



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

BÁRBARA GITANA ALVES VIEIRA

ANÁLISE DE RISCO APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)

Campina Grande - PB
Fevereiro 2012

BÁRBARA GITANA ALVES VIEIRA

**ANÁLISE DE RISCO APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)**

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

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Prof^ª. Dr^ª. Mônica de Amorim Coura

Campina Grande - PB
Fevereiro 2012





BÁRBARA GITANA ALVES VIEIRA

ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)
ANÁLISE DE RISCO APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

V658a Vieira, Bárbara Gitana Alves
 Análise de risco aplicada à qualidade da água do sistema de
 abastecimento de Campina Grande (PB) / Bárbara Gitana Alves Vieira. –
 Campina Grande, 2012.
 92 f.: il. col.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade
 Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
 Orientadoras: Prof^a. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Prof^a. Dr^a.
 Mônica de Amorim Coura.
 Referências.

 1. Vigilância da Qualidade da água. 2. Degradação da qualidade da água.
 3. Análise de risco da qualidade da água. I. Título.

CDU 628.1 (043)

BÁRBARA GITANA ALVES VIEIRA

**ANÁLISE DE RISCO APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)**

Dissertação aprovada em 29 de fevereiro de 2012.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof^ª. Dr^ª. Celeide Maria Belmont Sabino Meira
Orientadora



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



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Examinador Interno



Prof^ª. Dr^ª. Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima
Examinadora Externã

A Jesus que me propicia inúmeras vitórias
a cada dia; à minha amada mamãe Lucia
pelo seu amor incondicional; e ao meu
paizinho Otacílio (*in memoriam*) por estar
sempre comigo me ajudando
em todas as situações.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre comigo, em todos os momentos da minha vida, defendendo-me, livrando-me de todos os males e dando-me forças e coragem para enfrentar as barreiras diárias.

Aos Anjos, que diariamente Jesus coloca em meu caminho.

À minha mãe pelo amor, dedicação, força e coragem de ser uma guerreira (sendo mãe solteira conseguiu dar educação suficiente para ter sua única filha formada e agora Mestre) sendo a pessoa fundamental do meu sucesso.

As minhas orientadoras professoras Celeide Maria Belmont Sabino Meira e Mônica de Amorim Coura pela dedicação, paciência, boa vontade, estímulo e pelo tempo dedicado que colaboraram tanto para o meu crescimento pessoal quanto para o aprimoramento da pesquisa.

Ao professor Rui de Oliveira e a Prof^a Ruth Nascimento pela generosidade, humildade e pela dedicação na elaboração desta pesquisa.

À professora Andréa Carla Lima Rodrigues por todos os conselhos, paciência, amizade, atenção, confiança, boa vontade sempre em atender-me e pela oportunidade de fazer o Estágio Docência com suas turmas.

À professora Patrícia Hermínio Cunha Feitosa e aos seus alunos de iniciação científica Aristodemo e Alesca pela ajuda proporcionada.

A todos os professores do Mestrado, em especial a Vajapeyan S. Srinivasan, Iana Alexandra Alves Rufino, Brenda Carlos de Andrade, Antônio Berto Machado e Carlos Galvão pelos conhecimentos adquiridos e pela amizade conquistada.

À professora Selma Maria de Araújo pela gentileza e educação.

A todos os amigos da minha turma do Mestrado, em especial, a José Williams, Andreza, Maria Adriana, Ester e Itamara.

A todos os amigos estudantes de Engenharia Sanitária e Ambiental que foram grandes colaboradores desta pesquisa, em especial a Mikael Bernardo e Radharani que se tornaram meus irmãos; George, Priscila (que passou as férias de

Julho no laboratório), André, Ítalo, Yasmin, Andreza, Clarissa e aos demais; bem como aos alunos de iniciação científica Ogata, Cayo, Amanda e Ianina.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Água/ UFCG, Professor Francisco (Tiquinho), Valmária, Savana e Cristina por toda a ajuda dispensada.

À Professora Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima da UEPB, pela grande amizade, confiança e por sempre ter tempo de me ouvir.

À Professora Maria de Fátima do Nascimento Sousa da UEPB pelas boas gargalhadas tão preciosas durante este tempo.

Aos professores: Valderi Duarte Leite e Wilton Silva Lopes ambos da UEPB pela sinceridade, confiança, amizade e consideração que sempre tiveram comigo.

À Universidade Federal de Campina Grande; à Companhia de Esgoto de Campina Grande e às Escolas: Melo Leitão, Clementino Procópio e Solon de Lucena por terem me proporcionado a infraestrutura para a realização desse trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro concedido ao longo do Mestrado.

A todos que acreditaram no meu potencial.

RESUMO

A segurança na qualidade da água de abastecimento para consumo humano constitui uma preocupação contínua das sociedades modernas como forma de evitar os efeitos nocivos da contaminação sobre a saúde humana. O controle, exercido pelo serviço de abastecimento de água, e a vigilância, exercida pela autoridade de saúde pública, são dois aspectos complementares da qualidade da que visam a conformidade da água com o padrão de potabilidade. O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a degradação da qualidade da água do sistema de abastecimento de porte médio, numa abordagem de análise de risco, aplicando o método FMEA. Durante o período de monitoração foram determinados os indicadores bactérias heterotróficas facultativas (BHF), pH, turbidez, cor aparente, cloro residual livre (CRL) e cloro residual combinado (CRC) nos pontos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5), representativos das adutoras de água tratada e do Bloco 2 (P6, P8 e P12), representativos da rede de distribuição do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB). Cada conjunto de dados amostrais de cada indicador em cada ponto de amostragem foi constituído por 30 elementos, sendo cada um destes a média aritmética de três replicatas. Cada um desses conjuntos de dados foi submetido à análise estatística descritiva tendo sido adotada a mediana como medida de tendência central. A metodologia FMEA foi, primeiramente, aplicada a todos os indicadores analisados e subsequente a uma seleção considerada mais prioritária constituída por BHF e pelos indicadores sentinelas turbidez e CRL. Na primeira análise os pontos do Bloco 1 foram categorizados como de risco moderado e os pontos do Bloco 2 como de risco alto enquanto que na segunda análise, considerando somente BFH e indicadores sentinelas, os pontos do Bloco 1 mantiveram sua categorização de risco moderado com exceção do ponto AD800, que passou para risco baixo, e os pontos do Bloco 2 tiveram sua categoria melhorada para risco moderado. Os perigos mais influentes na categorização de risco dos pontos do Bloco 1 foram as altas concentrações de CRL, na primeira análise, às quais se juntaram os elevados valores de turbidez na segunda análise. Com exceção de P8, cujo risco foi mais influenciado pela ausência de CRL, a categorização do risco dos pontos do Bloco 2 foi, em ambas as análises, influenciada principalmente pelo perigo da elevada concentração de CRL. Após a classificação do risco, foram elaborados mapas de risco referentes à qualidade da água em cada ponto de amostragem.

Palavras-chave: Vigilância da qualidade da água. Degradação da qualidade da água. Análise de risco da qualidade da água.

ABSTRACT

Safety on the quality of water supply for human consumption is an always present concern of modern societies in order to avoid the harmful effects of pollution on human health. Control, exerted by the water supply service, and surveillance under the responsibility of the public health authority, are two complementary aspects of quality aiming the compliance with the water potability standard. This study aims evaluating the degradation of water quality of a supply system of medium size, through a risk analysis approach, applying the FMEA method. During monitoring period the indicators facultative heterotrophic bacteria (FHB), pH, turbidity, apparent color, free residual chlorine (FRC) and combined residual chlorine (CRC) were determined in sampling points of Block 1 (P0, AD500, AD700, AD800 and R-5), representative of the treated water mains and of Block 2 (P6, P8 and P12), representative of the distribution network of the supply system of Campina Grande City, Paraiba state, northeast Brazil. Each set of data, for each indicator, at each sampling point, consisted of 30 elements, each of which is the arithmetic mean of three replicates. Each of these data sets was subjected to descriptive statistical analysis being adopted the median as the measure of central tendency. FMEA methodology was, firstly, applied to all indicators and, subsequently, to a selection consisting of FHB and the sentinel indicators turbidity and FRC. In the first analysis risk at sampling points of Block 1 were categorized as moderate and risk at points of Block 2 as high while in the second analysis, considering only FHB and sentinel indicators, points of Block 1 maintained their categorization of moderate risk with the exception of point AD800, which moved to low risk, and points of Block 2 had improved its category to moderate risk. The dangers most influential in the categorization of risk of sampling points of Block 1 were the high concentrations of FRC, in the first analysis, to which high turbidity values joined together in the second analysis. With the exception of P8, whose risk was more influenced by the absence of FRC, risk categorization of points of Block 2 was, in both analyzes, mainly influenced by the danger of high concentration of FRC. After risk classification, risk maps were drawn regarding the quality of water at each sampling point.

Keywords: Water quality surveillance. Degradation of water quality. Risk analysis of water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	– Demonstração do sistema de abastecimento de água.....	31
Figura 3.2	– Tipos de reservatórios.....	34
Figura 3.3	– Tipos de rede de distribuição: ramificada (a), malhada sem anel (b), malhada com anel (c).....	35
Figura 4.1	– Manancial e localização das adutoras de 500mm, 700 mm e 800 mm do SAACG e algumas localidades atendidas pela ETA.....	37
Figura 4.2	– Unidades operacionais do sistema de abastecimento de água de Campina Grande (PB).....	38
Figura 4.3	– Preparação das garrafas com tiosulfato (a) autoclave utilizada para esterilização do material (b) e frascos para coleta microbiológica (c) ..	40
Figura 4.4	– Procedimento realizado na coleta para análise bacteriológica.....	41
Figura 4.5	– Meio de cultura sendo aquecido no fogão (a) e em Banho-maria para atingir a temperatura ideal.....	43
Figura 4.6	– Higienização da bancada (a), chama do bico de Bunsen e identificação das placas de Petri.....	44
Figura 4.7	– Procedimento da análise bacteriológica: esterilização de pipetas (a), homogeneização da amostra (b), retirada do volume da amostra (c) e semeadura (d).....	45
Figura 4.8	– Etapas da análise das bactérias heterotróficas: tubo de ensaio sendo flambado (a), meio de cultura sendo disposto na placa (b), homogeneização da placa (c) e incubação das placas de petri (d).....	45
Figura 4.9	– Contador de colônias CP 602.....	46
Figura 4.10	– Laboratório Itinerante montado <i>in loco</i> (a) e procedimento realizado nas coletas para as análises físico-químicas.....	47
Figura 4.11	– pHmetro portátil modelo mPA210 P(a) e turbidímetro portátil Orbeco-Hellige modelo 966.....	48
Figura 5.1	– Escalas de classificação dos indicadores bactérias heterotróficas facultativas (a), pH (b), turbidez (c), cor (d), CRL (e) e CRC (f).....	57
Figura 5.2	– Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 1 com base em todos os indicadores analisados.....	67

Figura 5.3 –	Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 1 com base nos indicadores sentinelas e BHF.....	70
Figura 5.4 –	Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 2 com base em todos os indicadores analisados.....	75
Figura 5.5 –	Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 2 com base nos indicadores sentinelas e BHF.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Pontos de coletas, localização, reservatório de distribuição, área de abrangência e coordenadas geográficas.....	39
Tabela 4.2 – Volume de amostra definidas nas placas por ponto de amostragem.....	46
Tabela 5.1 – Estatística descritiva e valores de conformidades e não conformidades para as variáveis estudadas em cada ponto.....	56
Tabela 5.2 – Escores adotados para o Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5).....	59
Tabela 5.3 – Escores adotados para o Bloco 2 (P6, P8 e P12)	60
Tabela 5.4 - Formulário FMEA para o Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5).....	62
Tabela 5.5 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os indicadores estudados.....	64
Tabela 5.6 – Classificação do risco máximo do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os indicadores estudados.....	65
Tabela 5.7 – Categorização do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os indicadores estudados.....	66
Tabela 5.8 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	68
Tabela 5.9 – Classificação do risco máximo do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	68
Tabela 5.10 – Categorização do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	69
Tabela 5.11 - Formulário FMEA para o Bloco 2 (P6, P8 e P12).....	72

Tabela 5.12 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.....	73
Tabela 5.13 – Classificação do risco máximo do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.....	73
Tabela 5.14 – Categorização do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.....	74
Tabela 5.15 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	76
Tabela 5.16 – Classificação do risco máximo do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	76
Tabela 5.17 – Categorização do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.....	77

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	16
2.0	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3.0	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	Qualidade da água.....	19
3.2	Plano de segurança da água.....	21
3.3	Controle e vigilância da qualidade da água.....	21
3.4	Análise de risco.....	22
3.5	Indicadores da qualidade da água.....	24
3.5.1	<i>Indicadores sentinela.....</i>	24
3.5.1.1	<i>Cloro residual livre.....</i>	24
3.5.1.2	<i>Turbidez.....</i>	25
3.5.2	<i>Indicadores auxiliares.....</i>	25
3.5.2.1	<i>Bactéria heterotrófica.....</i>	25
3.5.2.2	<i>Potencial hidrogeniônico.....</i>	29
3.5.2.3	<i>Cor aparente.....</i>	29
3.5.2.4	<i>Cloro residual combinado.....</i>	30
3.6	Sistema de abastecimento de água.....	30
3.6.1	<i>Manancial.....</i>	31
3.6.2	<i>Captação.....</i>	31
3.6.3	<i>Adução.....</i>	32
3.6.4	<i>Estação de tratamento de água.....</i>	32
3.6.5	<i>Reservação.....</i>	33
3.6.6	<i>Rede de distribuição.....</i>	35
4.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1	Descrição do sistema de abastecimento de água de Campina Grande.....	36
4.2	Pontos de monitoração.....	38
4.3	Métodos analíticos.....	40
4.3.1	<i>Metodologia da coleta para análise microbiológica.....</i>	40

4.3.1.1	<i>Método de plaqueamento em profundidade</i>	41
4.3.1.2	<i>Preparação do meio de cultura</i>	42
4.3.1.3	<i>Preparação da água de diluição</i>	42
4.3.1.4	<i>Procedimentos da análise microbiológica</i>	43
4.3.1.5	<i>Descarte das placas de Petri</i>	46
4.3.2	Metodologia de coleta para análise físico-químicas	47
4.3.2.1	<i>Medida de pH pelo método potenciométrico</i>	47
4.3.2.2	<i>Medida da turbidez pelo método Nefelométrico</i>	47
4.3.2.3	<i>Cor aparente</i>	48
4.3.2.4	<i>Método Titulométrico DPD – SFA</i>	48
4.4	Análise dos dados	50
4.5	Avaliação do risco	50
4.5.1	Metodologia FMEA	50
4.5.1.1	<i>Análise das falhas em potencial</i>	51
4.5.1.2	<i>Avaliação das falhas potencial</i>	53
4.5.2	Soma ponderada do risco	54
4.5.3	Cálculo do risco total	54
4.6	Mapas de risco	54
5.0	RESULTADOS	55
5.1	Cálculo do risco para o Bloco 1 considerando todos os indicadores	60
5.2	Mapa de risco para o Bloco 1 considerando todos os indicadores	66
5.3	Cálculo do risco total para o Bloco 1 considerando os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas	68
5.4	Mapa de risco para o Bloco 1 considerando os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas	69
5.5	Cálculo do risco para o Bloco 2 considerando todos os indicadores	71
5.6	Mapa de risco para o Bloco 2 considerando todos os indicadores	74
5.7	Cálculo do risco total para o Bloco 2 considerando os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas	76
5.8	Mapa de risco para o Bloco 2 considerando os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas	77
6.0	DISCUSSÃO	79
6.1	Esquemas de monitoração da qualidade da água	80

6.2	Degradação da qualidade da água do sistema de abastecimento estudado.....	81
6.3	Categorização dos riscos associados à qualidade da água de abastecimento.....	82
7.0	CONCLUSÕES.....	84
8.0	RECOMENDAÇÕES.....	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
	ANEXO A – Tabela de escore para um FMEA de processos de empresas de São Carlos – SP.....	90
	ANEXO B – Valores críticos usados para o teste de outliers (empregando o método de Grubbs).....	91
	APÊNDICE A – Formulário FMEA.....	92

1.0 INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos indispensáveis à vida, sendo uma das principais substâncias ingeridas pelo ser humano, ela apresenta importância fundamental tanto nos usos consultivos quanto nos usos não consultivos.

Devido a este fato, é necessário que haja a conservação e proteção dos recursos hídricos, para garantir que ocorra a distribuição em qualidade e quantidades adequadas para perpetuação da vida no planeta de maneira equilibrada. Evitando assim, que este líquido tão precioso venha a se tornar escasso e raro, como já ocorre em alguns países africanos.

Por muitas centenas de anos, o impacto causado pelo homem sobre os recursos hídricos do planeta foi pontual e insignificante. A renovação da água pelo ciclo hidrológico e sua capacidade de autodepuração possibilitaram que ela estivesse disponível, em termos qualitativos e quantitativos, não sendo afetada de forma substancial e generalizada por ações do homem. No entanto, a partir da década de 1950, a situação mudou principalmente devido ao acelerado crescimento populacional, à expansão das áreas irrigadas, à industrialização acelerada, ao crescimento da geração hidrelétrica e a uma intensiva construção de reservatórios em todos os continentes, o que aumentou, substancialmente, a superfície da água exposta para a evaporação.

A contaminação da água pode se dar em função da descontinuidade do fornecimento, da falta de rede de esgoto, da manutenção inadequada da rede e reservatórios, agrotóxicos e aterros sanitários, que contaminam os lençóis freáticos (SOARES et al., 2002; BETTEGA et al., 2006).

A segurança na qualidade da água de abastecimento para consumo humano constitui uma preocupação das sociedades como forma de proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação. Para isso, é necessária a vigilância e o controle da qualidade da água com vista à demonstração da sua conformidade com a Portaria 518/04 do MS (BRASIL, 2004).

A água utilizada para consumo humano deve passar por um processo de tratamento para torná-la potável assegurando que os diversos contaminantes

(químicos ou biológicos) não ultrapassem o valor máximo permitido pela Portaria 518/04 do MS.

O tratamento da água é feito por concessionárias especializadas e autorizadas para realização desse serviço, tomando-as responsáveis pela distribuição de uma água com qualidade e que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde. A referida norma determina que essas companhias efetuem o controle da qualidade da água, verificando sua potabilidade e assegurando a manutenção desta condição.

Para a implantação dos programas de vigilância da qualidade da água, é necessária a elaboração de planos de amostragem baseados na monitoração de indicadores físicos, químicos e microbiológicos avaliados constantemente; e quando ocorrerem mudanças nas propriedades e características da água de abastecimento de forma recorrente, devem ser tomadas medidas de intervenção corretiva ou preventiva.

A monitoração dos indicadores microbiológicos e físico-químicos deve ser incluída nos planos de amostragem, devido à relação entre as bactérias heterotróficas facultativas e o cloro residual livre, que estão ligados geralmente, pelo aumento da primeira e diminuição deste último, ou vice-versa.

Este trabalho expõe os resultados de uma investigação sobre a degradação da qualidade da água de consumo humano suprida por um sistema de abastecimento urbano de porte médio.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a degradação da qualidade da água em um sistema de abastecimento de porte médio utilizando uma abordagem de análise de risco.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a variação dos indicadores de qualidade da água (cloro residual livre, cloro residual combinado, turbidez, pH, cor aparente e bactérias heterotróficas facultativas), num sistema de adução de porte médio;
- Estudar a variação dos indicadores de qualidade da água referidos em pontos da rede de distribuição do sistema de abastecimento de porte médio;
- Categorizar os riscos associados à água de abastecimento nos pontos monitorados;
- Elaborar os respectivos mapas de risco.

3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A questão da saúde humana está intimamente ligada com práticas de higiene, controle da qualidade da água e dos alimentos, destino e tratamento dos resíduos sólidos e dos esgotos. Essas medidas são imprescindíveis para a prevenção de doenças ocasionadas por veiculação hídrica. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), aproximadamente 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica como, por exemplo: Cólera, gastroenterite, febre tifóide, hepatite infecciosa, giardíase, entre outras.

Todas as pessoas devem ter acesso a uma água tratada e de qualidade que atenda aos requisitos da norma em vigor, para desta forma diminuir a incidência das doenças provocadas pela água contaminada e pelos alimentos; este último tendo relação direta com a segurança alimentar; para a garantia da saúde integral à população.

Estima-se que 1/3 da população mundial vive em países onde a falta de água vai de moderada a altamente impactante e o consumo representa mais de 10% dos recursos renováveis da água. Além de haver, no mundo, cerca de 1,2 bilhão de pessoas sem água potável e 2,4 bilhões de habitantes sem saneamento básico segundo dados do portal do Governo Federal do Brasil (BRASIL, 2010).

Estes fatos evidenciam centenas de milhões de casos de doenças de veiculação hídrica e mais de 5 milhões de mortes a cada ano. Estima-se que 10 mil a 20 mil de crianças morrem todos os dias vítimas de doenças de veiculação hídrica (ÁGUA, 2011).

3.1 Qualidades da água

A qualidade da água está relacionada tanto com suas características quanto com o uso a que é destinada. Porém, há regiões em que a água é abundante, mas com deterioração de sua qualidade. Em outros locais há falta deste recurso hídrico, em virtude disto, a disponibilidade de água não é igual para todas as pessoas em muitas sociedades.

No Brasil, o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano tornaram-se uma questão de saúde pública a partir da década de 70, com o decreto federal nº 79.367 de 09/03/1977, que estabelece como competência do Ministério da Saúde (MS) a definição do padrão de potabilidade da água para consumo humano. As normas e o padrão de potabilidade da água foram instituídos pela portaria nº 56/1977, que se constituiu na primeira legislação federal sobre a potabilidade de água para consumo humano editada pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2005).

Segundo Brasil (2006a), o padrão de potabilidade para água destinada ao consumo humano é subdividido em: Padrão microbiológico; Padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção; Padrão para substâncias químicas que representam riscos à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); Padrão de radioatividade e Padrão de aceitação para consumo humano.

A idéia de boas práticas na qualidade da água está relacionada com todos os procedimentos, aplicados aos sistemas de abastecimento, desde sua concepção, planejamento ou projeto, além das rotinas operacionais, com o objetivo de minimização dos riscos à saúde humana associados ao consumo de água (BRASIL, 2006a).

O tratamento da água em si não garante a manutenção da condição de potabilidade, haja vista que sua qualidade pode se deteriorar entre o tratamento, reservação, distribuição e consumo, devido, por exemplo, ao abrasamento da água, a falta de manutenção de reservatórios, a substâncias químicas presentes, rachaduras nas canalizações, além de condições favoráveis à presença de bactérias heterotróficas facultativas como condições de nutrição, desenvolvimento e reprodução das mesmas.

A Vigilância Sanitária também poderá em conjunto com os órgãos de saneamento e meio ambiente, verificar se os sistemas de tratamento de água, esgotamento sanitário, drenagem, coleta e disposição de lixo, estão funcionando de acordo com a legislação vigente para garantir a proteção dos mananciais e a qualidade das águas de abastecimento público.

3.2 Plano de segurança da água

É necessário não apenas que a água potável tenha tido um tratamento anterior de qualidade, para poder abastecer a população, mas que durante a adução pela rede de distribuição, até chegar ao reservatório e por fim abastecer a comunidade, que este recurso hídrico continue com a potabilidade exigida pelas legislações vigentes.

Com este propósito, advém o Plano de Segurança da Água (PSA) – um instrumento de gestão que visa à identificação de possíveis riscos contidos no sistema de abastecimento que vão desde o manancial até o ramal predial (COUTINHO, 2011). O Plano contém medidas de controle para constatar a eficácia da administração dos sistemas de abastecimento e da qualidade da água consumida, para com isto, poder diminuir ou eliminar os riscos à saúde humana.

O Plano de segurança da água objetiva a garantia da qualidade da água destinada para o consumo humano utilizando algumas maneiras em todo o sistema de abastecimento, como por exemplo, minimização da contaminação nas origens de água, redução ou remoção da contaminação durante o processo de tratamento e prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e o manuseio da água na distribuição (SOUSA, 2008).

Vale salientar que é muito importante para o efetivo controle do sistema de qualidade da água, fazer a monitoração: da qualidade da água bruta, operacional, controle de armazenamento e da qualidade da água no sistema de distribuição.

3.3 Controle e vigilância da qualidade da água

No Brasil, atualmente está em vigor a Portaria MS 518/2004, que tem como objetivos definir as responsabilidades e os procedimentos voltados para o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde o controle da qualidade da água para consumo humano é visto como o conjunto de atividades, exercidas de

forma contínua pelos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição; já a vigilância da qualidade da água é o conjunto de ações exercidas pela autoridade de saúde pública para constatar se a água que a população está consumindo obedece à norma e avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água trazem para a saúde humana (BRASIL, 2004).

E segundo Brasil (2006b), a vigilância em saúde ambiental pode ser definida como o conjunto de ações que proporciona o conhecimento e a detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente – que interferem na saúde humana – com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou outros agravos à saúde.

As ações da vigilância sanitária, tais como o controle da qualidade da água para o consumo humano, são de suma importância, assessorando quanto à necessidade, qualidade e promoção de medidas de intervenção, sendo preventivas ou corretivas, garantindo água de boa qualidade para o consumo (TEIXEIRA, 2005).

Para fazer a avaliação e a administração dos riscos, a vigilância da qualidade da água busca averiguar o sistema de abastecimento, além de identificar perigos e pontos críticos nos sistemas e soluções de abastecimento de água.

3.4 Análise de risco

Para ser feita a análise de risco é necessário saber a diferença entre perigo e risco, sendo o primeiro um efeito adverso relacionado a uma determinada situação, já o último está associado a quantificação do perigo, por exemplo, se o índice pluviométrico de uma dada região estiver acima do esperado representa um perigo, porém, se tal índice ultrapassar os limites e causar perdas à população por deslizamentos de terra, bens materiais e até à vida representa um risco.

A análise de risco abrange três etapas: avaliação do risco, gerenciamento de risco e comunicação do risco. A avaliação do risco descreve os fatores, agentes ou

situações que determinam a ocorrência do risco. O gerenciamento propõe planos de gestão, baseados nos dados gerados pela avaliação de risco, para evitar, minimizar ou controlar os riscos. A comunicação é o processo interativo de troca de informações entre indivíduos, grupos e instituições, sobre o risco, para conhecimento da opinião do público e para torná-lo apto a estabelecer medidas de proteção individual (BASTOS et al., 2009).

Brasil (2006a) divide a avaliação de risco em quatro etapas. Iniciando pela identificação do perigo, onde as hipóteses sobre o perigo de determinada situação são levantadas, informando os possíveis agentes e os efeitos desta situação adversa. A segunda etapa é da avaliação da dose-resposta, que irá determinar qual a quantidade do agente capaz de gerar o efeito adverso. Por conseguinte, é feita a avaliação da exposição, ou seja, a caracterização da quantidade do agente no meio e as vulnerabilidades da população exposta. Juntando todos os dados gerados, é realizada a caracterização dos riscos, transformando-os em uma informação de fácil entendimento, através de uma metodologia que abranja a qualificação e quantificação dos riscos.

Uma metodologia muito interessante devido à simplicidade e flexibilidade é a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), que é baseada nos modos e nos efeitos de falhas potenciais. Segundo Toledo e Amaral (2006) para a utilização do FMEA é necessário uma pequena equipe multidisciplinar composta por especialistas em diferentes áreas do conhecimento, para discutir os riscos de um determinado processo e preencher um formulário contendo os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e a quantificação desse risco. A quantificação é feita através de quatro critérios, a severidade (que indica o quão problemático pode ser aquele risco caso ele ocorra), a ocorrência (é a frequência de acontecimento desse risco no processo atual), a detecção (é a dificuldade em detectar o risco preventivamente) e a abrangência (o quanto esse risco se difunde em função da área), finalmente os critérios são multiplicados gerando um resultado que caracteriza o risco total do processo avaliado.

3.5 Indicadores de qualidade da água

Os indicadores da qualidade da água podem ser Indicadores sentinelas e indicadores auxiliares.

O primeiro certifica a representatividade e também a qualidade das informações obtidas, possibilitando identificação precoce de perigo, ou seja, serve para sinalizar de forma preventiva qualquer irregularidade na água distribuída pelos sistemas de tratamento. Os indicadores sentinelas referentes à qualidade da água para consumo humano são a turbidez e o cloro residual livre (CRL), que passam a ter função de indicadores sanitários e não meramente estéticos (MEIRA, 2009).

Os indicadores auxiliares referem-se a informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição (DOMINGUES et al., 2007). Estes indicadores correspondem as bactérias heterotróficas, ao pH, a temperatura e ao cloro residual combinado.

3.5.1 Indicadores Sentinelas

3.5.1.1 Cloro residual livre

O cloro residual livre é formado a partir da adição do cloro na água que quando hidrolisado dá origem ao ácido hipocloroso e ao hipoclorito. Dependendo do pH da água haverá a ionização do ácido hipocloroso que dará origem aos íons hidrogênio e o íon hipoclorito, de acordo com as reações a seguir:



Conforme a Portaria 518/2004 do Ministério de Saúde depois da desinfecção, a água deve possuir um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição. A cloração da água deve ser realizada em pH inferior a 8,0 e tempo

de contato mínimo de 30 minutos e o teor máximo do cloro residual não deve ultrapassar 2,0 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento.

3.5.1.2 Turbidez

A turbidez é a presença de materiais em suspensão na água, finamente divididos ou em estado coloidal e de organismos microscópicos, ocasionando a diminuição da transparência da água; ela possui a propriedade de desviar raios luminosos (BRAGA et al., 2005).

Na água filtrada, a turbidez assume a função de indicador sanitário e não meramente estético, sendo também um parâmetro de controle da eficiência da desinfecção (BRASIL 2006a), no entendimento de que partículas em suspensão podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante em água precedida ou não de filtração (MEIRA et al., 2009).

As chuvas de alta intensidade, os esgotos domésticos, a erosão dos solos e os efluentes industriais favorecem o aumento excessivo da turbidez, fato que causa o acréscimo de coagulantes (como por exemplo, o sulfato de alumínio) que são utilizados nas ETA, aumentando assim os custos do tratamento.

A Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde determina que a turbidez deva ser no máximo de 1 UT na saída da ETA e 5 UT no ponto mais desfavorável da rede de distribuição.

3.5.2 Indicadores Auxiliares

3.5.2.1 Bactérias heterotróficas

Segundo a Portaria 518/2004, a contagem de bactérias heterotróficas não deve ultrapassar de 500 UFC/mL, em 20% das amostras mensais nos sistemas de distribuição. Quando este valor for excedido, deve haver imediata coleta e

inspeção a fim de serem tomadas as medidas cabíveis caso confirmadas as irregularidades.

A contagem de bactérias heterotróficas, microrganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes, fornece de forma ampla, informações sobre a qualidade bacteriológica da água. Inclui a detecção inespecífica de bactérias ou esporos de bactérias de origem fecal, que são componentes da flora natural da água ou resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição (DOMINGUES et al., 2007).

Desta forma, as bactérias heterotróficas pertencem ao indicador auxiliar da qualidade da água, pois fornecem informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, além de alterações na qualidade da água na reservação ou possível não-integridade do sistema de distribuição. Dos diversos fatores que podem favorecer a formação de biofilmes, destacam-se: temperatura elevada, estagnação de água em trechos de baixo consumo – como pontas de rede – e disponibilidade de nutrientes e baixas concentrações residuais de desinfetante. Além disso, quando a presença das BHF na amostra é muito grande, o crescimento dos coliformes é inibido, dando resultados falso-negativos da presença deles (TEIXEIRA E LEAL, 2002).

A maioria das bactérias heterotróficas não é patogênica, mas pode apresentar riscos à saúde, além de deteriorar a qualidade da água, provocando o aparecimento de odores e sabores desagradáveis que causam a rejeição ao consumo por parte da população (DOMINGUES et al., 2007).

Teixeira e Leal (2002) enfatizam que as bactérias heterotróficas proporcionam formação de biofilmes nas redes de distribuição de água os quais fornecem proteção para microrganismos patogênicos contra a inativação por agentes desinfetantes, levando à contaminação das águas de abastecimento no sistema de distribuição. Vale salientar também que o crescimento de biofilmes nas redes de distribuição de água, pode ser fortemente influenciado pela temperatura e velocidade da água, o tempo de residência da água nos condutos, além do tipo de tratamento da água.

O cloro residual mantido na rede de distribuição apresenta muita importância, pois inibe o crescimento das bactérias heterotróficas e, também a

formação de biofilmes. Vale salientar que o manancial utilizado e o tipo de filtração adotado também vão influenciar no fornecimento dos nutrientes necessários para o crescimento dos microrganismos nos biofilmes (ibidem).

As bactérias heterotróficas podem ser identificadas a partir do gênero as quais pertencem, podendo ser: *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Serratia*, *Mycobacterium*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Klebsiella*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*; além das espécies: *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* e *Klebsiella sp* (HELLER E PÁDUA, 2006)

As bactérias mesófilas aeróbias heterotróficas estão presentes em águas superficiais em grande número e são indicativas de insalubridade (COELHO et al., 2010). Segundo Farache Filho e Dias (2008), mesmo que a maioria das bactérias heterotróficas da flora natural da água não seja considerada patogênica, é importante que sua densidade seja mantida sob controle, pois densidades muito elevadas dessas bactérias na água podem causar riscos à saúde do consumidor.

No Brasil, tem sido constatada em exames bacteriológicos a presença das *Pseudomonas* em águas cloradas, não-cloradas e até em águas minerais naturais. Deve-se estar atento quanto à sua presença em águas de consumo humano, pois, esse microrganismo inibe o crescimento dos coliformes, ou seja, a *Pseudomonas aeruginosa* produz uma substância chamada de "Pseudocin", que possui ação bacteriostática sobre o crescimento de *E. coli*, *Aerobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* e *Klebsiella sp.*, podendo dificultar o isolamento destes, alterando os resultados laboratoriais (COELHO et al., 2010).

As *Pseudomonas*, cujas espécies estão distribuídas no solo, na água e algumas vezes em matéria orgânica em decomposição e podem ser isoladas da pele, garganta e fezes de pessoas doentes (WAGNER et al., 2003). Esse microrganismo está relacionado com doenças causadas por veiculação hídrica, como exemplo, as gastroenterites (COELHO et al., 2010).

A bactéria heterotrófica com ficocianina da espécie *Pseudomonas aeruginosa* ocorre em águas naturais e prolifera no sistema de distribuição e em sistemas de água quente. É encontrada nas fezes, no solo, na água e no esgoto. Ela causa doenças brandas em indivíduos saudáveis, provocando infecções secundárias em ferimentos e cirurgias. Causa fibrose cística em pacientes

imunocomprometidos. A transmissão é feita através de um patógeno oportunista. A infecção resulta de rachaduras na pele, feridas ou outros canais de infecção. Sua presença na água pode contaminar alimentos e produtos farmacêuticos, deteriorando-os e podendo causar contaminações secundárias pelo seu consumo e uso. Os sintomas são: Infecções diversas e pneumonias. Sua presença na água potável indica séria deterioração na qualidade bacteriológica, é freqüentemente associada com queixas de sabor e odor. Está ligada a baixas taxas de fluxo no sistema de distribuição e uma elevação na temperatura (HELLER E PÁDUA, 2006).

As *Aeromonas* são responsáveis pela reciclagem de compostos orgânicos e têm grande importância para a saúde pública, uma vez que vivem em ambiente aquático, estando, assim, em constante contato com o homem (COELHO et al., 2010). Esses tipos de microrganismo são os causadores de doenças extra-intestinais, como meningites, artrites, endocardites, entre outras. Podem causar, ainda, complicações gastrentéricas, que vão desde diarreias leves a casos graves de disenteria (DI BARI et al., 2007). Sendo a água, o principal mecanismo de contaminação desse microrganismo no trato digestivo dos seres humanos (DEMARTA et al., 2000). Segundo Di Bari et al (2007) as *Aeromonas* fazem parte de populações microbianas que produzem enterotoxinas, hemolisinas, proteases, hemoaglutininas e endotoxinas, sendo reconhecidas como de alta significância para a saúde pública, quando encontradas em largo número no meio ambiente.

A bactéria heterotrófica da espécie *Legionella ssp* se desenvolve em águas paradas a baixas temperaturas e baixa concentração de nutrientes. Esta bactéria pode multiplicar-se extracelularmente e parasitar protozoários, dessa forma, ou abrigada em sedimentos, torna-se resistente ao cloro. Surtos de legionelose têm sido atribuídos à água potável contaminada, sistemas de resfriamento e água dos sistemas de distribuição (HELLER E PÁDUA, 2006).

Outra espécie de bactéria heterotrófica é *Mycobacterium avium complex* (MAC – *M. avium* e *M. intracellulare*) que cresce em ambientes aquáticos adequados, notavelmente em biofilmes. Ela causa infecções humanas e de animais nos pulmões, nódulos linfáticos, pele, ossos e tratos gastrointestinal e geniturinário. Estando presente na água de beber, confirmando ser esta uma rota de exposição. Os sintomas são: Doenças pulmonares, osteomielites e artrites sépticas. Estas bactérias são a maior causa de infecções oportunista em pacientes

imunocomprometidos e segunda causa mais comum de mortes em pacientes HIV soropositivos. É resistente aos processos de desinfecção e procedimentos usuais de monitoramento, como contagem de bactérias heterotróficas pode falhar devido ao crescimento lento nos meios de cultura (ibidem).

3.5.2.2 *Potencial hidrogeniônico*

O pH (potencial hidrogeniônico) da água é a medida da concentração dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$), neutras ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinas ($\text{pH} > 7,0$) (HELLER E PÁDUA, 2006).

O valor do pH influi diretamente na solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade. Vale salientar que o pH é um parâmetro chave no processo de coagulação durante o tratamento da água. Muito baixo pode promover a corrosão e muito alto a incrustação nas tubulações das redes de distribuição (ibidem).

O controle do pH é de importância relevante no processo de desinfecção. A Portaria 518/2004 do Ministério de Saúde estabelece que o pH da água no sistema de distribuição seja mantido entre 6,0 e 9,5.

3.5.2.3 *Cor aparente*

A cor da água é definida de acordo com as características físicas das substâncias em estado coloidal ou dissolvida, sendo normalmente de natureza orgânica, assim, a cor aparente é formada pelas partículas suspensas e dissolvidas.

A cor resultante da presença de substâncias orgânicas pode indicar a existência de precursores de formação de trihalometanos, subprodutos tóxicos (carcinogênicos) da cloração, já os sólidos suspensos são removidos pela sedimentação, além de evidenciar a presença de micro bolhas que são dispersas após a decantação. A cor elevada no sistema de distribuição pode ainda contribuir para o consumo do cloro residual livre (BRASIL, 2006a).

A água utilizada pela população para os diferentes tipos de usos e diversos fins deve ser livre de cor elevada, pois esta provoca a rejeição pelos consumidores para isto a Portaria MS 518/04 estabelece que o valor máximo permitido da cor aparente seja de 5 uH na saída da Estação de Tratamento e de 15 uH na rede de distribuição.

3.5.2.4 Cloro residual combinado

O cloro residual combinado (CRC) é formado a partir da reação do ácido hipocloroso com o nitrogênio amoniacal formando as cloraminas que se dividem em monoclорaminas, dicloraminas e tricloraminas, mas tendo poder desinfetante inferior ao cloro residual livre.

A geração das cloraminas tem influencia direta no pH, na relação cloro/nitrogênio e na eficiência da mistura (ARAÚJO, 2010). De acordo com Barbosa (2010) o cloro residual livre apresenta poder desinfetante maior cerca de 200 vezes que o cloro residual combinado sendo considerado o real desinfetante. Considerando as cloraminas, a dicloramina é cerca de 3 vezes mais potente que a monoclорamina e a tricloramina não tem nenhum poder desinfetante.

A Portaria 518/2004 do MS estabelece que somente a monoclорamina é padronizada tendo valor máximo permitido de $3 \text{ mgCl}_2/\text{L}$ tal valor evita que a água tenha odor característico, gosto e transmita desconforto aos consumidores.

3.6 Sistema de abastecimento de água

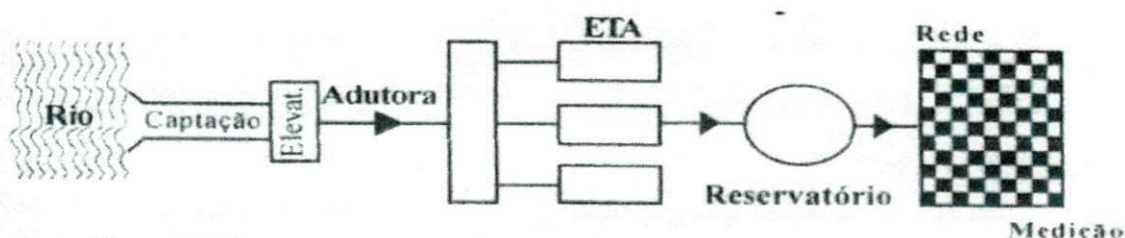
É conveniente saber que a quantidade de água disponível a nível global é muito maior do que a utilizada pela população, mas a maior parte desta água localiza-se em regiões de difícil acesso, por exemplo, nas geleiras, nas águas subterrâneas ou ainda nos oceanos onde o custo do tratamento inviabiliza o seu uso.

O Sistema de abastecimento de água (SAA) é definido pela Portaria 518/2004 do MS, como sendo o conjunto de obras civis, materiais e equipamentos

com o intuito de produzir e distribuir água potável canalizada à população, sendo de responsabilidade do poder público, mesmo quando em regime de concessão ou permissão.

O SAA é formado por manancial, captação, adução, ETA (aeração, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção), reservatório e rede de distribuição, conforme a Figura 3.1.

Figura 3.1 – Demonstração do sistema de abastecimento de água.



Fonte: Viana (2002).

3.6.1 Manancial

É o local de onde se retira a água para o tratamento, podendo ser superficial (abrange lagos, rios, represas, córregos, açudes e todos os meios de captação e contenção de águas pluviais); subterrâneo (envolvem as galerias de infiltração, as nascentes, os poços rasos e profundos); e meteórico (provenientes da chuva, neve ou granizo) (PHILIPPI JR., 2005).

Para a escolha do manancial devem ser levados em consideração alguns aspectos como a disponibilidade e a qualidade da água (BRASIL, 2006a).

3.6.2 Captação

É o conjunto de equipamentos e instalações usados para fazer a retirada da água, que vai depender do tipo de manancial. No caso de manancial superficial a captação é feita através da captação direta com proteção, captação direta com canal, torre de tomada e por técnicas de tomada de água. Sendo o manancial

subterrâneo a captação é realizada por poços que podem ser artesianos ou freáticos (PHILIPPI JR., 2005).

Segundo Heller e Pádua (2006) a captação deve ser localizada em local sanitariamente protegido, distante de pontos de lançamento de poluentes ou contaminantes. No processo de captação a tomada de água não deve ser superficial para evitar a floração de algas e nem muito profundo para impedir o arraste de lodo do fundo do manancial, o qual pode apresentar concentração elevada de compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis.

3.6.3 Adução

De acordo com Braga et al., (2005) a adução é a parte do SAA formada por tubulações que interligam a captação ao tratamento ou a água já tratada ao reservatório de distribuição. A adução pode ocorrer por gravidade, recalque ou mista, sendo que a mais viável economicamente é a adução por gravidade por evitar despesas com energia, vale salientar que não se admite aduzir água tratada em canais abertos (HELLER E PÁDUA, 2006).

3.6.4 Estação de tratamento de água

O objetivo do tratamento é remover as impurezas e microrganismos existentes na água bruta para torná-la adequada ao Padrão de Potabilidade, para isso a água deve passar pelas seguintes etapas convencionais: Aeração, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

A aeração aumenta a área de contato da água com o ar colocando mais oxigênio na mesma, além disso, pode remover substâncias voláteis, que podem influenciar diretamente o odor e o sabor da água (PHILIPPI JR., 2005).

Segundo Ogata (2011) a coagulação ocorre pela desestabilização das partículas coloidais e suspensas mediante ações físicas e reações químicas. As ações físicas consistem na mistura rápida que, obedecem a NBR 12216 (ABNT, 1992), a qual determina que o gradiente de velocidade deve estar entre 700 s^{-1} a

1100 s^{-1} . Em relação às reações químicas são as substâncias que aglutinam as partículas, podendo ser coadjuvantes, alcalinizantes e coagulantes.

A floculação junta as partículas (sólidos suspensos) formadas na mistura rápida que são chamadas de flocos (HELLER E PÁDUA, 2006). O gradiente de velocidade nos floculadores de acordo com a NBR 12216 (ABNT, 1992) deve diminuir, começando com 70 s^{-1} e terminando com 10 s^{-1} , isto é recomendado para que tenha energia suficiente para a formação do floco e para evitar que haja a ruptura do floco.

A decantação é necessária para que os flocos gerados na floculação se sedimentem pela ação da gravidade. Para isto os fatores observados no dimensionamento de um decantador são a velocidade de escoamento e de sedimentação (OGATA, 2011).

A desinfecção é a inativação dos microrganismos presentes na água, normalmente é utilizado o cloro (que ao penetrar a célula ocasiona reações químicas nas enzimas, comprometendo a atividade metabólica), no entanto podem ser usados dióxido de cloro, radiação ultravioleta e ozônio. Esta é a única etapa do tratamento especificamente destinado ao controle da qualidade bacteriológica (BRAGA et al., 2005).

3.6.5 Reservação

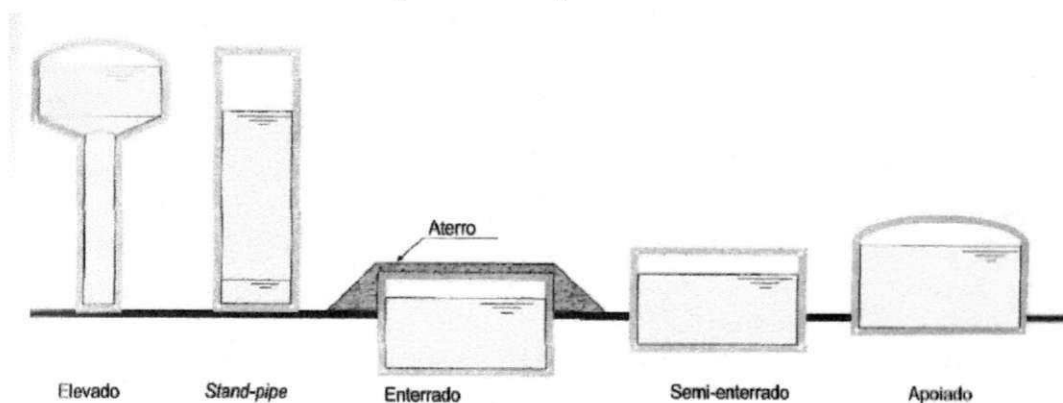
Os principais objetivos da reservação de água num sistema de abastecimento público são: atender as variações de consumo durante o dia; promover a continuidade do abastecimento em caso de interrupção da produção de água; manter pressões adequadas na rede de distribuição e garantir a reserva estratégica para o combate à incêndio (BRASIL, 2006a). Para atender a essas necessidades, a capacidade de reservação deve ser igual ou maior que um terço do volume consumido no dia de maior consumo (PHILIPPI JR., 2005).

A reservação pode ser feita no início (montante) ou em pontos extremos (jusante) da rede de distribuição. Os reservatórios de montante fornecem água para

a rede de distribuição e os de jusante podem fornecer e também receber água da rede de distribuição, conforme a variação do consumo (ibidem).

De acordo com Heller e Pádua (2006) os reservatórios podem ser do tipo: Elevado (quando há necessidade de aumento da pressão de abastecimento em regiões altas); *Stand-pipe* (refere-se à forma de construção de uma tulipa, que indica um ponto de referência onde é implantado); Apoiado (onde menos de um terço da altura está abaixo do nível do solo); Enterrado (construído abaixo do terreno, com exceção em cidades montanhosas, onde se associa a unidade elevada respondendo pela maior parte do volume de reservação do sistema); Semi-enterrado (quando pelo menos um terço da altura está abaixo da cota do terreno); sendo ilustrados na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Tipos de Reservatórios.



Fonte: Heller e Pádua (2006).

Os materiais utilizados na construção dos reservatórios são: Concreto armado, aço, fibra de vidro, alvenaria ou argamassa armada, dependendo dos recursos disponíveis, da localização e, muitas vezes, da urgência do atendimento à demanda da população (PHILIPPI JR., 2005).

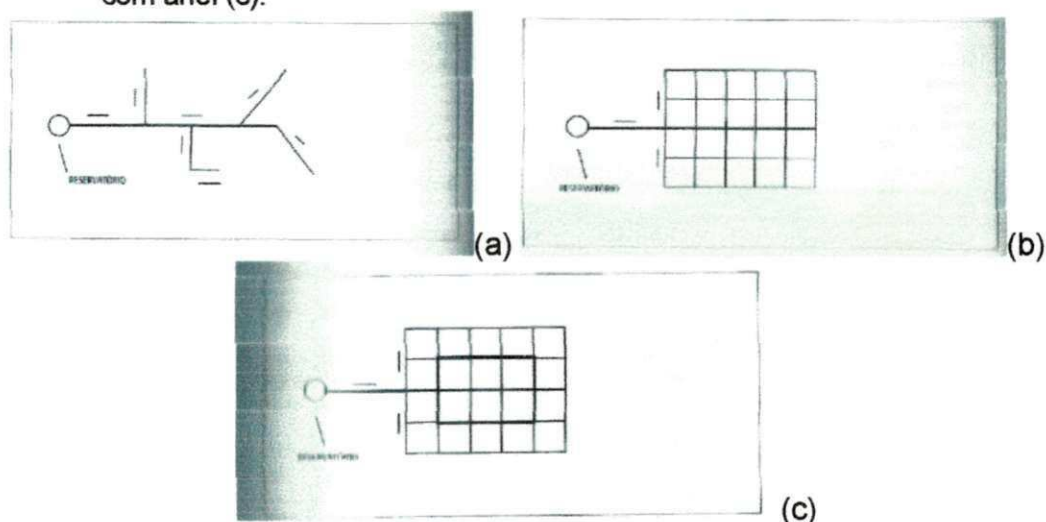
Os reservatórios constituem pontos fracos do sistema de abastecimento em relação à possibilidade de contaminação, por isso devem ser devidamente protegidos da aproximação de pessoas estranhas, bem como suas estruturas devem ser impermeabilizadas para evitar infiltração e fechadas para impedir entrada de animais e pessoas. A limpeza deve ser programada com freqüência, ocasião em que se devem tomar todos os cuidados para a desinfecção (ibidem).

3.6.6 Rede de distribuição

A rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água formada de tubulações, conexões, válvulas e peças especiais instalados em logradouros públicos, com o intuito de fornecer água de forma contínua, em quantidade e pressões recomendadas a todos os usuários do sistema de abastecimento (PHILIPPI JR., 2005).

As redes de distribuição podem ser: Ramificada (sendo aquela que possui uma tubulação principal da qual partem tubulações secundárias) representada pela Figura 3.3a; Malhada sem anel (a partir da tubulação principal partem tubulações secundárias que se interligam evitando extremidades mortas) de acordo com a Figura 3.3b; e Malhada com anel (são aquelas tubulações de maior diâmetro circundam uma determinada área alimentando tubulações menores – o abastecimento de um ponto neste tipo de rede pode ser realizado por diversas vias, reduzindo a perda de carga) conforme a ilustração da Figura 3.3c (ibidem).

Figura 3.3 – Tipos de Rede de Distribuição: Ramificada (a), Malhada sem anel (b), Malhada com anel (c).



Fonte: PHILIPPI JR., A. (2005).

A rede de distribuição compreende as tubulações que distribuem a água para a população, funcionando todas elas em regime de conduto forçado, sendo necessário um controle na pressão para manter a estanqueidade, pois havendo sobrepressão proporcionalmente o rompimento da tubulação com eventuais desperdícios e contaminação; na subpressão a água não chegará aos pontos mais distantes, existindo contaminação (OGATA, 2011).

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do sistema de abastecimento de água de Campina Grande

A cidade de Campina Grande (7° 13'11" Sul e 35° 52'31" Oeste), tendo uma altitude média de 552 m e distando 120 km da capital João Pessoa, é a sede do município homônimo o qual ocupa uma área de 594 km², na Região Agreste da Paraíba. Segundo os dados do IBGE (2011), o município conta com uma população de 385.213 habitantes.

Campina Grande é abastecida pelo Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, que dista 44 km. O açude possui o volume de acumulação de 575.000.000 m³ de água, porém devido ao assoreamento a sua capacidade está reduzida a 411.686.287 m³ (AESAs, 2011).

A concessionária responsável pelo tratamento e abastecimento de água de Campina Grande é a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A CAGEPA mantém o sistema integrado abastecendo além de Campina Grande, as sedes municipais de Barra de Santana, Queimadas, Caturité, Pocinhos e Lagoa Seca, além dos distritos de Galante e São José da Mata.

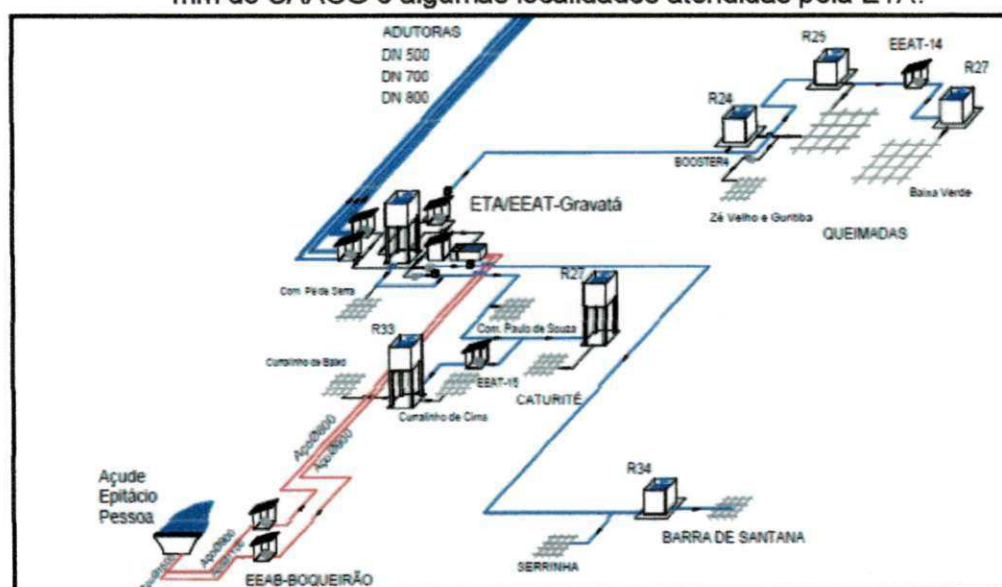
A CAGEPA faz a captação da água bruta do manancial Epitácio Pessoa e, através de duas adutoras uma de 800 mm e outra de 900 mm de diâmetro, transporta a água até a Estação de Tratamento de Água localizada em Gravatá, situada a 20 km do Açude, onde a água recebe tratamento convencional para sua potabilização. A água, então, é recalçada para a cidade de Campina Grande, através de duas estações elevatórias, localizadas junto à ETA, sendo destinada aos dois reservatórios principais do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande (SACG) que são: R-9 e R-5. Da primeira estação elevatória partem duas adutoras de aço: uma com diâmetro de 500 mm, em funcionamento desde o ano de 1957, e a outra com diâmetro de 700 mm, construída em 1972 (MENESES, 2011). A segunda estação elevatória e a adutora de 800 mm são de ferro fundido e foram construídas em 1994.

A adutora de 500 mm possui 20.120 m de comprimento e leva a água para o R-9 que está localizado no Bairro de Santa Rosa; a de 700 mm tem 20.800 m de extensão e abastece principalmente o R-9, mas tem uma derivação que transporta água para o R-5 que está localizada no Bairro da Prata. A adutora de 800 mm apresenta 18.950 m de extensão e a água é conduzida ao R-9.

O reservatório R-9 é apoiado, 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. Do reservatório R-9, saem canalizações que abastecem outros 29 reservatórios (incluindo o R-5) espalhados por toda a área da cidade.

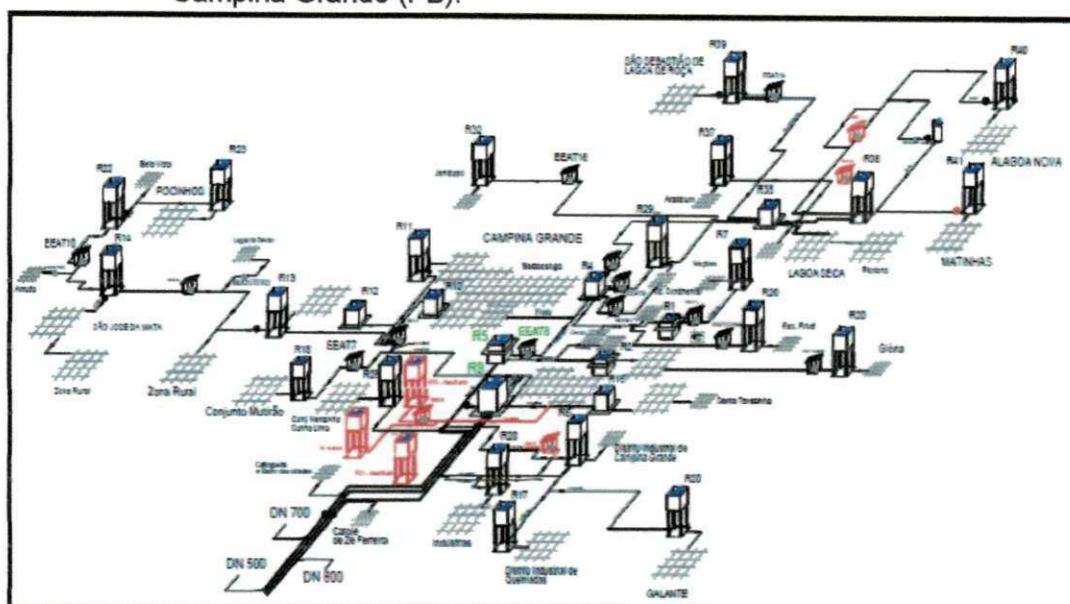
De acordo com Meneses (2011) da adutora de 500 mm partem derivações para os bairros da Catingueira, Cidades, Catolé de Zé Ferreira e conjunto Nenzinha Cunha Lima; já a de 800 mm vai para: o Distrito industrial de Queimadas, o bairro do Ligeiro, indústrias ao longo da Alça Sudoeste e a fábrica da Companhia Têxtil de Minas Gerais (COTEMINAS), com possibilidade de atender ao distrito de Galante. Por fim, a de 700 mm atende ao Distrito Industrial de Campina Grande e Galante. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam esquemas com as unidades componentes do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande (SAACG).

Figura 4.1 – Manancial e localização das adutoras de 500 mm, 700 mm e 800 mm do SAACG e algumas localidades atendidas pela ETA.



FONTE: Adaptado de CAGEPA (2010).

Figura 4.2 – Unidades operacionais do sistema de abastecimento de água de Campina Grande (PB).



FONTE: Adaptado de CAGEPA (2010).

A partir dos reservatórios ocorre a distribuição da água tratada por meio de tubulações que formam verdadeiras redes. Para operação eficiente do sistema de distribuição, as redes são divididas em zonas de pressão (A, B, C e D). Cada zona de pressão é constituída por equipamentos especiais e foi concebida para permitir a operação do sistema de abastecimento de maneira independente, mantendo as pressões mínimas necessárias para que a água chegue até as moradias.

O reservatório R-9 recebe água das três adutoras (500 mm, 700 mm e 800 mm) e a distribui para as zonas de pressão A e D. Já as zonas B e C são abastecidas apenas a partir da adutora de 700 mm, que alimenta o reservatório (semi-enterrado) R-5 (que possui capacidade de 8.000 m³). As zonas B e C compreendem o centro da cidade, entre outros bairros, além das cidades do subsistema denominado de Brejo: Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça (MENESES, 2011).

4.2 Pontos de monitoração

Durante o período de março a novembro de 2011 foram amostrados oito pontos (Tabela 4.1) considerados estratégicos em conformidade com a "Diretriz

nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2006b).

Tabela 4.1 – Pontos de coleta, localização, reservatório de distribuição, área de abrangência e coordenadas geográficas.

PONTOS DE COLETA	LOCALIZAÇÃO (Bairro e/ou cidade)	RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	ÁREA DE ABRANGÊNCIA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
P0 Saída da ETA	Gravatá/ Queimadas	R-0	Gravatá, Queimadas e Caturité.	07°23.074' Sul e 35°58.410" Oeste
AD500 Adutora de 500 mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.061' Sul e 35°54.108'Oeste
AD700 Adutora de 700 mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.065' Sul e 35°54.106'Oeste
AD800 Adutora de 800 mm	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°14.065' Sul e 35°54.049'Oeste
R-5	Prata/Campina Grande	R-5	Prata, Bela Vista, Monte Santo e Centro.	07°13.399' Sul e 35°53.917'Oeste
P6 E.E.E.F.M. Solon de Lucena	Centro/ Campina Grande	R-5	Centro, Alto Branco, Santo Antônio e Jardim Tavares.	07°12.557' Sul e 35°52.558'Oeste
P8 E.E.E.F.M. Clementino Procópio	São José/ Campina Grande	R-2	São José e Estação Velha.	07°13.303' Sul e 35°53.262'Oeste
P12 Escola Municipal Melo Leitão	Santa Rosa/ Campina Grande	R-9	Santa Rosa, Quarenta, Cruzeiro, Santa Cruz, Dinamérica, Centenário e Bodocongó.	07°13.991' Sul e 35°53.998'Oeste

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

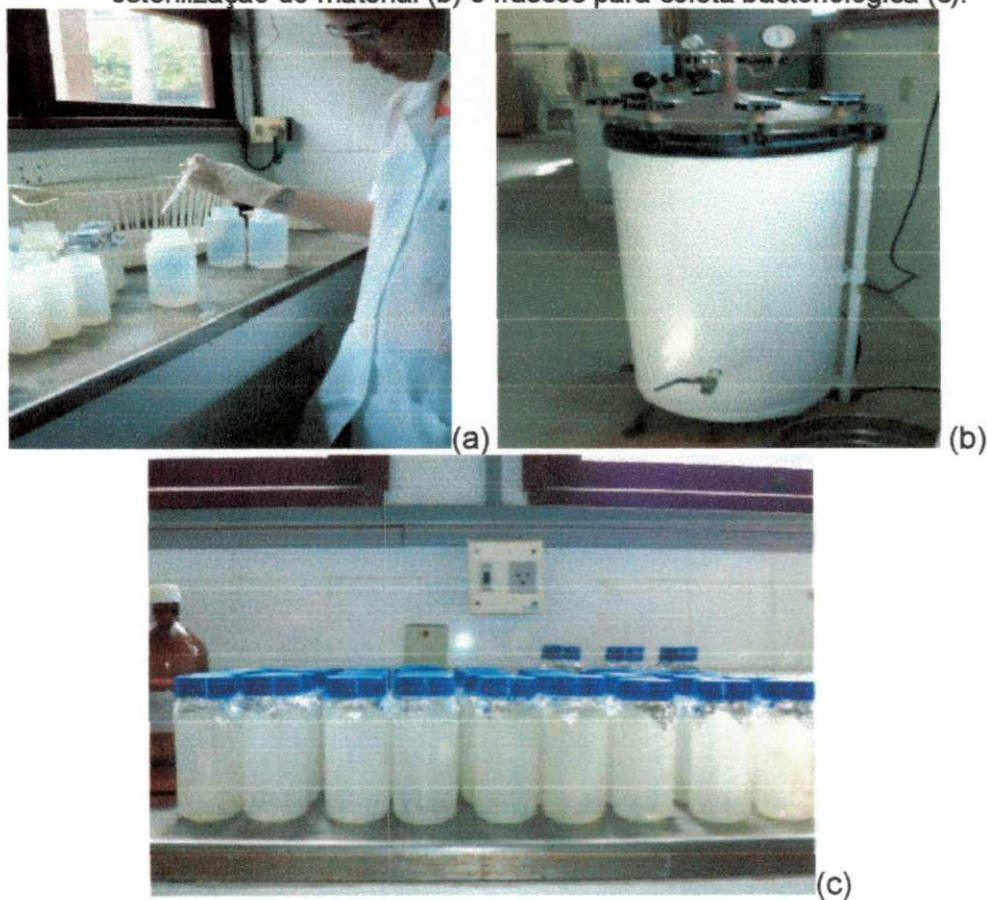
4.3 Métodos analíticos

As metodologias utilizadas na pesquisa seguiram o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2005).

4.3.1 Metodologia da coleta para análise microbiológica

As amostras para análises bacteriológicas foram coletadas em garrafas de plástico com volumes de 250 mL e 500 mL, tampas de rosca previamente esterilizadas, contendo 0,1mL de solução tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), a 10%, para cada 100 mL de água a ser coletada, conforme mostra a Figura 4.3a:

Figura 4.3 – Preparação das garrafas com tiosulfato (a), autoclave utilizado para esterilização do material (b) e frascos para coleta bacteriológica (c).



Em seguida, as garrafas tiveram o gargalo protegido com papel laminado e foram esterilizados em autoclave a 121°C e pressão de 1 kg/cm² durante 15 minutos, de acordo com as Figuras 4.3b e 4.3c.

Depois dos procedimentos de esterilização, as garrafas eram levadas para o local da coleta onde ocorria a esterilização da torneira com álcool a 70% e, posteriormente, efetuava-se uma descarga de dois a três minutos na torneira; deixando-se escoar a água, inicialmente parada na tubulação, e assim ser coletada a amostra (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Procedimento de coleta para análise bacteriológica.



Após a realização da coleta, as garrafas foram mantidas em caixas de isopor contendo gelo e encaminhadas, imediatamente, ao Laboratório de Análise de Águas do Departamento de Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande para as análises.

4.3.1.1 Método de plaqueamento em profundidade

Para determinação das bactérias heterotróficas foi utilizado o método de plaqueamento em profundidade ("Pour Plate"), utilizando meio Agar Padrão para Contagem (PCA - Plate Count Agar) e os resultados foram expressos em Unidades

Formadoras de Colônia por mililitro (UFC/mL). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.3.1.2 Preparação do meio de cultura

Para a preparação do meio de cultura foram pesados 12 gramas do meio de cultura Agar Padrão para Contagem (PCA) (para cada 500 mL de água destilada e/ou dessalinizada), sendo feita a diluição com água destilada (ou dessalinizada) no béquer de vidro, com a ajuda do bastão de vidro até a disseminação total do meio de cultura; em seguida, o meio disperso foi posto no erlenmeyer (com capacidade superior a 500 mL) tampado com papel laminado e sendo levado ao fogo, mantendo o erlenmeyer em agitação constante, até a completa dissolução do meio. Após a ebulição o fogo era desligado e o meio colocado em 50 tubos de ensaio, de 10 ml de volume cada um. Em seguida os tubos eram levados para o autoclave por 15 minutos a 121°C e pressão de 1 kg/cm^2 . Após esfriarem, os tubos eram guardados na geladeira por até 15 dias.

4.3.1.3 Preparação da água de diluição

Na preparação da água de diluição foi realizado o seguinte procedimento:

Para a solução 1: Dissolver 34 gramas de fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) em 500 ml de água dessalinizada e, em seguida, num balão volumétrico completar o volume para 1 litro com água dessalinizada. Depois neutralizar o pH da solução com hidróxido de sódio 1N.

Para a solução 2: Dissolver 81,1 gramas de cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e, num balão volumétrico, completar para 1 litro com água dessalinizada.

Preparação da água de diluição: Adicionar 1,25 ml da solução 1 e 5 ml da solução 2 e completar o volume para um litro com água dessalinizada. Depois,

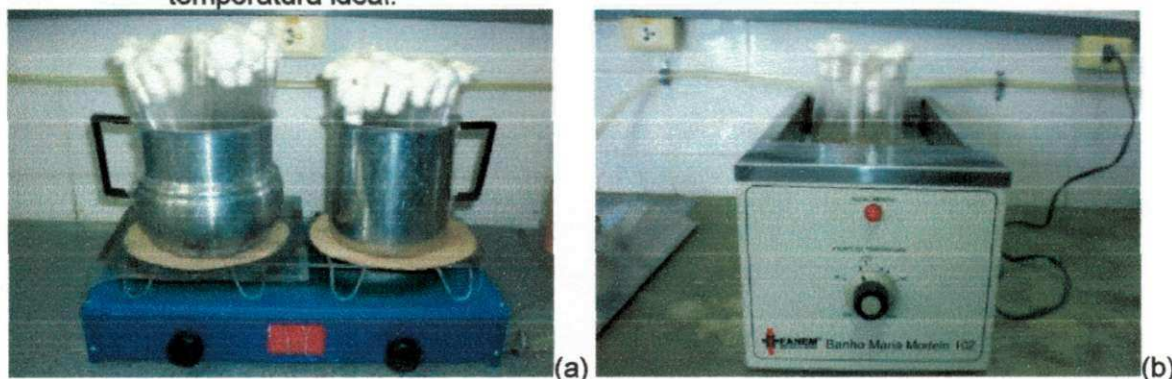
colocar 9 ml da água de diluição em cada tubo de ensaio, levando-os para a autoclave por 15 minutos. Depois de esfriar era mantido na geladeira.

A diluição das amostras ocorreu com a colocação de 1 ml da amostra no tubo contendo 9 ml da água de diluição esterilizada. Vale salientar que todo o procedimento ocorreu por trás do bico de Bunsen garantindo, dessa forma, o máximo possível de assepsia, evitando uma possível contaminação.

4.3.1.4 Procedimentos da análise microbiológica

Para a realização da análise, os tubos de ensaio contendo o meio de cultura esterilizado foram colocados numa panela e, depois, sobre a tela de amianto para serem aquecidos na chama do fogão (Figura 4.5a) e, quando o meio apresentava-se totalmente derretido, ou seja, no estado líquido, os tubos eram colocados em banho-maria para manter a temperatura em 37° C (Figura 4.5b).

Figura 4.5 – Meio de cultura sendo aquecido no fogão (a) e em Banho-maria para atingir a temperatura ideal.

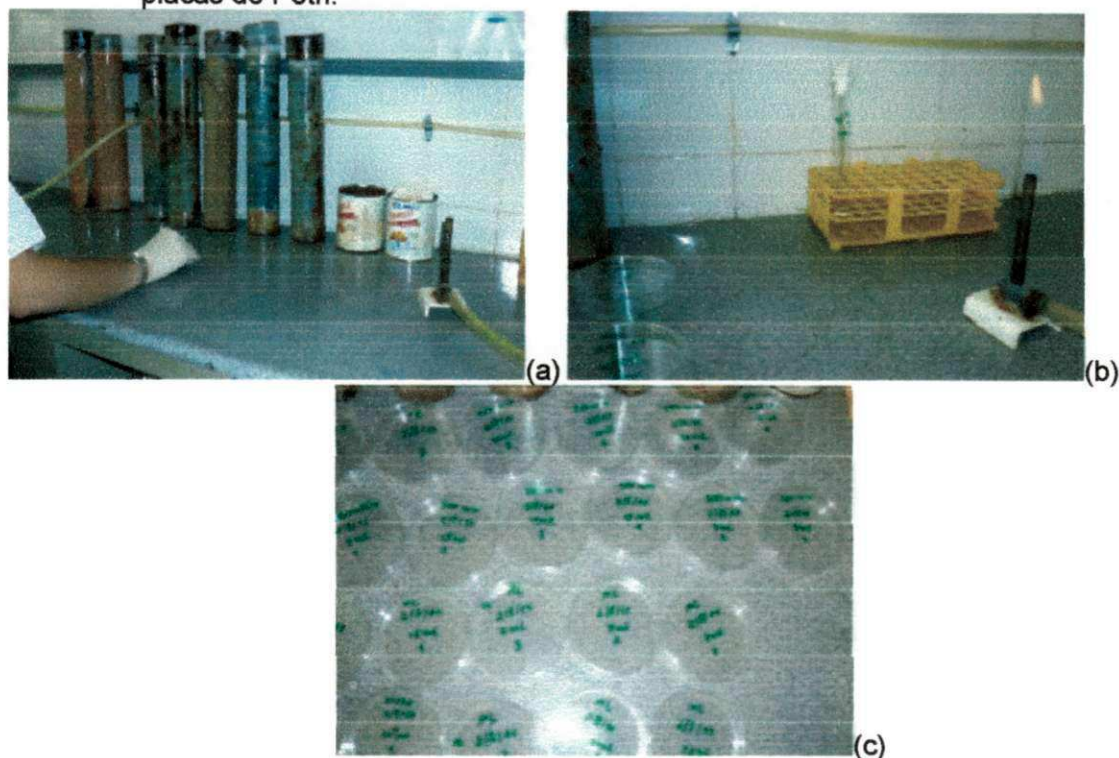


Era realizada a assepsia da bancada, através de papel higiênico e água clorada na proporção de 1:1 (água dessalinizada e cloro); em seguida era passado um algodão embebido em álcool a 70% (70 mL de álcool a 90% e 30 mL de água dessalinizada) fazendo a higienização da bancada (Figura 4.6a); acendia-se o bico de Bunsen (Figura 4.6b); e era feita a identificação das placas de petri (Figura 4.6c):

A pipeta estéril era passada pela chama do bico de Bunsen (Figura 4.7a), o frasco estéril que continha a amostra era homogeneizado (Figura 4.7b), flambado

para ser pipetado em triplicata o volume determinado para cada placa sendo esta manuseada por trás da chama (Figura 4.7c), e aberta o mínimo possível para evitar contaminação (Figura 4.7d).

Figura 4.6 – Higienização da bancada (a), chama do bico de bunsen e identificação das placas de Petri.



Posteriormente, foi flambado cada tubo de ensaio (Figura 4.8a), despejados 10 mL do meio em cada placa (Figura 4.8b) e feita a homogeneização com movimento circulares (Figura 4.8c).

Após a solidificação do meio, a placa era, então, invertida para evitar a condensação da umidade na parte superior da placa e incubada em estufa bacteriológica a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 48 ± 2 horas, conforme a Figura 4.8d.

O volume de amostra posto na placa de Petri foi decidido seguindo o método do Standard Methods que sugere 1mL de amostra em cada placa. Mas, por serem amostras de pontos onde eram esperadas contagens baixas de bactérias heterotróficas, foi considerada a adaptação dessa regra e o aumento do volume conforme recomendação do Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 2005). Assim, foram realizados testes para verificar o melhor volume de amostra transferido para a placa. Os volumes das amostras variaram muito, conforme a Tabela 4.2.

Figura 4.7 - Procedimento da análise bacteriológica: esterilização de pipetas (a), homogeneização da amostra (b), retirada do volume da amostra (c) e a semeadura (d).

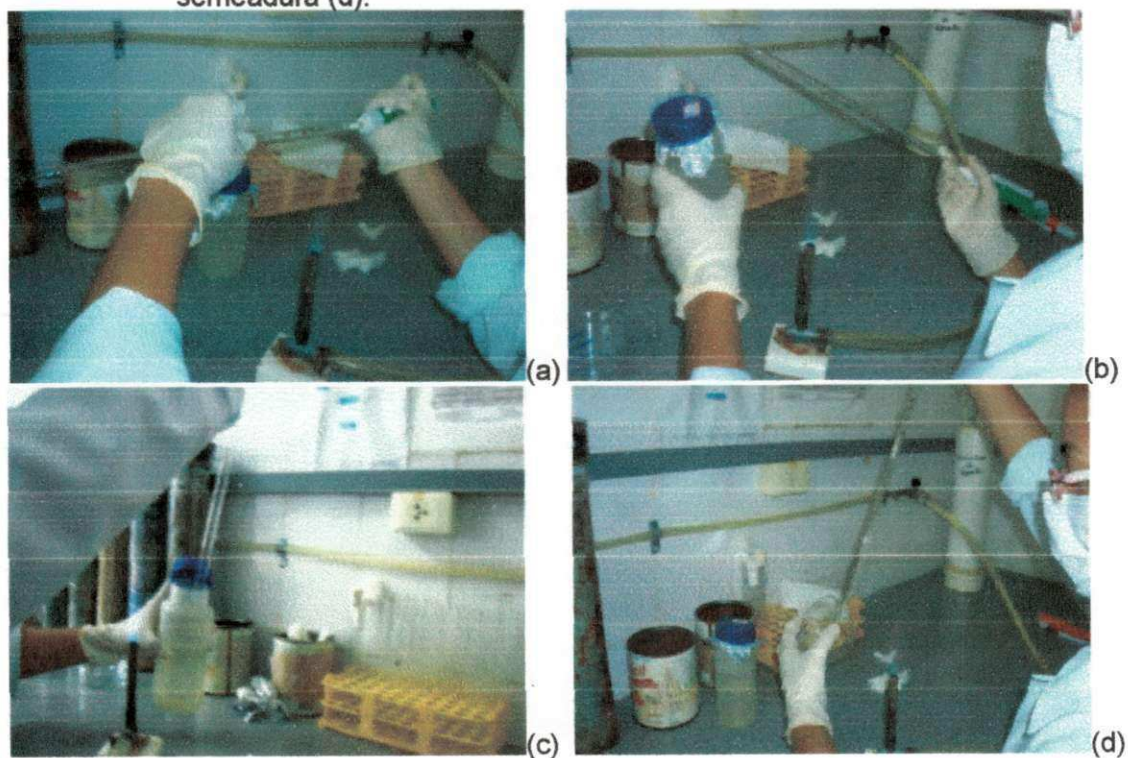


Figura 4.8 - Etapas da análise das bactérias heterotróficas: tubo de ensaio sendo flambado (a), meio de cultura sendo disposto na placa (b), homogeneização da placa (c) e incubação das placas de petri (d).

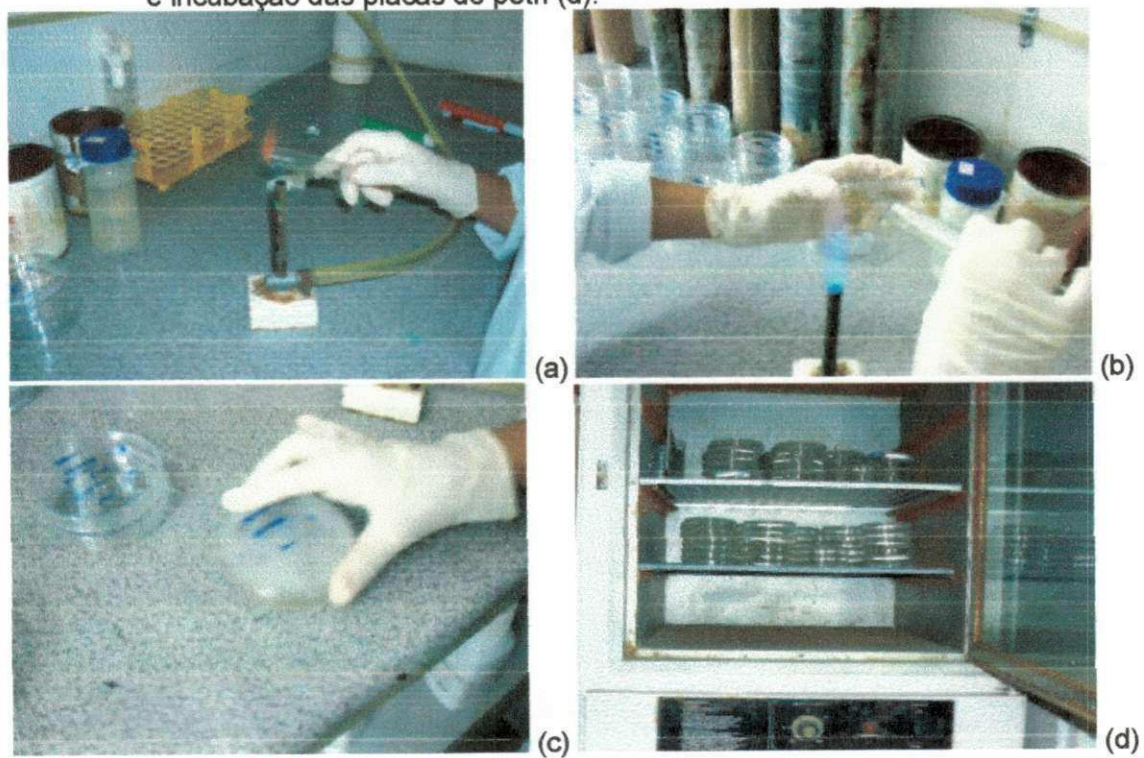


Tabela 4.2 – Volumes de amostra definidos para as placas por ponto de amostragem.

Locais de Coleta	Volume de amostra da rede de distribuição (mL)						
P0	0,1	1	2	5	7	10	15
AD500	0,1	1	2	5	7	10	15
AD700	0,1	1	2	5	7	10	15
AD800	0,01	0,1	1	2	5		
R-5	0,1	1	2	5	7	10	15
P6	0,1	1	2	5	7	10	15
P8	0,1	1	2	5	7	10	15
P12	0,1	1	2	5	7	10	15

As leituras das placas foram realizadas com auxílio do contador de colônias, conforme Figura 4.9.

Figura 4.9 - Contador de colônias CP 602.

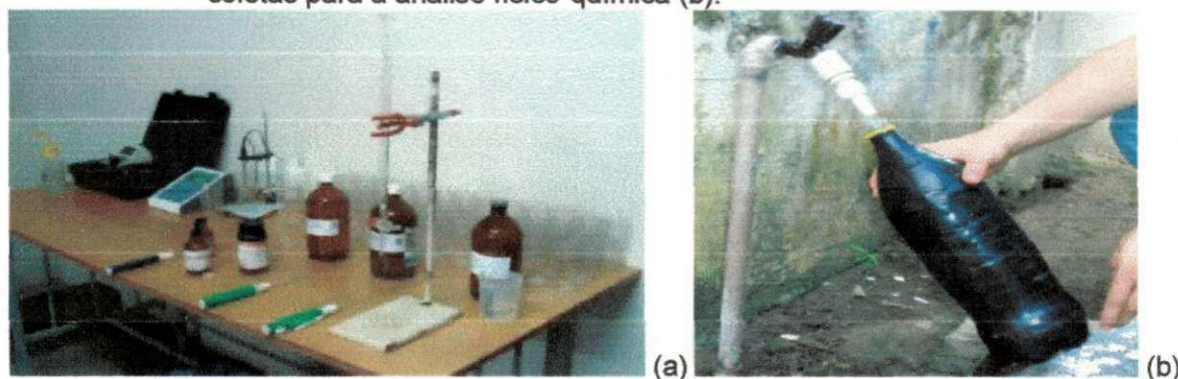
4.3.1.5 Descarte das placas de Petri

Após a leitura das placas de petri foram autoclavadas (para inativar os microrganismos presentes) e, depois, descartadas como resíduos sólidos, já que tais placas eram feitas de material plástico.

4.3.2 Metodologia de coleta para análises físico-químicas

As análises físico-químicas (pH, cor aparente, turbidez, CRL, CRC) foram realizadas *in loco*, através do Laboratório Itinerante (Figura 4.10a).

Figura 4.10 – Laboratório Itinerante montado *in loco* (a) e procedimento realizado nas coletas para a análise físico-química (b).



Com o auxílio de uma garrafa plástica de 2 L coberta com uma capa preta para evitar a incidência direta de luz solar sobre a água coletada e impedir a ocorrência de reações químicas, as amostras foram coletadas em torneiras existentes nos pontos definidos, de acordo com as técnicas de coletas já especificadas (Figura 4.10b).

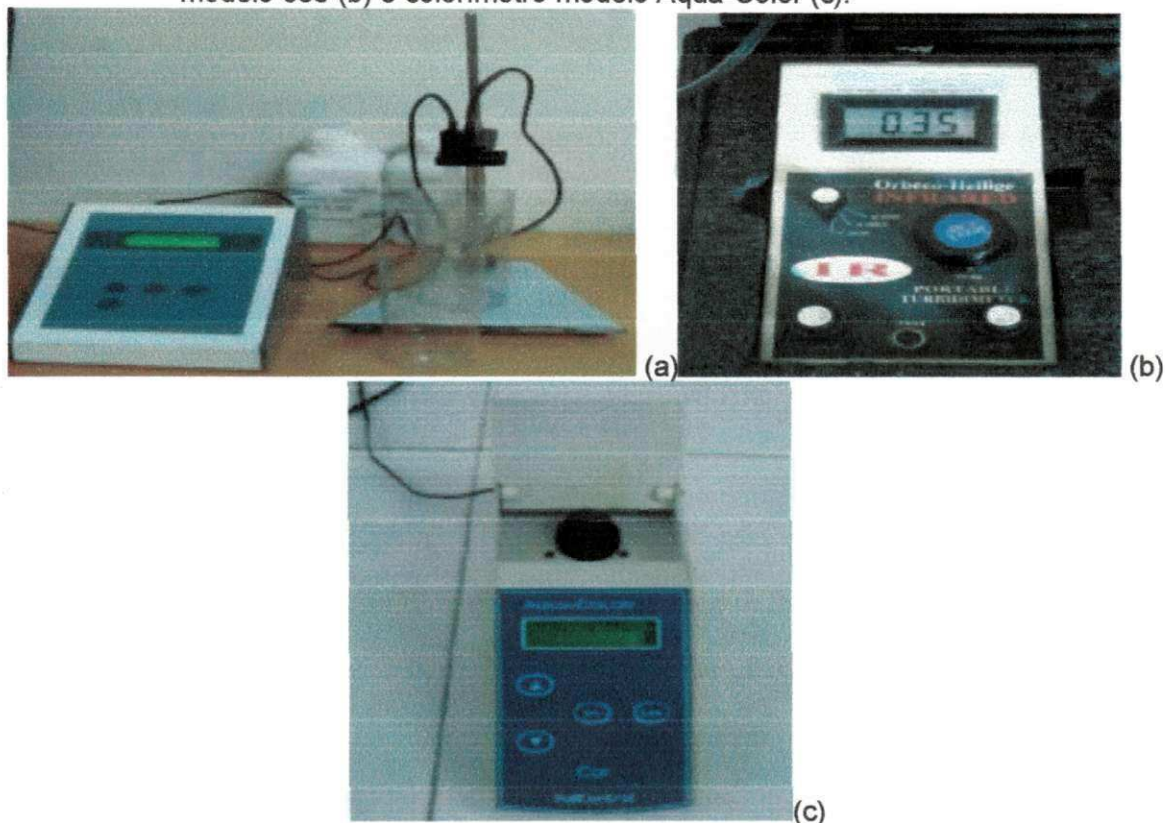
4.3.2.1 Medida de pH pelo método potenciométrico

O pH foi determinado pelo método potenciométrico através de um pHmetro portátil (Figura 4.11a), calibrado com soluções tampões de pH 7 e 9.

4.3.2.2 Medida da turbidez pelo método Nefelométrico

A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil provido de fonte de luz de filamento de tungstênio, conforme a Figura 4.11b, sendo calibrado por meio de padrões primários (0 e 40,0 UT) e a distância atravessada pela luz incidente não maior que 10 cm.

Figura 4.11 – pHmetro portátil modelo mPA210 P (a), turbidímetro portátil Orbeco-Hellige modelo 966 (b) e colorímetro modelo Aqua-Color (c).



4.3.2.3 Cor aparente

A cor aparente foi medida pelo método de comparação com padrões de platina-cobalto, utilizando um colorímetro modelo Aqua-Color Cor (Figura 4.11c), tendo configuração óptica multi-detectora que inibe a interferência de cor e de luz.

4.3.2.4 Método Titulométrico DPD – SFA

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Neste método as espécies de cloro residual são determinadas por titulação com sulfato ferroso amoniacal (SFA) usando oxalato ou sulfato de N,N – dietil – p – fenilenediamina (DPD) como indicador. O cloro livre reage instantaneamente com DPD, na ausência de íons iodeto, com produção de coloração vermelha. À mistura remanescente do teste de CRL é adicionada, primeiramente, uma pequena porção de cristais de iodeto de potássio (KI), seguida

de titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, para a determinação de monoclорamina. Em seguida, é adicionada uma porção maior de cristais de KI e procedida a titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para a determinação de dicloramina. Tricloramina é determinada por titulação com solução padrão de SFA na presença de DPD e KI, numa alíquota de amostra tomada à parte. A tricloramina ou tricloreto de nitrogênio (NCl_3) é incluída parte como cloro livre e parte como dicloramina, sendo que a fração incluída como cloro livre pode ser estimada através de um procedimento suplementar que consiste na adição do íon iodeto antes do DPD.

A primeira etapa (leitura A) é para a determinação do cloro livre: Foram colocadas no copo 5 mL de solução tampão de fosfato, mais 5 mL de solução indicadora de DPD, em seguida foram medidos 100 mL da amostra (água da torneira dos pontos respectivos que estava na garrafa de coleta), adicionando-a no copo que continha as soluções, homogeneizando bem e titulando com a solução de sulfato ferroso amoniacal (SFA), até o ponto final da reação.

Na leitura B, que é para a determinação da monoclорamina, foram adicionadas 2 gotas de solução de iodeto de potássio na mistura remanescente, homogeneizando bem e titulando até o ponto de viragem.

A determinação da dicloramina é feita pela leitura C, tendo sido acrescentados no mesmo copo, 0,5 gramas de iodeto de potássio (sal) até que a solução do copo ficasse incolor.

Para a realização da leitura N, era zerada a bureta, sendo necessários 2 copos: No primeiro, foram postos 5 mL de tampão de fosfato e 5 mL do indicador de DPD, no segundo copo foram acrescentadas 2 gotas de solução de iodeto de potássio e 100 mL da amostra, com homogeneização sendo esta mistura transferida para o primeiro copo e feita a titulação. Esta leitura indica a presença do tricloreto de nitrogênio.

A leitura N' indica os interferentes presentes na água, como bromo, iodo, flúor, entre outros, e para determiná-la era necessário zerar a bureta, em um copo colocavam-se 5 mL de tampão de fosfato, 5 mL DPD, 1 mL de glicina e 100 mL da amostra, sendo feita a mistura e procedida a titulação com o SFA.

Sempre foi necessário, para cada amostra, realizar estes procedimentos em triplicata.

4.4 Análise dos Dados

Para cada conjunto de dados coletados (bactérias heterotróficas, CRL, turbidez, CRC, cor e pH) foi feita uma análise exploratória a fim de detectar possíveis *outliers* (valores atípicos que não são representativos do universo amostral) e proceder a remoção dos mesmos.

Em seguida foi realizada a análise descritiva dos dados sendo adotada como medida de tendência central a mediana e feita a classificação dos valores baseados nos valores máximos permitidos (VMP) da Portaria 518/04 do MS.

4.5 Avaliação de risco

A análise de risco é dividida em três etapas: avaliação do risco, gerenciamento do risco e comunicação do risco; neste trabalho foi levada a efeito apenas a avaliação do risco que poderá ser utilizada pela CAGEPA para a implementação das etapas de gerenciamento e comunicação de riscos.

4.5.1 Metodologia FMEA

Segundo Sakurada (2001) o FMEA é um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos e processos e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha. O modo de falha é a forma pela qual a falha ou o erro ocorre num determinado sistema, e como ele se desenvolve para ocorrer o erro, como por exemplo, neste trabalho para um SAA; bem como em outros processos, projetos e componentes. O efeito vai ser a consequência do modo de falha, ou seja, a forma pela qual ele é percebido no sistema. Por isto, um determinado modo de falha pode se tornar mais ou menos

evidente, dependendo da função que o item está desempenhando naquele caso específico; de maneira análoga acontece com o efeito.

É importante saber que se houver uma boa relação entre modo de falha e efeito, isto levará a uma análise com muita confiabilidade. A complexidade existente neste caso se dará quando diferentes modos de falha se manifestar de forma idêntica, apresentando o mesmo efeito.

Segundo Toledo e Amaral (2006) a metodologia FMEA deve ser dividida em cinco etapas. A primeira está no planejamento que abrange o objeto de estudo, escolhe-se a equipe multidisciplinar, marca-se a reunião que já deve ocorrer com os documentos para cada avaliador. A segunda etapa é aquela em que acontece a análise das falhas em potencial, apontando as principais falhas que podem ocorrer aliados aos seus efeitos, causas, medidas mitigadoras e os escores de: severidade, ocorrência, detecção, abrangência e risco, a partir de um formulário gerado para ser preenchido na reunião FMEA, sendo construída também a tabela de escore que apoiará a tomada de decisão pelo grupo. A terceira fase consiste na reunião FMEA pela equipe avaliadora que será realizada para a avaliação das falhas potenciais, através da discussão e do consenso sobre quais escores são mais representativos de cada perigo. As etapas quatro e cinco indicam a melhoria no processo e continuidade da análise, respectivamente, as quais já estão incluídas no gerenciamento do risco, porque a partir do resultado das etapas anteriores é que serão geradas as melhorias contínuas no processo analisado.

4.5.1.1 Análise das falhas em potencial

As falhas em potencial foram consideradas de acordo com os indicadores estudados em cada ponto de amostragem, considerando também os Padrões exigidos na Portaria 518/04 do MS. Desta forma, os perigos para este trabalho foram: baixa concentração de CRL, alta concentração de CRL, alta turbidez, alta concentração de CRC, alta cor, baixo pH, alto pH e alta concentração de bactérias heterotróficas.

Na elaboração do formulário FMEA, além dos perigos, foram incluídos o tipo de perigo, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco.

O tipo de perigo é associado à sua potencialidade (real ou potencial), sendo representado por R ou P, respectivamente. Os efeitos são os principais problemas ocasionados pela falha ou perigo. As causas são as principais explicações para a ocorrência da falha. As medidas mitigadoras são compostas pelas várias formas de evitar, compensar ou diminuir a falha.

O preenchimento dos escores serve para quantificar o perigo, transformando-o em risco, porque é através deles que o formulário FMEA será preenchido, partindo de discussões sobre os cinco aspectos formadores dos escores que são: Severidade (S), ocorrência (O), detecção (D), abrangência (A) e resultado ou risco (R).

A severidade pode ser compreendida como a magnitude que o perigo tem se vier a ocorrer ou quantos danos o ocorrido pode oferecer. Na ocorrência é revelada a frequência da ação perigosa que ocorre atualmente no processo. Na detecção é possível verificar qual o grau de facilidade da percepção do perigo, antes mesmo dele ocorrer, para que se possam tomar as medidas preventivas. A abrangência indica o quanto o perigo pode afetar uma determinada área ou região, ou seja, o perigo terá valor mínimo se afetar apenas o local do processo, já se o perigo ultrapassar a área na qual ocorre o sistema o valor será máximo.

É importante salientar que todos os aspectos analisados (severidade, ocorrência, detecção e abrangência) variam de 1 a 3. O valor 1 é utilizado para as situações mais favoráveis, ou seja, nos casos em que os problemas ambientais sejam pouco danosos e com curto tempo de degradação significam que a Severidade é igual a 1, também se o perigo ocorrer com frequência mínima (uma vez por ano) a Ocorrência é 1. Valores iguais a 3 revelam situações críticas, por exemplo, quando a detecção do perigo para a ação preventiva é muito complexa e onerosa, sendo necessárias tecnologias sofisticadas, logo a Detecção é 3, ou ainda quando o perigo compreende uma região muito grande, não sendo possível a totalidade dos cuidados ou controle desta área (fora dos limites da atividade) indica que a Abrangência é 3. Já o valor 2 refere-se ao meio termo entre a situação mais favorável e a mais crítica.

A tabela de escore para o preenchimento dos escores no formulário FMEA foi organizada com base na elaborada por Zambrano e Martins (2007) apresentada no Anexo A. Esses autores desenvolveram escores predeterminados para severidade, ocorrência, detecção e abrangência, com o objetivo de empregar a metodologia FMEA em empresas de médio e pequeno portes em São Carlos, no estado de São Paulo.

Todas as mudanças ajustadas na tabela de escore de Zambrano e Martins (2007) tiveram o intuito de adaptá-la para este sistema em questão, com modificações na severidade no nível 3 (alta) tendo a remoção das características inflamabilidade e explosividade, pois ambas não se adéquam as características das águas de abastecimento público. Foi feita outra mudança na severidade nível 2 (moderada) ao serem introduzidos danos leves à saúde humana, como irritação nas mucosas ou alergias. Na ocorrência foram incluídas as frequências médias de amostras em não-conformidade com a Portaria 518/04 do MS, para auxiliar na seleção dos escores deste aspecto. A abrangência foi alterada, devido ao processo produtivo da água potável, desde a ETA até a chegada aos consumidores.

4.5.1.2 Avaliação das falhas potenciais

A avaliação das falhas potenciais ocorreu depois de finalizadas as coletas e o tratamento dos dados, em várias reuniões com a presença de oito especialistas em Engenharia Sanitária e Ambiental, sendo cinco graduandos, uma mestrande e dois doutores, formando a equipe avaliadora. O grupo de especialistas para chegar a um consenso foi formado com base no critério conhecimento sobre o sistema produtivo abordado, além de uma boa relação entre os especialistas, para que o debate fosse bem sucedido.

Cada participante da equipe avaliadora recebeu o formulário FMEA (Apêndice A) e a tabela de escore construída para cada caso. Houve o preenchimento do formulário a partir dos valores pré-determinados pela tabela de escore, sendo debatido cada aspecto de cada perigo com muito cuidado e atenção aos dados coletados, as causas, os efeitos e a mitigação destes, até que um consenso fosse encontrado.

4.5.2 Soma ponderada dos riscos

Depois do preenchimento dos escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência, para cada perigo disposto no Formulário do FMEA foi necessário saber qual a importância em percentual de cada risco analisado no risco total do SAA de Campina Grande.

Ao analisar que todo risco ligado a um SAA refere-se aos riscos contidos no formulário FMEA, então foi possível calcular a porcentagem de cada risco no risco total do sistema, através da utilização do cálculo da soma ponderada, em que se somava o valor de cada risco e depois dividia o risco individual por esta soma, através da Equação 4.1.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

P = Ponderação;

R₁ = Risco Individual;

n = Quantidade de Risco;

Σ R = Soma de Todos os Riscos.

4.5.3 Cálculo do risco total

Ao terminar as etapas de ponderação dos riscos individuais, estatística e classificação dos dados, foi possível encontrar o risco total de um ponto. Para isto foi necessário fazer a multiplicação do indicador pela ponderação do seu respectivo risco e, depois, realizar a soma de todos os produtos, resultando no risco total do SAA, no ponto avaliado.

4.6 Mapas de risco

Os mapas de risco para os indicadores analisados foram elaborados no ARC GIS, usando o perímetro municipal de Campina Grande e de Queimadas para a locação dos pontos, demonstrando suas localizações nas imagens de satélite obtidas no Google Earth (15/02/2012), com os respectivos riscos avaliados referentes à qualidade da água dos pontos amostrais.

5.0 RESULTADOS

Foram coletados 30 dados para cada indicador (BHF, pH, turbidez, cor aparente, CRL e CRC), fazendo um total de 180 dados por ponto. Esses dados foram submetidos à análise exploratória a fim de detectar valores atípicos (outliers) que não são representativos do universo amostral. Aos valores suspeitos era aplicado o Método de Grubbs (método compatível para o tamanho da amostra) adotando o nível de significância (α) de 0,05 e tamanho amostral (n) de 30 dados.

Esse método serve para testar a ocorrência de outliers num universo amostral tendo em vista a comparação do outlier suspeito com o valor estimado pela Equação 5.1. O resultado da Equação é comparado com a tabela (Anexo B) de Sokal e Rohlf (1995) que considera a quantidade de dados e a significância da análise estatística.

$$\text{Outlier} = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma} \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde:

x = Outlier suspeito;

\bar{x} = Média;

σ = Desvio padrão.

Usando a ferramenta Excel, foi aplicada a estatística descritiva a cada novo conjunto de dados (BHF, pH, turbidez, cor aparente, CRL e CRC) e verificada a ocorrência de conformidades e não conformidades de acordo com a Portaria 518/2004 do MS.

A Tabela 5.1 mostra os valores referentes a conformidades e não conformidades de cada indicador e as médias e os desvios padrões que foram utilizados na Equação 5.1.

A variável BHF apresentou 4 não conformidades, de acordo com a norma estabelecida, apenas nos pontos AD800 e P8, ou seja, 13% de ocorrência em cada ponto. A não conformidade do pH foi maior em P0 e P12, com 26% e 20% de ocorrência, respectivamente. A turbidez foi fortemente evidenciada em P6 por apresentar 17 não conformidades (56%); seguido dos pontos AD700, AD800 e P12 com 8 não conformidades (26%). A cor aparente foi alta para todos os pontos, principalmente no ponto AD500, com 25 não conformidades (83%).

Tabela 5.1 – Estatística descritiva e valores de conformidades e não-conformidades para as variáveis estudadas em cada ponto.

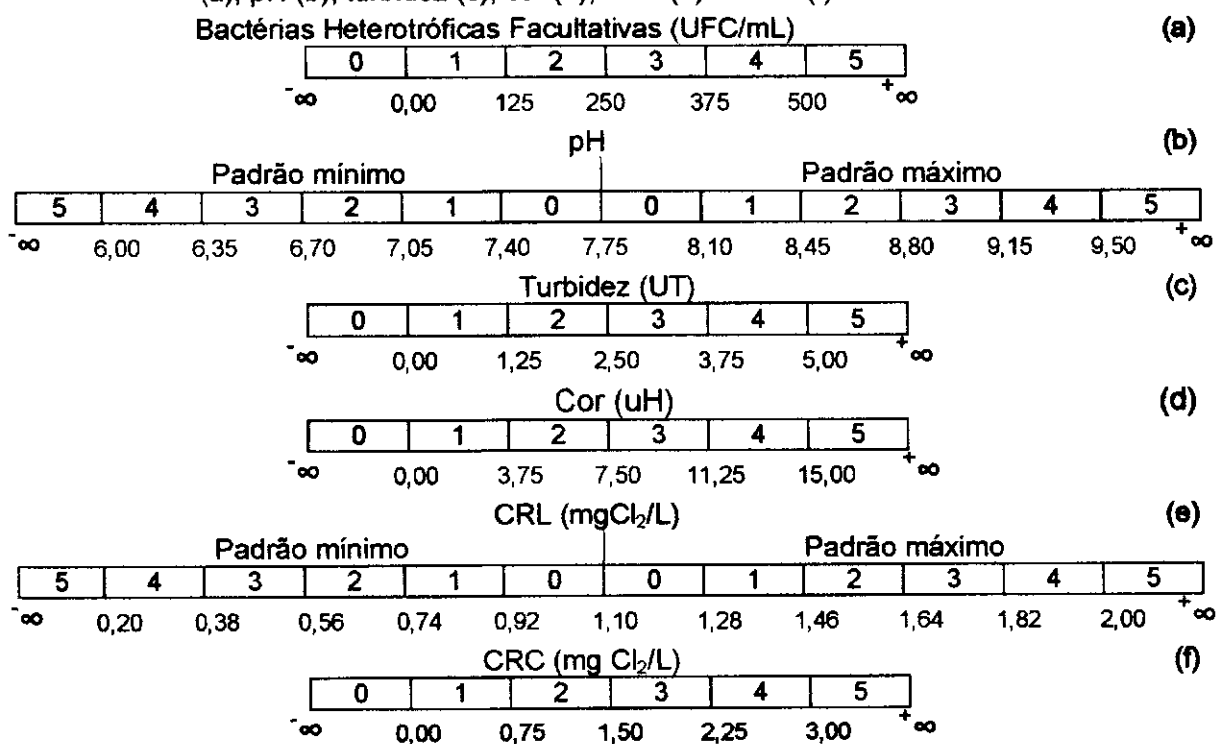
Pontos	Variável	Média	Mediana	Desvio	Conformidade		Não conformidade	
					N	%	N	%
P0	BHF	79	7	132	30	100,0	0	0,0
	pH	6,37	6,29	0,42	22	73,3	8	26,7
	Turbidez	3,79	2,25	3,49	24	80,0	6	20,0
	Cor	21	18	11	14	46,7	16	53,3
	CRL	4,02	4,67	1,68	5	16,7	25	83,3
	CRC	0,48	0,44	0,2	30	100,0	0	0,0
AD500	BHF	12	4	14	30	100,0	0	0,0
	pH	6,72	6,66	0,27	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	2,26	1,82	1,45	28	93,3	2	6,7
	Cor	23	22	12	5	16,7	25	83,3
	CRL	2,71	2,82	1,00	6	20,0	24	80,0
	CRC	0,47	0,45	0,16	30	100,0	0	0,0
AD700	BHF	10	2	15	30	100,0	0	0,0
	pH	6,71	6,72	0,33	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	3,52	2,95	2,35	22	73,3	8	26,7
	Cor	22	20	11	11	36,7	19	63,3
	CRL	2,49	2,46	1,25	8	26,7	22	73,3
	CRC	0,43	0,45	0,14	30	100,0	0	0,0
AD800	BHF	248	22	478	26	86,7	4	13,3
	pH	6,63	6,71	0,42	29	96,7	1	3,3
	Turbidez	4,76	2,17	5,50	22	73,3	8	26,7
	Cor	22	20	12	9	30,0	21	70,0
	CRL	1,52	1,66	1,12	9	30,0	21	70,0
	CRC	0,42	0,43	0,18	30	100,0	0	0,0
R-5	BHF	5	2	6	30	100,0	0	0,0
	pH	6,95	6,97	0,25	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	2,94	2,62	1,49	26	86,7	4	13,3
	Cor	23	20	14	10	33,3	20	33,7
	CRL	2,38	2,32	0,78	10	33,3	20	33,7
	CRC	0,59	0,61	0,18	30	100,0	0	0,0
P6	BHF	7	4	8	30	100,0	0	0,0
	pH	6,98	7,01	0,3	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	7,09	5,81	5,49	13	43,0	17	56,7
	Cor	35	23	31	9	30,0	21	70,0
	CRL	1,87	1,78	0,85	21	70,0	9	30,0
	CRC	0,46	0,43	0,10	30	100,0	0	0,0
P8	BHF	193	33	404	26	86,7	4	13,3
	pH	6,92	6,87	0,3	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	4,28	3,05	3,69	23	76,7	7	23,3
	Cor	19	14	13	16	83,3	14	46,7
	CRL	0,03	0,00	0,05	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,15	0,14	0,14	30	100,0	0	0,0
P12	BHF	4	2	6	30	100,0	0	0,0
	pH	6,54	6,63	54	24	80,0	6	20,0
	Turbidez	3,69	3,13	2,27	22	73,3	8	26,7
	Cor	22	20	15	12	40,0	18	60,0
	CRL	2,26	2,35	0,65	12	40,0	18	60,0
	CRC	0,47	0,47	0,13	30	100,0	0	0,0

NOTA: BHF = Bactérias heterotróficas, pH = Potencial hidrogeniônico, CRL = Cloro residual livre e CRC = Cloro residual combinado.

Em relação ao CRL foi verificada uma alta concentração nos pontos P0, AD500, AD700, AD800, R-5, P6 e P12, os quais apresentaram não conformidades de 25, 24, 22, 21, 20, 9 e 18, respectivamente (83%, 80%, 76%, 73%, 70%, 66%, 30% e 60% de ocorrência, respectivamente), podendo ser observado que a alta concentração decresce do ponto P0 (ETA) ao ponto mais distante (R-5) por se tratarem de pontos distribuídos entre a estação de tratamento e um dos principais reservatórios de distribuição do sistema. No entanto, ao chegar à rede de distribuição (P6 e P12) estes valores já deveriam estar dentro do estabelecido pela norma vigente a fim de evitar danos à saúde da população. Já em relação ao ponto P8 não foi verificada a presença de CRL em nenhuma das 30 amostras analisadas tomando a água favorável à disseminação de doenças de veiculação hídrica. O CRC em todos os pontos esteve sempre dentro dos valores preconizados pela Portaria MS 518/2004.

Com base nos valores mínimos e máximos permitidos (VMP) na Portaria MS 518/2004 foram criadas escalas de classificação de risco para os diversos indicadores. Essa classificação foi feita pelo estabelecimento de 6 faixas de risco, conforme ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Escalas de classificação dos indicadores bactérias heterotróficas facultativas (a), pH (b), turbidez (c), cor (d), CRL (e) e CRC (f).



Para os indicadores CRL e pH, que possuem padrões mínimos e máximos, foi feita a média entre os padrões, para a definição de duas regiões, sendo uma região para o padrão mínimo e a outra para o padrão máximo, cada região tendo 6 faixas, identificados por valores de 0 a 5. Os valores representados pelos símbolos $^{-\infty}$ e $^{+\infty}$ são todos os valores abaixo dos padrões mínimos e acima dos padrões máximos, respectivamente (Figura 5.1).

A Portaria MS 518/04 não estabelece um VMP para a concentração de CRC, mas apenas para a monocloramina, que não deve ultrapassar 3 mgCl₂/L, sendo utilizado este padrão para representar o CRC.

Estudando as características dos pontos e o comportamento dos indicadores foi concluído que os mesmos formavam dois blocos distintos: um bloco dos pontos referentes a pontos da adução e reservação e o outro correspondente à distribuição. Desta forma o Bloco 1 foi formado pelos pontos P0, AD500, AD700, AD800 e R-5; pois se localizam em reservatórios (P0 e R-5) e em adutoras (AD500, AD700 e AD800), totalizando um conjunto de 150 dados. O Bloco 2 foi constituído pelos pontos P6, P8 e P12 localizados em pontos da rede de distribuição diretamente em contato com a população, totalizando 90 dados.

Para o preenchimento do formulário FMEA foi necessária a construção de uma tabela de escore com base na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Na construção da tabela de escore foram considerados quatro aspectos distintos, Severidade, Ocorrência, Detecção e Abrangência, com os escores 1 (baixa), 2 (moderada) e 3 (alta), dependendo da intensidade do perigo.

Foram construídas tabelas de escala de escores para o Bloco 1 (Tabela 5.2) e Bloco 2 (Tabela 5.3), as quais se diferenciam apenas no item Ocorrência, pois para o Bloco 1 foram adotadas as faixas de 0 a 49 (Baixa), de 50 a 99 (Moderada) e a partir de 100 (Alta) e para o Bloco 2 as faixas de 0 a 29 (Baixa), de 30 a 59 (Moderada) e a partir de 60 (Alta).

Tabela 5.2– Escores adotados para o Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5).

Escore para Severidade		
Severidade da não-conformidade		Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causam efeitos graves a saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1

Escore para Ocorrência		
Ocorrência da não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 100.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 50 e 99.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 49.	1

Escore para Detecção		
Detecção da não-conformidade		Classificação
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	1
Moderada	A não-conformidade é percebida com a utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	A não-conformidade pode ser percebida a olho nu.	3

Escore para Abrangência		
Abrangência da não-conformidade		Classificação
Alta	A não-conformidade alcança áreas além do sistema de abastecimento de água (até as ligações prediais).	3
Moderada	A não-conformidade alcança até os limites do sistema de abastecimento de água (nas proximidades dos reservatórios e pontos de manutenção da qualidade da água).	2
Baixa	A não-conformidade afeta a área onde é realizada a potabilização da água.	1

Tabela 5.3 – Escores adotados para o Bloco 2 (P6, P8 e P12).

Escore para Severidade		
Severidade da não-conformidade		Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causam efeitos graves a saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1

Escore para Ocorrência		
Ocorrência da não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 60.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 30 e 59.	2
Baixa	O impacto ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 29.	1

Escore para Detecção		
Detecção da não-conformidade		Classificação
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	1
Moderada	A não-conformidade é percebida com a utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	A não-conformidade pode ser percebida a olho nu.	3

Escore para Abrangência		
Abrangência da não-conformidade		Classificação
Alta	A não-conformidade alcança áreas além do sistema de abastecimento de água (até as ligações prediais).	3
Moderada	A não-conformidade alcança até os limites do sistema de abastecimento de água (nas proximidades dos reservatórios e pontos de manutenção da qualidade da água).	2
Baixa	A não-conformidade afeta a área onde é realizada a potabilização da água.	1

5.1 Cálculo do risco total para o Bloco 1 considerando todos os indicadores

Em reunião da equipe de especialistas foram preenchidos dois formulários FMEA. Para o formulário referente ao Bloco 1 (Tabela 5.4) o perigo da alta concentração de bactérias heterotróficas recebeu escore 3 para o aspecto

severidade, sendo este valor atribuído devido à possibilidade da contaminação e proliferação das bactérias heterotróficas pela formação de biofilmes nas tubulações, que podem esconder os microrganismos patogênicos, dificultando a desinfecção. A ocorrência foi baixa, com escore 1, porque em um universo de 150 amostras, ocorreram apenas 4 não conformidades de acordo com a Portaria MS 518/2004. A detecção foi alta, com escore 3, pela utilização de medições simples, apesar de trabalho cuidadoso, demanda de tempo, atenção, investimento e pessoal especializado para garantir a qualidade da análise. A abrangência foi alta com o escore 3, porque este perigo potencial poderá acarretar o consumo do CRL provocando a diminuição do mesmo, atingindo até a ligação predial. Feita a multiplicação dos escores atribuídos ao perigo da alta concentração de bactérias heterotróficas foi obtido o risco de 27.

Para o baixo pH a severidade recebeu escore 1, pois, neste caso, apesar dele causar a corrosão das tubulações e conexões com consequentes vazamentos, há um efeito positivo na desinfecção. A ocorrência teve escore igual a 1, devido a apenas 8 não conformidades (Portaria MS 518/2004) no universo de 150 amostras. O escore da detecção foi 2, por ser necessária a utilização de equipamento calibrado (pHmetro). A abrangência também com escore 2 por alcançar os reservatórios e adutoras. Desta feita o resultado deste perigo foi 4.

No alto pH a severidade foi tida como moderada, escore 2, já que ele acelera o processo de transformação do CRL para CRC e a ocorrência foi baixa, escore 1, por não apresentar nenhuma não conformidade (Portaria MS 518/2004). A detecção e a abrangência receberam escore 2 pelos mesmos motivos referentes ao baixo pH. Neste caso, o resultado do risco foi 8.

Tabela 5.4 – Formulário do FMEA para o Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5).

Perigo	Tipo de poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas Facultativas	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Baixo pH	Potencial	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	1	2	2	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Potencial	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	2	8	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta Cor	Real	Aspecto desagradável, presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Presença de substâncias corantes no manancial ou falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	3	2	2	12	Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixa Concentração de CRL	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	1	2	3	18	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	1	3	2	2	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de CRC	Real	Odor e sabor característicos e irritação das mucosas	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição	1	1	2	2	4	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede

Nota: S = Severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, A = Abrangência, R = Risco.

O perigo da alta turbidez associado ao controle da qualidade da água apresentou uma severidade alta com escore 3, devido à interferência na desinfecção que pode trazer agentes patogênicos à saúde humana. A ocorrência foi baixa com escore igual a 1, pois em um total de 150 amostras, 28 não estavam em conformidade com a Portaria MS 518/2004. A detecção apresentou um escore igual a 2, porque foi necessária a utilização de um turbidímetro portátil. A abrangência foi considerada alta, com escore igual a 3, porque a alta turbidez pode interferir negativamente na desinfecção prejudicando todo o sistema de abastecimento. O risco produzido foi de 18.

O perigo dos altos valores de cor aparente apresentou uma severidade baixa com escore 1, devido à possibilidade da ocorrência de odor e sabor característicos. A ocorrência foi alta com escore 3, porque das 150 amostras analisadas, 101 delas apresentaram não conformidade com a Portaria MS 518/2004. A detecção foi moderada tendo escore 2, pois a verificação da cor foi realizada através do Colorímetro. A abrangência foi moderada, com escore 2, porque o perigo passa por todo o sistema de abastecimento chegando ao consumidor. O risco gerado foi de 12.

Ao fazer a análise do perigo da baixa concentração de CRL, a severidade foi alta, tendo escore igual a 3, porque a ocorrência desse perigo na saída da ETA, nas adutoras e no R-5 reflete uma incapacidade da desinfecção da água causando efeitos nocivos à saúde da população. A ocorrência foi baixa com o escore 1, porque em um total de 150 amostras apenas 11 apresentaram não conformidade. A detecção teve escore 2, porque é realizada mediante uma simples titulação com SFA e a abrangência com escore 3, porque o perigo afeta todo o sistema de abastecimento (desde a saída da ETA, as adutoras e o reservatório), chegando à população. O risco resultante foi de 18.

O perigo da alta concentração de CRL teve uma severidade baixa com escore igual a 1, pois é necessário que a dosagem de cloro seja adequada para manter as condições ideais estabelecidas pela Portaria MS 518/2004, para que possa atender a toda a rede de distribuição de água prevenindo danos à saúde humana. A ocorrência foi alta com o escore 3, pois no total de 150 amostras, 102 delas apresentaram não conformidade com a Portaria MS 518/2004. O escore da detecção foi considerado 2, por necessitar de uma titulação com SFA. A

abrangência teve escore 2, porque o desinfetante tende a diminuir ao longo da rede de distribuição e porque a não conformidade alcança somente os limites do sistema de abastecimento de água (nas proximidades dos reservatórios). O risco calculado foi de 12.

O perigo da alta concentração de CRC apresentou severidade baixa com escore 1, porque nessas unidades do sistema, a maior disponibilidade de CRL pode garantir uma menor concentração de CRC na rede de distribuição. O escore da ocorrência foi igual a 1, porque nenhuma das 150 amostras apresentou desacordo com a Portaria MS 518/2004. A detecção foi tida como moderada apresentando o escore 2, porque foi necessário fazer uma titulação com SFA. A abrangência teve escore igual a 2, devido à concentração do CRC que poderá diminuir ao longo do tempo. O risco foi de 4.

A Tabela 5.5 apresenta o cálculo da soma ponderada baseado no formulário FMEA (Tabela 5.4), resultando nos riscos individuais e total, tanto em valor absoluto quanto em percentual. O risco total foi 103.

Tabela 5.5 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os indicadores estudados.

Parâmetro	PERIGO				RISCO	
	S	O	D	A	Valor	%
ALTA Concentração de BHF	3	1	3	3	27	26,2
BAIXO pH	1	1	2	2	4	3,9
ALTO pH	2	1	2	2	8	7,8
ALTA Turbidez	3	1	2	3	18	17,5
ALTA Cor	1	3	2	2	12	11,6
BAIXA Concentração de CRL	3	1	2	3	18	17,5
ALTA Concentração de CRL	1	3	2	2	12	11,6
ALTA Concentração de CRC	1	1	2	2	4	3,9
RISCO TOTAL					103	100,0

Na Tabela 5.5 o risco da alta concentração de BHF é o mais significativo, entre os demais listados, contribuindo com 26,2%; seguido da alta turbidez e da baixa concentração de CRL, ambos com a contribuição de 17,5%. Esse resultado mostra a íntima relação entre estes três riscos, relacionados a uma maior probabilidade de presença de microrganismos patogênicos. Em seguida, os riscos mais influentes foram o da alta cor e o da alta concentração de CRL, ambos com

11,6% de contribuição. Os riscos do alto pH, da alta concentração de CRC e do baixo pH tiveram pouca influência, significando que não trazem risco direto à saúde humana.

Para encontrar o risco máximo (Tabela 5.6) foi utilizada a classificação máxima (5) para todos os indicadores, respeitando os riscos excludentes (alto ou baixo pH e baixa ou alta concentração de CRL), resultando num risco máximo de 4,03.

Para se tornar compatível com a classificação já adotada na Figura 5.1, o risco máximo foi estratificado em 5 faixas, variando do risco desprezível (1) até o risco crítico (5).

Tabela 5.6 – Classificação do risco máximo do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os indicadores estudados.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Categorização
ALTA Conc. BHF	5	26,2	131,0	$0 \leq x \leq 0,81$	Desprezível
BAIXO pH	5	3,9	19,5	$0,81 < x \leq 1,62$	Baixo
ALTA Turbidez	5	17,5	87,5	$1,62 < x \leq 2,43$	Moderado
ALTA Cor	5	11,6	58,0	$2,43 < x \leq 3,24$	Alto
BAIXA Conc. CRL	5	17,5	87,5	$3,24 < x \leq 4,03$	Crítico
ALTA Conc. CRC	5	3,9	19,5		
Total			403,0		
Risco máximo			4,03		

A Tabela 5.7 apresenta a classificação final dos pontos referentes ao Bloco 1. Todos os pontos de coleta referentes ao Bloco 1 foram categorizados como de risco moderado, devido à interferência de todos os parâmetros analisados.

Tabela 5.7 – Categorização consolidada do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para todos os pontos estudados.

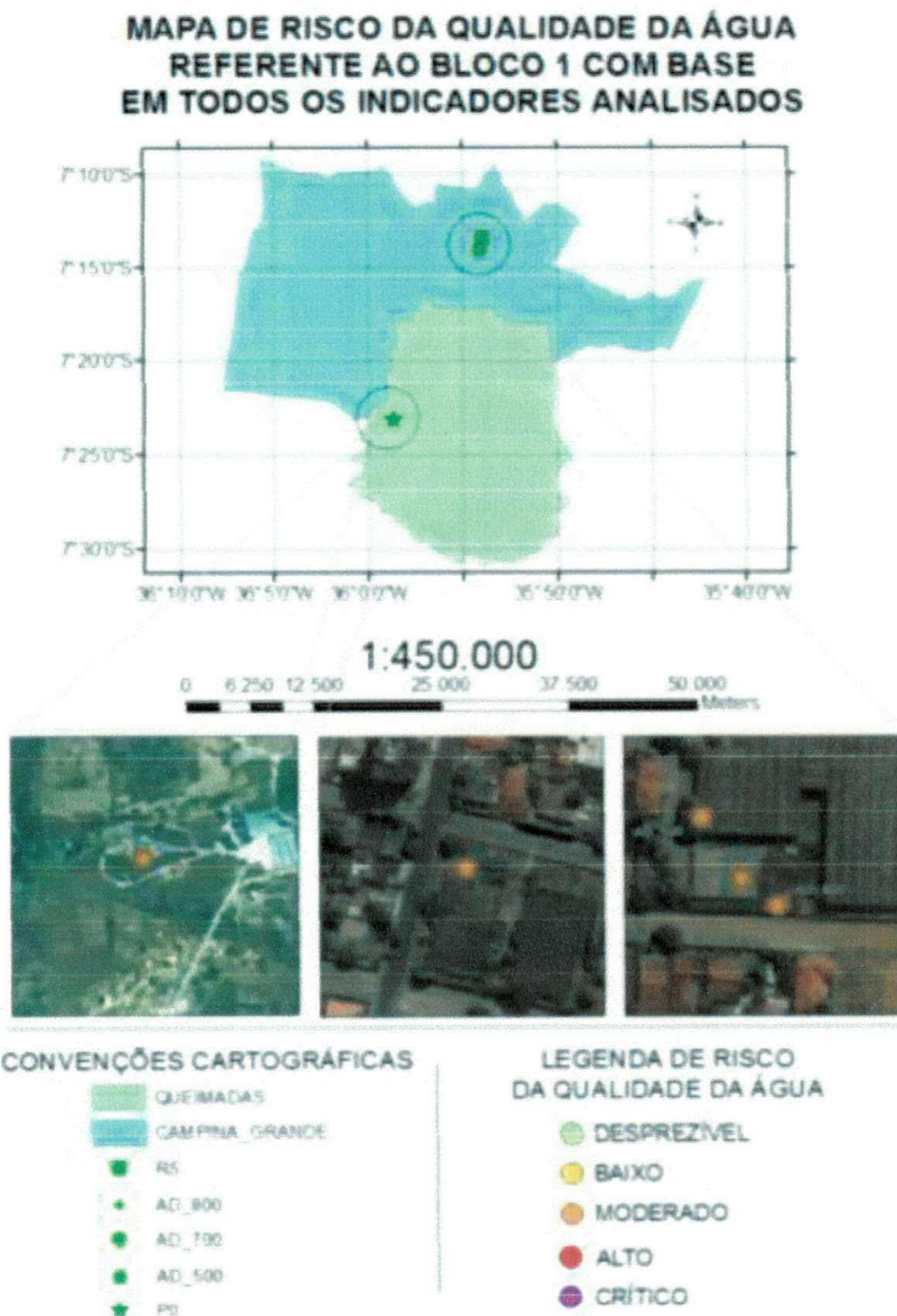
PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total	PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total
P0					AD500				
BHF	7	1	26,2	26,2	BHF	4	1	26,2	26,2
pH	6,29	4	3,9	15,6	pH	6,66	3	3,9	11,7
Turb	2,25	2	17,5	35,0	Turb	1,82	2	17,5	35,0
Cor	18	5	11,6	58,0	Cor	22	5	11,6	58,0
CRL	4,67	5	17,5	87,5	CRL	2,82	5	17,5	87,5
CRC	0,44	1	3,9	3,9	CRC	0,45	1	3,9	3,9
	Moderado			2,26		Moderado			2,22
AD700					AD800				
BHF	2	1	26,2	26,2	BHF	22	1	26,2	26,2
pH	6,72	2	3,9	7,8	pH	6,71	2	3,9	7,8
Turb	2,95	3	17,5	52,5	Turb	2,17	2	17,5	35,0
Cor	20	5	11,6	58,0	Cor	20	5	11,6	58,0
CRL	2,46	5	17,5	87,5	CRL	1,66	3	17,5	52,5
CRC	0,45	1	3,9	3,9	CRC	0,43	1	3,9	3,9
	Moderado			2,36		Moderado			1,83
R-5									
BHF	2	1	26,2	26,2					
pH	6,97	2	3,9	7,8					
Turb	2,62	3	17,5	52,5					
Cor	20	5	11,6	58,0					
CRL	2,32	5	17,5	87,5					
CRC	0,61	1	3,9	3,9					
	Moderado			2,36					

NOTA: BHF = bactérias heterotróficas, pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez, CRL = cloro residual livre, CRC = cloro residual combinado.

5.2 Mapa de risco para o Bloco 1 considerando todos os indicadores estudados

Através dos cálculos realizados para a classificação dos riscos, contendo as ponderações e as medianas, foi encontrado o risco total para cada ponto pertencente ao Bloco 1, sendo classificado e ilustrado na Figura 5.2. A construção do mapa de risco para todos os parâmetros analisados foi baseada na identificação da qualidade da água do sistema de abastecimento referente a cada ponto de amostragem deste Bloco.

Figura 5.2 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 1 com base em todos os indicadores analisados.



5.3 Cálculo do risco total para o Bloco 1 considerando apenas os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas

Foi realizado o cálculo do risco total referente ao Bloco 1, para os indicadores sentinelas e as BHF, porque estes indicadores são de fundamental importância no controle e vigilância da qualidade da água. Na Tabela 5.8 o risco mais abrangente também foi o da alta concentração de BHF com 36% de contribuição, seguido da alta turbidez e da baixa concentração de CRL contribuindo, ambos com 24%. Por fim, a alta concentração de CRL com 16%.

Tabela 5.8 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.

Parâmetro	PERIGO				RISCO	
	S	0	D	A	Valor	%
ALTA Concentração de BHF	3	1	3	3	27	36,0
ALTA Turbidez	3	1	2	3	18	24,0
BAIXA Concentração de CRL	3	1	2	3	18	24,0
ALTA Concentração de CRL	1	3	2	2	12	16,0
RISCO TOTAL					75	100,0

A Tabela 5.9 apresenta a classificação do risco máximo para o Bloco 1 relacionados apenas aos indicadores sentinelas e BHF. Neste caso, ocorre a prevalência apenas da alta concentração de BHF, da alta turbidez e da baixa concentração de CRL, porque são os mais significativos, sendo excluída a alta concentração de CRL (por não ser representativo). Após ser encontrado o risco máximo de 4,2; foi feita também a classificação em 5 faixas de intervalos correspondentes.

Tabela 5.9 – Classificação do risco máximo do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Categorização
ALTA Conc. BHF	5	36,0	180,0	$0 \leq x \leq 0,84$	Desprezível
ALTA Turbidez	5	24,0	120,0	$0,84 < x \leq 1,68$	Baixo
BAIXA Conc. CRL	5	24,0	120,0	$1,68 < x \leq 2,52$	Moderado
Total			420,0	$2,52 < x \leq 3,36$	Alto
Risco máximo			4,20	$3,36 < x \leq 4,20$	Crítico

A Tabela 5.10 mostra o resumo das medianas, dos escores, do risco total e da classificação dos pontos analisados referentes ao Bloco 1, apenas para os indicadores sentinelas (Turbidez e CRL) e para as BHF, tendo sido constatada categoria de risco moderado para os pontos P0, AD500, AD700 e R-5, devido principalmente aos altos valores de CRL registrados nos pontos e categoria de risco baixo para AD800, pois esta adutora é bem mais nova que as demais.

Tabela 5.10 – Categorização consolidada do Bloco 1 (P0, AD500, AD700, AD800 e R-5) para os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas.

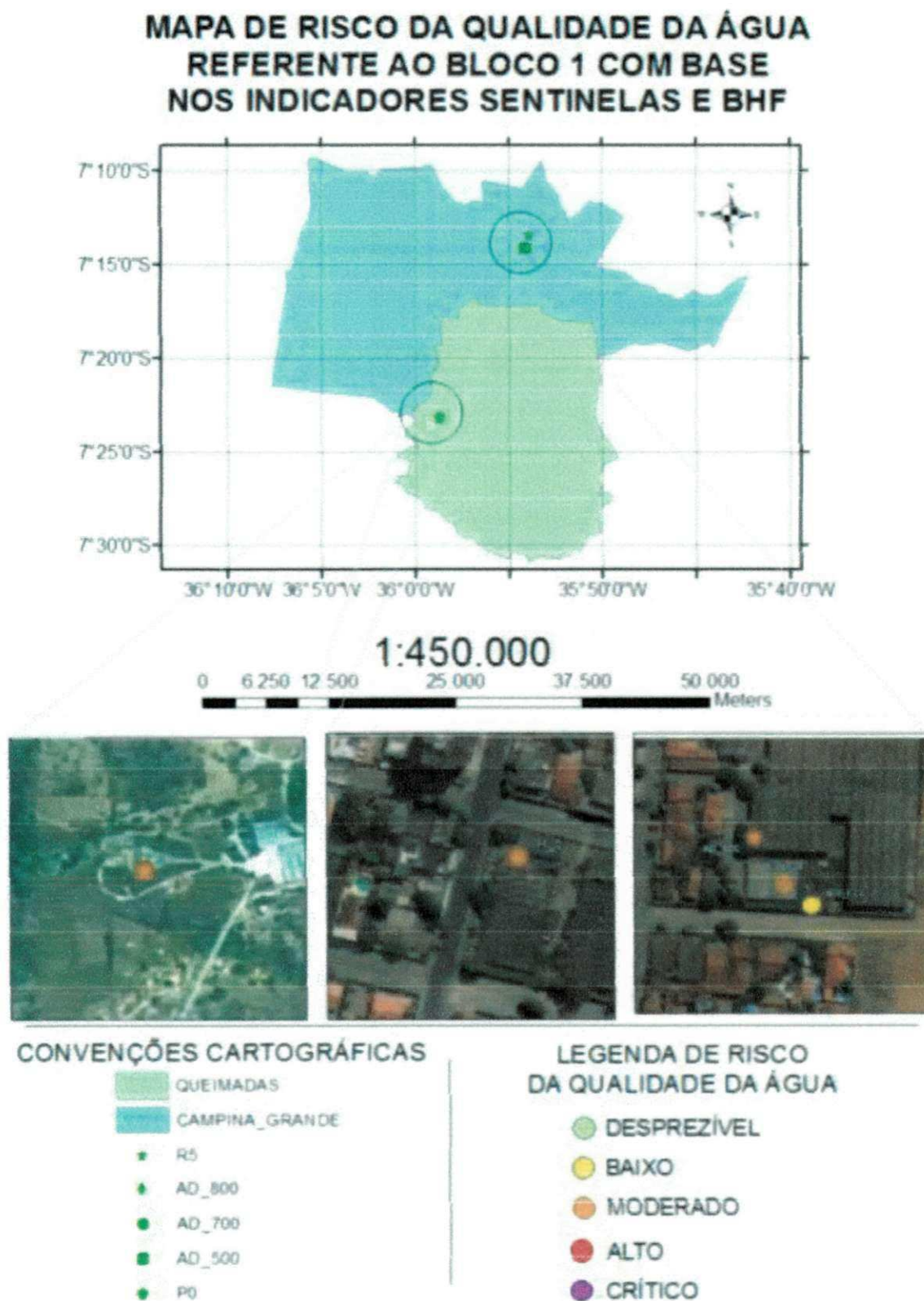
PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total	PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total
P0					AD500				
BHF	7	1	36,0	36,0	BHF	4	1	36,0	36,0
Turb	2,25	2	24,0	48,0	Turb	1,82	2	24,0	48,0
CRL	4,67	5	24,0	120,0	CRL	2,82	5	24,0	120,0
	Moderado			2,04		Moderado			2,04
AD700					AD800				
BHF	2	1	36,0	36,0	BHF	22	1	36,0	36,0
Turb	2,95	3	24,0	72,0	Turb	2,17	2	24,0	48,0
CRL	2,46	5	24,0	120,0	CRL	1,66	3	24,0	72,0
	Moderado			2,28		Baixo			1,56
R-5									
BHF	2	1	36,0	36,0					
Turb	2,62	3	24,0	72,0					
CRL	2,32	5	24,0	120,0					
	Moderado			2,28					

NOTA: BHF = bactérias heterotróficas, pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez, CRL = cloro residual livre, CRC = cloro residual combinado.

5.4 Mapa de risco para o Bloco 1 considerando apenas os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas

Foi elaborado um mapa de risco (Figura 5.3) dos indicadores sentinelas (baixa concentração de CRL, alta concentração de CRL, alta Turbidez) e da alta concentração bactérias heterotróficas relativo a cada ponto de amostragem do Bloco 1 por serem os riscos mais importantes em relação à qualidade da água de abastecimento e baseado na classificação do risco foi feita a Tabela 5.10.

Figura 5.3 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 1 com base nos indicadores sentinelas e BHF.



5.5 Cálculo do risco total para o Bloco 2 considerando todos os indicadores

A Tabela 5.11 refere-se ao Bloco 2, constituído por P6, P8 e P12, pontos da rede de distribuição, diretamente em contato com a população consumidora. O exame da tabela permite verificar as seguintes diferenças com relação à Tabela 5.4:

No aspecto severidade a alta concentração de cloro residual livre recebeu escore 3 e alta concentração de cloro residual combinado recebeu escore 2, ambos maiores que os correspondentes escores atribuídos a esses perigos no Bloco 1. No aspecto ocorrência as diferenças foram nos perigos alta turbidez, alta cor, baixa concentração de cloro residual livre, alta concentração de cloro residual livre e alta concentração de cloro residual combinado, refletindo as frequências de não conformidades com os padrões de potabilidade. No aspecto abrangência as diferenças foram referentes aos perigos baixo pH, alto pH e alta cor tendo todos eles recebido o escore máximo.

No aspecto severidade a alta concentração de cloro residual livre recebeu escore 3 e alta concentração de cloro residual combinado recebeu escore 2, ambos maiores que os correspondentes escores atribuídos a esses perigos no Bloco 1. No aspecto ocorrência as diferenças foram nos perigos alta turbidez, alta cor, baixa concentração de cloro residual livre, alta concentração de cloro residual livre e alta concentração de cloro residual combinado, refletindo as frequências de não conformidades com os padrões de potabilidade. No aspecto abrangência as diferenças foram referentes aos perigos baixo pH, alto pH e alta cor tendo todos eles recebido o escore máximo.

A Tabela 5.12 apresenta os resultados da ponderação dos riscos do Bloco 2, considerando todos os indicadores. Os riscos mais influentes, como na análise do Bloco 1, embora não na mesma ordem, foram alta turbidez, baixa concentração de CRL, ambos com 24,2% de contribuição, e alta concentração de BHF com contribuição de 18,2%. Esse resultado pode representar uma maior probabilidade da ocorrência de microrganismos patogênicos.

Tabela 5.11 – Formulário do FMEA para o Bloco 2 (P6, P8 e P12).

Perigo	Tipo de poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas Facultativas	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Baixo pH	Potencial	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	1	2	3	6	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Potencial	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	2	2	3	36	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta Cor	Real	Aspecto desagradável; presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Presença de substâncias corantes no manancial ou falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	2	2	3	12	Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixa Concentração de CRL	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	2	2	3	36	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	3	1	2	2	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de CRC	Real	Odor e sabor característicos e irritação das mucosas	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falha de manutenção na rede de distribuição	2	1	2	2	8	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede

Nota: S = Severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, A = Abrangência, R = Risco.

Tabela 5.12 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.

Parâmetro	PERIGO				RISCO	
	S	O	D	A	Valor	%
ALTA Concentração de BHF	3	1	3	3	27	18,2
BAIXO pH	1	1	2	3	6	4,0
ALTO pH	2	1	2	3	12	8,0
ALTA Turbidez	3	2	2	3	36	24,2
ALTA Cor	1	2	2	3	12	8,0
BAIXA Concentração de CRL	3	2	2	3	36	24,2
ALTA Concentração de CRL	3	1	2	2	12	8,0
ALTA Concentração de CRC	2	1	2	2	8	5,4
RISCO TOTAL					149	100,0

A Tabela 5.13 apresenta a categorização dos perigos do Bloco 2 e o risco máximo (4,20).

Tabela 5.13 – Classificação do risco máximo do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Categorização
ALTA Conc. BHF	5	18,2	91,0	$0 \leq x \leq 0,84$	Desprezível
BAIXO pH	5	4,0	20,0	$0,84 < x \leq 1,68$	Baixo
ALTA Turbidez	5	24,2	121,0	$1,68 < x \leq 2,52$	Moderado
ALTA Cor	5	8,0	40,0	$2,52 < x \leq 3,36$	Alto
BAIXA Conc. CRL	5	24,2	121,0	$3,36 < x \leq 4,20$	Crítico
ALTA Conc. CRC	5	5,4	27,0		
Total			420,0		
Risco máximo			4,20		

A Tabela 5.14 apresenta a categorização consolidada dos riscos para os pontos do Bloco 2, considerando todos os indicadores analisados. Nesta situação o risco total em todos os pontos foi categorizado como alto refletindo a maior degradação da qualidade da água com relação aos pontos do Bloco 1.

Tabela 5.14 – Categorização consolidada do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para todos os indicadores estudados.

PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total	PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total
P6					P8				
BHF	4	1	18,2	18,2	BHF	33	1	18,2	18,2
pH	7,01	2	4,0	8,0	pH	6,87	2	4,0	8,0
Turb	5,81	5	24,2	121,0	Turb	3,05	3	24,2	72,6
Cor	23	5	8,0	40,0	Cor	14	4	8,0	32,0
CRL	1,78	3	24,2	72,6	CRL	0,00	5	24,2	121,0
CRC	0,43	1	5,4	5,4	CRC	0,14	1	5,4	5,4
	Alto			2,65		Alto			2,57
P12									
BHF	2	1	18,2	18,2					
pH	6,63	3	4,0	12,0					
Turb	3,13	3	24,2	72,6					
Cor	20	5	8,0	40,0					
CRL	2,35	5	24,2	121,0					
CRC	0,47	1	5,4	5,4					
	Alto			2,69					

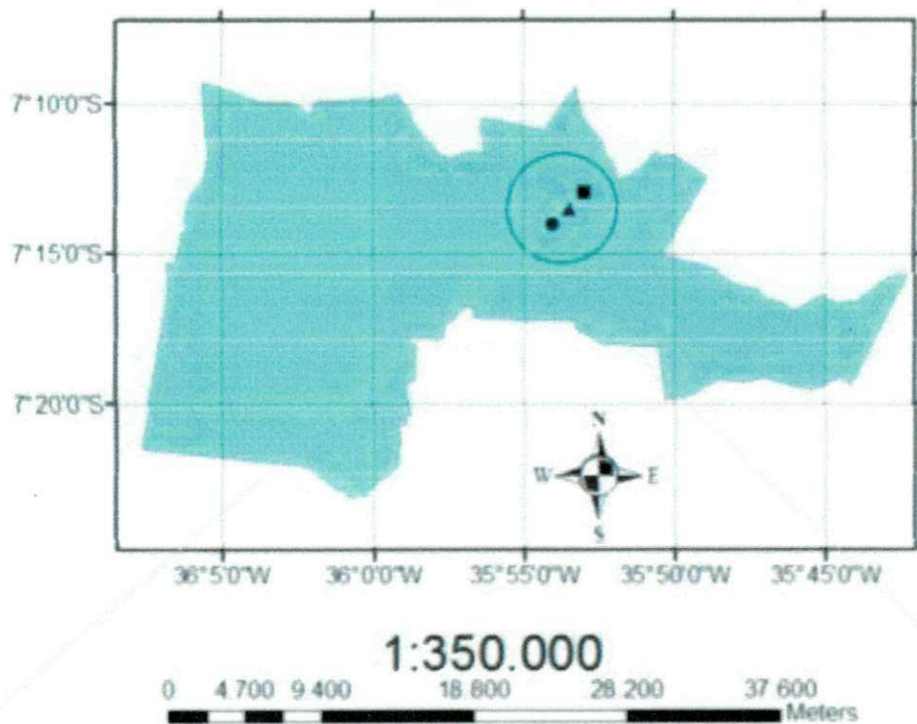
NOTA: BHF = bactérias heterotróficas, pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez, CRL = cloro residual livre, CRC = cloro residual combinado.

5.6 Mapa de risco para o Bloco 2 considerando todos os indicadores estudados

A construção do mapa de risco foi feito a partir da classificação do risco de acordo com os pontos de amostragem (Figura 5.4), sendo referente à qualidade da água naquele ponto abastecido.

Figura 5.4 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 2 com base em todos os indicadores analisados.

MAPA DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA REFERENTE AO BLOCO 2 COM BASE EM TODOS OS INDICADORES ANALISADOS



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

 CAMPINA_GRANDE

- ▲ P8
- P12
- P6

LEGENDA DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA

-  DESPREZÍVEL
-  BAIXO
-  MODERADO
-  ALTO
-  CRÍTICO

5.7 Cálculo do risco total para o Bloco 2 considerando apenas os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas

Na análise dos pontos do Bloco 2, referente aos indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas, os perigos mais influentes (Tabela 5.15) foram alta turbidez e baixa concentração de CRL, ambos com 32,4%, e alta concentração de BHF, com 24,4%, os quais são os mesmos perigos encontrados na análise dos pontos do Bloco 1, mas com uma alteração de ordem.

Tabela 5.15 – Resultado da ponderação dos riscos do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e as bactérias heterotróficas.

Parâmetro	PERIGO				RISCO	
	S	O	D	A	Valor	%
ALTA Concentração de BHF	3	1	3	3	27	24,4
ALTA Turbidez	3	2	2	3	36	32,4
BAIXA Concentração de CRL	3	2	2	3	36	32,4
ALTA Concentração de CRL	3	1	2	2	12	10,8
RISCO TOTAL					111	100,0

A Tabela 5.16 apresenta a categorização dos riscos associados aos indicadores analisados e o risco máximo (4,46).

Tabela 5.16 – Classificação do risco máximo do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e as bactérias heterotróficas.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Categorização
ALTA Conc. BHF	5	24,4	122,0	$0 \leq x \leq 0,89$	Desprezível
ALTA Turbidez	5	32,4	162,0	$0,89 < x \leq 1,78$	Baixo
BAIXA Conc. CRL	5	32,4	162,0	$1,78 < x \leq 2,67$	Moderado
Total			446,0	$2,67 < x \leq 3,56$	Alto
Risco máximo			4,46	$3,56 < x \leq 4,46$	Crítico

A Tabela 5.17 resume a categorização consolidada dos riscos associados aos pontos do Bloco 2, considerando somente os indicadores sentinelas e BHF. Todos os pontos foram classificados como de risco moderado o que representa uma melhoria com relação à classificação com base no conjunto de todos os indicadores,

mas não indica uma degradação importante da qualidade da água quando comparada com a classificação dos pontos do Bloco 1.

Tabela 5.17 – Categorização final do Bloco 2 (P6, P8 e P12) para os indicadores sentinelas e as bactérias heterotróficas.

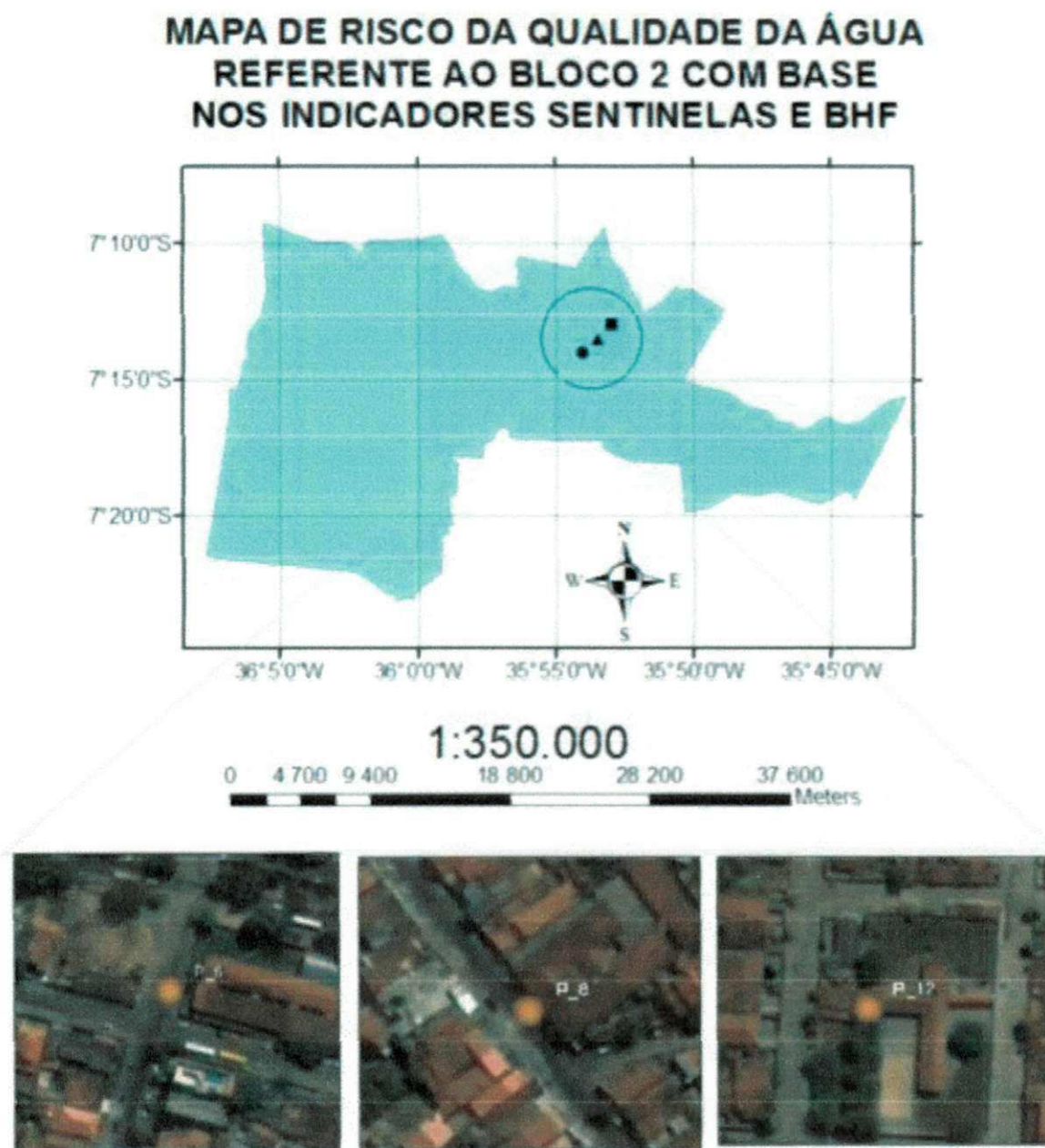
PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total	PTO	Mediana	Classifi cação	Risco %	Risco Total
P6					P8				
BHF	4	1	18,2	18,2	BHF	33	1	18,2	18,2
Turb	5,81	5	24,2	121,0	Turb	3,05	3	24,2	72,6
CRL	1,78	3	24,2	72,6	CRL	0,00	5	24,2	121,0
Moderado					Moderado				
P12									
BHF	2	1	18,2	18,2					
Turb	3,13	3	24,2	72,6					
CRL	2,35	5	24,2	121,0					
Moderado									

NOTA: BHF = bactérias heterotróficas, pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez, CRL = cloro residual livre, CRC = cloro residual combinado.

5.8 Mapa de risco para o Bloco 2 considerando apenas os indicadores sentinelas e bactérias heterotróficas

A construção do mapa de risco foi feito a partir da classificação do risco de acordo com os pontos de amostragem (Figura 5.5), sendo referente à qualidade da água naquele ponto abastecido e foi elaborada uma tabela com os valores do risco para cada ponto de amostragem (Tabela 5.17).

Figura 5.5 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao Bloco 2 com base nos indicadores sentinelas e BHF.



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

CAMPINA_GRANDE

- ▲ P8
- P12
- P6

**LEGENDA DE RISCO
DA QUALIDADE DA ÁGUA**

- DESPREZÍVEL
- BAIXO
- MODERADO
- ALTO
- CRÍTICO

6.0 DISCUSSÃO

Embora abastecendo uma população em torno de 400.000 habitantes o sistema de abastecimento de água de Campina Grande, PB, é bastante complexo na sua constituição. A água bruta vem de um manancial de superfície que foi construído no leito do Rio Paraíba e situa-se a cerca de 40 km do centro consumidor. Mesmo sendo considerado um ecossistema aquático oligotrófico, esse manancial experimenta considerável grau de salinização especialmente no período de estiagem. Também, ao longo das suas mais de cinco décadas, o manancial experimentou significativa acumulação de sedimentos, o que também contribui para a degradação da qualidade da água bruta em associação com fontes difusas de poluição.

A água bruta é tratada na Estação de Tratamento de Água de Gravatá de Queimadas, situada a um pouco mais de 20 km do manancial, através das operações unitárias convencionais, coagulação, floculação, decantação, filtração rápida e desinfecção.

A água tratada é transportada para o centro consumidor através de três linhas adutoras de um pouco mais de 20 km de extensão, com idades e materiais diversos que se constituem em fatores de degradação da qualidade da água. Nessa degradação também pode agir o esquema de operação da etapa de adução, dependente de fatores como custo de energia, principalmente nos horários de pico de consumo.

O principal reservatório de distribuição do sistema (R-9), com 26.000 m³ de capacidade e, conseqüentemente, elevado tempo de detenção, e os outros quase trinta reservatórios menores contribuem cumulativamente para a degradação da qualidade da água.

Tradicionalmente, a degradação da qualidade da água é avaliada através de grande número de indicadores físico-químicos e microbiológicos. Mais recentemente, em 2006, o Ministério da Saúde, através da Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2006b) recomendou a utilização dos indicadores sentinelas CRL e turbidez, para o controle e, principalmente, a vigilância da

qualidade da água, em vista de sua capacidade de indicar precocemente perigos associados à ingestão da água. Além disso, bactérias heterotróficas, microrganismos que têm matéria orgânica como fonte de carbono e crescimento em biofilmes, assumem papel relevante como indicadores da degradação da qualidade da água como este aqui avaliado.

6.1 Esquemas de monitoração da qualidade da água

As portarias do Ministério da Saúde sobre potabilidade, também, estabelecem a necessidade de monitoração da qualidade da água, tanto para fins de controle como de vigilância. Essa monitoração é baseada em esquemas dependentes do número de habitantes, tipo de manancial, tipo de indicador e pontos críticos. Desse modo, por exemplo, o serviço de abastecimento estabelece um determinado esquema de monitoração contemplando a coleta e análise de um determinado número de amostras para a verificação de conformidade com os padrões de potabilidade. Frequentemente, para o atendimento do padrão num determinado ponto crítico, principalmente com relação ao residual mínimo do desinfetante, a equipe de operação é levada a administrar intuitivamente uma superdosagem na ETA, o que pode representar perigo do limite máximo ser ultrapassado.

Embora esses esquemas de monitoração sejam úteis, faz-se necessária uma abordagem mais científica da operação do sistema de abastecimento associada a um esquema mais eficaz de manutenção de suas partes, incluindo principalmente inspeção, recuperação e limpeza de reservatórios e substituição de canalizações de transporte e distribuição da água. Atualmente, ferramentas como modelagem e análise de risco representam auxílios importantes na gestão de sistemas de abastecimento de água, principalmente no que diz respeito à degradação de sua qualidade.

6.2 Degradação da qualidade da água do sistema de abastecimento estudado

Num total de 30 amostragens realizadas em cada ponto analisado, os pontos AD800 (Bloco 1) e P8 (Bloco 2) apresentaram 4 (13%) não conformidades com o padrão estabelecido na Portaria MS 518/2004, para BHF, enfatizando-se que todos os outros pontos estiveram em conformidade com o padrão.

Com relação ao cloro residual livre foi verificado que não conformidades prevaleceram por ultrapassagem do limite superior nos pontos do Bloco 1, predominantemente de adutoras, refletindo supercloração na ETA que, além de também representar perigo para a população, pode representar prejuízo econômico-financeiro para o serviço de abastecimento. No Bloco 2, que reúne pontos da rede de distribuição, foi verificada não conformidade de superação do valor máximo permitido nos pontos P6 (30%) e P12 (60%), contrastando com o ponto P8 que apresentou 100% da não conformidade inferior ao valor mínimo. Neste último caso, essa total não conformidade é devida às precárias condições da rede de distribuição, constituída localmente de canalizações antigas.

Todos os pontos de amostragem de ambos os blocos apresentaram não conformidades, em graus variáveis, com relação ao padrão de turbidez. Nos pontos do Bloco 1 as não conformidades variaram entre 2 (6,7%) e 8 (26,7%) enquanto que nos pontos do Bloco 2 variaram de 7 (23,3%) a 17 (56,7%), merecendo destaque essas últimas que ocorreram no ponto P6 localizado na região central da cidade. Muitos fatores podem estar associados à elevada turbidez do sistema, desde aqueles relacionados à constituição material de suas partes, esquemas operacionais e de manutenção até mesmo a qualidade da água bruta. A propósito o ponto P0, localizado na saída da ETA, apresentou 6 (20,0%) não conformidades com o padrão.

Parece oportuno destacar que também as elevadas não conformidades (de 46,7% a 83,3%) com o padrão de cor aparente, verificadas em todos os pontos de ambos os blocos, têm sua origem na qualidade da água bruta.

6.3 Categorização dos riscos associados à qualidade da água de abastecimento

Na prática deve ser reconhecida a existência de um conjunto significativo de limitações para o fornecimento da água com qualidade adequada ao consumo humano. Além dos limites impostos pela legislação há, em cada situação particular, vários fatores, desde os ambientais até os de ordem econômica, financeira e tecnológicas, que influenciam na qualidade.

O sistema de abastecimento aqui estudado, já referido como bastante complexo, contém, de modo particular, um número apreciável dessas vicissitudes que podem contribuir para a não conformidade com determinados padrões de potabilidade. Por exemplo, o elevado nível de cor aparente e grande percentual de violações do padrão de turbidez podem estar associados, em algum grau, com a própria origem da água. Isto é, a superação total desses inconvenientes demandaria investimentos elevados na execução de planos ousados voltados para o fornecimento de água totalmente em conformidade com o padrão de potabilidade.

Numa situação real em que a água de abastecimento não atende totalmente ao padrão de potabilidade, deve ser feita uma avaliação objetiva sobre o risco do seu consumo por parte da população. Essa avaliação pode ser baseada na aplicação de metodologias de análise de risco para a categorização de perigos, referentes a não conformidade de uma seleção de indicadores prioritários, com o padrão de potabilidade.

Neste trabalho foi aplicada a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) primeiramente a uma seleção mais ampla de indicadores (Bactérias heterotróficas, pH, turbidez, cor aparente, cloro residual livre e cloro residual combinado) e subseqüentemente a uma seleção considerada mais prioritária constituída por bactérias heterotróficas e pelos indicadores sentinelas, turbidez e Cloro residual livre.

Numa primeira análise os pontos do Bloco 1, tipicamente representativos do sistema de adução, foram categorizados como de risco moderado numa escala de risco crescente que compreende as categorias desprezível, baixo, moderado, alto e crítico. Deve ser ressaltado que o perigo que mais contribuiu para o risco total

nesses pontos foi a alta concentração de CRL. Os pontos do Bloco 2 representativos da rede de distribuição foram categorizados como de risco alto, ocorrendo tanto alta concentração de CRL como alta turbidez. Deve ser destacado, no entanto, que há um ponto (P8), localizado no bairro São José, que apresenta risco alto influenciado principalmente pela ausência de CRL na água.

Na segunda análise, considerando BHF e indicadores sentinelas, os pontos do Bloco 1 mantiveram sua categorização de risco moderado com exceção do ponto AD800 que teve sua categoria melhorada passando para risco baixo, pois esta adutora é bem mais nova que as demais. Também aqui, CRL elevado foi o perigo que mais contribuiu para a categorização. Os pontos do Bloco 2 tiveram sua categoria melhorada para risco moderado sendo os perigos mais importantes os mesmos da análise referente ao conjunto de todos os indicadores.

Considerando o caráter prioritário dos indicadores sentinelas a análise dos pontos amostrados demonstrou a associação de risco moderado ao consumo da água do sistema de abastecimento de Campina Grande, sendo cabíveis medidas de caráter operacional e de manutenção para melhoria dessa categorização. Aparentemente, o controle da operação de desinfecção pode e deve ser encarado como urgente em associação com medidas eficazes de manutenção das partes do sistema.

7.0 CONCLUSÕES

Foi alcançado o objetivo da pesquisa de avaliar a degradação da qualidade da água em um sistema de abastecimento de porte médio utilizando uma abordagem de análise de risco.

Os indicadores de qualidade da água (BHF, pH, turbidez, cor aparente, CRL e CRC) apresentaram diversos graus de não conformidade com o padrão de potabilidade, com exceção de cloro residual combinado que apresentou 100% de conformidade.

Foi observada uma relação inversa entre CRL e a contagem de BHF em todos os pontos amostrados, com exceção do ponto P8.

A metodologia FMEA foi eficiente para a categorização de riscos em todos os pontos monitorados.

A análise de risco com base no conjunto de todos os indicadores demonstrou risco moderado para todos os pontos do Bloco 1 e risco alto para todos os pontos do Bloco 2.

Quando considerados somente os indicadores sentinelas e BHF em todos os pontos monitorados apresentaram risco moderado, com exceção de AD800 que apresentou risco baixo, o que é uma interpretação mais realista e menos alarmista sobre a qualidade da água do SAA de Campina Grande.

8.0 RECOMENDAÇÕES

O SAA deve ser capaz de prover um processo de gestão mais eficaz da qualidade da água a partir da elaboração de um plano de segurança contendo medidas de operação, manutenção e inovação tecnológica visando a minimização dos riscos à população abastecida.

O ponto P8 requer atenção especial em função da categoria do risco apresentado. É recomendável ao responsável pelo SAA verificar a viabilidade da implantação de medidas corretivas que podem compreender, até mesmo, a substituição de canalizações antigas por tubos novos e de materiais que impliquem num menor risco de degradação da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12216: Projetos de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 18 p.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Açudes Monitorados**. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=531>. Acesso em 14 de dez. 2011.

ÁGUA. **De olho nos mananciais**. Disponível em: <http://www.mananciais.org.br/category/voce-sabia/agua-voce-sabia/>. Acesso em 30 de Setembro de 2011.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005. 1600p.

ARAUJO, M. C. S. P. de. **Indicadores de vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia (PB)**. Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

BARBOSA, F. L. Avaliação da qualidade da água consumida em um hospital público da cidade de Campina Grande – PB. Campina Grande – PB: UFCG. 2010. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. **Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano**. In: PÁDUA, V. L. de. Remoção de Microrganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328-362.

BETTEGA, J. M. R.; MACHADO, M. R.; PRESIBELLA, M.; BANISKI, G.; BARBOSA, C. A. Métodos Analíticos no Controle Microbiológico da Água para Consumo Humano. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 950-954, set./out. 2006.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 518, de 25 de Março de 2004**. Normas e padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano. Brasília (DF); 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS), Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), **Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano (Vigiagua)**. Relatório das atividades vigiagua 1998 a 2005. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde**. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006a, 84 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 211p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portal do Ministério da Saúde**. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/saude/default.cfm>. Acesso em: Março de 2010.

CAGEPA. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. **Relatório de Informações Cadastrais**. Campina Grande, 2010.

COELHO, M. I. S.; MENDES, E. S.; CRUZ, M. C. S.; BEZERRA, S. S.; SILVA, R. P. P. **Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais consumidas na região metropolitana de Recife, Estado de Pernambuco**. Biblioteca virtual em saúde. Pesquisa em base de Dados. DOI: 10.4025/actascihealthsci.v32i1.3837. 2010.

DEMARTA, A.; TONOLLA, M.; CAMINADA, A. P.; BERETTA, M.; PEDUZZI, R. Epidemiological relationships between *Aeromonas* strains isolated from symptomatic children an household enviroments as determined by rebotyping. **European Journal of Epidemiology**, v. 16, n. 5, p. 447-453, 2000.

DOMINGUES, V. O.; TAVARES, G. D.; STÜKER, F.; MICHELOT, T. M.; REETZ, L. G. B.; BERTONCHELI, C. de M.; HÖRNER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Saúde, Santa Maria**, v. 33, n.1, p. 15-19, 2007.

DI BARI, M.; HACHICH, E. M.; MELO, A. M. J.; SATO, M. I. Z. *Aeromonas spp.* And microbial indicators in raw drinking water sources. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 3, p. 516-521, 2007.

FARACHE FILHO, A.; DIAS, M. F. F. Qualidade microbiológica de águas minerais em galões de 20 litros. **Alimentação e Nutrição**, v. 19, n. 3, p. 243-248, 2008.

GOOGLE EARTH. Campina Grande e Gravatá – PB. 2012. Disponível em: <http://www.googleearth/cidades>. Acesso em 15 de Fevereiro de 2012.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **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: 21 de Novembro de 2011.

MENESES, R. A. **Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: O caso de Campina Grande.** Campina Grande – PB: UFCG, 2011. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

MEIRA, C. M. B. S.; OLIVEIRA, R. de; COURA, M. de A.; GALDINO, F. A. G.; GOMES, T. N. Monitoração de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB). VII-040. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Recife, 2009.

OGATA, I. S. **Avaliação de Risco da Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB).** Campina Grande – PB: UEPB, 2011. 67 p. Monografia (Trabalho Acadêmico Orientado em Engenharia Sanitária e Ambiental). 2011.

PHILIPPI JR., A. (Org.). **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável.** 1ª Ed. Barueri, SP: Manole, 2005, 842 p.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** Florianópolis: Eng. Mecânica/UFSC, (Dissertação de mestrado), 2001.

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

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; NETTO, O. M. C. **Relações entre Saneamento, Saúde Pública e Meio Ambiente: Elementos para Formulação de um Modelo de Planejamento em Saneamento.** Revista Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 18, n. 6, p. 1713-1724, nov./dez. 2002.

SOUSA, R. M. G. L. **Princípios e Métodos Utilizados em Segurança da Água para Consumo Humano.** São Paulo, 2008. 54p.

TEIXEIRA, J. C.; LEAL, F. C. T. **Desafios no Controle de Doenças de Veiculação Hídrica Associadas ao Tratamento e ao Abastecimento de Água para Consumo Humano.** VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória – ES. 2002.

TEIXEIRA, J. C. **Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – Utopia ou Realidade? Estudo de caso: Juiz de Fora – MG.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, p. 1-4, 2005.

TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha.** São Carlos: UFSCar. 2006.

VIANA, G. M. **Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**. 2ª Ed. João Pessoa: A União, 2002. 310 p.

WAGNER, V. E.; BUSHNELL, D.; PASSADOR, L.; BROOKS, A. I.; IGLEWSKY, B. H. Microarray analysis of *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing regulons: effects of growth phase and environment. **Journal of Bacteriology**, v. 185, n. 7, p. 2080-2095, 2003.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. **Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental**. São Carlos: Gestão e Produção. v. 14, n. 12, 2007.

ANEXO A

Tabela de escore para um FMEA de processos de empresas de São Carlos/SP

Quadro 4. Classificações de severidade.

Severidade do impacto ambiental		Classificação
Alta	Produtos muito danosos ao meio ambiente, que apresentam as características: corrosividade, reatividade, explosividade, toxicidade, inflamabilidade e patogenicidade	3
Moderada	Produtos danosos ao meio ambiente, que possuem longo tempo de decomposição, por exemplo: metais, vidros e plásticos. Também é considerada a utilização de recursos naturais	2
Baixa	Produtos pouco danosos ao meio ambiente, que possuem curto tempo de decomposição, como papelão e tecidos	1

Quadro 5. Classificações de ocorrência de impactos ambientais reais.

Ocorrência do impacto ambiental		Classificação
Alta	O impacto ambiental ocorre diariamente	3
Moderada	O impacto ambiental ocorre mensalmente	2
Baixa	O impacto ambiental ocorre semestralmente ou anualmente	1

Quadro 6. Classificações de detecção.

Detecção do impacto ambiental		Classificação
Baixa	Para detectar o impacto ambiental é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas	3
Média	O impacto ambiental é percebido com a utilização de medidores simples. Exemplos: hidrômetro e medidor de energia elétrica	2
Alta	O impacto ambiental pode ser percebido visualmente	1

Quadro 7. Classificações de abrangência de impactos ambientais.

Abrangência do impacto ambiental		Classificação
O impacto ambiental ocorre fora dos limites da organização		3
O impacto ambiental ocorre dentro dos limites da organização		2
O impacto ambiental ocorre no local onde está sendo realizada a operação		1

ANEXO B

Valores críticos usados para o teste de *outliers* (empregando o método de GRUBBS)

TABLE DD Critical values for testing outliers (according to Grubbs)

n	α				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
3	1.148	1.353	1.353	1.155	1.155
4	1.423	1.463	1.485	1.492	1.495
5	1.690	1.672	1.715	1.749	1.764
6	1.729	1.822	1.887	1.944	1.973
7	1.828	1.923	2.020	2.090	2.129
8	1.906	2.013	2.126	2.221	2.274
9	1.971	2.110	2.235	2.325	2.387
10	2.036	2.176	2.290	2.410	2.482
11	2.088	2.234	2.355	2.485	2.564
12	2.134	2.282	2.412	2.550	2.636
13	2.175	2.331	2.468	2.607	2.699
14	2.213	2.371	2.507	2.657	2.755
15	2.247	2.409	2.549	2.701	2.806
16	2.279	2.443	2.585	2.747	2.852
17	2.309	2.473	2.620	2.785	2.894
18	2.335	2.504	2.651	2.821	2.932
19	2.361	2.532	2.681	2.854	2.968
20	2.385	2.557	2.709	2.884	3.001
21	2.408	2.580	2.733	2.912	3.031
22	2.429	2.601	2.758	2.939	3.060
23	2.448	2.624	2.781	2.963	3.087
24	2.467	2.644	2.802	2.987	3.112
25	2.486	2.662	2.822	3.009	3.135
26	2.502	2.681	2.841	3.029	3.157
27	2.517	2.698	2.859	3.049	3.178
28	2.534	2.714	2.876	3.068	3.197
29	2.549	2.730	2.893	3.085	3.214
30	2.563	2.745	2.908	3.103	3.236
31	2.577	2.759	2.924	3.119	3.253
32	2.591	2.773	2.938	3.135	3.270
33	2.604	2.786	2.953	3.150	3.286
34	2.616	2.799	2.965	3.164	3.301
35	2.628	2.811	2.979	3.178	3.316
36	2.639	2.823	2.991	3.191	3.330
37	2.650	2.835	3.003	3.204	3.343
38	2.661	2.846	3.016	3.218	3.356
39	2.671	2.857	3.025	3.232	3.369
40	2.682	2.866	3.035	3.246	3.381
50	2.768	2.956	3.128	3.336	3.483
60	2.837	3.025	3.199	3.411	3.560
70	2.893	3.082	3.257	3.471	3.622
80	2.940	3.130	3.305	3.521	3.673
90	2.981	3.171	3.349	3.563	3.718
100	3.017	3.207	3.388	3.600	3.754
110	3.049	3.239	3.415	3.632	3.787
120	3.078	3.267	3.444	3.661	3.817
130	3.104	3.294	3.470	3.688	3.843
140	3.129	3.318	3.493	3.712	3.867

APÊNDICE A
Formulário FMEA

Perigo	Tipo de poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas Facultativas	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede						Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade da distribuição
Baixo pH	Potencial	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA						Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Potencial	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operações unitárias da ETA						Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração						Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta Cor	Real	Aspecto desagradável; presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Presença de substâncias corantes no manancial ou falha nos processos e operações unitárias da ETA						Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixa Concentração de CRL	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede						Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Real	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção						Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de CRC	Real	Odor e sabor característicos e irritação das mucosas	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição						Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede

Nota: S = Severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, A = Abrangência, R = Risco.

Fonte: Adaptado de Ogata (2011).