponto final da titulação. A nitidez do ponto final da titulação aumenta com o pH, mas este não pode ser aumentado para valores muito altos para não ocorra a precipitação de CaCO_3 ou Mg(OH)_2 . Além disso, o complexo muda de cor em valores de pH mais elevado. Outro fator que melhora a nitidez do ponto final é a presença de magnésio que deve ser adicionado em pequena quantidade na forma de um sal complexometricamente neutro EDTA.

4.4.4 Ferro

Para a determinação do ferro total, utilizou-se o método colorimétrico da orto-fenantrolina, que formam uma reação de complexação entre o íon metálico Fe(II) e o ligante orto-fenantrolina 1,10 fenantrolina ($\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2$), formando um complexo estável por longo período, $(\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2)_3\text{Fe}]^{2+}$, ou simplesmente $\text{Fe}(\text{Fen})_3^{2+}$, de cor alaranjado-vermelho, conforme descrito pela equação 4.4.

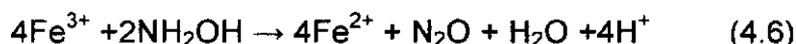
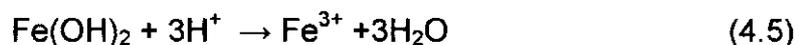


A reação é completa na faixa de pH 2 – 9, mas recomenda-se o desenvolvimento do complexo em pH 2,9 a 3,5, a fim de evitar a precipitação de vários sais de ferro, como, por exemplo, fosfato. A constante de equilíbrio da reação é de $2,5 \times 10^6$ a 25°C .

O sistema clorado obedece à Lei de Beer, devendo-se evitar a presença de interferentes para não provocar o desvio da Lei de Beer: Íons clorados interferem na prata e o bismuto gera precipitado, o cádmio, mercúrio e o zinco formam complexos incolores solúveis com o reagente, reduzindo a coloração produzida pelo complexo de ferro.

A absorbância foi medida através de um espectrofotômetro Coleman 35D de absorção molecular, apenas na região visível a 510 nm, sendo esta técnica analítica antecedida pela curva de calibração.

O ferro encontra-se particulado, especialmente na forma de hidróxido férrico, e é solubilizado pela fervura em meio ácido, condição na qual também é procedida a redução do ferro férrico para o estado ferroso pela adição da hidroxilamina no qual atua como agente redutor. As reações 4.5 e 4.6 mostram o que se processa:

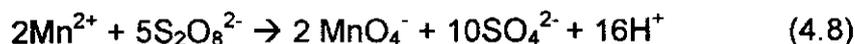


Como a 1,10-fenantrolina é um reagente específico para o Fe^{+2} , todo ferro na forma Fe^{+3} deve ser reduzido à condição ferroso. Três moléculas da 1,10-fenantrolina são necessárias para seqüestrar ou formar um íon complexo com um íon Fe^{+2} . A reação processa segundo equação 4.7.

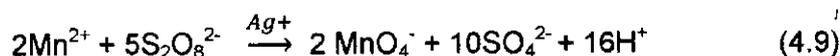


4.4.5 Manganês

Para determinação do manganês, foi utilizado-se o método colorimétrico do persulfato de amônio, que como agente oxidante, leva todo o manganês presente a formar permanganato, composto de cor característica, na presença de sulfato de prata. A cor resultante é estável por 24h, isto é se houver excesso de persulfato e ausência de matéria orgânica. A reação de oxidação é descrita de acordo 4.8 abaixo:



O persulfato de amônio oxida o íon manganês Mn^{+7} , quando ele forma o íon permanganato fortemente colorido. A cor produzida é diretamente proporcional à quantidade de manganês presente, dentro de extensos limites de concentração e de acordo a Lei de Beer. A oxidação do manganês, de suas mais baixas valências ao íon MnO_4^- , requer a presença da prata como catalisador, segundo reação 4.9:



A absorvância foi medida através de um espectrofotômetro Coleman modelo 35D de absorção molecular, na região visível a 525 nm. A leitura é expressa diretamente em mgMn/L.

4.4.6 Turbidez

A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil provido de fonte de luz de tungstênio Figura 4.6. Este método é baseado na comparação da intensidade de luz desviada pela amostra, com a intensidade da luz desviada por uma suspensão padrão de referência (comumente formazina). A quantificação da turbidez é diretamente relacionada à intensidade da luz desviada.



Figura 4.6 – Turbidímetro

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 μ , o desvio padrão σ 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.

5.0 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo trata da apresentação das análises dos resultados da monitoração das variáveis de qualidade da água, analisadas em cada ponto de coleta da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande, no período de Março a Dezembro de 2009.

A monitoração dos indicadores analisados no período de Março a Dezembro de 2009 permitiu conhecer as concentrações médias (Tabela 5.1) e a freqüências (Tabela 5.2) das amostras analisados na zona de pressões A e B do sistema de distribuição de água da cidade de Campina Grande (PB).

Tabela 5.1 – Demonstrativo das concentrações médias nos pontos monitorados.

INDICADORES	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Alumínio (mg/L)	0,303	0,364	0,373	0,311	0,302	0,269
Cloreto (mg/L)	106,08	104,25	104,05	105,45	106,01	106,51
Dureza (mg/L)	128,49	128,83	130,84	128,83	129,76	127,34
Ferro (mg/L)	0,064	0,064	0,097	0,062	0,101	0,074
Manganês (µg/L)	2,49	2,84	3,27	2,31	2,20	2,50
Turbidez (UT)	1,41	1,77	2,52	1,26	0,84	0,95

Tabela 5.2 – Freqüências das amostras nos pontos monitorados.

INDICADORES	P4		P5		P6		P7		P8		P9	
	C	NC										
Alumínio	15	22	15	24	12	27	12	24	16	23	16	23
Cloreto	37	0	39	0	39	0	36	0	39	0	39	0
Dureza	37	0	39	0	39	0	36	0	39	0	39	0
Ferro	37	0	39	0	39	0	36	0	39	0	39	0
Manganês	37	0	39	0	39	0	36	0	39	0	39	0
Turbidez	53	1	55	1	51	5	49	1	49	3	54	0

Nota: C = conformidade; NC = não conformidade.

A Tabela 5.3 demonstra quantitativas as análises realizadas nos pontos (P4), (P5), (P6), (P7), (P8) e (P9) nas Zonas de Pressão A e B do referido sistema de distribuição.

Tabela 5.3 – Demonstrativo quantitativo das análises nos ponto de monitoração

VARIÁVEIS	PONTOS DE MONITORAÇÃO																		
	P4			P5			P6			P7			P8			P9			
	7h	11h	17h	7h	11h	17h	7h	11h	17h	7h	11h	17h	7h	11h	17h	7h	11h	17h	
Análises realizadas	Alumínio	13	12	12	13	13	13	13	13	13	11	11	12	13	13	13	13	13	13
	Cloreto	13	12	12	13	13	13	13	13	13	11	11	12	13	13	13	13	13	13
	Dureza	13	12	12	13	13	13	13	13	13	11	11	12	13	13	13	13	13	13
	Ferro	13	12	12	13	13	13	13	13	13	11	11	12	13	13	13	13	13	13
	Manganês	13	12	12	13	13	13	13	13	13	11	11	12	13	13	13	13	13	13
	Turbidez	18	18	18	19	19	18	19	19	19	17	16	17	17	17	17	18	18	18
Análises não realizadas	Alumínio	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Cloreto	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Dureza	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Ferro	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Manganês	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Turbidez	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

5.1 Indicadores selecionados de qualidade da água relacionados à sua aceitação para consumo humano

5.1.1 Alumínio

As concentrações de alumínio determinadas na água potável variam de acordo com a fonte de água e em função da dosagem de coagulantes à base de alumínio no processo de tratamento da água. Na Alemanha, um programa de monitoração para o controle de alumínio nos sistemas de abastecimento público de água, encontrou concentrações médias de alumínio de 0,01mg/L, na região oeste e superior a 0,2mg/L, na região leste do país (WHO, 2003). Um levantamento feito, no período de 1993-1994, no sistema de abastecimento público de água da cidade de Ontario, Canadá, determinou concentração média inferior a 0,1mg/L, num intervalo de 0,04-0,85mg/L (OMEE, 1995).

De acordo com (WHO, 2003), pequenos sistemas de abastecimento de água (por exemplo, aqueles que servem menos de 10.000 habitantes) poderão experimentar algumas dificuldades em atingir concentrações inferiores a 0,1mg/L, porque, muitas vezes, essas instalações contam com recursos limitados e pouca acessibilidade a conhecimentos e técnicas para a solução de problemas específicos de funcionamento.

Nos seis pontos monitorados foram realizadas 227 análises de alumínio e 62,12% dos resultados representaram não conformidade à legislação, ou seja, ultrapassaram o padrão de aceitação para consumo humano, podendo isto ser atribuído a um excesso na dosagem de sulfato de alumínio no processo de clarificação da água. A Figura 5.1 ilustra, para cada ponto de monitoração, as percentagens de conformidade e não conformidade de alumínio com o padrão de aceitação para consumo humano.

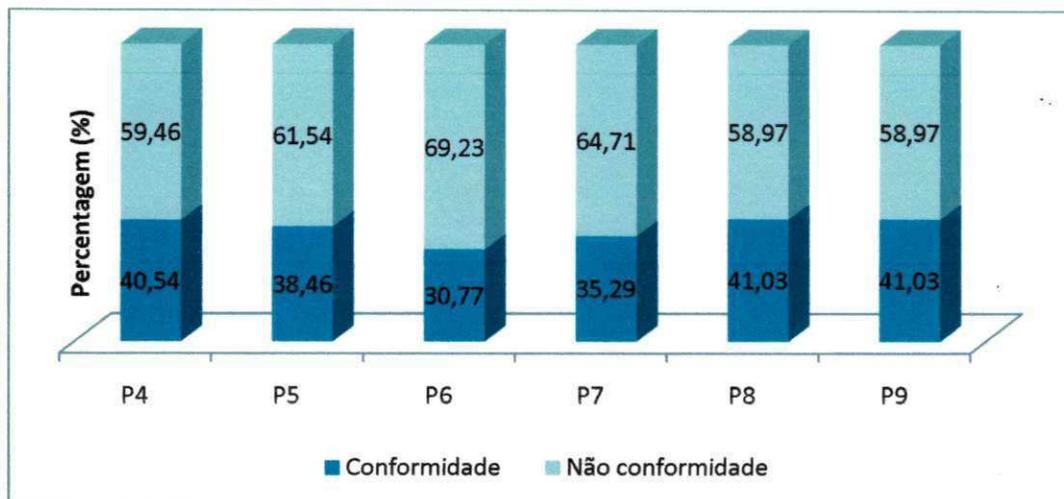


Figura 5.1 – Percentagens de conformidade e não conformidade do alumínio com o padrão de aceitação para consumo humano nos pontos monitorados

No Brasil, de acordo com Portaria Nº 518/2004, o VMP é 0,2mgAl/L na rede de distribuição de água. As Figuras 5.2 a 5,4 ilustram a variação temporal da concentração do alumínio nos pontos P4, P5, P6, P7, P8 e P9.

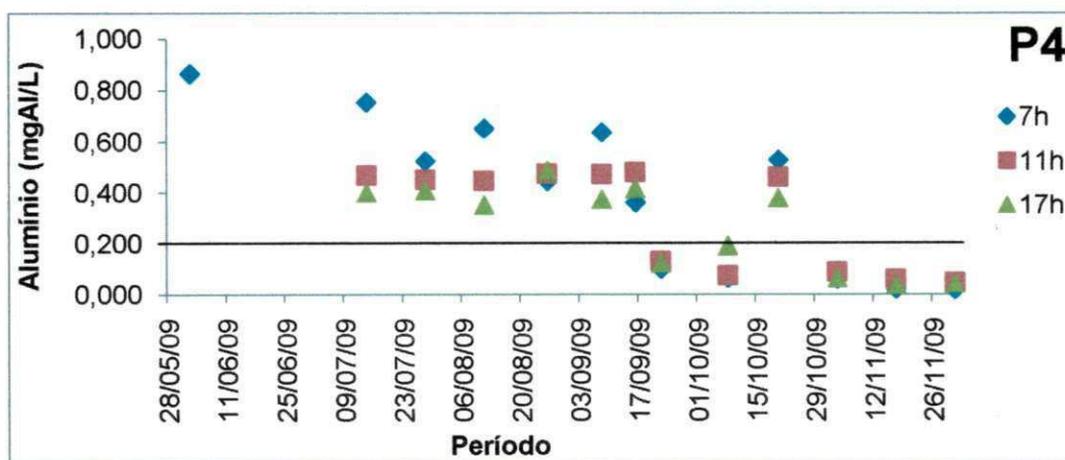


Figura 5.2 – Variação temporal da concentração de alumínio no ponto P4.

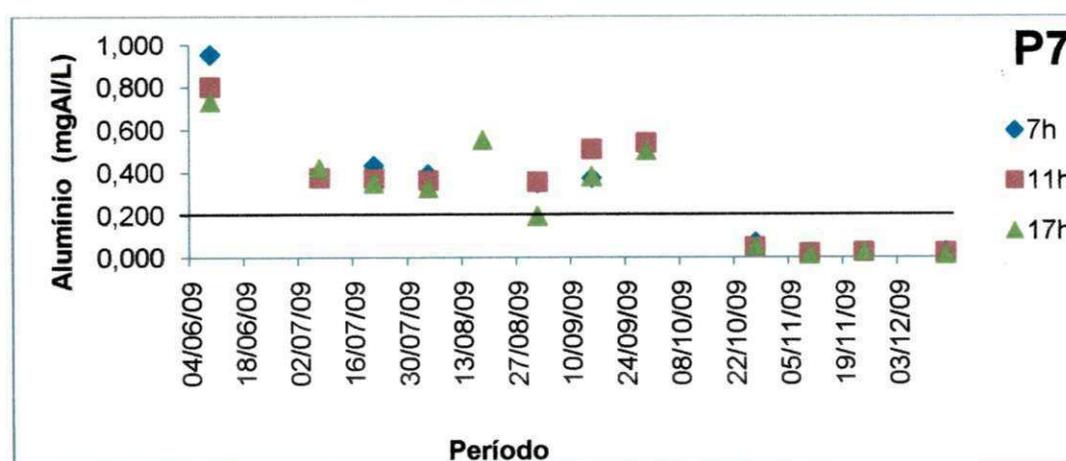
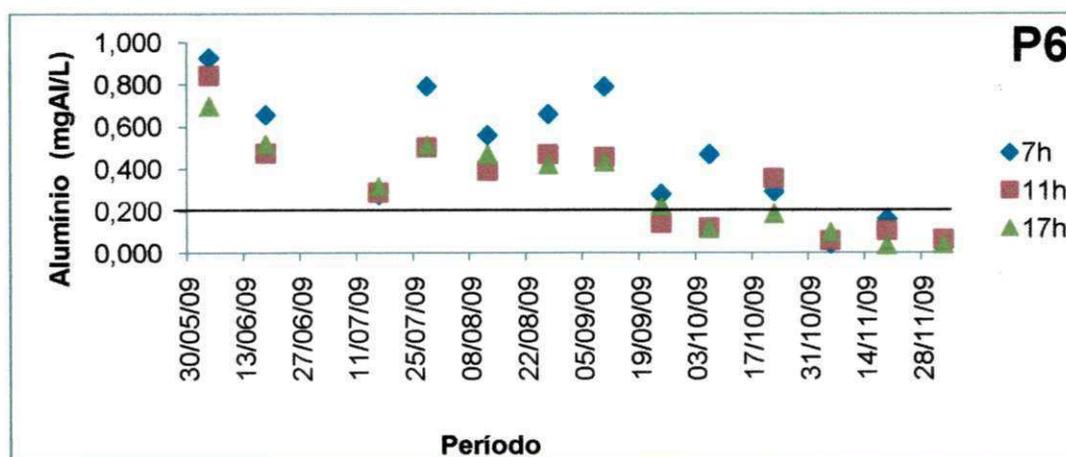
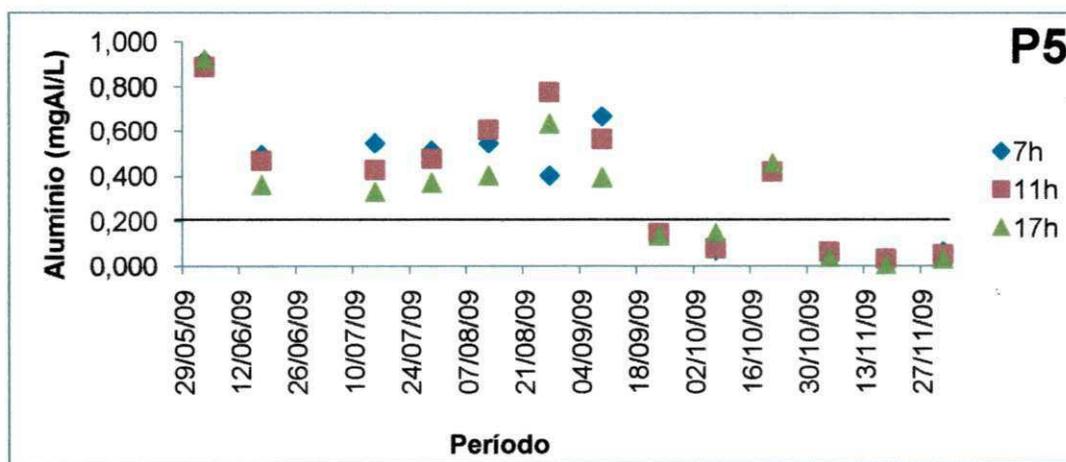


Figura 5.3 – Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos P5, P6 e P7

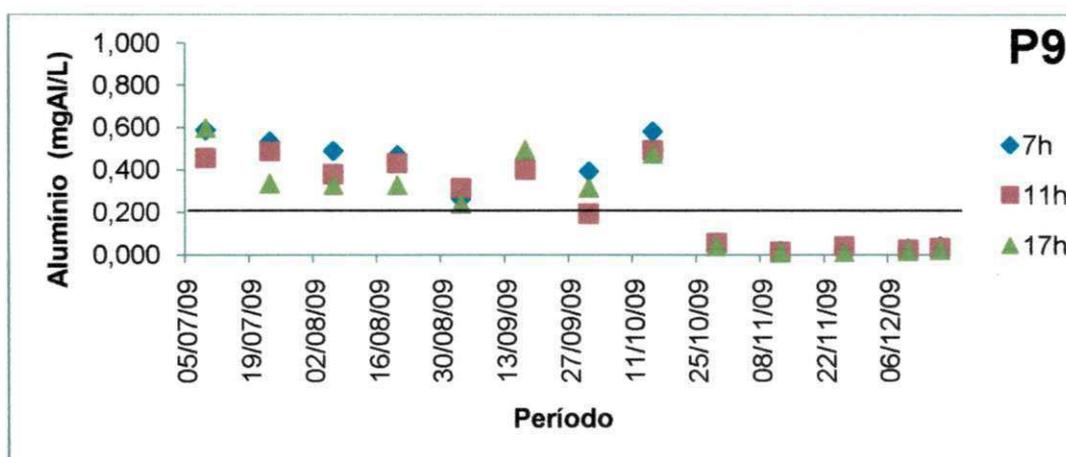
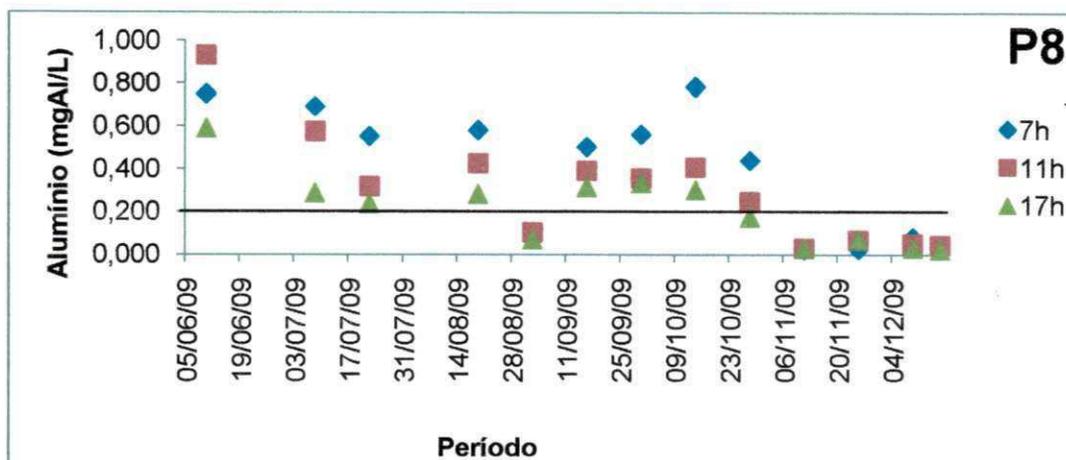


Figura 5.4 – Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos P8 e P9

As Figuras 5.2 a 5.4 mostraram que a não conformidade são sazonais, isto é, ocorrem até uma determinada data, em virtude da utilização do coagulante, e depois, deixam de ocorrer, na medida em que o coagulante deixa de ser usado por causa da menor turbidez da água.

5.1.2 Cloreto

A presença de cloreto na água potável pode conferir gosto salgado afetando a sua aceitação por parte da população usuária. No Brasil o valor máximo permitido fixado pela Portaria Nº 518/2004 é de 250mgCl⁻/L, não sendo feita

qualquer ressalva sobre os cátions associados ao cloreto, embora seja reconhecido que concentrações tão elevadas quanto 1.000 mgCl⁻/L não conferem gosto salgado à água quando os cátions associados são cálcio e magnésio (SILVA; OLIVEIRA, 2001).

O cloreto não é removido por processos convencionais de tratamento de água, sendo necessárias técnicas especiais para sua remoção. Todos os pontos monitorados no sistema de abastecimento de água apresentaram conformidade com a Portaria N° 518/2004 (MS), mas foi observado um aumento gradual na sua concentração ao longo do período de monitoração. Esse aumento ocorreu de acordo com um comportamento padrão, descrito na literatura, no qual menores concentrações ocorrem no período chuvoso e, gradualmente, aumentam, na medida em que, com a estiagem, ocorre a concentração de sais com o crescimento da taxa de evaporação da água. As Figuras 5.5 a 5.7 ilustram a variação temporal de cloreto nos pontos de monitoração do sistema de distribuição de água da cidade de Campina Grande (PB).

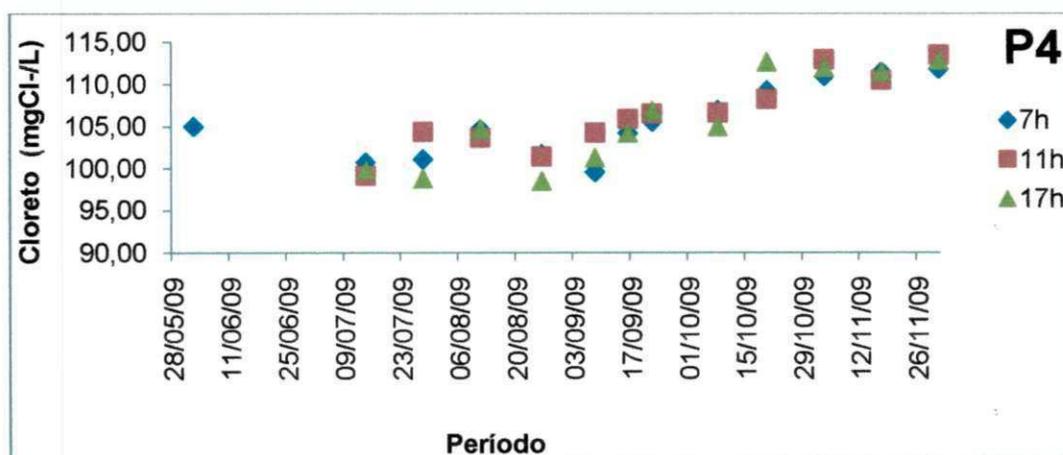


Figura 5.5 – Variação temporal de cloreto no ponto monitoração P4 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB)

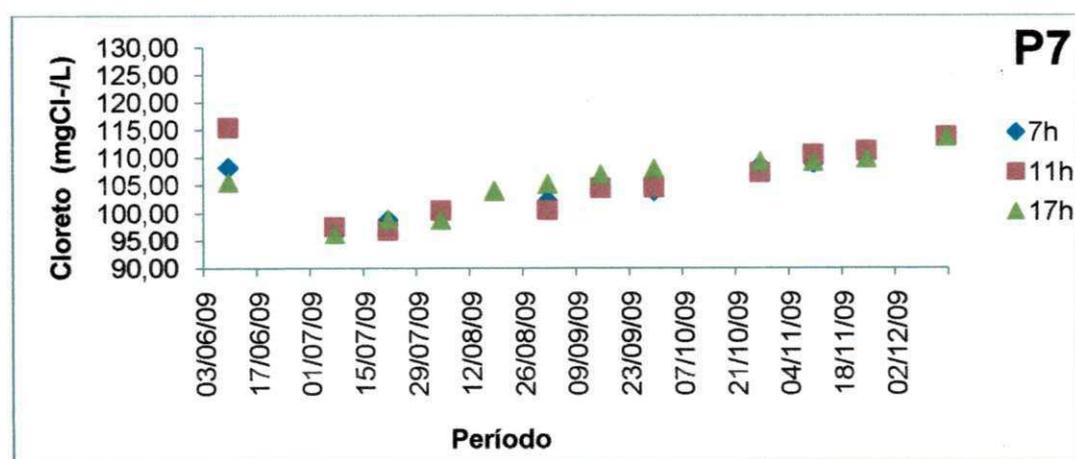
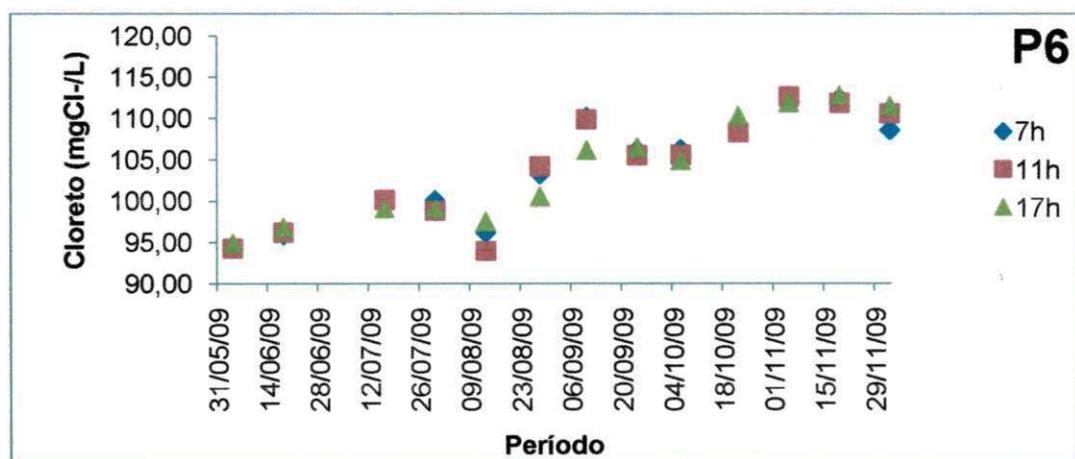
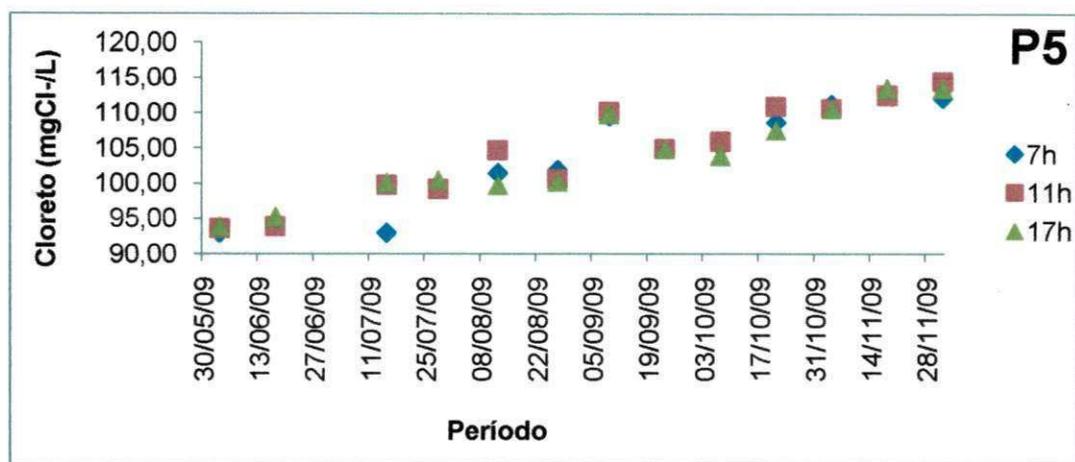


Figura 5.6 – Variação temporal de cloreto nos pontos monitoração P5, P6 e P7 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB)

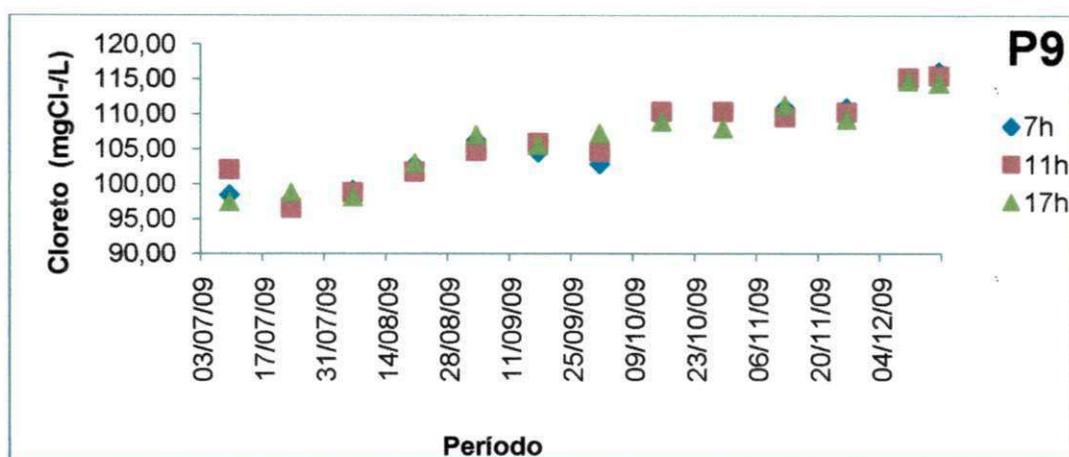
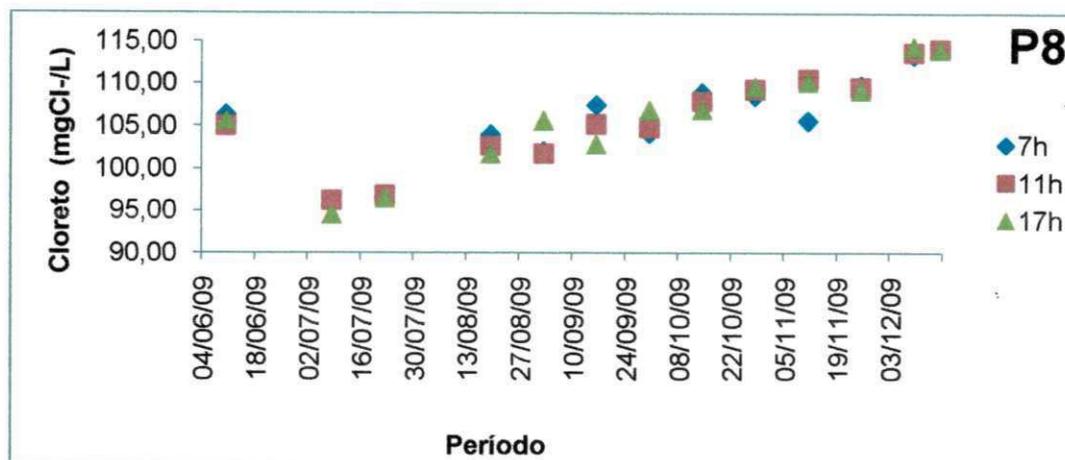


Figura 5.7 – Variação temporal de cloreto nos pontos monitoração P8 e P9 da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB).

5.1.3 Dureza

A dureza é uma importante característica da qualidade de água de abastecimento doméstico e, principalmente, industrial sendo que, do ponto de vista da potabilização, são admitidos valores máximos relativamente altos (SILVA; OLIVEIRA, 2001). O sabor desagradável associado às altas concentrações de dureza na água podem suscitar objeção ao consumo humano dessas águas, embora tal consumo não cause quaisquer problemas fisiológicos. De acordo com a Portaria Nº 518/2004, o valor máximo permissível, ora em vigor no Brasil é de

500mg CaCO₃/L. De acordo com Von Sperling (1995) a dureza das águas são classificadas como:

- Branda – dureza total ≤ 50mg CaCO₃/L;
- Moderadamente dura – dureza total entre 50 e 150mg CaCO₃/L;
- Dura – dureza total entre 150 e 300mg CaCO₃/L;
- Muito dura – dureza total ≥ 300mg CaCO₃/L.

Além da dureza naturalmente presente na água bruta tomada do manancial do sistema de abastecimento de Campina Grande há uma contribuição do tratamento convencional aplicado na Estação de Tratamento de Gravatá. Nesse tratamento, é feita a dosagem de cal hidratada com o objetivo de auxiliar o processo de coagulação, mas uma de suas conseqüências é o aumento da dureza de cálcio, conforme a reação representada a seguir:



Todos os pontos monitorados apresentaram os maiores valores de dureza no período de Julho a Outubro, sendo que a maior concentração (167,04 mg CaCO₃/L) ocorreu no ponto P5, no dia 12/08/2009, no período da manhã. Do total de 227 análises, 95,6% apresentaram valores inferiores a 150 mg CaCO₃/L, permitindo que a água distribuída em Campina Grande seja classificada como moderadamente dura (Ibid.). Todos os pontos apresentaram comportamento similar, ou seja, valores elevados no período chuvoso e uma diminuição da dureza no período de estiagem, correspondendo aos períodos de adição e supressão de cal e sulfato de alumínio, respectivamente. As Figuras 5.8 a 5.9 ilustram a variação temporal da dureza nos pontos de monitoração P4, P5, P6, P7, P8 e P9.

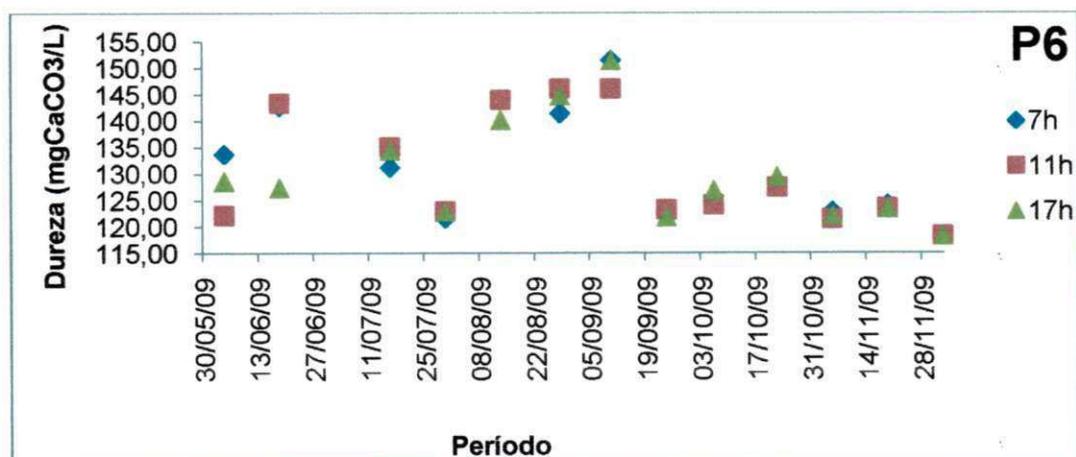
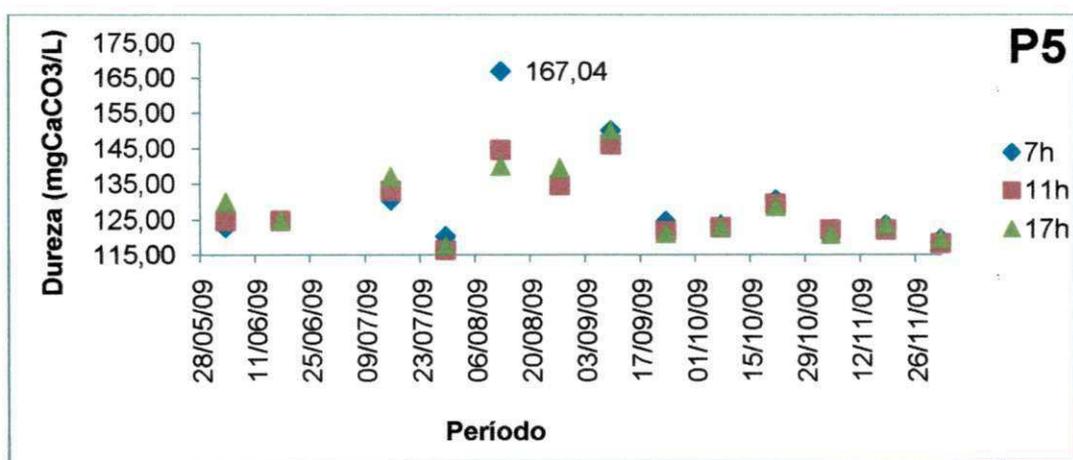
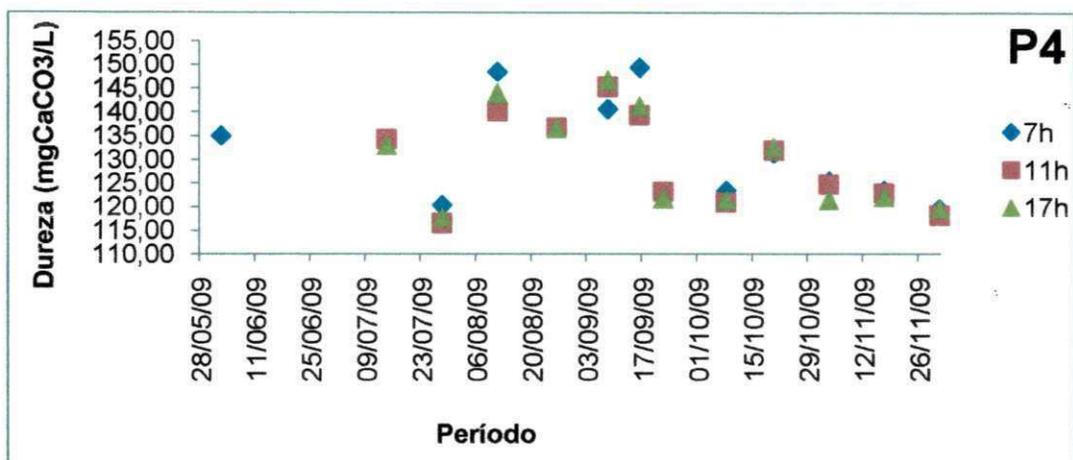


Figura 5.8 – Variação temporal da dureza nos pontos de monitoração P4, P5 e P6.

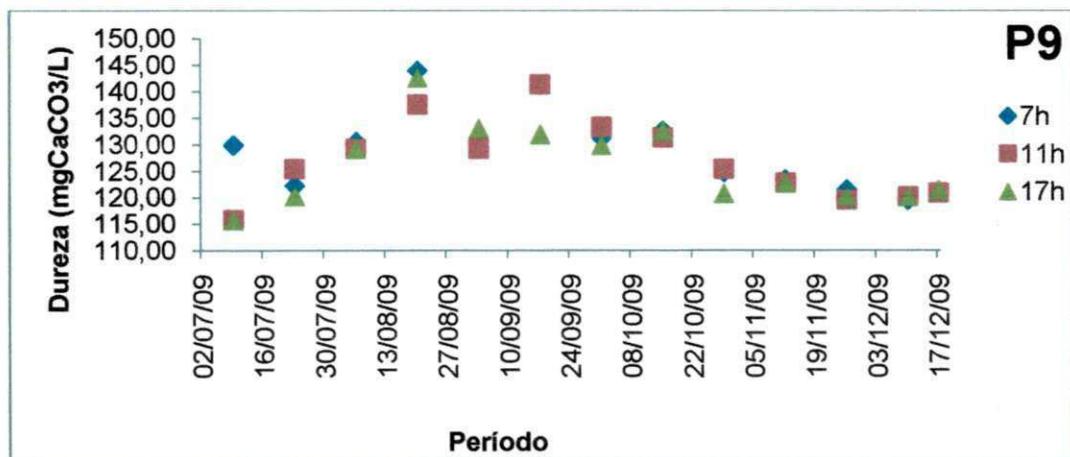
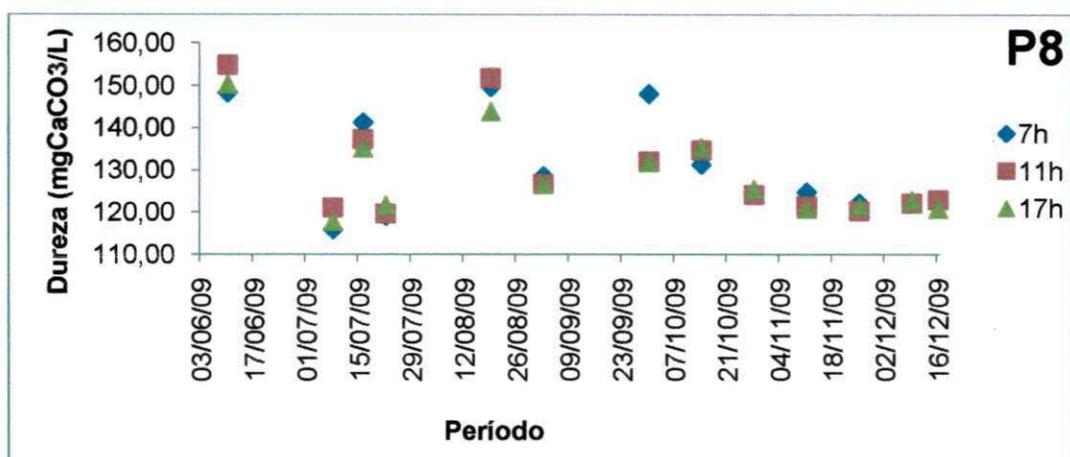
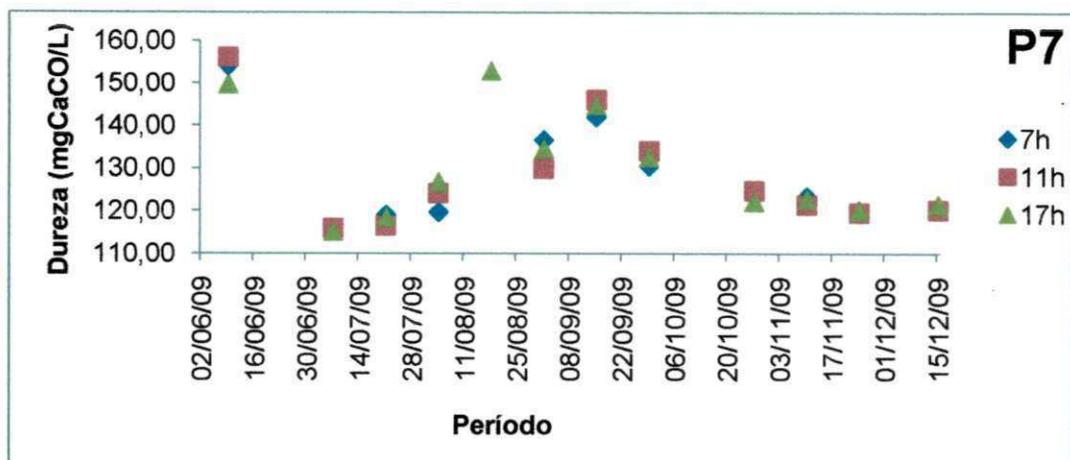


Figura 5.9 – Variação temporal da dureza nos pontos de monitoração P7, P8 e P9

5.1.4 Ferro

Altas concentrações de ferro podem ensejar rejeição por parte dos consumidores por causar cor, odor e sabor à água, além de poder provocar manchas em sanitários, roupas e produtos industriais, a exemplo do papel. Salvo casos específicos, em virtude das características geoquímicas das bacias de drenagem, os teores de ferro solúvel em águas superficiais tendem a ser baixos (HELLER; PADUA, 2006). No sistema de abastecimento de água, os problemas mais freqüentes estão relacionados com a corrosão e a incrustação em tubulações. Dependendo da concentração, o ferro, muitas vezes associado ao manganês, confere à água um gosto amargo e adstringente (Ibid.). Ordinariamente, não são atribuídos ao ferro efeitos maléficos sobre a saúde humana, mas, devido às suas características, o padrão de aceitação para o consumo humano estabelece o valor máximo permissível de 0,3mgFe/L (BRASIL, 2004).

Todos os pontos monitorados na rede de distribuição de água de Campina Grande (PB) apresentaram valores próximos, porém inferiores ao estabelecido pelo referido padrão. A maior concentração do ferro obtido durante o período de monitoração foi 0,274 mgFe/L e a menor concentração de ferro 0,010mgFe/L e estes valores foram medidas no ponto P5, respectivamente, às 11h do dia 27/08/2009 e às 17h do 02/12/2009. A Figura 5.10 a 5.12 ilustra a variação temporal das concentrações de ferro nos pontos monitorados.

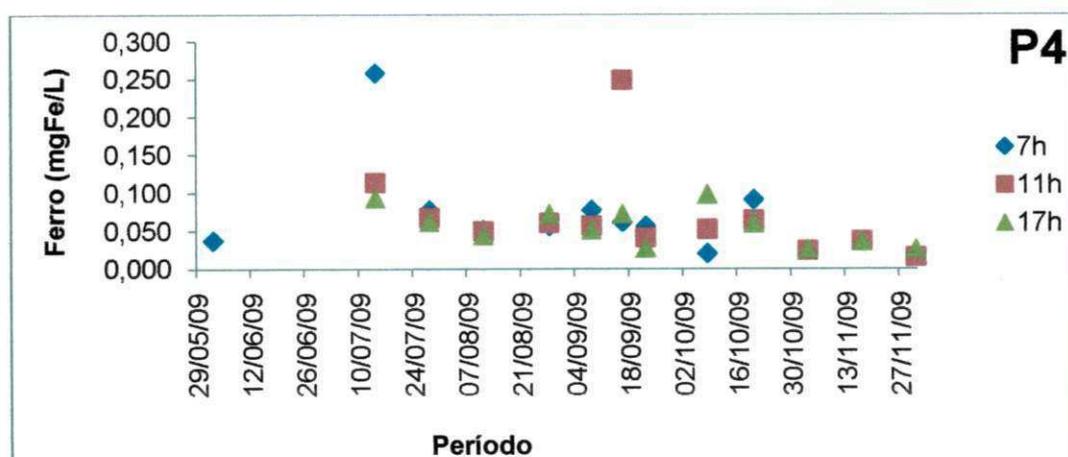


Figura 5.10 – Variação temporal das concentrações de ferro no ponto de monitoração.

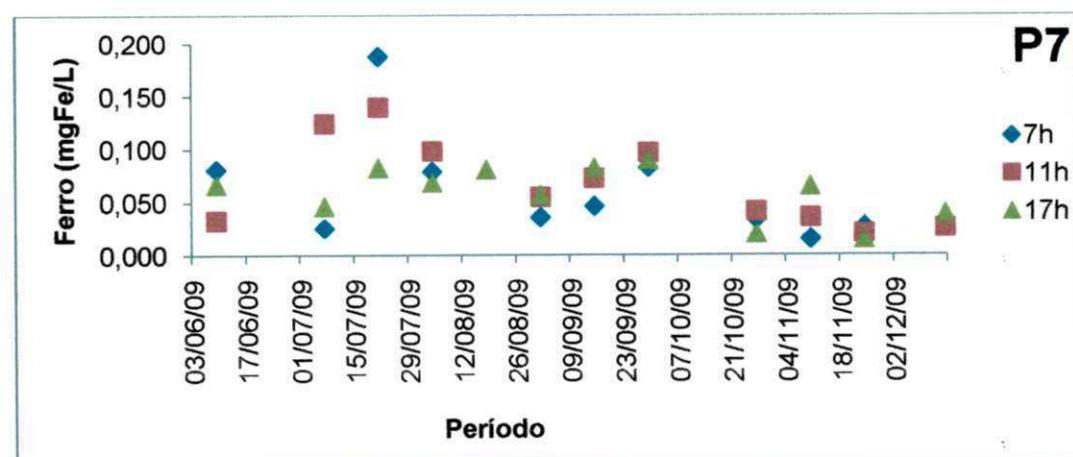
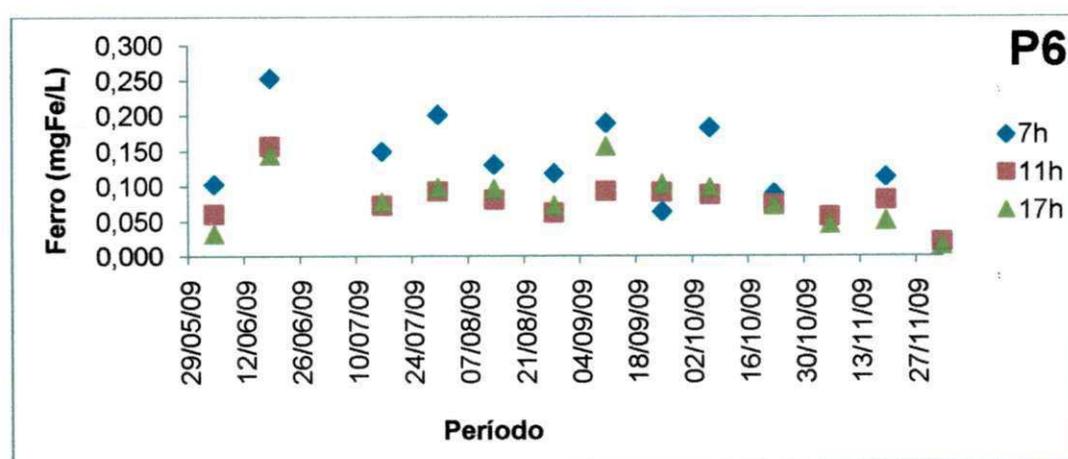
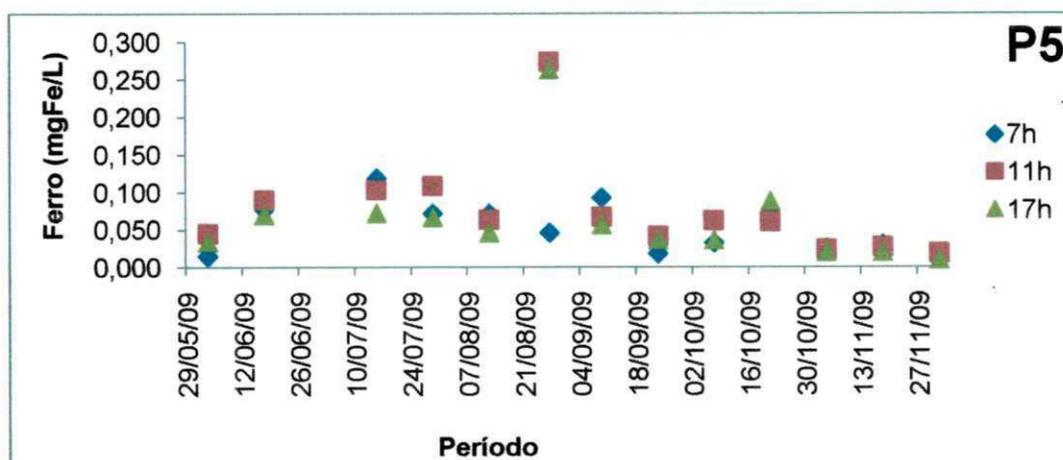


Figura 5.11 – Variação temporal das concentrações de ferro nos pontos de monitoração P5, P6 e P7.

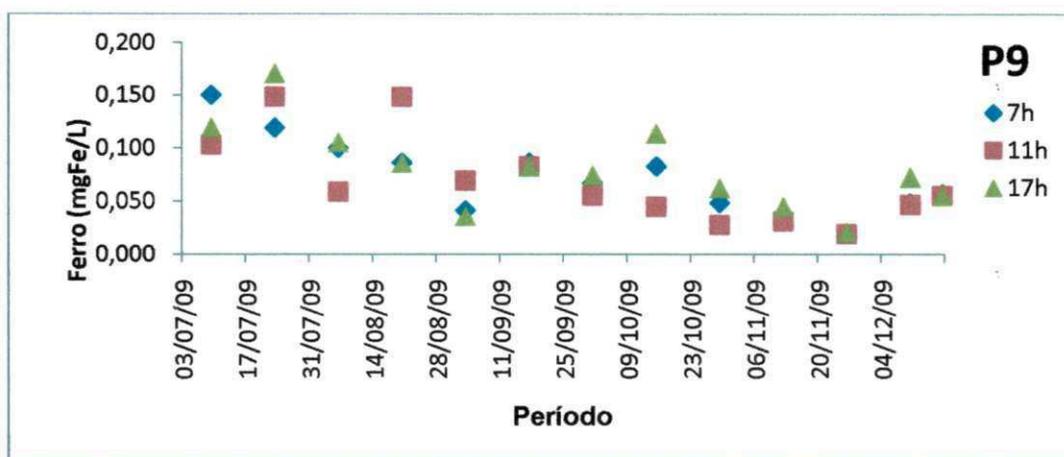
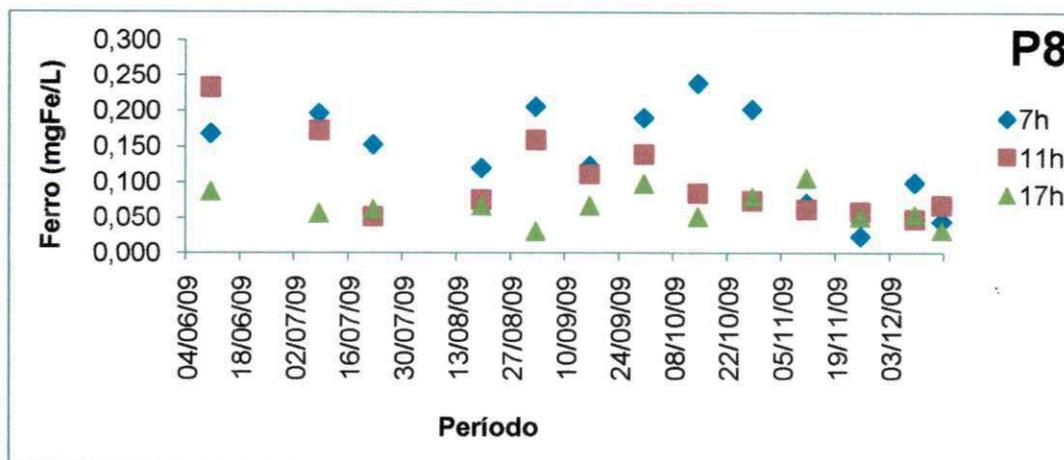


Figura 5.12 – Variação temporal das concentrações de ferro nos pontos de monitoração P8 e P9.

5.1.5 Manganês

O manganês é um metal de transição que está disseminado no meio ambiente, ocorrendo nas rochas e solos. É um micronutriente, requerido pelas plantas para a fotossíntese e pelos animais para o desenvolvimento neural (HEAL, 2001). Concentrações de manganês superiores a $50\mu\text{gMn/L}$, na água potável, podem ser tóxicas para os seres humanos. Esse é padrão de aceitação na EU (União Européia) (Ibid.) e, no Brasil, o padrão de aceitação para consumo humano é de $100\mu\text{gMn/L}$, conforme a Portaria N° 518/2004. Valores superiores a esse podem

resultar na formação de depósitos de óxidos de manganês nos oleodutos, coloração da água e formação de gosto metálico desagradável.

Pesquisa feita nos sistemas de abastecimento de água da Escócia, no período de 1996-1997, mostrou que a maioria das amostras analisadas apresentou valores superiores ao padrão de aceitação escocês. O manganês é de difícil remoção nos processos convencionais de tratamento de água, salvo se antes do processo de coagulação passar pela aeração, na qual o manganês é precipitado e decantado na etapa seguinte do tratamento, (APHA, AWWA, WPCF, 1999).

Nos seis pontos monitorados foram realizadas 227 análises, e todas as concentrações estavam em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano. O maior valor foi 11,88 $\mu\text{gMn/L}$, às 7h da manhã do dia 30/07/2009, no ponto P6. As Figuras 5.13 a 5.15 ilustram a variação temporal do manganês nos pontos de monitoração P4, P5, P6, P7, P8 e P9.

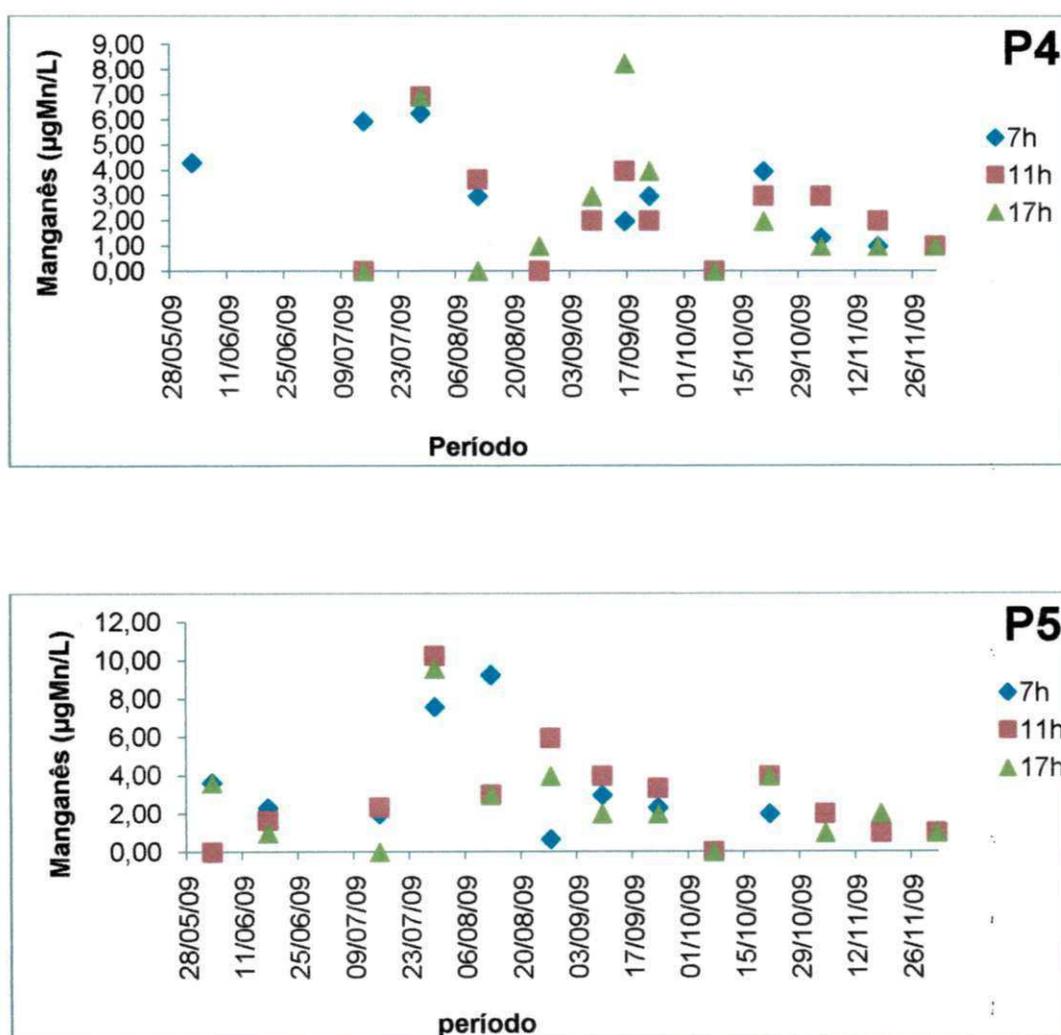


Figura 5.13 – Variação temporal de manganês nos pontos de monitoração P4 e P5.

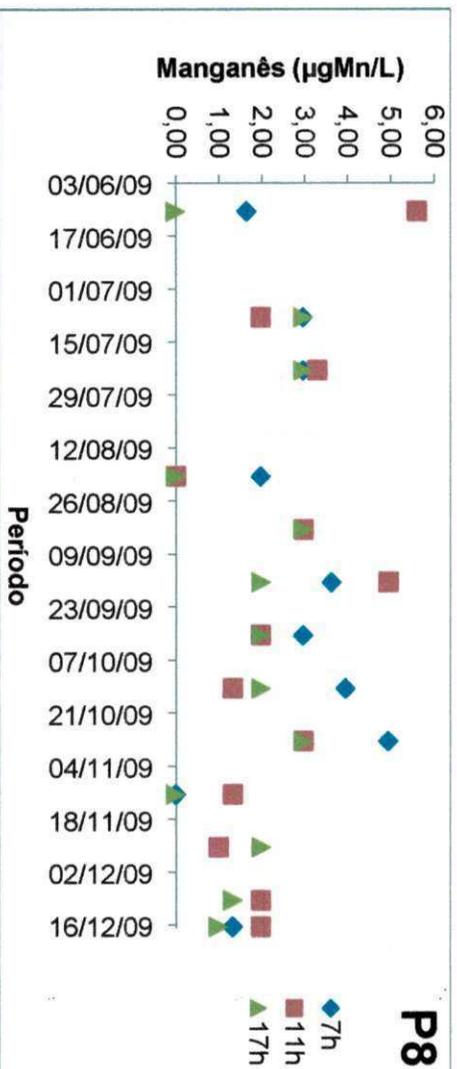
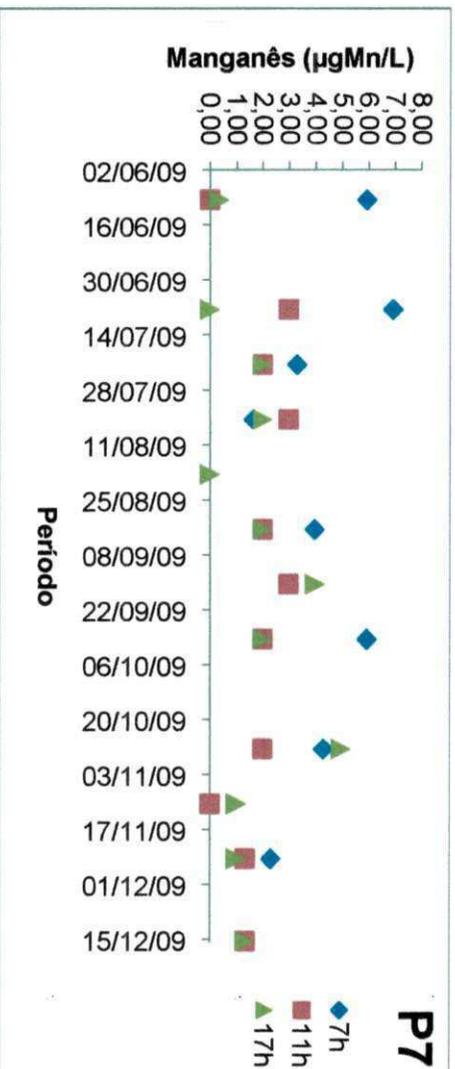
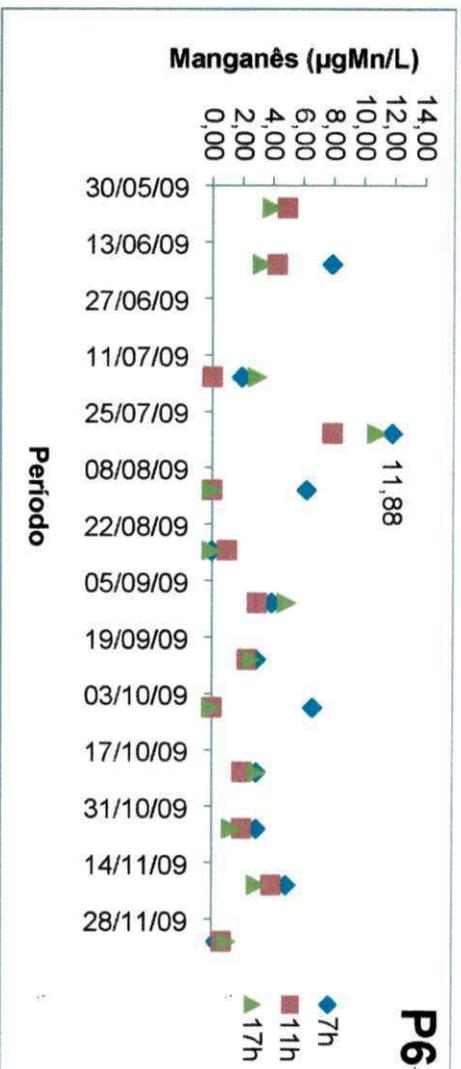


Figura 5.14 – Variação temporal de manganês nos pontos de monitoração P6, P7 e P8

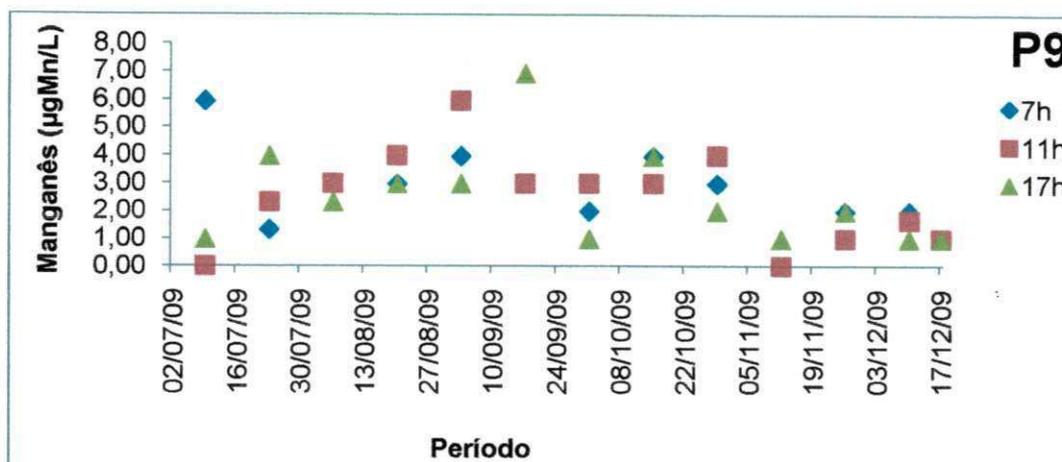


Figura 5.15 - Variação temporal de manganês no ponto de monitoração P9.

5.1.6 Turbidez

Das 321 análises referentes à turbidez nos seis pontos de monitoração, apenas 3,42% das amostras analisadas apresentaram valores superiores a 5,0UT, valor máximo permissível estabelecido pela Portaria N° 518/2004, em qualquer ponto da rede de distribuição de água. A Figura 5.16 ilustra, para cada ponto de amostragem, as percentagens de conformidade e não conformidade do indicador com o padrão de aceitação para consumo humano. Os pontos (P6) e (P8) registraram as maiores violações à legislação; as quais podem ser justificadas pelas altas quantidades de sólidos suspensos e partículas coloidais que podem estar presentes dentro das tubulações, já que esses pontos estão localizados em trechos cujas tubulações são antigas possibilitando perdas de estanquidade devido a existência de fendas nas mesmas. Nesse sentido é importante ressaltar que a turbidez elevada pode dificultar o processo de desinfecção, pois as partículas relacionadas com esse indicador podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante.

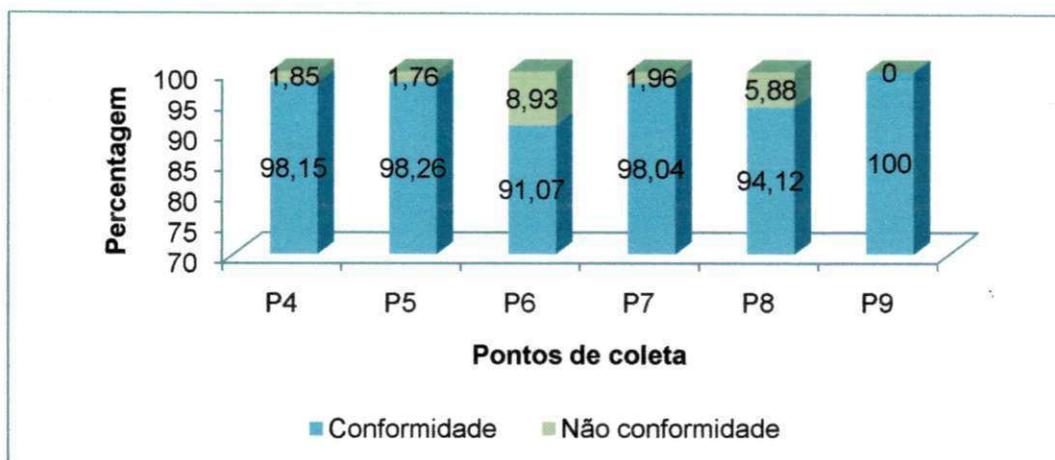


Figura 5.16 – Conformidade e não conformidade do indicador turbidez com o padrão de aceitação para consumo humano nos pontos de monitoração.

Os valores da turbidez que ultrapassaram o padrão de aceitação para consumo humano, ocorreram no período de maio a junho de 2009, coincidindo com o período de maior precipitação pluviométrica durante a realização das análises. Nesse período, ocorre o maior carreamento de partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rochas, matéria orgânica e óxidos metálicos do solo para o manancial, aumentando a turbidez e degradando a qualidade de suas águas.

No ponto de monitoração (P6) ocorreu o maior valor de turbidez (13,03UT), no dia 18/06/2009, no período da manhã, podendo ter ocorrido sob a influência de reparos realizados no dia anterior na rede de distribuição, antes do ponto de coleta. As Figuras 5.17 a 5.19 ilustram a variação temporal da turbidez nos pontos de monitoração P4, P5, P6, P7, P8 e P9.

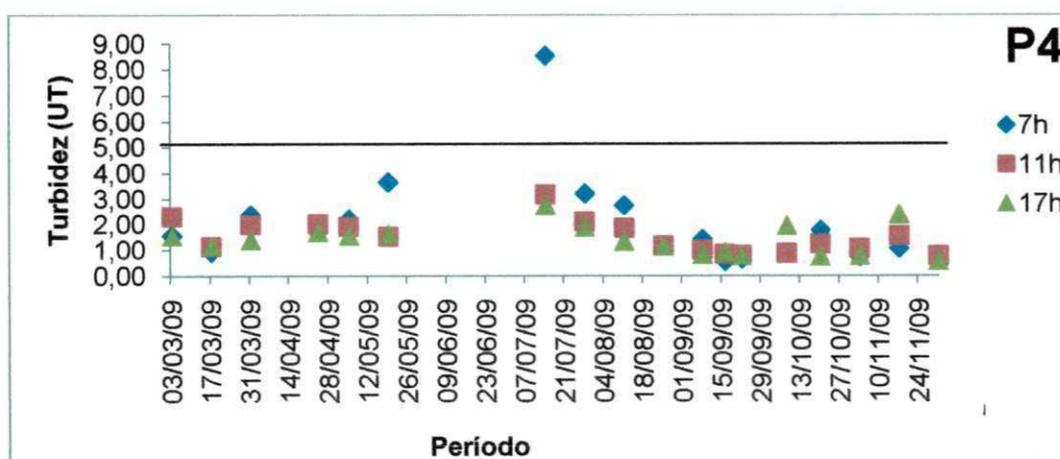


Figura 5.17 – Variação temporal da turbidez no ponto de monitoração P4

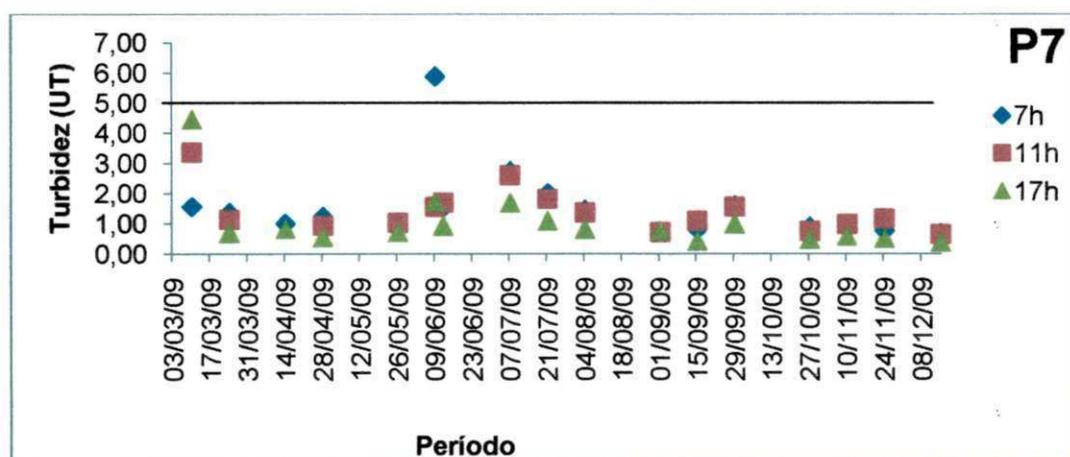
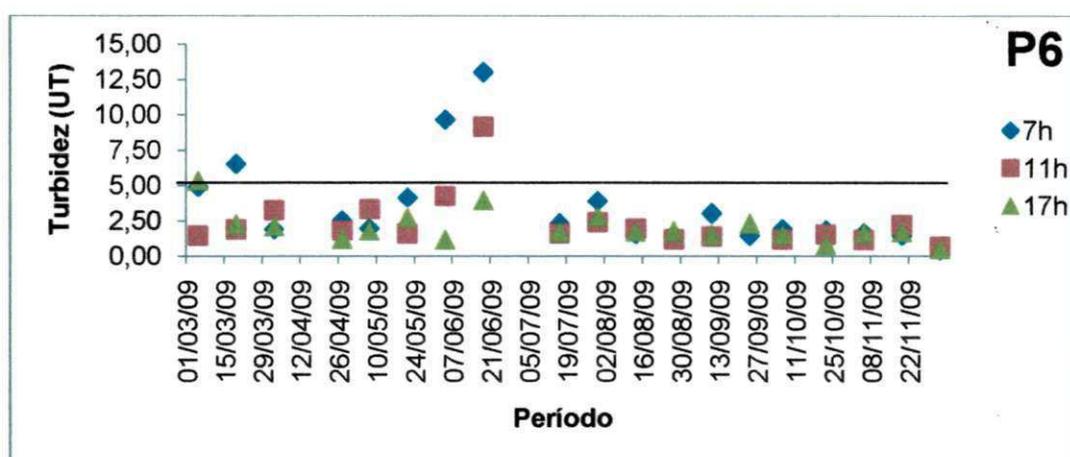
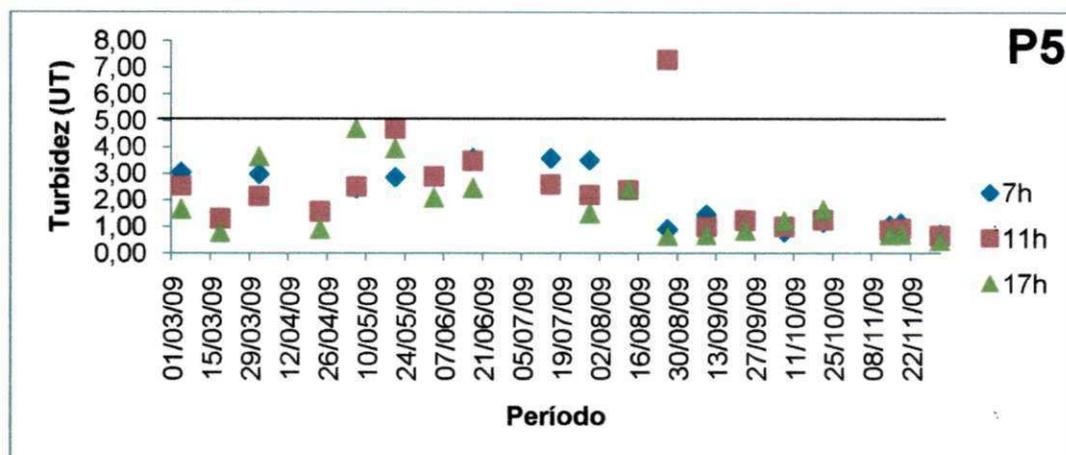


Figura 5.18 – Variação temporal da turbidez nos pontos de monitoração P5, P6 e P7

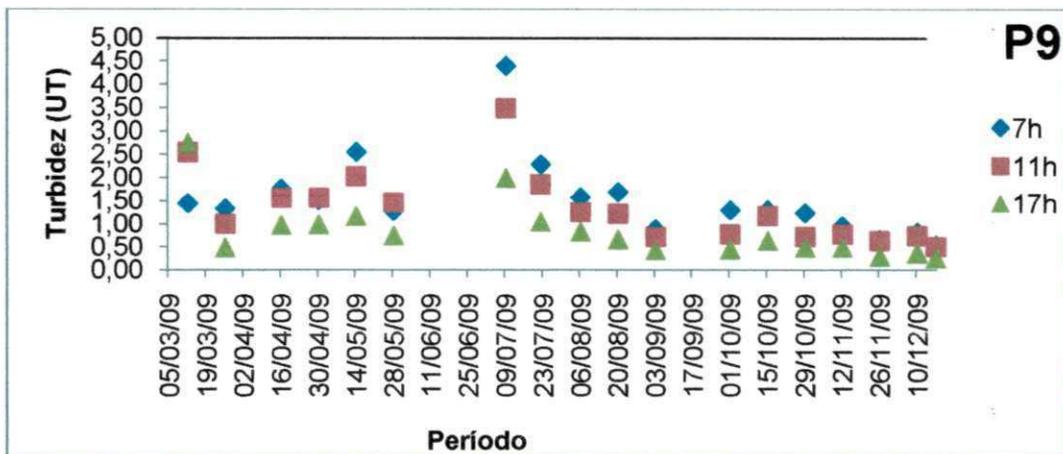
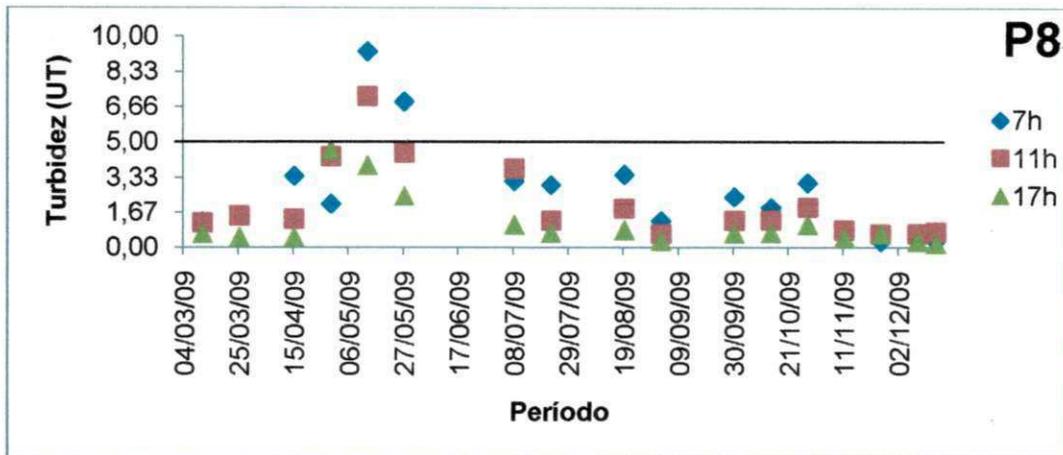


Figura 5.19 - Variação temporal da turbidez nos pontos de monitoração P8 e P9

5.2 Análise de variância

O teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado a cada conjunto de dados de cada variável analisada em cada um dos pontos amostrais para a verificação do ajuste desses dados à distribuição normal, sendo utilizado para tal, o programa estatístico SPSS 13.0 for Windows. Dentre os dados analisados, a maioria apresentou distribuição normal, mas os indicadores ferro e dureza, nos pontos P4 e P5, e turbidez em todos os pontos, exceto o P5, foram submetidos a transformações, para sua normalização.

Em seguida foi aplicada a análise de variância (ANOVA), de fator único, ao nível de significância (α) de 5%, para comparar os subconjuntos de dados amostrais de uma mesma variável e verificar a sua variabilidade nos diferentes horários de coleta no ciclo diário. Esta análise fornece o elemento P que mostra ($P < 0,05$) ou não ($P > 0,05$) a existência de diferenças significativas entre as médias dos conjuntos amostrais sob comparação. Foi utilizado o método de Hochberg GT-2 para as variáveis em que foram observadas diferenças significativas, através do qual as médias são julgadas significativamente diferentes quando não há intercessão dos respectivos intervalos de comparação dessas mesmas.

Com base nos valores do elemento P visualizado nas Tabelas 5.4 a 5.9, foi constatada a existência de diferença significativa apenas para o indicador ferro no ponto P8 conforme Tabela 5.7. Na Figura 5.20 é ilustrada graficamente onde ocorre essa diferença, a qual é observada entre os horários da manhã e noite no ponto P8.

Tabela 5.4 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P4, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Alumínio	Entre grupos	,001	2	,001	,010	,990
	Dentro dos grupos	2,189	32	,068		
	Total	2,191	34			
Cloreto	Entre grupos	4,922	2	2,461	,111	,896
	Dentro dos grupos	755,953	34	22,234		
	Total	760,876	36			
Manganês	Entre grupos	,676	2	,338	,064	,938
	Dentro dos grupos	178,327	34	5,245		
	Total	179,992	36			
Turbidez	Entre grupos	,190	2	,095	,272	,763
	Dentro dos grupos	18,837	54	,349		
	Total	19,027	56			
Dureza	Entre grupos	,123	2	,062	,120	,887
	Dentro dos grupos	17,452	34	,513		
	Total	17,575	36			
Ferro	Entre grupos	10,337	2	5,168	,028	,973
	Dentro dos grupos	6371,477	34	187,396		
	Total	6381,814	36			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

Tabela 5.5 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P5, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	2,343	2	1,171	,668	,517
	Dentro dos grupos	93,001	53	1,755		
	Total	95,343	55			
Alumínio	Entre grupos	,025	2	,012	,161	,852
	Dentro dos grupos	2,763	36	,077		
	Total	2,788	38			
Cloreto	Entre grupos	8,338	2	4,169	,088	,916
	Dentro dos grupos	1709,254	36	47,479		
	Total	1717,592	38			
Ferro	Entre grupos	,003	2	,002	,509	,605
	Dentro dos grupos	,116	36	,003		
	Total	,119	38			
Manganês	Entre grupos	1,123	2	,561	,079	,924
	Dentro dos grupos	254,709	36	7,075		
	Total	255,831	38			
Dureza	Entre grupos	,601	2	,300	,626	,541
	Dentro dos grupos	17,276	36	,480		
	Total	17,877	38			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

Tabela 5.6 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P6, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	,034	2	,017	,056	,945
	Dentro dos grupos	16,265	53	,307		
	Total	16,299	55			
Alumínio	Entre grupos	,167	2	,084	1,363	,269
	Dentro dos grupos	2,208	36	,061		
	Total	2,375	38			
Cloreto	Entre grupos	,379	2	,190	,005	,995
	Dentro dos grupos	1513,112	36	42,031		
	Total	1513,491	38			
Ferro	Entre grupos	,020	2	,010	4,149	,054
	Dentro dos grupos	,085	36	,002		
	Total	,105	38			
Manganês	Entre grupos	28,867	2	14,433	1,777	,184
	Dentro dos grupos	292,326	36	8,120		
	Total	321,193	38			
Dureza	Entre grupos	8,184	2	4,092	,038	,963
	Dentro dos grupos	3880,034	36	107,779		
	Total	3888,217	38			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

Tabela 5.7 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P7, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	,007	2	,004	,014	,986
	Dentro dos grupos	13,041	51	,256		
	Total	13,049	53			
Alumínio	Entre grupos	,004	2	,002	,027	,974
	Dentro dos grupos	2,105	31	,068		
	Total	2,108	33			
Cloreto	Entre grupos	1,924	2	,962	,030	,971
	Dentro dos grupos	1007,815	31	32,510		
	Total	1009,738	33			
Ferro	Entre grupos	,001	2	,000	,166	,847
	Dentro dos grupos	,048	31	,002		
	Total	,049	33			
Manganês	Entre grupos	23,440	2	11,720	4,397	,062
	Dentro dos grupos	82,629	31	2,665		
	Total	106,069	33			
Dureza	Entre grupos	18,565	2	9,282	,065	,937
	Dentro dos grupos	4410,578	31	142,277		
	Total	4429,143	33			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

Tabela 5.8 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P8, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	,013	2	,007	,035	,965
	Dentro dos grupos	10,374	55	,189		
	Total	10,388	57			
Alumínio	Entre grupos	,212	2	,106	1,711	,195
	Dentro dos grupos	2,234	36	,062		
	Total	2,447	38			
Cloreto	Entre grupos	,036	2	,018	,001	,999
	Dentro dos grupos	1180,278	36	32,785		
	Total	1180,314	38			
Ferro	Entre grupos	,038	2	,019	6,926	,003
	Dentro dos grupos	,100	36	,003		
	Total	,138	38			
Manganês	Entre grupos	4,898	2	2,449	1,323	,279
	Dentro dos grupos	66,613	36	1,850		
	Total	71,511	38			
Dureza	Entre grupos	20,228	2	10,114	,078	,925
	Dentro dos grupos	4646,370	36	129,066		
	Total	4666,598	38			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

Tabela 5.9 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados no ponto P9, nos diferentes horários do dia.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	,106	2	,053	,122	,885
	Dentro dos grupos	23,363	54	,433		
	Total	23,469	56			
Alumínio	Entre grupos	,024	2	,012	,190	,828
	Dentro dos grupos	2,245	36	,062		
	Total	2,269	38			
Cloreto	Entre grupos	,073	2	,037	,001	,999
	Dentro dos grupos	1258,043	36	34,946		
	Total	1258,116	38			
Ferro	Entre grupos	,001	2	,000	,300	,742
	Dentro dos grupos	,057	36	,002		
	Total	,058	38			
Manganês	Entre grupos	,240	2	,120	,044	,957
	Dentro dos grupos	98,580	36	2,738		
	Total	98,820	38			
Dureza	Entre grupos	37,326	2	18,663	,324	,725
	Dentro dos grupos	2073,541	36	57,598		
	Total	2110,867	38			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%

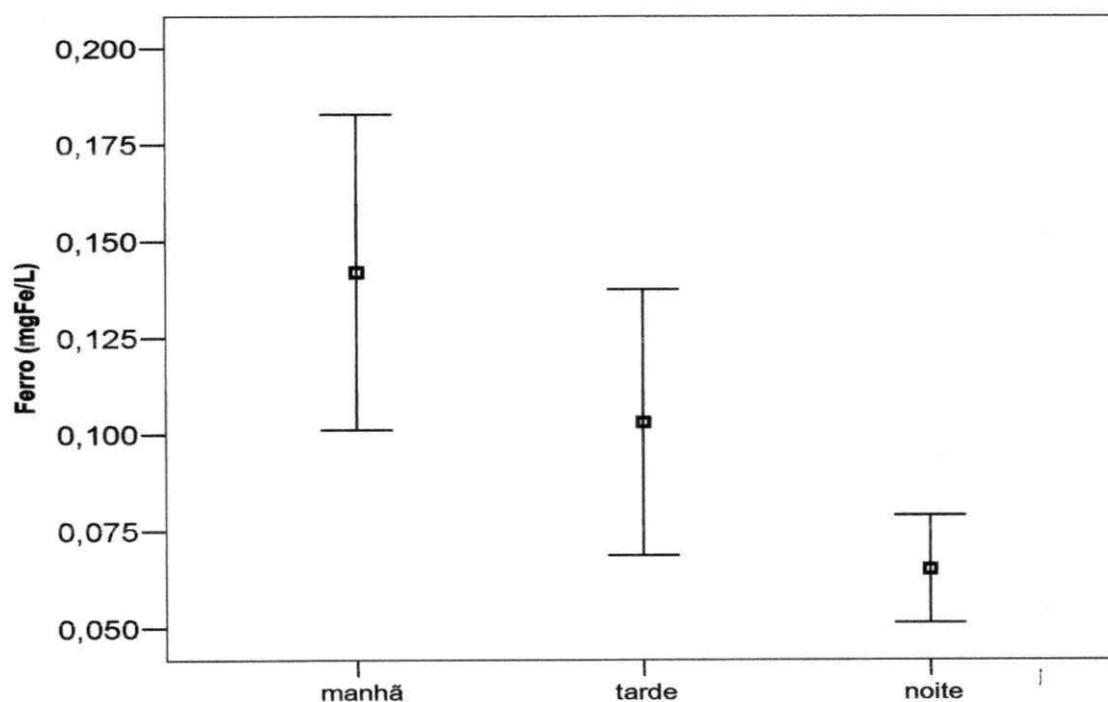


Figura 5.20 – Ilustra graficamente onde ocorre essa diferença, a qual é observada entre os horários da manhã e noite no ponto P8

A Tabela 5.10 resume os elementos da análise de variância de fator único aplicada para a comparação das médias de uma mesma variável determinada nos seis pontos de monitoração. Foi verificado que os indicadores alumínio, cloreto, dureza e manganês não apresentaram diferenças significativas ($\alpha = 0,05$) nas suas médias o que significa que, na prática, sua monitoração poderia ser feita com base em amostras coletadas num único ponto. Os indicadores ferro e turbidez tiveram seus comportamentos significativamente influenciados por fatores próprios dos locais de amostragem, ou seja, fatores ambientais, operacionais e de manutenção. As demonstrações dessas diferenças significativas são apresentadas nas Figuras 5.21 e 5.22.

A Figura 5.22 faz a comparação gráfica simultânea das médias e dos intervalos de comparação de 95% para o ferro, sendo destacados os pontos P6 e P8, os quais apresentaram as maiores concentrações médias, provavelmente ocasionadas por tubulações antigas, algumas de ferro fundido, presentes nos trechos onde se encontram inseridos tais pontos.

Tabela 5.10 – Análise de variância para a comparação das médias dos indicadores determinados em todos os pontos monitorados.

		S Q	G.L	Q. M.	F	P
Turbidez	Entre grupos	68,750	5	13,750	5,733	,000
	Dentro dos grupos	796,198	332	2,398		
	Total	864,948	337			
Alumínio	Entre grupos	,283	5	,057	,914	,473
	Dentro dos grupos	13,589	219	,062		
	Total	13,873	224			
Cloreto	Entre grupos	201,010	5	40,202	1,194	,313
	Dentro dos grupos	7440,127	221	33,666		
	Total	7641,137	226			
Ferro	Entre grupos	,062	5	,012	4,899	,000
	Dentro dos grupos	,564	221	,003		
	Total	,626	226			
Manganês	Entre grupos	28,348	5	5,670	1,214	,304
	Dentro dos grupos	1032,426	221	4,672		
	Total	1060,774	226			
Dureza	Entre grupos	271,662	5	54,332	,485	,787
	Dentro dos grupos	24765,818	221	112,063		
	Total	25037,481	226			

Nota: S.Q = Soma dos quadrados. G.L = Grau de liberdade. Q.M = quadrado médio. P = Significância 5%.

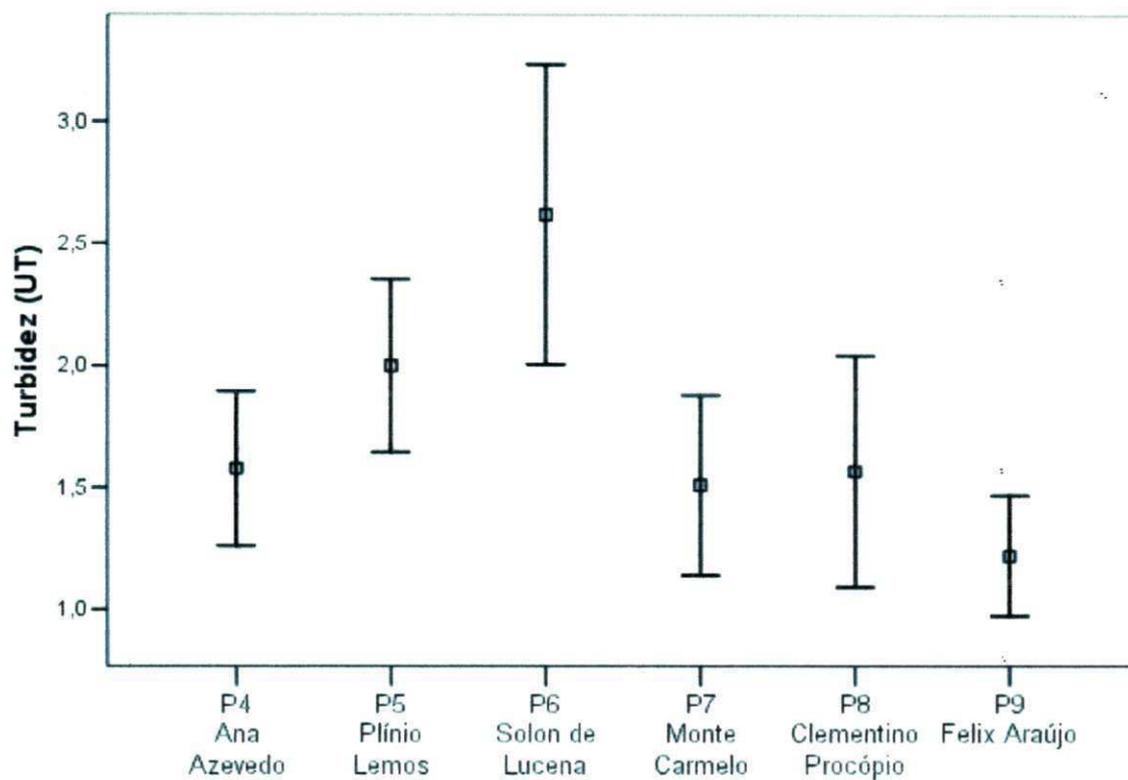


Figura 5.21 – Ilustra graficamente onde ocorre essa diferença para o indicador turbidez nos pontos monitorados.

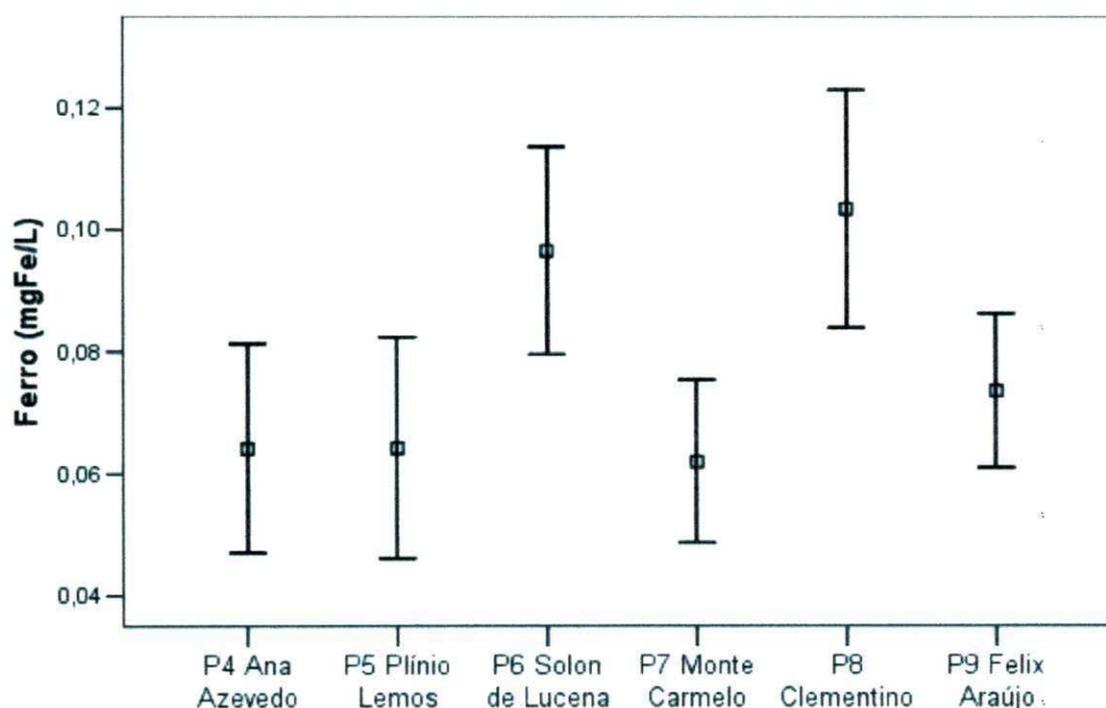


Figura 5.22 – Ilustra graficamente onde ocorre essa diferença para o indicador ferro nos pontos monitorados

6.0 DISCUSSÃO

A Portaria Nº 518/2004 (BRASIL, 2004), do Ministério da Saúde, estabelece cinco conjuntos de padrões que devem ser atendidos pelas águas, não envasadas, destinadas ao consumo humano: padrão microbiológico, padrão de turbidez, padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de radioatividade e padrão de aceitação para consumo humano. Tais padrões de qualidade devem ser observados tanto pelas ações de controle, exercidas pelo serviço de abastecimento, como pelas ações de vigilância, exercidas pela autoridade de saúde.

Há no Brasil uma crescente preocupação com a qualidade da água de abastecimento, especialmente com o aspecto da vigilância, em vista dos riscos à população representados por contaminantes microbiológicos, químicos e radioativos. Há também uma preocupação com os aspectos estéticos relacionados ao consumo de águas especialmente aqueles relativos ao sabor dessas águas o que leva a um consumo crescente de águas envasadas, tanto as águas minerais como as águas dessalinizadas. O mercado mundial dessas águas vem apresentando constante expansão, verificando-se, nos últimos anos, crescimento da ordem de 20% ao ano, segundo estatísticas do Departamento Nacional da Produção Mineral e da Associação Brasileira da Indústria de Água Mineral.

Os padrões de aceitação para consumo humano referem-se à presença de espécies que conferem à água características indesejáveis tais como gosto, odor ou qualquer outra característica que possa vir a suscitar objeção ao seu consumo por ferir, de algum modo, o senso estético do consumidor. Nesse conjunto de padrões são estabelecidos valores máximos permitidos para alumínio, amônia, cloreto, cor aparente, dureza, etilbenzeno, ferro, manganês, monoclorobenzeno, sódio, sólidos dissolvidos totais, sulfato, sulfeto de hidrogênio, surfactantes, tolueno, turbidez, zinco, xileno, além de ser definido o nível "não objetável" para odor e gosto.

Este trabalho de pesquisa, baseado na monitoração dos indicadores selecionados alumínio, cloreto, dureza, ferro, manganês e turbidez foi um estudo preliminar sobre o grau de conformidade da água do sistema de distribuição da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil, com o

padrão de aceitação para consumo humano estabelecido no padrão de potabilidade anexo à Portaria 518/2004.

6.1 Comportamento dos indicadores selecionados na água de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)

A análise dos resultados da monitoração da rede de distribuição de água de Campina Grande permitiu verificar a importância dos indicadores alumínio e turbidez em face da ocorrência da não conformidade em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria Nº 518/2004. Todos os demais indicadores selecionados apresentaram conformidade com a referida Portaria.

Foram analisadas 321 amostras coletadas em todos os pontos da pesquisa para o indicador turbidez e 227 para os demais indicadores. Das determinações de alumínio, analisado em todos os pontos monitorados, 62,12% estavam em discordância com a legislação, enquanto que das determinações de turbidez 3,42% não apresentaram conformidade com o padrão de aceitação. Essas não conformidades estavam associadas a valores superiores aos respectivos VMP de 0,2 mgAl/L e 5,0 UT. Para o indicador alumínio, essa situação pode estar associada à dosagem imprecisa do coagulante sulfato de alumínio.

Foi observado que todas as não conformidades do padrão de alumínio ocorreram no período de chuva, período no qual a água bruta apresenta valores elevados e variáveis de turbidez, requerendo a adição de sulfato de alumínio o qual, devido às flutuações da turbidez, é dosado de maneira imprecisa. É importante registrar que durante a estiagem, com a redução dos níveis de turbidez da água, a adição do agente coagulante é suspensa e, conseqüentemente, as concentrações de alumínio na água tratada tendem a diminuir. De fato, essa variação foi observada ao longo da monitoração desse indicador quando, a partir de outubro de 2009, foram significativamente reduzidas permanecendo abaixo do VMP estabelecido na legislação.

Figueiredo (2004) constatou que no sistema de abastecimento de João Pessoa (PB), as concentrações de alumínio na água tratada foram superiores às da água bruta e associou isto a problemas de controle operacional e à adição de

produtos químicos (sulfato de alumínio). Também foram constatados valores mais elevados no período de chuvas, em associação com o aumento da turbidez das águas do manancial.

De acordo com Associação Brasileira de Alumínio (2000), no Brasil vários estudos têm sido realizados para correlacionar o alumínio presente na água de abastecimento com o mal de Alzheimer, em concentrações superiores ao padrão estabelecido pela Portaria Nº 518/2004. A partir da década 70 alguns estudos começaram a relacionar o alumínio à doença do mal de Alzheimer. Logo após estes estudos, centenas de pesquisadores e entidades como a Food and Drug Administration (FDA), dos Estados Unidos da America e a OMS desenvolveram uma infinidade de estudos e a maioria deles concluiu que não existem evidências científicas de que o alumínio é um causador da doença de Alzheimer (OMS, 2003).

Em 1994, durante a 4ª Conferencia Internacional sobre a doença de Alzheimer, foram apresentados 655 trabalhos e apenas 13 deles mencionaram o alumínio como potencial agente etiológico. Apesar das diversas teorias existentes sobre as causas da doença de Alzheimer, têm sido cada vez mais freqüentes citações que apontam os fatores genéticos como determinantes para a instalação do processo mórbido em detrimento de outras alegações, inclusive a que liga a doença à ingestão do metal. Portanto a doença do Mal de Alzheimer estaria associada a um processo natural do envelhecimento ou a uma consequência da própria doença.

Com relação à transparência da água, apenas 3,42% das análises realizados nos seis pontos de monitoração apresentaram valores do indicador turbidez superiores ao estabelecido pela Portaria Nº 518/2004. O resultado obtido pode ser considerado, no geral, satisfatório, mas vale salientar que a turbidez da água compromete diretamente as características organolépticas da mesma. Valores de turbidez elevados devem ser entendidos como uma situação de perigo, pois compromete a eficiência do processo de desinfecção (GALDINO, 2009).

Os resultados revelaram que a turbidez sofreu aumentos significativos em períodos de maior concentração de chuvas. Nesses períodos, as equipes que exercem o controle da qualidade da água devem estar alertas para as mudanças ocorridas da água, intervindo com rapidez para evitar que o padrão de potabilidade seja afetado. A remoção de turbidez, nas estações de tratamento de água, indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo entrovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp. Portanto, a remoção de turbidez significa uma

barreira à ocorrência de doenças causadas por tais agentes infecciosos e a presença de turbidez na água é um potencial indicador de doenças de veiculação hídrica. A monitoração da turbidez nos sistemas de distribuição de água cumpre o importante papel da vigilância da qualidade da água contra riscos de contaminação dos usuários, além de verificar o atendimento do padrão de aceitação para consumo humano, relacionado ao aspecto objetável do indicador.

Os resultados de dureza, em todos os pontos de monitoração apresentaram conformidade com a Portaria Nº 518/2004 embora o intervalo de concentrações determinadas, entre 115 e 150mgCaCO₃/L, caracterize a água distribuída em Campina Grande como moderadamente dura (APHA, AWWA, WPCF, 1999), o que já é capaz de causar objeção ao seu consumo por causa do gosto metálico da água. No Brasil, o VMP da dureza (500 mgCaCO₃/L), fixado pelo padrão de potabilidade, é relativamente alto e, na prática, além do aspecto estético, representa uma ameaça a equipamentos de aquecimento em geral, bem como oferece a possibilidade de obstrução de canalizações em condições que favoreçam a precipitação de carbonato de cálcio.

O cloreto, monitorado em todos os pontos amostrais, apresentou conformidade com o padrão de potabilidade situando-se suas concentrações bem abaixo do Valor Máximo Permissível de 250mgCl⁻/L. Os íons cloretos não são removidos por processos convencionais de tratamento de água, sendo necessários processos especiais. Os resultados obtidos da monitoração do cloreto apresentaram significativa variação ao longo do período de análises o que está de acordo com a literatura que indica que, com o alto índice de evaporação da água no período de estiagem, os sais tendem a se concentrar, contribuindo para a evolução gradual de espécies como cloretos.

Os indicadores ferro e manganês apresentam características semelhantes, e os resultados obtidos dos mesmos em todos os pontos de coleta, estão em conformidade com a legislação. O ferro, com certa frequência associado ao manganês, confere à água sabor, ou melhor, sensação de adstringência e coloração avermelhada, decorrente de sua precipitação. De acordo com Heal (2001), as águas ferruginosas mancham as roupas durante a lavagem, mancham os aparelhos sanitários e podem ficar depositadas nas tubulações. O manganês apresenta inconvenientes semelhantes aos do ferro, porém é menos comum e sua coloração característica é marrom. Em geral, estas substâncias não estão

associadas a problemas de saúde embora componham o padrão de aceitação para consumo humano.

7.0 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o grau de conformidade da água de abastecimento do sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB) com o padrão de aceitação para consumo humano da Portaria Nº 518/2004, com base nas concentrações dos indicadores alumínio, cloreto, dureza, ferro, manganês e turbidez. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

Com exceção do indicador alumínio, que apresentou 62,12% de não conformidade, os demais indicadores apresentaram-se em conformidade com o supracitado padrão de aceitação.

As concentrações de alumínio variaram de 0,009 a 0,956mgAl/L nos seis pontos monitorados num universo de 227 análises. As altas concentrações de alumínio ocorreram no período de chuvas, tendo sido relacionadas às maiores dosagens do coagulante sulfato de alumínio aplicadas para a remoção da mais elevada turbidez predominante no período chuvoso.

Para o indicador turbidez ocorreram 3,42% de violações nas análises efetuadas, com uma maior violação no ponto P6, chegando a um valor de 13,03 UT, em decorrência de reparos realizados na rede no dia anterior, antes do ponto de coleta.

8.0 RECOMENDAÇÕES

- O serviço de abastecimento público de água deve estabelecer um esquema operacional rigoroso da Estação de Tratamento de Água visando um maior controle na adição de produtos químicos particularmente nos períodos intersazonais caracterizados por mudanças agudas na qualidade da água bruta, particularmente com relação à turbidez.
- O serviço de abastecimento público de água deve adotar uma abordagem operacional visando a minimização das concentrações residuais de alumínio na água tratada. Esta abordagem deve incluir o controle das condições ótimas do processo de coagulação, com a promoção de uma boa mistura no ponto de aplicação do coagulante, evitando dosagem excessiva de sulfato de alumínio e buscando o controle do pH ótimo. Também o controle do gradiente de velocidade para a floculação e o controle da filtração devem ser mais rigorosamente exercidos.
- Os órgãos encarregados da promoção da saúde pública devem exercer a ação de vigilância da qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento de Campina Grande com vistas ao atendimento integral do padrão de aceitação para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR Nº 12.211 - **Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água**, Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.218 - **Elaboração de Projetos. Hidráulicos de Redes de Distribuição de Água Potável para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ALMEIDA, S. A. B. **Contribuição a aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas e baixa renda do nordeste do Brasil – Estudo de caso**. 2007. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

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

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998. 669p.

BABBITT, H. E. **Abastecimento de Água**, São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1967.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 36, de 19 de janeiro de 1990. **Dispõe sobre as normas e padrões de potabilidade de água para consumo humano**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 jan. 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N.º 56, de 14 de março de 1977. **Aprova as normas e o padrão de potabilidade da água a serem observados em todo território nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jun. 1977.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 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.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. 22 fev. 2001.

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.** Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em saúde Ambiental. **Programa Nacional de Vigilância relacionada à qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

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, 2006a.

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

CAGEPA (Companhia de água e Esgoto da Paraíba). **Dados dos reservatórios do sistema de água de Campina Grande, Pocinhos, Galantes - PB, 2009.**

FIGUEIREDO, G. J. A. **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e grande João Pessoa do estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população.** 2004. 118f. Dissertação (Mestrado em Programa regional de pós graduação em desenvolvimento e meio ambiente) Universidade Federal da Paraíba, 2004.

FLATEN, T. P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis in drinking water. **Brain Research Bulletin**, v. 55, nº 2, p. 187-196, 2001.

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).** Campina Grande - PB: UFCG, 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

HEAL, K. V. Manganese and land-use in upland catchments in Scotland. **The Science of the total Environmental**, n.265. 169-179p. 2001

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

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 2º edCampinas,SP: Átomo, 2008. 444p.

MOORE, P. B.; DAY, J. P; TAYLOR, G. A.; FERRIER I. N.; FIFIELD L. K.; EDWARDSON, J. A. Absorption of aluminium-26 in Alzheimer's disease, measured using accelerator mass spectrometry. **Dementia and Geriatric Cognitive Disorders**, v.11, n.2., p. 66-69, 2000.

OMEE – Ontario Ministry of Environment and Energy. **Drinking water surveillance programme** Ontario, Toronto: Ontario Ministry of Environment and Energy, 1995.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Guidelines for drinking water quality**. Vol. 2, (Health criteria and other supporting information) genebra (Suíça), 2003.

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

SOUZA, R. M .L. **Princípios utilizados em segurança da água para consumo**. São Paulo, 2008. 54p.

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

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.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1995. 240p

WHO - World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**, vol. 2., Geneva, 1996.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 3 ed. 2003. 215p. Disponível em:
http://www.who.int/doscstore/water_sanitation_health/GDWQ/Updating/draftguidel/2003gdwq8.pdf. Acesso em 20 set. 2009.

WISNIEWSKI; T. Seminário – Alumínio e Saúde: Mitos e Verdades, jun. 2000.
Disponível em:
<HTTP://www.google.com.br/search?q=cache:TfY7R52x5u8J;www.abal.org.br/noticias/anexos/Transcri%25E7%25E3THOMAZ.doc+presen%C3%A7a+de+aluminio+na+agua+potavel&hl=pt-BR>. Acesso em: 12 de janeiro de 2010.