



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Centro de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

CAYO FARIAS PEREIRA

DISTRIBUIÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE CAMPINA GRANDE - PB

**Campina Grande / PB
2011**

CAYO FARIAS PEREIRA

DISTRIBUIÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DE CAMPINA GRANDE - PB

Monografia apresentada no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, referente ao Trabalho Acadêmico Orientado, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Rui de Oliveira.

Campina Grande / PB
2011

P414d Pereira, Cayo Farias.
Distribuição de metais na água de abastecimento público de Campina Grande - PB [manuscrito] / Cayo Farias Pereira. – 2011.
10 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologias, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental”.

1. Abastecimento de Água. 2. Qualidade da água potável. 3. Vigilância da água. I. Título.

21. ed. CDD 628.1

CAYO FARIAS PEREIRA

DISTRIBUIÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DE CAMPINA GRANDE - PB

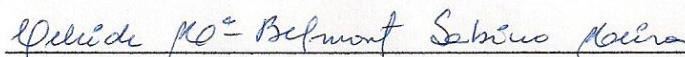
MONOGRAFIA APROVADA EM: 17 / 11 / 2011.

NOTA 10,0 (dez virgula zero)

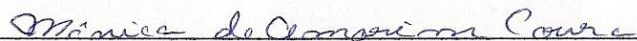
BANCA EXAMINADORA



Professor Dr. Rui de Oliveira
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental / UEPB
Orientador



Professora Dr^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental / UEPB
Examinadora



Professora Dr^a Mônica de Amorim Coura
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil / UFCG
Examinadora

*DEUS – grande arquiteto do universo;
FAMÍLIA – o alicerce do mundo pacífico;
MESTRES – amigos que mostram através
do exemplo que a vida deve ser trilhada sob
os pilares da justiça, verdade e
compromisso;
COLEGAS – sonhos e ideais que se
irmanam.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me proporcionado todas as oportunidades e o dom da vida.

Agradeço a toda a minha família e em especial aos meus pais, José Pereira e Leneide, aos meus tios, Luzineide e Ceciliano, à minha querida irmã, Émyle, e à minha namorada Layse. Aos meus avós, por acreditarem em meu potencial. A todos pelo carinho, atenção, perseverança e apoio as minhas decisões.

Ao professor e amigo Dr. Rui de Oliveira, pela orientação, incentivo, compreensão e por ter guiado meus passos profissionais.

Às professoras Dr^a Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Dr^a Mônica de Amorim Coura e MEng. Ruth Silveira do Nascimento, pela amizade, orientação, dedicação e conselhos dispensados.

A todos os professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental que passaram não só conhecimentos técnicos, mas sim, experiência de vida. Em especial aos professores Dr. Fernando Fernandes Vieira, Dr. Valderi Duarte Leite e Dr. Howard William Pearson pela disponibilidade e amizade.

Aos meus amigos-irmãos Glauber, Allan, Sammy, Felipe, Rafael, Kyoma, Diego, André, Neilor César, Daniela, Virgínia, Thelma, Araly, Maria Auxiliadora e Vilma pelo companheirismo e amizade.

Aos meus amigos de pesquisa, levarei para toda a vida, Joseneto, Emanuel, Thassio, Igor, Juscelino, Clarissa e todos os outros que fizeram parte do Grupo de Pesquisa Saúde Ambiental.

Ao Laboratório de Saneamento da UFCG, em especial a funcionária Valmaria pela assistência e atenção.

Aos funcionários do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, pelo apoio, orientação, amizade e conhecimentos transmitidos durante minha trajetória universitária, que certamente contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e formação profissional.

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

“Você não consegue ligar os pontos olhando pra frente; você só consegue ligá-los olhando pra trás. Então você tem que confiar que os pontos se ligarão algum dia no futuro. Você tem que confiar em algo – seu instinto, destino, vida, carma, o que for. Esta abordagem nunca me desapontou, e fez toda diferença na minha vida.”

Steve Jobs.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar a qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande, situada na mesorregião do Agreste paraibano, Nordeste do Brasil, com base no padrão de aceitação para consumo humano estabelecido pela Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde (MS). Os indicadores analisados (alumínio, dureza, ferro e manganês) foram monitorados no período de junho a dezembro de 2009 e de março a julho de 2010, garantindo a uniformidade das coletas no período de amostragem. A escolha dos seis pontos, considerados estratégicos, seguiu a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano. Todos os indicadores, com exceção do alumínio, apresentaram conformidade com o padrão estabelecido pela Portaria Nº 518/2004 do MS. A análise de variância (ANOVA) de fator único foi aplicada ao conjunto de dados amostrais de uma mesma variável, tendo sido verificado que as médias dos diferentes pontos não apresentam diferenças significativas, exceto para o caso do ferro. O ferro não apresentou uniformidade de suas concentrações, em todos os pontos monitorados, devido ao desgaste da tubulação de ferro fundido nos pontos P6 (Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Sólon de Lucena) e P8 (E.E.E.F.M Clementino Procópio). A não-conformidade do alumínio, em 62,59% das análises, é atribuída a resíduos oriundos da aplicação de sulfato de alumínio, na Estação de Tratamento de Água (ETA), particularmente no período chuvoso quando a turbidez da água bruta aumenta significativamente e a equipe de operação decide em favor de maiores dosagem do referido sal coagulante. Os indicadores de qualidade da água analisados permitiram verificar a não-conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano, bem como possíveis riscos à saúde da população, particularmente no caso do alumínio. Os resultados sinalizam a necessidade da revisão dos padrões de operação e manutenção do sistema de abastecimento, em especial a ETA e a rede de distribuição.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento de água. Vigilância da água. Qualidade da água potável. Metais na água potável.

ABSTRACT

This work of completion of the course aims to study the water quality of the water supply system in Campina Grande, located in the mesoregion of Agreste region, Northeast of Brazil, based on the standard of acceptance for human consumption established by Ordinance N° 518/2004 of the Brazilian Ministry Of Health. The indicators analyzed (aluminum, hardness, iron, and manganese) were monitored during the period of June to December 2009 and of March to July 2010, guaranteeing the uniformity of the analysis during the sampling period. The choice of six points, considered as strategic, followed the Guideline National of the Sampling Plan of the Surveillance on Health related quality of water for human consumption. All the indicators, with the exception of aluminum, presented according to the pattern established by Ordinance N° 518/2004 of the Ministry of Health. The analysis of variance (ANOVA) of single factor was applied to a set of sample data of the same variable, having been concluded that the average of different points did not present significant differences, except for the case of iron. The iron concentration was not uniform across all the monitored points. This was due to variation in the corrosion of the cast iron piping with highest values being recorded at points P6 (State School of Elementary School and Middle Sólton de Lucena) and P8 (S. S. E. S. M Clementino Procópio). The non-conformity of aluminum, in 62.59% of the tests, was attributed to variation in the dosing levels with aluminum sulphate, in the Water Treatment Plant (WTP), particularly in the rainy season when the turbidity of the raw water increased significantly resulting in the decision of the technical team to increase dosage of the coagulant salts. The indicators of quality of the water samples analyzed allowed us to verify the non-conformity with the pattern of acceptance for human consumption, as well as possible risks to the health of the population, particularly in the case of aluminum. The results indicate the need to review the standards of operation and maintenance of the system of supply of potable water, in particular at the WTP and the distribution network.

KEYWORDS: Water Supply. Monitoring of the water. Quality of drinking water. Metals in drinking water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | – Município de Campina Grande (PB)..... | 25 |
| Figura 2 | – Rede de distribuição de Campina Grande..... | 28 |
| Figura 3 | – Precipitação mensal, no período da pesquisa no município de Campina Grande..... | 32 |
| Figura 4 | – Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos monitorados..... | 33 |
| Figura 5 | – Variação temporal da concentração de dureza total nos pontos monitorados..... | 35 |
| Figura 6 | – Variação temporal da concentração de Ferro nos pontos monitorados..... | 36 |
| Figura 7 | – Variação temporal da concentração de Ferro nos pontos P8 e P9..... | 37 |
| Figura 8 | – Variação temporal da concentração de Manganês nos pontos P4 e P5..... | 37 |
| Figura 9 | – Variação temporal da concentração de Manganês nos pontos P6, P7, P8 e P9..... | 38 |
| Figura 10 | – Análise utilizando o método Hochberg GT-2 para concentrações de Ferro em todos os pontos monitorados..... | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Padrão de aceitação para consumo humano, Portaria MS Nº 518/2004, Ministério da Saúde..... | 20 |
| Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta e suas respectivas coordenadas geográficas..... | 26 |
| Tabela 3 – Dimensões da rede de distribuição de água de Campina Grande. | 27 |
| Tabela 4 – Métodos laboratoriais recomendados..... | 29 |
| Tabela 5 – Concentrações médias nos pontos monitorados..... | 31 |
| Tabela 6 – Conformidades e não-conformidades com a Portaria Nº 518/2004 do MS..... | 31 |
| Tabela 7 – ANOVA – Alumínio..... | 39 |
| Tabela 8 – ANOVA – Dureza total..... | 39 |
| Tabela 9 – ANOVA – Manganês..... | 39 |
| Tabela 10 – ANOVA - Ferro..... | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|--|
| ABNT | – Associação Brasileira de Normas técnicas |
| Al | – Alumínio |
| 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 |
| E.E.E.F.M | – Escola Estadual de Ensino Médio |
| ETA | – Estação de Tratamento de Água |
| Fe | – Ferro |
| m.c.a. | – Metros de Coluna de Água |
| Mn | – Manganês |
| MS | – Ministério da Saúde |
| NBR | – Norma Brasileira |
| OMS | – Organização Mundial de Saúde |
| ONU | – Organização das Nações Unidas |
| UFCG | – Universidade Federal de Campina Grande |
| USEPA | – United States Environmental Protection Agency |
| WHO | – World Health Organization |
| WTP | – Water Treatment Plant |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 15 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 15 |
| 3. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA..... | 16 |
| 3.1 Controle da qualidade da água destinada ao consumo humano..... | 16 |
| 3.2 Tratamento de água para consumo humano..... | 17 |
| 3.3 Normas e padrão de potabilidade..... | 19 |
| 3.3.1 Principais indicadores para aceitação da água no consumo humano..... | 21 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 25 |
| 4.1 Caracterização da área e período de estudo..... | 25 |
| 4.2 Sistema de abastecimento..... | 26 |
| 4.3 Metodologia de amostragem..... | 28 |
| 4.4 Indicadores físico-químicos analisados..... | 29 |
| 4.5 Dados pluviométricos..... | 29 |
| 4.6 Procedimentos estatísticos..... | 30 |
| 5. RESULTADOS OBTIDOS..... | 31 |
| 5.1 Dados pluviométricos..... | 31 |
| 5.2 Aceitação para consumo humano relacionada com os indicadores selecionados..... | 32 |
| 5.2.1 Alumínio..... | 32 |
| 5.2.2 Dureza..... | 34 |
| 5.2.3 Ferro..... | 36 |
| 5.2.4 Manganês..... | 37 |
| 5.3 Análise de variância (ANOVA)..... | 38 |
| 6. DISCUSSÃO..... | 41 |
| 7. CONCLUSÃO..... | 43 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |

1 INTRODUÇÃO

A água é o componente bioquímico dos seres vivos e recurso natural essencial a todas as formas de vida, podendo ser fator limitante no desenvolvimento social, cultural e científico do homem.

As expansões demográfica, industrial e da agricultura irrigada sofrem interferência direta da quantidade de água presente no meio. No semiárido nordestino a irregularidade da distribuição pluviométrica e a intermitência dos cursos de água alteram a qualidade da água fornecida à população (SEMARH, 2000).

Os questionamentos acerca da qualidade da água tornaram-se mais intensos no final do século XIX e início do século XX. Antes deste período, os padrões estéticos e sensoriais (cor, gosto e odor) eram os determinantes da qualidade da água. Contudo, existem evidências que na Grécia antiga utilizavam-se técnicas como a filtração, exposição ao sol e fervura para melhorar a qualidade da água (USEPA, 2000).

Segundo CARMO (2008) o termo vigilância pressupõe a avaliação frequente e continuada de aspectos diversos, objetivando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, com o objetivo de possibilitar formas de intervenção ou controle, assumindo, assim, caráter rotineiro e preventivo. A aplicação deste conceito na vigilância da água de abastecimento constitui um grande desafio, pois, a qualidade da água é dinâmica no tempo e no espaço, dificultando o monitoramento simultâneo na captação, distribuição e consumo.

As possibilidades de tratamento são quase ilimitadas, permitindo até mesmo o reuso de esgotos e a dessalinização de água do mar para o abastecimento humano. A evolução das tecnologias de tratamento de água traz consigo vários custos e danos à saúde do homem, sendo necessários vários estudos sobre a qualidade da água bruta e pesquisas que evidenciem tecnologias apropriadas para o tratamento.

No Brasil, a normatização da qualidade da água para consumo humano foi iniciada em 1970 por meio do Decreto Federal Nº 79.367 de 9 de março de 1977, estabelecendo competência, ao Ministério da Saúde sobre a definição dos padrões de potabilidade da água para consumo humano em todo o território nacional. Este primeiro padrão de potabilidade, Portaria Nº 56 Bsb (publicada em 14 de março de 1977), abrangia diferentes constituintes químicos e microbiológicos potencialmente

nocivos à saúde humana. Com o passar dos anos foram incluídos novos parâmetros baseados em estudos do próprio Ministério da Saúde e em diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS).

A Portaria Nº 518/2004 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. Estes devem ser atentamente observados pelo operador do sistema de abastecimento, ou por ações de vigilância da qualidade da água promovidas pelas autoridades responsáveis.

Os padrões de aceitação para consumo humano se referem à presença de espécies que conferem à água características indesejáveis tais como gosto, odor, ou qualquer atributo que possa vir a suscitar objeção ao seu consumo. Nesse conjunto de padrões são estabelecidos valores máximos permissíveis para alumínio, amônia, cloreto, cor aparente, dureza, 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 (SOUZA, 2010).

Este trabalho de conclusão de curso, detalhado a seguir, é um estudo preliminar sobre a conformidade da água na rede de distribuição da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, com o padrão de aceitação para consumo humano, estabelecido pela Portaria Nº 518/2004 do MS.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a distribuição de metais (Alumínio, Dureza, Ferro e Manganês) na rede de distribuição de água de Campina Grande e seu grau de conformidade com o padrão de aceitação para o consumo humano.

2.2 Objetivos específicos

O trabalho propõe-se a:

- Descrever os comportamentos dos indicadores selecionados em pontos estratégicos na rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande;
- Relacionar os indicadores com os padrões de operação da estação de tratamento de água ao longo do ciclo hidrológico;
- Verificar o grau de conformidade com o padrão de potabilidade.

3 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água caracteriza-se pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte até os centros consumidores e fornecimento à população em quantidade compatível com suas necessidades. Este pode ser concebido para atender a pequenos povoados ou até grandes centros urbanos, variando nas características e no porte de suas instalações. O sistema é composto pelo conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira (NBR) 12.211/1989 estabelece as condições mínimas exigíveis para a realização do estudo e das concepções dos sistemas públicos de abastecimento. As características como configurações topográficas da região, tipos de consumidores, determinação da demanda de água e os tipos de mananciais abastecedores são necessários para a implantação do sistema de abastecimento de água.

O suprimento de água em quantidade suficiente e qualidade satisfatória a um centro habitado tem influência decisiva sobre: controle e prevenção de doenças, práticas que promovem a melhoria da saúde, estabelecimento de dispositivos relacionados ao conforto e à segurança coletiva e, por fim, o desenvolvimento industrial, conduzindo à elevação do padrão de vida da comunidade (GARCEZ, 1988).

3.1 Controle da qualidade da água destinada ao consumo humano

A água é uma necessidade vital para qualquer ser vivo e é utilizada para inúmeras finalidades. No seu estado bruto ela apresenta inúmeras impurezas, como vírus, bactérias, substâncias tóxicas que acarretam prejuízos a saúde do homem, sociais e econômicos. Logo, a preocupação no desenvolvimento de normas técnicas, padrões e legislações sanitárias que tornem a água não tratada em potável, reduzirão os riscos à saúde.

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) revelam que cerca de 250 milhões de pessoas, em 26 países, têm grande dificuldade para obter água. Cerca de 2 bilhões de seres humanos não dispõem de água potável, ou seja, água adequada para o consumo humano. As projeções da ONU indicam que, se a

tendência continuar, em 2050, mais de 45% da população mundial estará vivendo em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa, estabelecida pela ONU, para suas necessidades básicas. Essa situação agrava a fome e torna altos os índices de mortalidade, principalmente infantil. A falta de água e de saneamento básico mata 6 mil crianças por dia.

A manutenção do padrão de potabilidade na produção de água para o consumo humano deve seguir um rigoroso controle de qualidade, que deve ser monitorado pelo órgão de Vigilância Sanitária, fundamenta-se na Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde. Assim, o tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar as impurezas presentes.

O controle de qualidade da água de abastecimento está diretamente associado ao monitoramento das características físicas, químicas e biológicas da água, como também, aos processos relacionados à autodepuração que ocorrem ao longo do corpo hídrico.

Caso a qualidade da água não se apresente dentro dos limites estabelecidos, medidas de controle de poluição devem ser adotadas a fim de enquadrar o corpo aquático em determinada classe, dependendo de qual seja sua finalidade.

3.2 Tratamento de água para consumo humano

As estações de tratamento de água foram criadas para remover os riscos presentes nas águas de abastecimento, por meio de uma combinação de processos e de operações de tratamento.

De acordo com Libânio (2008), o tratamento de água consiste na adequação da água bruta afluente à estação ao padrão de potabilidade vigente estabelecido pela Portaria Nº 518/2004. As remoções de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente deletérias à saúde humana, presentes nas águas naturais, são eliminadas com baixos custos de implantação, operação e manutenção, gerando menor impacto ambiental às áreas circunvizinhas.

A seleção da tecnologia mais adequada ao tratamento de água deve satisfazer três conceitos fundamentais: múltiplas barreiras, tratamento integrado e

tratamento por objetivos. A existência das múltiplas barreiras, no sistema de abastecimento de água, sugere à necessidade de haver mais de uma etapa de tratamento para alcançar condições de baixo risco à saúde. O tratamento integrado indica que as barreiras devam ser combinadas de forma a produzir o efeito esperado (DI BERNARDO, 2008). Logo, a escolha adequada deve ser pautada principalmente nas seguintes premissas:

- I. Características da água bruta;
- II. Custos de implantação, manutenção e operação;
- III. Manuseio e confiabilidade dos equipamentos;
- IV. Flexibilidade operacional;
- V. Localização geográfica e características da comunidade;
- VI. Disposição final do lodo.

A coagulação consiste na transformação das impurezas invisíveis que estão na água em suas diversas formas, em partículas maiores, mais densas e conseqüentemente mais pesadas, chamadas de flocos. Estas são capazes de serem retiradas do meio através da decantação, filtração ou flotação.

Os coagulantes mais utilizados, de acordo com Di Bernardo (2008), são sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado, cloreto férrico e cloreto de polialumínio (hidróxido - cloreto de alumínio). Os sais liberam compostos químicos de alumínio ou ferro com alta densidade de cargas elétricas, de sinal contrário às apresentadas pelas partículas presentes na água bruta, eliminando, assim, as forças de repulsão eletrostáticas originalmente presentes no meio. Também podem ser utilizados polímeros sintéticos catiônicos, em determinadas condições, como coagulantes. Já os aniônicos e os não-iônicos são usados como auxiliares da floculação. A redução da “barreira de energia” que ocorra a aglutinação das partículas em suspensão, facilitando sua posterior remoção por sedimentação e/ou filtração.

Os alcalinizantes são compostos químicos que têm a capacidade de conferir alcalinidade necessária à água para corrigir o pH, como também facilitar a coagulação, sendo os mais usados o hidróxido de cálcio, o hidróxido de sódio e o carbonato de sódio.

Após a correção do pH ocorre a desinfecção, processo no qual há destruição de microrganismos patogênicos presentes na água. A cloração consiste

na adição de cloro à água clarificada objetivando a eliminação de microrganismos presentes, como também a redução do gosto, odor e coloração da água, sendo assim, indispensável para a potabilização.

3.3 Normas e padrão de potabilidade

A necessidade de redução das doenças de veiculação hídrica contribuiu para a criação do padrão de potabilidade. Segundo Souza (2010), 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. No Brasil, a elaboração do primeiro padrão de potabilidade foi realizada no ano de 1977. Antes disso, o padrão de potabilidade era o recomendado pelo Serviço Norte-Americano de Saúde Pública.

Durante dez anos a Portaria Nº 36/90 publicada em 19 de janeiro de 1990, sobre a qualidade da água potável, encontrou-se desatualizada. Contudo, foi promovida a atualização das normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, por meio da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde (CGVAM), do Centro Nacional de Epidemiologia (CENEPI), ao longo do ano 2000, resultando na publicação da Portaria Nº 1.469, do Ministério da Saúde, em 29 de Dezembro de 2000 (BRASIL, 2000).

A Portaria Nº 1.469/2000 do Ministério da Saúde (MS) dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Também ressalta a responsabilidade dos órgãos de controle ambiental no que se refere ao monitoramento e controle das águas em seus diversos usos.

Em 25 de março de 2004 foi publicada pelo Ministério da Saúde a Portaria Nº 518 que revogou a de Nº 1.469, incluindo procedimentos e responsabilidades para que os padrões de potabilidade possam ser mantidos caso haja a possibilidade de escassez de água nos diferentes sistemas alternativos de abastecimento.

A Portaria 518/2004 é constituída por padrões, como microbiológicos, de turbidez para água pós-filtrada ou pré-desinfetada, substâncias químicas que ofereçam riscos à saúde, de radioatividade e de aceitação para consumo humano.

A frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água do sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de

radioatividade, está em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

Segundo Brasil (2006), o padrão de aceitação para o consumo humano é estabelecido com base em critérios de ordem estética e organoléptica (gosto ou odor), no intuito de evitar a rejeição ao consumo e a busca de outras fontes menos seguras do ponto de vista da saúde. Logo, atendido o padrão de aceitação para o consumo, a segurança sanitária estará garantida. Para outras substâncias não há evidência suficiente de riscos à saúde, ao menos nas concentrações usualmente encontradas em água de abastecimento. A Tabela 1 ilustra os diversos parâmetros encontrados usualmente em águas de abastecimento.

Tabela 1 – Padrão de aceitação para consumo humano, Portaria MS Nº 518/2004, Ministério da Saúde.

| Indicador | Valor Máximo Permitido (VMP) | Efeito |
|--------------------------------|------------------------------|---|
| Alumínio | 0,2 mg/L | Depósito de hidróxido de alumínio na rede de distribuição, acentuação da cor devida ao ferro; |
| Amônia (como NH ₃) | 1,5 mg/L | Odor acentuado em pH elevado; |
| Cloreto | 250 mg/L | Odor; |
| Cor Aparente | 15 uH ² | Aspectos estético; |
| Dureza | 500 mg/L | Gosto, incrustações, comprometimento da formação de sais; |
| Etilbenzeno | 0,2 mg/L | Odor – limite 100 vezes inferior ao critério de saúde; |
| Ferro | 0,3 mg/L | Aspecto estético – turbidez e cor; |
| Manganês | 0,1 mg/L | Aspecto estético – turbidez e cor; |
| Monoclorobenzeno | 0,12 mg/L | Gosto e odor – limite bem abaixo do critério de saúde; |
| Odor | Não objetável ³ | |
| Gosto | Não objetável ³ | |
| Sódio | 200 mg/L | Gosto; |
| Sólidos dissolvidos totais | 1000 mg/L | Gosto e incrustações; |
| Sulfato | 250 mg/L | Gosto, limite referente ao sulfato de sódio; |
| Sulfeto de Hidrogênio | 0,05 mg/L | Gosto e odor; |
| Surfactantes | 0,5 mg/L | Gosto, odor e formação de espuma; |
| Tolueno | 0,17 mg/L | Odor, limite inferior ao critério de saúde; |
| Turbidez | 5 UT ⁴ | Aspecto estético, indicação de integridade do sistema; |
| Zinco | 5 mg/L | Gosto; |
| Xileno | 0,3 mg/L | Gosto e odor – limite inferior ao critério de saúde; |

Fonte: BRASIL (2006). Adaptação da OMS (1995).

Nota: ¹Valor máximo permitido; ²Unidade Hazen (mg Pt-Co/L); ³Critério de referência;

⁴Unidade de turbidez.

3.3.1 Principais indicadores para aceitação da água no consumo humano

Alumínio

O alumínio está presente em todos os gêneros alimentícios e na forma natural na água. De acordo com Di Bernardo (2008), a presença do alumínio nos corpos de água é resultante da lixiviação de rochas ou de atividades industriais. As concentrações desse metal normalmente são baixas, porém valores superiores a 0,2 mg/L podem gerar gosto desagradável à água.

Na água, o alumínio é complexado e sofre influência do pH, temperatura, fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A sua solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0.

Os sais de alumínio utilizados como coagulantes no tratamento podem causar residuais de Al na água de consumo humano. Quando o residual de alumínio é alto e encontra-se dissolvido pode haver formação de precipitado (se houver correção final de pH antes da reservação), causando a formação de incrustações nas paredes internas das tubulações na rede de distribuição (OMS, 2004).

A concentração de alumínio total no corpo humano é de aproximadamente 9 ppm. Em alguns órgãos, especialmente o baço, rins e pulmão, concentrações de até 100 ppm podem estar presentes. A ingestão diária de alumínio é de até aproximadamente 10 mg, dos quais apenas uma pequena fração é absorvida, apenas cerca de 5 mg por dia. A parcela absorvida não é facilmente removida, podendo causar alergias, danos renais e neurológicos (DI BERNARDO, 2008).

Pesquisas realizadas no início da década de 1970 estabeleceram correlações entre a concentração de alumínio na água, utilizada na preparação da solução usada em equipamentos de diálise, com a alteração do comportamento, dificuldades ao falar, rigidez muscular, demência, convulsões e, alguns casos, morte (OMS 1996).

A relação do alumínio com doenças neurológicas, como o Alzheimer e o Parkinson, é ratificada, segundo Souza (2010), com a elevação da concentração de alumínio no cérebro, estando associado a um processo natural de envelhecimento. De acordo com Di Bernardo (2008) o alumínio é um dos inúmeros responsáveis pelo mal de Alzheimer. Algumas pesquisas indicam que o metal pode entrar no núcleo

dos neurônios ocasionando desordens. Conforme a OMS (1996), no Reino Unido foi realizado um estudo epidemiológico relacionando o mal de Alzheimer à concentração de alumínio na água de consumo, indicando aumento de 50% na incidência da doença em pessoas que ingeriram água com concentrações superiores a 0,01 mg/L.

Dureza

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, principalmente de cálcio e magnésio. A dureza da água está agregada à presença de metais alcalino-terrosos provenientes da dissolução das rochas e do solo ou da poluição direta dos resíduos industriais.

Segundo a Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde a dureza total é limitada a 500 mgCaCO₃/L. Na maior parte dos casos, a dureza decorrente do cálcio, quando associada ao bicarbonato, transforma-se em carbonato, pouco solúvel, por aquecimento ou elevação do pH, denominando-se dureza temporária. A dureza permanente é proveniente da associação de cátions e ânions.

De acordo com OMS (1996), 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 pertinente da associação.

Ferro

O ferro é um elemento essencial para a nutrição humana, encontrado na natureza nas águas naturais, superficiais e subterrâneas, bem como, na crosta terrestre, em solos e em minerais, geralmente na forma insolúvel (Fe³⁺) e dissolvida (Fe²⁺). Segundo Di Bernardo (2008), os minerais presentes nas rochas e responsáveis pela dissolução de ferro na água são: hematita, siderita, faiolota, pirita, pirolita, limonita e magnetita, entre outros. Quando as águas subterrâneas contêm quantidades elevadas de gás carbônico dissolvido, os carbonatos podem formar bicarbonato ou sulfato ferroso. As altas concentrações são encontradas em águas subterrâneas agressivas (pH ácido, rica em gás carbônico, com ou sem oxigênio dissolvido) e em águas poluídas.

A 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 dos gêneros *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 (SOUZA 2010).

Não é usual que a água contendo ferro cause problemas à saúde, no entanto indivíduos geneticamente susceptíveis, podem acumular concentrações altas de ferro no corpo, gerando disfunções no fígado e pâncreas, depois de altas exposições, por longos períodos (DI BERNARDO 2008). Já Libânio (2008) afirma que o ferro não apresenta inconveniente sanitário, mas de caráter econômico, por produzir manchas em roupas e aparelhos sanitários em concentrações superiores a 0,3 mg/L e em maiores concentrações, conferir sabor à água de consumo humano.

A Portaria Nº 518/2004 estabelece um valor máximo de ferro total de 0,3 mg/L, idêntico valor adotado pelos padrões americano e canadense. A remoção pode ser realizada por aeração para favorecer a oxidação à forma insolúvel, coagulação ou pré-desinfecção com compostos à base de cloro.

Manganês

O manganês é essencial para a vida dos organismos, normalmente apresenta-se associado com o ferro, desempenhando comportamento físico-químico semelhante ao do ferro. Segundo Libânio (2008), o manganês pode se apresentar mais estável na forma reduzida do que o ferro, sua oxidação torna-se mais difícil e a simples aeração não é eficiente na remoção de manganês.

As concentrações variam de 0,0001 mg/L a 0,6 mg/L, de acordo com Di Bernardo (2008); já Libânio (2008) afirma que raramente a concentração pode chegar a 1 mg/L.

A remoção do manganês depende do pH, para que ocorra a precipitação na forma de MnO_2 sendo removido por sedimentação, flotação ou filtração. É necessária a oxidação da água quando o manganês encontra-se complexado à matéria orgânica. Em valores de pH superiores a 8,5, recomenda-se a coagulação da água (DI BERNARDO 2008).

O manganês apresenta os mesmos inconvenientes do ferro. As altas concentrações causam prejuízos econômicos, como manchas nas roupas, e não costumam causar danos à saúde humana, porém, segundo a OMS (2004) em 1947 foi relatado, no Japão, o envenenamento de 16 pessoas que ingeriram manganês dissolvido na água de consumo, com concentrações de 28 mg/L, observando-se a manifestação de letargia¹, tremores e distúrbios mentais.

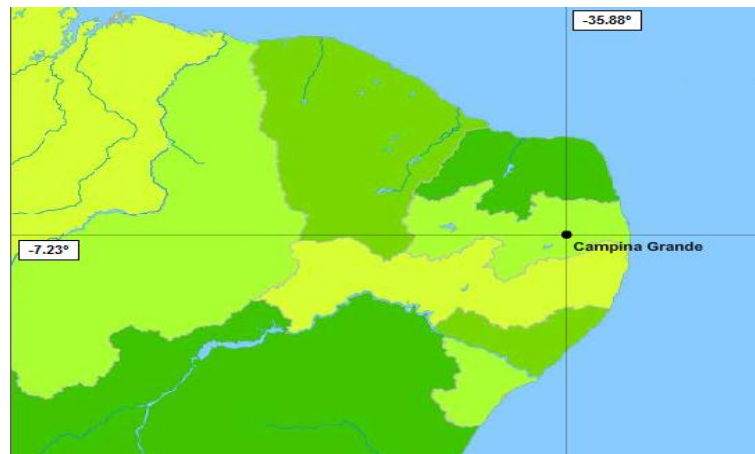
¹ Perda temporária e completa da sensibilidade e do movimento por causa fisiológica, ainda não identificada, levando o indivíduo a um estado mórbido em que as funções vitais estão atenuadas de tal forma que parece estarem suspensas, dando ao corpo a aparência de morte.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área e período de estudo

O estudo foi realizado no município de Campina Grande, estado da Paraíba, situado no agreste paraibano, na parte oriental do Planalto da Borborema. Está à altitude média de 552 m acima do nível do mar ($7^{\circ}13'50''$ Sul e $35^{\circ}52'52''$ Oeste), abrangendo uma área de 594,6 km², e possuindo uma população de 385.213 habitantes com uma densidade demográfica de 648,31 hab/km² (IBGE, 2011). A Figura 1 ilustra a localização de Campina Grande.

Figura 1 – Município de Campina Grande (PB).



Fonte: IBGE (2011).

O sistema de distribuição de água é dividido em quatro zonas de pressão, denominadas A, B, C e D. As coletas dos dados foram realizadas no período de junho a dezembro de 2009 e de março a julho de 2010, nas zonas de pressão, A, B e C, tendo sido analisados os indicadores físico-químicos.

A definição dos pontos de coleta das amostras foi baseada na Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano. Logo, foram escolhidos seis pontos representativos na rede de distribuição de água.

A localização dos pontos de coleta das amostras e suas respectivas coordenadas geográficas são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta 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 – Escola de Estadual de Ensino Fundamental e Médio 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 Sistema de abastecimento

O manancial que abastece a cidade de Campina Grande é o Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, distando 44 km de Campina Grande. O açude tem capacidade de armazenamento de 575.000.000 m³ de água e sua disponibilidade de captação máxima é de 1.500 L/s. A água bruta captada é transportada através de duas adutoras, de 900 e 800 mm de diâmetro, a uma distância de 22 km até uma estação de tratamento de água (ETA) localizada a 22 km de Campina Grande, no Distrito de Gravatá de Boqueirão.

Na ETA a água recebe tratamento convencional, passando por dosadores químicos (sulfato de alumínio e cal), floculadores, decantadores, filtros (areia e antracito) e cloradores, sendo, após o tratamento, transportada para a cidade de Campina Grande por meio de três linhas de adutoras com diâmetros de 500, 700 e 800 mm. A água chega ao reservatório semi-enterrado R-9, com capacidade de acumulação de 26.000 m³, que corresponde a cerca de um terço do volume médio (78.000 m³) de água produzida diariamente pela ETA. A partir desse reservatório saem canalizações que abastecem outros 29 reservatórios espalhados por toda a área da cidade, em pontos estratégicos, para atender toda a cidade e distritos, dando ao sistema de abastecimento uma reserva de 60.000 m³ de água (GALDINO, 2009).

Além de abastecer o centro urbano da cidade de Campina Grande e seus distritos (São José da Mata e Galante), o sistema adutor serve ainda a outras localidades; algumas vezes, com derivações diretas das adutoras (Barra de Santana, Curralinho, Caturité e Queimadas); outras vezes com derivações da própria rede de distribuição de Campina Grande (Lagoa Seca e Matinhas); e ainda, integrado em menor porte ao sistema de Alagoa Nova.

Os fatores que contribuem para a deterioração da qualidade da água distribuída são: a distância entre a ETA e a cidade, a extensão das tubulações e o número de reservatórios. A maior deterioração é nas extremidades da rede.

A rede de distribuição de água tem extensão de 1.216 km, sendo composta por 114.604 ligações domiciliares, atendendo a 99,51% da população urbana. (CAGEPA, 2009). A Tabela 3 descreve a rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande de acordo com as suas dimensões.

Tabela 3 – Dimensões da rede de distribuição de água de Campina Grande.

| 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 m |

Fonte: GALDINO, 2009

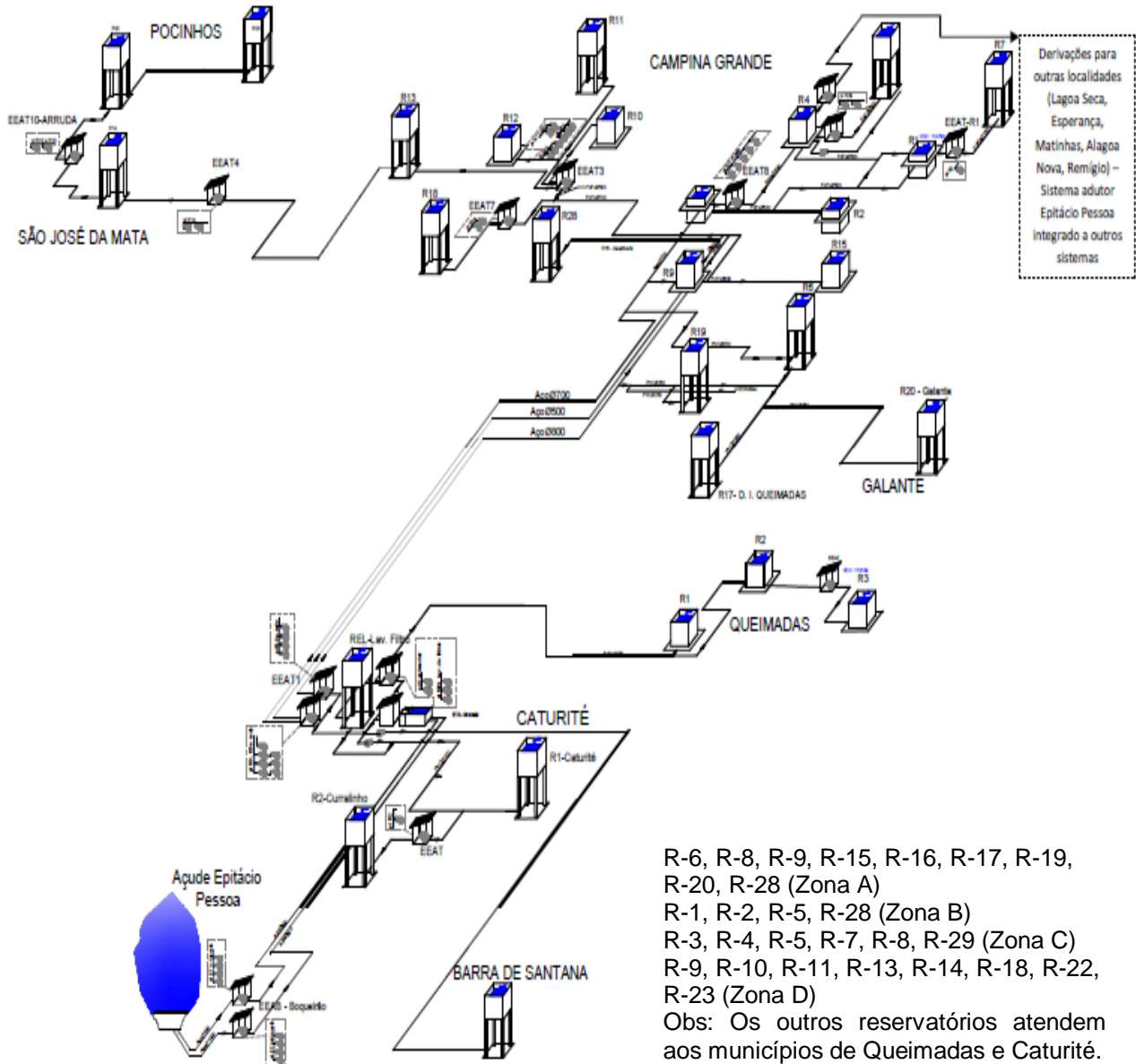
Nota:: 1) Dados de outubro de 2006, com exceção das redes dos Conjuntos Glória I e II e do Distrito de Catolé de Boa Vista que são mais recentes.

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

A subdivisão em quatro zonas (A, B, C e D) de pressão foi determinada pelo relevo da cidade, de maneira que toda a população possa ser atendida com as pressões na rede dentro dos limites estabelecidos (estático máximo de 50 m.c.a. e dinâmico de 10 m.c.a.) pela NBR 12.118 (ABNT, 1994). Algumas dessas zonas são subdivididas em sub-zonas, apresentando estações elevatórias para o atendimento das condições de pressão.

A Figura 2 ilustra a rede de distribuição de Campina Grande.

Figura 2 – Rede de distribuição de Campina Grande.



Fonte: Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

4.3 Metodologia de amostragem

Os pontos de coleta foram amostrados uma vez a cada duas semanas, em dias variados, no período de junho a dezembro de 2009 e de março a julho de 2010, garantindo a uniformidade das coletas no período de amostragem.

Os procedimentos de coleta seguiram as recomendações de APHA (1995), em conformidade com a diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2006). As coletas das amostras foram realizadas manualmente, após a descarga da torneira, cerca de dois a três minutos. Em seguida a amostra foi acidificada com a adição de ácido nítrico (HNO_3), $\text{pH} \leq 2$, e mantido em frascos de polietileno estéreis.

4.4 Indicadores físico-químicos analisados

Os indicadores físico-químicos analisados (alumínio, dureza, ferro e manganês) seguiram os métodos laboratoriais recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995). A Tabela 4 apresenta os métodos de análises.

Tabela 4 – Métodos laboratoriais recomendados.

| Indicador | Método laboratorial recomendado |
|------------------|--|
| Alumínio | O alumínio foi determinado pelo método colorimétrico do Eriocromo Cianina-R utilizando o espectrofotômetro Coleman Modelo 35D. |
| Dureza | Para a determinação da dureza total foi utilizado o método titulométrico do EDTA. |
| Ferro | Para a determinação do ferro total, foi utilizado o método colorimétrico da orto-fenantrolina. |
| Manganês | Para a determinação do manganês foi utilizado o método colorimétrico do persulfato de amônio. |

4.5 Dados pluviométricos

Foram solicitadas informações à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) sobre os dados pluviométricos do município de Campina Grande, nos anos de 2009 a 2010.

4.6 Procedimentos estatísticos

Inicialmente para o conjunto de dados amostrados foi submetido à análise estatística descritiva, sendo determinadas dispersão, média e análise de variância (ANOVA), ao nível de significância de 5%, por meio dos programas Excel (pacote do *Microsoft Office 2010*) e SPSS for Windows, versão 13.0, no intuito de analisar a variabilidade desses indicadores entre os pontos de coleta. Para o indicador ferro foi utilizado o método Hochberg GT-2 a fim de demonstrar as diferenças significativas entre os pontos. Também foi analisada a variação temporal das concentrações relacionando-as às estações do ciclo hidrológico e aos fatores relacionados à operação e manutenção do sistema de abastecimento de água.

5 RESULTADOS OBTIDOS

O monitoramento das concentrações de Al, Fe, Mn e Dureza ocorreu no período de junho a dezembro de 2009 e de março a julho de 2010. A Tabela 5 apresenta as médias das concentrações dos indicadores analisados e a Tabela 6 o número de conformidades e não-conformidades com a Portaria N° 518/2004 do MS.

Tabela 5 – Concentrações médias nos pontos monitorados.

| INDICADOR | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alumínio (mg/L) | 0,418 | 0,307 | 0,345 | 0,249 | 0,274 | 0,243 |
| Ferro (mg/L) | 0,045 | 0,046 | 0,128 | 0,042 | 0,118 | 0,063 |
| Manganês (mg/L) | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| Dureza (mg/L) | 126,217 | 127,053 | 127,946 | 125,665 | 128,393 | 123,831 |

Tabela 6 – Conformidades e não-conformidades com a Portaria N° 518/2004 do MS.

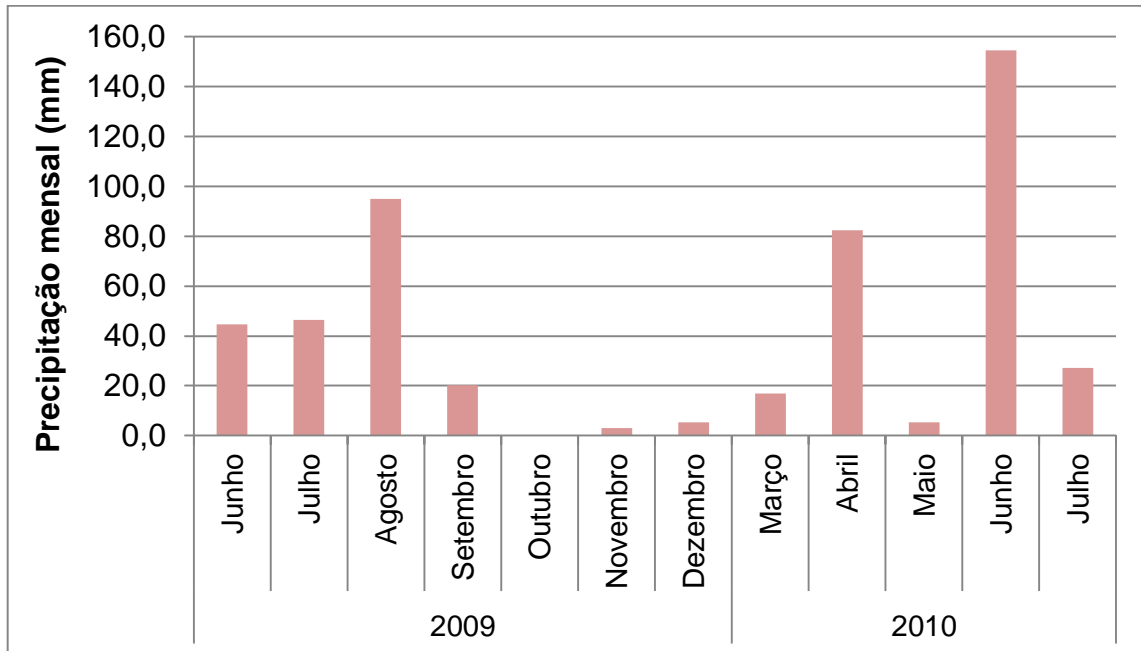
| INDICADOR | P4 | | P5 | | P6 | | P7 | | P8 | | P9 | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | C | NC | C | NC | C | NC | C | NC | C | NC | C | NC |
| Alumínio | 6 | 18 | 10 | 12 | 7 | 18 | 12 | 13 | 9 | 14 | 8 | 12 |
| Ferro | 24 | 0 | 22 | 0 | 25 | 0 | 25 | 0 | 23 | 0 | 20 | 0 |
| Manganês | 24 | 0 | 22 | 0 | 25 | 0 | 25 | 0 | 23 | 0 | 20 | 0 |
| Dureza | 20 | 0 | 20 | 0 | 23 | 0 | 23 | 0 | 21 | 0 | 18 | 0 |

Nota: C = conformidade; NC = não conformidade.

5.1 Dados pluviométricos

As características das águas superficiais variam ao longo do tempo, de acordo com a época do ano e o regime de precipitações. A Figura 3 ilustra a distribuição pluviométrica no município de Campina Grande ao longo do período estudado.

Figura 3 – Precipitação mensal, no período da pesquisa, no município de Campina Grande.



5.2 Aceitação para consumo humano relacionada com os indicadores selecionados

O monitoramento da qualidade da água para o abastecimento humano deve detectar a conformidade ou a não-conformidade de acordo com os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, garantindo a manutenção da saúde da população e a inexistência de prejuízos econômicos, como a rejeição no consumo da água tratada.

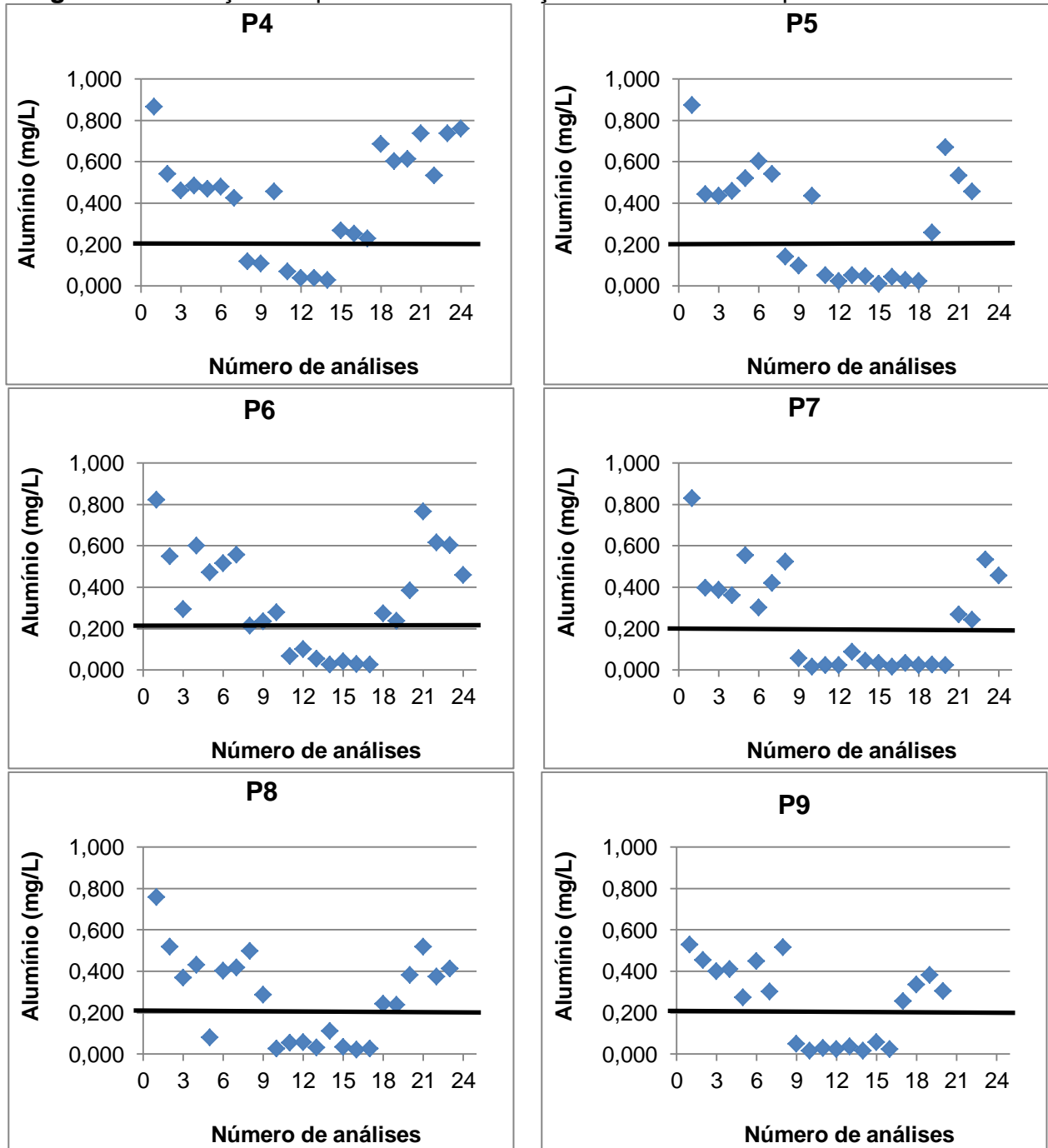
5.2.1 Alumínio

Nos seis pontos monitorados foram realizadas 139 análises, das quais 62,59% dos resultados ultrapassaram o padrão de aceitação para consumo humano estabelecido pela Portaria N° 518/2004 do MS. O monitoramento das concentrações de alumínio revelou que a dosagem de coagulantes, à base de alumínio, sofreu

interferência de acordo com o ciclo hidrológico, alterando a qualidade da água aduzida do Açude Epitácio Pessoa até a Estação de Tratamento de Gravatá.

O Valor Máximo Permissível (VMP) estabelecido pela Portaria N° 518/2004 do MS é de 0,200 mg Al/L na rede de distribuição de água. A Figura 4 ilustra a variação temporal da concentração de alumínio nos pontos monitorados.

Figura 4 – Variação temporal da concentração de alumínio nos pontos monitorados.



A Figura 4 ilustra que a não-conformidade da concentração de Al é sazonal, ocorrendo o aumento da utilização do coagulante no período chuvoso e sua redução no período de estiagem.

5.2.2 Dureza

A dureza é uma importante característica da qualidade de água de abastecimento doméstico e principalmente industrial. Do ponto de vista da potabilização são admitidos valores máximos relativamente altos (SILVA; OLIVEIRA, 2001). A ingestão de água com altas concentrações de dureza não causa modificações ou problemas fisiológicos. Segundo Von Sperling (1995) a dureza das águas pode ser classificada como:

- Branda: dureza total menor que 50 mg CaCO₃/L;
- Moderadamente dura: dureza total entre 50 e 150 mg CaCO₃/L;
- Dura: dureza total 150 e 300 mg CaCO₃/L ;
- Muito dura: dureza total maior que 300 mg CaCO₃/L.

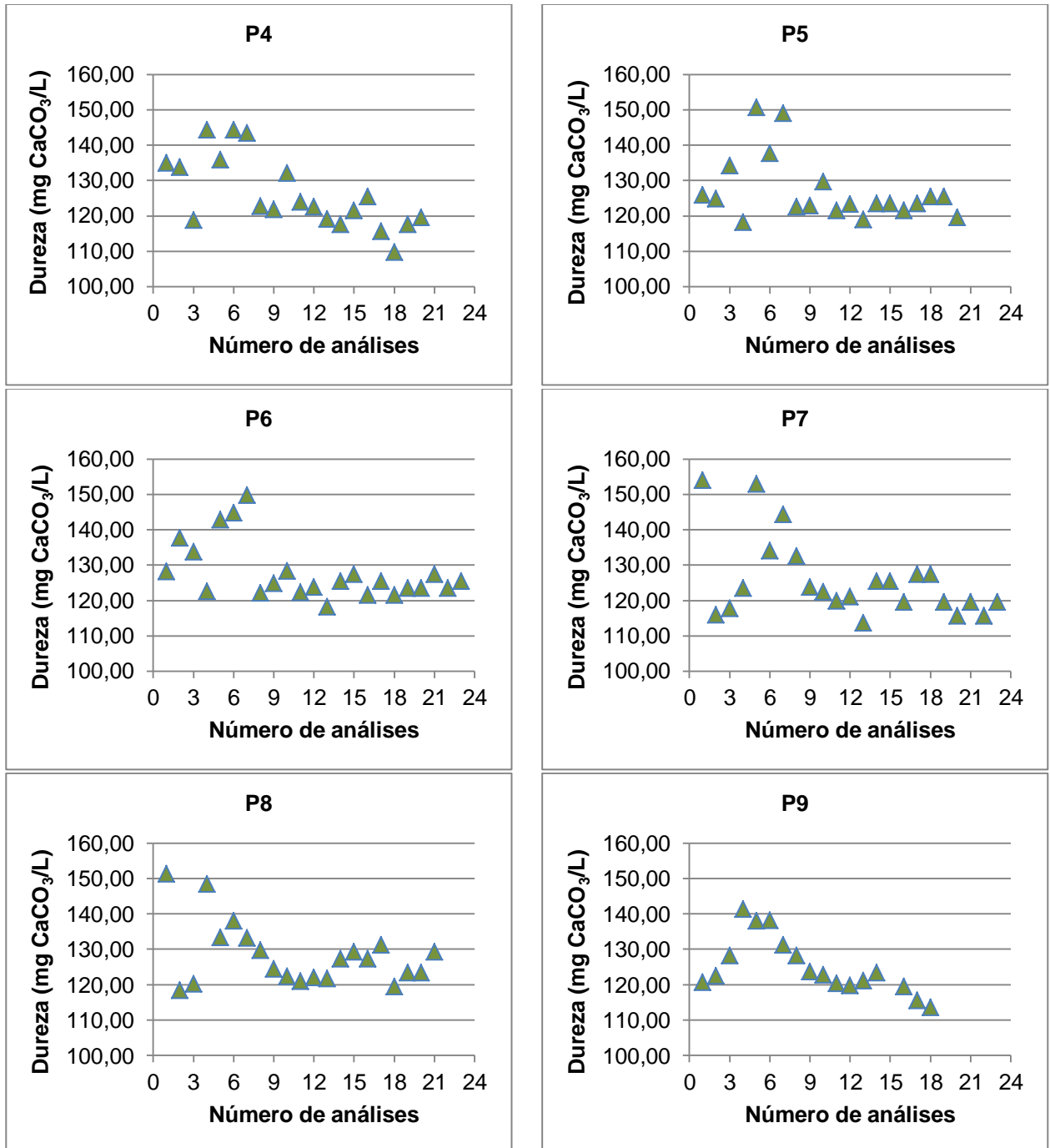
De acordo com Libânio (2008), no Brasil, a maior parte das águas superficiais são brandas ou moderadamente duras, valores inferiores a 100 mg CaCO₃/L, com teores significativos de dureza ocorrendo mais comumente para águas subterrâneas. O padrão de potabilidade brasileiro é semelhante ao do Canadá, adotando o VMP de 500 mg CaCO₃/L.

O tratamento convencional aplicado na ETA de Gravatá utiliza cal hidratada, com o objetivo de aumentar a eficiência da coagulação. Contudo, como consequência, ocorre o aumento da dureza de cálcio, elevando assim a dureza natural presente na água tratada.

Os maiores valores de dureza ocorreram no período de Junho a Outubro de 2009, com concentrações acima de 150 mg CaCO₃/L, já no ano de 2010 no período estudado ocorreram concentrações menores que 140 mg CaCO₃/L. Das 125 análises realizadas, 96,8% apresentaram concentrações inferiores a 150 mg CaCO₃/L, permitindo classificar a água distribuída em Campina Grande como moderadamente dura. De maneira geral, todos os pontos apresentaram maiores concentrações no período chuvoso e uma diminuição no período de estiagem, permitindo inferir que a adição de cal e sulfato de alumínio no período

chuvoso interfere diretamente na dureza de todos os pontos monitorados. A Figura 5 ilustra a variação temporal da dureza nos pontos P4, P5, P6, P7, P8 e P9.

Figura 5 – Variação temporal da concentração de dureza total nos pontos monitorados.



5.2.3 Ferro

As concentrações de ferro estão relacionadas diretamente com problemas no sistema de abastecimento de água, por exemplo, corrosão nas tubulações, causando redução da capacidade de transporte, perdas de carga na rede, ou até mesmo, necessidade da substituição de alguns trechos quando estes se encontram totalmente obstruídos. As altas concentrações de ferro oxidado podem gerar, segundo Di Bernardo (2008), a proliferação de microrganismos denominados, genericamente, de ferrobactérias que aumentam a demanda de desinfetante.

O valor máximo permissível estabelecido pela Portaria N^o 518/2004 do MS é de 0,3 mg Fe/L. Todos os pontos monitorados na rede de distribuição de água de Campina Grande estavam em conformidade com o padrão estabelecido pelo MS. Das 139 análises realizadas foi possível detectar a maior concentração de ferro no ponto P 8, 0,252 mg Fe/L. Já a menor concentração, 0,010 mg Fe/L, foi detectada no ponto P5. As Figuras 6 e 7 ilustram a variação temporal das concentrações de ferro nos pontos monitorados.

Figura 6 – Variação temporal da concentração de Ferro nos pontos P4, P5, P6 e P7.

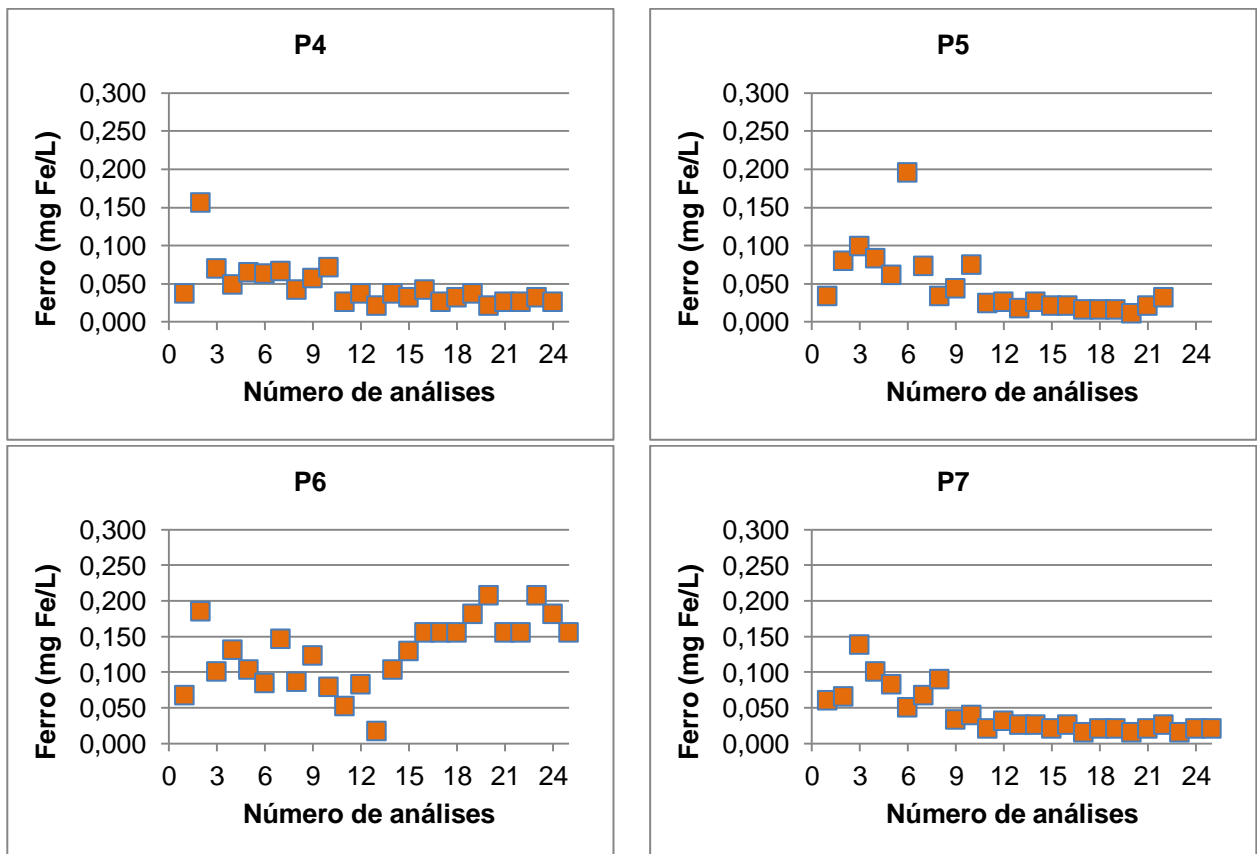
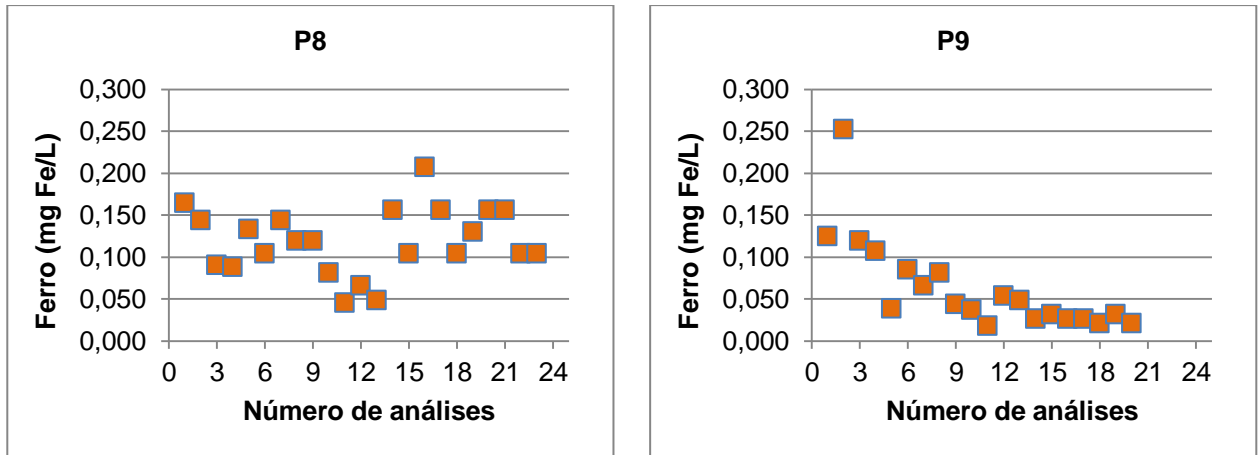


Figura 7 – Variação temporal da concentração de Ferro nos pontos P8 e P9.



5.2.4 Manganês

A água contendo manganês apresenta os mesmo inconvenientes indicados para o ferro, sendo que as concentrações superiores a $50 \mu\text{g Mn/L}$, na água potável, podem ser tóxicas para os seres humanos. O padrão de aceitação para consumo humano brasileiro, Portaria N^o 518/2004 do MS, estabelece o limite máximo de $100\mu\text{gMn/L}$.

Todas as 139 análises estavam em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano. O maior valor encontrado foi de $0,0234 \text{ mgMn/L}$ no dia 6 de outubro de 2009 no P6. Foram detectadas 61 análises onde não foi detectada nenhuma presença de manganês na rede de distribuição. As Figura 8 e 9 ilustram as variações temporais da concentração de Manganês nos pontos monitorados.

Figura 8 – Variação temporal da concentração de Manganês nos pontos P4 e P5.

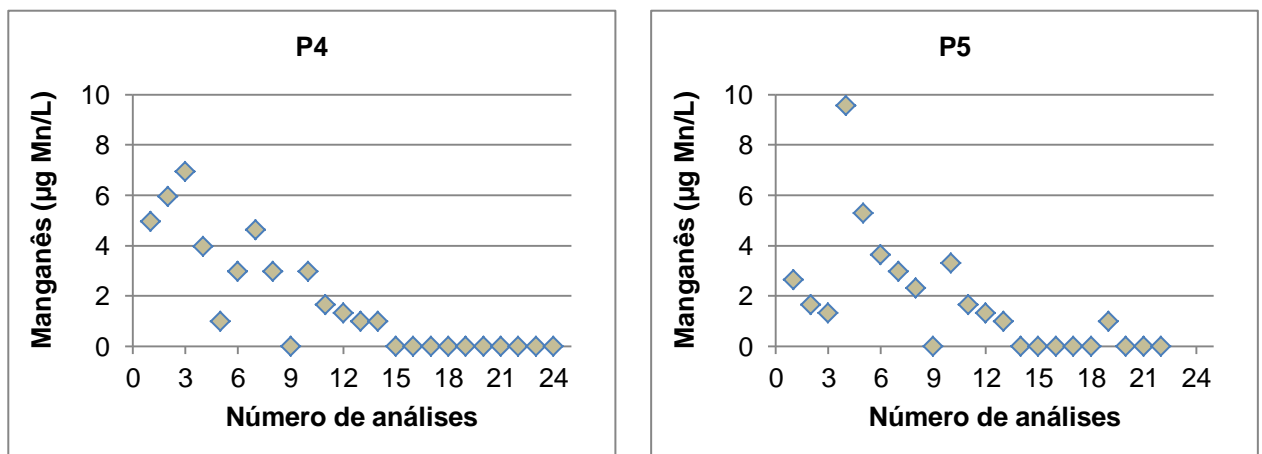
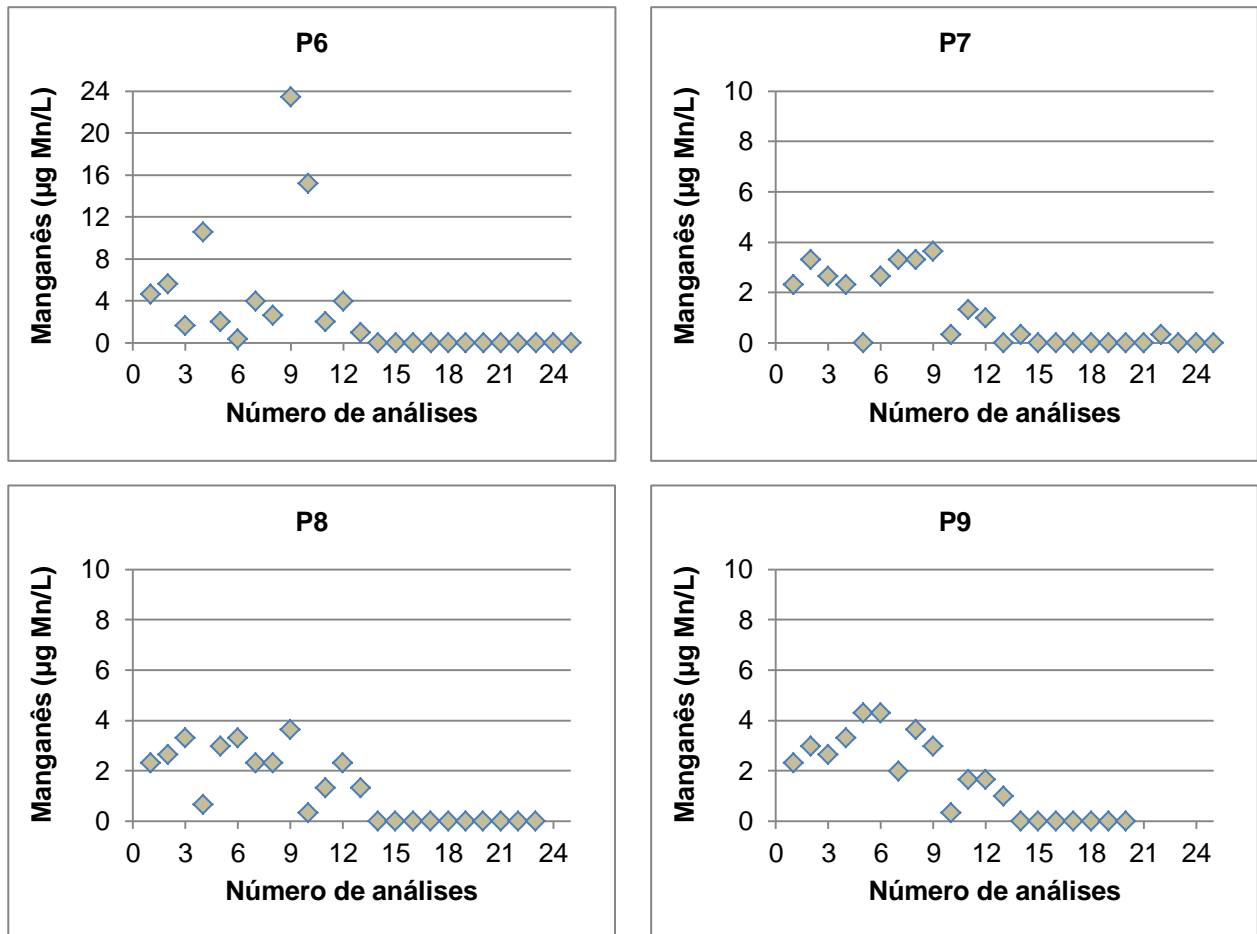


Figura 9 – Variação temporal da concentração de Manganês nos pontos P6, P7, P8 e P9.



5.3 Análise de variância (ANOVA)

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 pontos monitorados. 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.

As análises de variância, para os diferentes indicadores analisados, podem ser verificadas nas Tabelas 7, 8, 9 e 10:

- ✓ **Alumínio:** Não existem diferenças significativas entre os valores observados. Logo, há uniformidade em todos os pontos examinados e a média de cada um dos pontos é representativa da concentração média de alumínio na rede de distribuição de água.

Tabela 7 – ANOVA – Alumínio.

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,5210 | 5 | 0,1042 | 1,8592 | 0,1057 | 2,2823 |
| Dentro dos grupos | 7,4544 | 133 | 0,0560 | | | |
| Total | 7,9754 | 138 | | | | |

- ✓ **Dureza:** De forma análoga ao alumínio, a dureza total apresenta uniformidade em todos os pontos examinados;

Tabela 8 – ANOVA – Dureza total

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 274,3580 | 5 | 54,8716 | 0,5977 | 0,7018 | 2,2905 |
| Dentro dos grupos | 10924,7874 | 119 | 91,8049 | | | |
| Total | 11199,1454 | 124 | | | | |

- ✓ **Manganês:** O manganês também apresenta uniformidade em todos os pontos monitorados e a média de cada um dos pontos é representativa do funcionamento da rede;

Tabela 9 – ANOVA – Manganês

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 6,1560E-05 | 5 | 1,231E-05 | 1,4775 | 0,2013 | 2,2823 |
| Dentro dos grupos | 1,1083E-03 | 133 | 8,333E-06 | | | |
| Total | 1,1699E-03 | 138 | | | | |

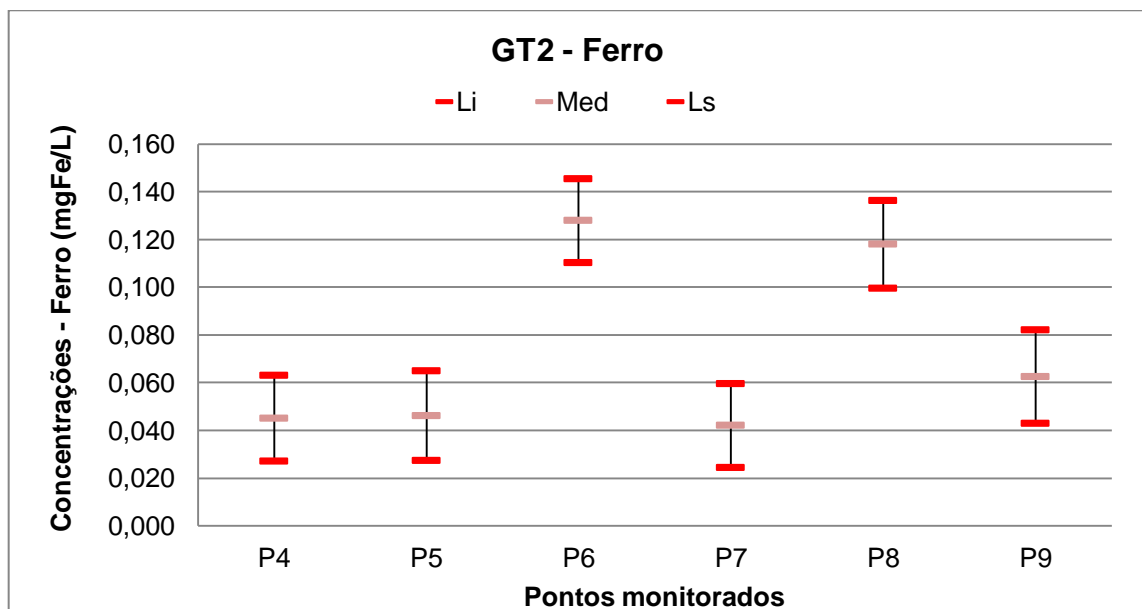
- ✓ **Ferro:** Para o ferro não existe uniformidade em todos os pontos monitorados. Logo, foi utilizado o método Hochberg GT-2, ilustrado na Figura 10, para demonstrar as diferenças significativas entre os pontos, através do qual as

médias são julgadas significativamente diferentes quando não há intercessão dos respectivos intervalos de comparação.

Tabela 10 – ANOVA - Ferro

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0,1823 | 5 | 0,0365 | 20,8785 | 2,33E-15 | 2,2823 |
| Dentro dos grupos | 0,2323 | 133 | 0,0017 | | | |
| Total | 0,4146 | 138 | | | | |

Figura 10 – Análise utilizando o método Hochberg GT-2 para concentrações de Ferro em todos os pontos monitorados.



6 DISCUSSÃO

Os padrões de qualidade (microbiológico, turbidez, substâncias químicas que representem risco à saúde, radioatividade e de aceitação para consumo humano) estabelecidos pela Portaria Nº 518/2004, do Ministério da Saúde, subsidiam ações de vigilância e controle da qualidade da água nos serviços de abastecimento. Este trabalho de conclusão de curso foi baseado no monitoramento dos indicadores químicos (alumínio, ferro, manganês e dureza), representando um estudo preliminar da conformidade da água da rede de distribuição da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, com o padrão de aceitação para consumo humano estabelecido pelo MS.

O controle da qualidade da água, no sistema de abastecimento, é efetuado por meio de análises laboratoriais em amostras de água bruta que chegam à ETA, bem como, das diversas partes que compõem o sistema. Desta forma, o monitoramento da qualidade da água realizado nesta pesquisa permitiu melhores inferências sobre os possíveis perigos de sua não-conformidade com os padrões estabelecidos na Portaria Nº 518/2004 do MS.

Todas as não-conformidades com o padrão de alumínio (62,59%), ilustradas na Figura 6, ocorreram no período de chuva, no qual a água bruta apresenta alterações na quantidade de partículas suspensas (turbidez). Logo, os operadores da ETA decidem em favor da maior dosagem do coagulante, sulfato de alumínio, para reduzir a aparência turva da água e garantir que a população não se recuse a consumir a mesma. Já durante a estiagem, no período de outubro de 2009 a maio de 2010, foram registradas baixas concentrações de Alumínio, permitindo observar a ocorrência da redução ou ausência no uso do coagulante no tratamento da água bruta, estando de acordo com a Portaria Nº 518/2004 do MS durante este período.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (2000), no Brasil foram realizados estudos que correlacionaram o Al presente na água de abastecimento, em concentrações superiores ao padrão preconizado pela legislação vigente, com o mal de Alzheimer. A partir de 1970 entidades como a OMS e a Food and Drug Administration (FDA) desenvolveram inúmeras pesquisas que comprovaram que o alumínio é causador da doença de Alzheimer. Vale ressaltar que esta doença é

genética e que está associada ao processo natural de envelhecimento ou à predisposição do indivíduo ao desenvolvimento da mesma.

A dureza apresentou conformidade com a Portaria Nº 518/2004 em todos os pontos monitorados, apresentando concentrações no intervalo de 99,96 a 153,92 mgCaCO₃/L. A classificação da água distribuída em Campina Grande é moderadamente dura, devido à 96,8% das concentrações se apresentarem no intervalo de 100 a 150 mgCaCO₃/L. O valor máximo permitido, estabelecido pela Portaria, é 500 mgCaCO₃/L, considerado como alto, representando possível risco de obstrução de canalizações que possuam características favoráveis à precipitação de carbonato de cálcio.

As concentrações de manganês e ferro apresentaram características semelhantes, estando em conformidade com a legislação. O manganês apresentou ausência de concentração em 43,88% das análises realizadas em todos os pontos. Segundo a análise estatística realizada, ANOVA, este indicador, assim como alumínio e dureza, apresentou uniformidade em todos os pontos monitorados, sendo a média de cada um dos pontos representativa do funcionamento da rede de abastecimento.

Apesar da associação do ferro com o manganês, o primeiro apresentou, de acordo com a Tabela 7 e a Figura 9, diferenças significativas entre os pontos monitorados, podendo os pontos serem divididos em grupos: grupo 1 (pontos 4, 5, 7 e 9) e grupo 2 (pontos 6 e 8). O grupo 1 apresentou comportamento semelhante existindo uniformidade entre os pontos. Já o grupo 2 demonstrou características distintas do grupo 1 por apresentar concentrações maiores de ferro do que os demais pontos. Esta elevação das concentrações de ferro reflete o desgaste material e o estado de conservação das tubulações de ferro fundido, determinando altas concentrações de ferro nos trechos que compõem a área de abrangência dos pontos P6 e P8. Apesar da diferença entre grupos com valores significativamente diferentes, todas as concentrações de ferro encontram-se em conformidade com o padrão estabelecido pela Portaria Nº 518/2004 do MS.

7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os indicadores químicos ferro, manganês e dureza apresentaram-se dentro dos padrões de potabilidade da Portaria N° 518/2004, em 100% das análises realizadas. Para o alumínio a não-conformidade foi detectada em 62,59% das análises. Este aumento das concentrações de Al foi atribuído a residuais oriundos da aplicação de sulfato de alumínio, particularmente, no período chuvoso quando a turbidez da água bruta aumenta significativamente e a equipe de operação decide em favor de maiores dosagem do referido sal coagulante.

Os resultados sinalizam a necessidade da revisão dos padrões de operação e manutenção do sistema de abastecimento, da ETA e da rede de distribuição, visando à minimização das concentrações de alumínio na água tratada, no período chuvoso.

Portanto, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), empresa responsável pelo controle da qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento aos consumidores, deve buscar o atendimento dos padrões preconizados pela Portaria N° 518/2004 do MS, objetivando o atendimento integral do padrão de aceitação para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR N° 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.

ALBUQUERQUE, Adalberto Aragão de. **Análises e Métodos de Otimização para Eficiência Energética de Estações Elevatórias em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2007. 113 f. Tese (Doutor em Recursos Naturais) - Curso de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

APHA. AWWA.WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 15 ed. Washington, DC: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1995, 1134 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N° 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 N° 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. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde (Org.). **Manual de Procedimentos de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Editora MS, 2006. 281 p.

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

CARMO, Rose Ferraz; BEVILACQUA, Paula Dias; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos: Drinking water quality surveillance: qualitative approach of hazard identification**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. , p.426-434, out. 2008. Trimestral.

DI BERNARDO, Luiz; PAZ, Lyda Patricia Sabogal. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe Editora, 2008. 878 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency (Org.). **The History of Drinking Water Treatment**. This fact sheet is based on information from the EPA report “25 Years of the Safe Drinking Water Act: History and Trends.” Please refer to the full report for details and references. You may order a copy of the report, as well as many other EPA drinking water documents. Disponível em: <http://water.epa.gov/aboutow/ogwdw/upload/2001_11_15_consumer_hist.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2011.

FIGUEIRÊDO, Gesivaldo Jesus Alves de. **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e grande João Pessoa no estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população**. 2004. 118 f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.

FREITAS, Marcelo Bessa and FREITAS, Carlos Machado de. **A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde**. *Ciênc. saúde coletiva* [online]. 2005, vol.10, n.4, pp. 993-1004. ISSN 1413-8123.

FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Mach Ado de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde: Surveillance in drinking-water quality – challenges and perspectives for the Brazilian Health System. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p.993-1004, ago. 2005. Bimestral. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232005000400022&script=sci_arttext>. Acesso em: 29 ago. 2011.

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.

GRASSI, Marco Tadeu. As águas do planeta Terra. **Cadernos Temáticos de Química Nova Na Escola**, p.31-40, maio 2001.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1988.

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

IBGE. **Campina Grande – PB**. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=250400#>> Acesso em: 10 de Novembro de 2011.

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

Organização Mundial da Saúde – OMS (1996). Guidelines for Drinking – Water Quality. Health Criteria and Other Supporting Information. Volume 2, Geneva, SW. 973 p.

Organização Mundial da Saúde – OMS (2004). Guidelines for Drinking – Water Quality. Recommendation. Volume 1, Geneva, SW. 494 p.

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

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

SOUZA, Joseneto de. **CONFORMIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB) COM O PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA O CONSUMO HUMANO**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

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

WATER TREATMENT SOLUTIONS LENNTECH. **Aluminum (Al) and water:** Aluminum and water: reaction mechanisms, environmental impact and health effects. Disponível em: <<http://www.lenntech.com/periodic/water/aluminium/aluminum-and-water.htm>>. Acesso em: 1 out. 2011.

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.