



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRO - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**INDICADORES SENTINELAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO DA CIDADE DE ESPERANÇA-PB**

**ALESSANDRA DE SOUZA GOMES CLEMENTINO**

Campina Grande – PB

Maio de 2014

**ALESSANDRA DE SOUZA GOMES CLEMENTINO**

**INDICADORES SENTINELAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO DA CIDADE DE ESPERANÇA-PB**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Qualidade de sistemas ambientais

Orientador: Prof. Dr. Rui de Oliveira

Campina Grande - PB

Maio de 2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C626i Clementino, Alessandra de Souza Gomes.  
Indicadores sentinelas para avaliação da qualidade da água de abastecimento da cidade de Esperança-PB [manuscrito] / Alessandra de Souza Gomes Clementino. - 2014.  
85 p. : il. color.

Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, 2014.  
"Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Pró-Reitoria de Pós-Graduação".

1. Qualidade da água. 2. Análise de risco. 3. Metodologia FMEA. I. Título.

21. ed. CDD 628.16

Alessandra de Souza Gomes Clementino

**INDICADORES SENTINELAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA  
ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE ESPERANÇA-PB**

Aprovada em 28 de maio de 2014

**BANCA EXAMINADORA**



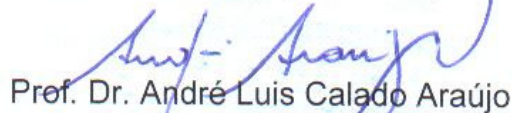
Prof. Dr. Rui de Oliveira

(Orientador - Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Profª. Drª. Mônica de Amorim Coura

(Examinador Externo - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG)



Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

(Examinador Externo-IFRN)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe, a mulher guerreira que tanto me ajudou a superar os momentos difíceis. Aquela que me ensinou a andar por caminhos seguros e sempre acreditou nos meus sonhos!*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Senhor Jesus Cristo, o maior mestre que conheço. Por ter me concedido a oportunidade de aprender na vida terrena, amadurecendo a cada dia para evoluir enquanto ser humano.

À minha mãe, meu exemplo de “força” e “superação”. Minha inspiração para as grandes lutas.

Ao meu orientador, professor Dr. Rui de Oliveira, por sua paciência mediante as minhas dúvidas e sua maneira especial de ensinar.

À professora Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, pela confiança em mim depositada e amizade consolidada!

Ao grande amigo doutorando, Emanuel Campos, pela disponibilidade em ajudar tantas vezes, Muito OBRIGADA!

À minha mais recente amizade Alesca, por tantas vezes que se mostrou disponível.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro concedido por breve tempo.

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

A Anabel e Joedna, atendentes da CAGEPA em Esperança, por terem sido parceiras em todas as etapas deste trabalho.

Aos técnicos operadores da CAGEPA, pelo respeito e atenção que sempre tiveram comigo.

À UEPB e ao MCTA pela valiosa oportunidade de qualificação profissional!

À UFCG, por disponibilizar o laboratório para análises microbiológicas.

A tantas outras pessoas, amigos e familiares que, mesmo não tendo seus nomes mencionados, acreditaram no alcance do meu objetivo e, mesmo de longe, enviaram suas energias positivas, estimulando-me a persistir naquilo que eu acreditava. Com vocês, quero dividir a alegria desta importante conquista! OBRIGADA, gente!

## RESUMO

Assegurar que a água para consumo humano seja um produto de qualidade e quantidade satisfatórias, merece a devida atenção, pois é presumível que a água tenha suas características alteradas desde a saída do tratamento até a chegada aos consumidores, o que pode representar riscos à saúde da população. O presente artigo apresenta a avaliação de risco da qualidade da água distribuída intermitentemente pelo sistema de abastecimento da cidade de Esperança/PB, tendo sido aplicada a metodologia FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falhas) aos conjuntos amostrais de indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez), microbiológicos e auxiliares determinados, no período compreendido entre março e dezembro de 2013, em oito pontos de amostragem na rede de distribuição e na saída da estação de tratamento. Os resultados obtidos indicam, para o período analisado, alta turbidez na água tratada e baixa concentração de cloro residual livre, ambos em desacordo com os padrões de potabilidade exigidos pela Legislação vigente, e que representam um risco comum em todo o sistema, contudo, um risco significativamente menor quando consideradas as parcelas associadas aos indicadores microbiológicos, mais evidentes na rede de distribuição. Foi concluído que a qualidade da água da cidade de Esperança no Estado da Paraíba é degradada à medida que deixa a ETA e é distribuída pelos diversos setores da rede de distribuição. A essa degradação, vários fatores podem estar relacionados, dentre os quais, a qualidade da água bruta, deficiências na manutenção das unidades do sistema, inclusive o abastecimento intermitente da água, que parece constituir o aspecto operacional mais distinto e relevante para essa situação.

Palavras-chave: Qualidade da água para consumo humano. Análise de risco. Metodologia FMEA.

## **ABSTRACT**

To ensure quality of water for human consumption is a quality product and satisfactory quantity deserves proper attention, because it is presumed that water has their characteristics amended since the output of the treatment until the arrival for consumers, which can pose health risks to the population. The control which belongs to the responsible of the system, and vigilance exercised by public health authority, actions are developed around the water quality for human consumption that contribute to the conformity of the water drinkability standards. This article presents a risk assessment of the quality of water distributed intermittently through the network of the City of Esperança, Paraíba state, northeast Brazil. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) methodology has been applied to sample sets of sentinel (residual free chlorine and turbidity), microbiological and selected ancillary quality indicators, between March and December 2013, in eight sampling points of the distribution network and in the outlet of the treatment plant. The results obtained indicate high turbidity in the treated water and low concentration of free residual chlorine. These values disagree with the law and represent a common risk throughout the system, however, a significantly lower risk when considering the associated, more evident in the distribution network microbiological indicators installments. In conclusion, the water quality in the city of Esperança, Paraíba is degraded as far from the ETA by way distribution network. Several factors may be associated this degradation as raw water quality, deficiencies in the maintenance of system units, including intermittent supply of water, which seems to be the most distinctive and relevant operational aspect to this situation.

**Keywords:** Water quality for human consumption. Risk analysis. FMEA methodology.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema geral de um sistema de abastecimento de água. ....	22
Figura 2 – Etapas do processo de tratamento convencional de água. ....	25
Figura 3 – Quadro de referencia para o estabelecimento da segurança da qualidade da água.....	29
Figura 4 – Vista do açude Vaca Brava (a) e detalhe da captação flutuante (b). ....	39
Figura 5 – Transporte da água do açude Vaca Brava até a Estação Elevatória de Esperança. ....	40
Figura 6 – Tratamento preliminar da água: adição de Sulfato de Alumínio (a) e filtração (b). Estação Elevatória do Guarim, Areia – PB.....	40
Figura 7 – Estação de Tratamento de Água (a) e reservatório elevado (b) (Distrito de Cepilho, Areia PB). ....	41
Figura 8 – Adição de cal (a) e sulfato (b) na ETA de Esperança – PB. ....	42
Figura 9 – Floculador hidráulico de chicanas horizontais (a) e decantadores (b). (ETA de Esperança). ....	42
Figura 10 – Processo de filtração (a) e cloração (b). ETA de Esperança - PB. ....	43
Figura 11 – Reservatório apoiado (a) e reservatório elevado (b). ETA Esperança - PB. ....	43
Figura 12: Localização geográfica da cidade de Esperança - PB.....	45
Figura 13 – Mapa digitalizado da rede de distribuição de água da cidade de Esperança – PB e pontos de monitoramento selecionados.....	46
Figura 14 – Coleta (a) e laboratório montado in loco para as análises físico-químicas (b) ...	48
Figura 15 – Classificação para os indicadores CRL (padrão máximo e mínimo), turbidez CRC, pH (padrão máximo e mínimo), e bactérias heterotróficas.....	53
Figura 16 – Representação gráfica GT-2 para os Indicadores Sentinelas: CRL (a) e Turbidez (b). ....	56
Figura 17 – Representação gráfica GT-2 para os Indicadores Auxiliares: CRC (c), pH (d) e Temperatura (e). ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas da avaliação de risco.....	38
Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta de amostras para análises dos indicadores sentinelas. ....	47
Tabela 3 – Estatística descritiva e frequência dos indicadores selecionados da qualidade da água nos pontos P0, P1, P2 , P3 e P4.....	58
Tabela 4 – Estatística descritiva e frequência dos indicadores selecionados da qualidade da água nos pontos P5, P6, P7 e P8. ....	59
Tabela 5 – Número e percentual de amostras avaliadas em cada ponto de amostragem para Cloro Residual Livre (CRL), inferior ao padrão mínimo obrigatório estabelecido pela Portaria 2.914/2011.....	59
Tabela 6 – Percentual e número de amostras avaliadas em cada ponto para CRL superiores ao VMP proposto pela Portaria 2.914/2011. ....	60
Tabela 7 – Frequência de conformidades dos indicadores da qualidade microbiológica da água do sistema de abastecimento da cidade de Esperança – PB.....	61
Tabela 8 – Resumo das medidas de tendência central e classificação dos indicadores analisados nos pontos P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8.....	62
Tabela 9 – Formulário FMEA preenchido para o grupo 1 (saída do tratamento).....	63
Tabela 10 – Formulário FMEA preenchido para o grupo 2, reservatório apoiado (P1, P2, P3, P4, P8).....	64
Tabela 11 – Formulário FMEA preenchido para o grupo 3, reservatório elevado (P5, P6 e P7).....	65
Tabela 12 – Consolidação dos dados obtidos para os grupos 1, 2 e 3. ....	66
Tabela 13 – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 1 .	70
Tabela 14 – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 2 .	71
Tabela 15 – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 3 .	71
Tabela 16 – Risco total para cada ponto do sistema de abastecimento.....	72
Tabela 17 – Classificação do risco máximo no sistema de abastecimento de Esperança-PB. ....	73
Tabela 18 – Classificação do risco total para os Grupos 1, 2 e 3.....	74
Tabela 19 – Risco associado a cada ponto de amostragem do sistema de abastecimento de água de Esperança, PB. ....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas técnicas
- ANOVA** – Análise de Variância
- APHA** – American Public Health Association
- AWWA** – American Water Works Association
- CAGEPA** – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
- CRC** – Cloro Residual Combinado
- CRL** – Cloro Residual Livre
- DPD** – N, N-dietil-p-fenilenediamina
- ETA** – Estação de Tratamento de Água
- FUNASA** – Fundação Nacional de Saúde
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MS** – Ministério da Saúde
- OMS** – Organização Mundial de Saúde
- OPAS** – Organização Pan-Americana da Saúde
- PSA** – Plano de Segurança da Água
- SUS** – Sistema Único de Saúde
- SVS** – Secretaria de Vigilância em Saúde
- UBSF** – Unidade Básica de Saúde da Família
- UFMG** – Universidade Federal de Campina Grande
- USEPA** – United States Environmental Protection Agency
- UT** – Unidade de Turbidez
- VIGIAGUA** – Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano
- VMP** – Valor Máximo Permitido
- WEF** – Water Environmet Federation
- WHO** – World Health Organization

## SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo Geral.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Vigilância em Saúde Ambiental.....	17
2.2 Saneamento básico .....	18
2.3 Qualidade da água.....	19
2.3.1 Padrão de potabilidade .....	20
2.4 Sistema de abastecimento de água .....	21
2.4.1 Manancial .....	22
2.4.2 Captação .....	23
2.4.3 Adução .....	23
2.4.4 Estação elevatória .....	24
2.4.5 Estação de tratamento de água .....	24
2.4.6 Reservatórios de distribuição .....	26
2.4.7 Rede de distribuição .....	27
2.5 Plano de segurança da água .....	28
2.6 Controle e vigilância da qualidade da água de abastecimento .....	30
2.7 Indicadores Sentinelas e Auxiliares.....	31
2.7.1 Cloro residual livre .....	33
2.7.1.1 Cloro residual livre como indicador sentinela .....	33
2.7.2 Turbidez.....	33
2.7.3 Cloro residual combinado .....	34
2.7.4 pH.....	35
2.7.5 Bactérias Heterotróficas.....	35
2.7.6 Coliformes Totais .....	36
2.8 Definições de risco.....	36
2.9 Análise de risco em sistemas de abastecimento de água .....	37
3.0 O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE ESPERANÇA ...	39
3.1 Descrição do Sistema de Abastecimento .....	39
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.1. Área de estudo .....	45
4.2. Pontos de monitoramento .....	46
4.3. Cronograma de coleta.....	48
4.4. Métodos analíticos .....	48

4.5. Metodologia de coleta para análises físico-químicas .....	48
4.5.2 Cloro residual livre (CRL).....	49
4.5.3 Turbidez.....	49
4.5.4. Medida de pH .....	49
4.6. Metodologia da coleta para análise microbiológica .....	49
4.6.1 Contagem padrão de bactérias heterotróficas.....	50
4.6.2 Coliformes totais .....	50
4.7 Avaliação de risco.....	51
4.7.1. Critérios para a elaboração do formulário FMEA.....	51
4.7.2 Cálculo da soma ponderada dos riscos .....	54
4.7.3 Cálculo do risco total.....	54
5.0 APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....	56
6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
6.1 Estatística descritiva e verificação de conformidade com o padrão de potabilidade.....	58
6.2 Resultado da classificação dos dados .....	61
6.3 Aplicação do FMEA para os Grupos 1, 2 e 3 .....	63
6.3.1 Importância de cada risco para o grupo 1 .....	70
6.3.2 Importância de cada risco para o grupo 2 .....	70
6.3.3 Importância de cada risco para o grupo 3 .....	71
6.4 Consolidação dos riscos .....	72
7.0 CONCLUSÃO .....	75
8.0 RECOMENDAÇÕES .....	76
9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICE B.....	84
Tabela de escores para um FMEA aplicado ao sistema de abastecimento de água de Esperança-PB.....	84
ANEXO A.....	85
Tabela de escore para um FMEA aplicado ao sistema de abastecimento de água de Campina Grande-PB Campina Grande-PB.....	85

## 1.0 INTRODUÇÃO

Na história da civilização humana, Roma foi pioneira na condução de água limpa à cidade através de aquedutos. Nessa época, por ser considerada importante, a qualidade da água era confiada a um magistrado auxiliado por dois técnicos. Em Pompéia, destruída pelo Vesúvio no ano 79 DC, evidências, através de escavações, mostraram uma rede de distribuição de água em canalizações de chumbo, para as residências de toda a cidade (LANDI, 1993).

Segundo Vargas (1999) o sistema contemporâneo de abastecimento de água, constituído por captação, tratamento, adução, reservatórios e rede de distribuição, foi desenvolvido a partir da Revolução Industrial. Surgido inicialmente para satisfazer as necessidades de fornecimento regular de água limpa para as indústrias, ele foi desenvolvido gradativamente para atender às necessidades da população urbana através de uma série de bicas e chafarizes públicos introduzidos nas áreas centrais e nos bairros populares. Uma vez atingida esta primeira modalidade de abastecimento, o incremento de bombas mecânicas e tubulações mais resistentes permitiram minimizar a distância entre a água e a população, o que representou avanço nos aspectos sanitário e social.

Embora o abastecimento público represente progresso, é imprescindível que a água para consumo humano apresente qualidade satisfatória, pela adoção de processo de tratamento adequado e economicamente viável. A qualidade da água deve ser objeto de controle e vigilância com o intuito de verificar a sua potabilidade e proteger a saúde pública, pois somente o tratamento da água não garante a manutenção da condição de potabilidade, uma vez que a água pode se deteriorar no intervalo entre o tratamento, a reservação e a distribuição. Neste sentido, uma água potável também pode representar riscos ou agravos à saúde (BRASIL, 2006).

Para Venturini e Barbosa (2002) e Brasil (2006) fatores como a corrosão e a formação de incrustações no interior das tubulações, além de comprometer as instalações hidráulicas, reduzindo sua vida útil, também podem afetar a qualidade da água. Igualmente, a formação de biofilmes<sup>1</sup> na rede de distribuição (canalizações,

---

<sup>1</sup> Película biológica formada no interior das redes de distribuição de água por meio da fixação e da multiplicação dos microrganismos nas paredes internas dos condutos.

reservatório e acessórios) resulta em eventuais alterações na qualidade da água (SCHEMBRI E ENNES, 1997).

Segundo Kumpel e Nelson (2013), a intermitência na distribuição de água favorece pressões negativas na rede, fator que também pode sujeitá-la à contaminação. Portanto, a manutenção de residuais de cloro tem por objetivo prevenir a pós-contaminação, sendo sua avaliação também um indicador da segurança da água distribuída. É recomendável, que seja mantido um teor de cloro residual livre de, no mínimo, 0,2 mgCl<sub>2</sub>/L em qualquer ponto da rede de distribuição, conforme estabelece a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Desse modo, em qualquer situação, o cloro residual é um parâmetro indicador da qualidade microbiológica da água.

É competência das Secretarias de Saúde dos Municípios exercer a vigilância da qualidade da água, em articulação com os responsáveis pelo controle, de modo a assegurar o cumprimento da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Populações desprovidas de abastecimento de água por meio de rede geral de distribuição podem recorrer à solução alternativa coletiva, que corresponde à modalidade de abastecimento destinada a fornecer água potável, com ou sem canalização. Contudo, esta também estará sujeita às mesmas responsabilidades de controle e vigilância da qualidade, de modo a garantir o padrão de potabilidade exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2011).

O monitoramento de vigilância da qualidade da água pode ser iniciado a partir da introdução dos indicadores cloro residual livre e turbidez, definidos como indicadores sentinelas. Estes indicadores assemelham-se às fontes sentinelas utilizadas na Epidemiologia, alertando sobre as situações de riscos em relação à água consumida pela população, que podem resultar em doenças relacionadas com a água, passíveis de prevenção através de medidas de saneamento básico (BRASIL, 2006; FUNASA, 1998).

## **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade da água distribuída na cidade de Esperança – PB, com base no monitoramento de indicadores sentinelas, cloro residual livre e turbidez, utilizando uma abordagem de análise de risco.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar os principais perigos químicos, físicos e biológicos, presentes na água distribuída pelo sistema;
- Caracterizar o modo de operação e manutenção, identificando as vulnerabilidades do sistema de abastecimento da cidade;
- Verificar o atendimento ao padrão de potabilidade definido pela legislação brasileira;
- Avaliar o risco do sistema de abastecimento de água da cidade, destacando os pontos mais críticos;
- Discutir a importância dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez) para a vigilância da qualidade da água de sistemas de abastecimento, em cidades de pequeno porte.



## 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Vigilância em Saúde Ambiental

A Vigilância em Saúde Ambiental é um conjunto de ações e serviços, prestados por entidades públicas ou privadas, que objetivam o conhecimento prévio dos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana. Tem a finalidade de recomendar e adotar medidas preventivas dos fatores de riscos que favorecem a incidência de doenças e outros agravos à saúde<sup>2</sup> (BRASIL, 2002). Para isto, utiliza-se de métodos que envolvem indicadores de saúde e ambiente, permitindo uma visão abrangente e integrada entre ambos.

Os campos de atuação da Vigilância em Saúde Ambiental envolvem a vigilância da qualidade da água para consumo humano, a vigilância da qualidade do ar, a vigilância de populações expostas a solos contaminados, os desastres naturais e acidentes com produtos perigosos, os fatores físicos (radiação ionizantes e não ionizantes) e os ambientes de trabalho.

Segundo Brasil (2002) a Vigilância em Saúde Ambiental deverá ser estruturada de maneira que os Sistemas de Informação da Vigilância Epidemiológica trabalhem em conjunto com os bancos de dados de saúde do Brasil, de modo a assegurar que o cruzamento das informações entre os sistemas possibilite a construção dos indicadores em saúde ambiental.

Um sistema de informação é um conjunto de elementos organizados capaz de gerar subsídios para a tomada de decisões relacionadas às ações voltadas para o meio ambiente e a saúde. De acordo com Brasil (2002), um sistema de informação, de interesse da vigilância ambiental, deve incluir informações tais como fontes de poluição, degradação ou poluição da água, ar e solo; instituições responsáveis pelo abastecimento e qualidade de água, coleta e disposição final dos resíduos sólidos, esgotos, controle de qualidade de alimentos, entre outros.

O levantamento de dados para a construção do sistema de vigilância ambiental poderá ocorrer através de diversas fontes, dentre as quais, a informação

---

<sup>2</sup> Mal ou prejuízo à saúde de um ou mais indivíduos, de uma coletividade ou população.

científica gerada e/ou publicada, informação de serviços e/ou instituições, sistemas de notificação de agravos e outros sistemas de vigilância.

## 2.2 Saneamento básico

No Brasil, a Lei Federal nº. 11.445/2007 define o saneamento básico como sendo o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Portanto, um conjunto de ações que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover saúde.

A ausência ou ineficiência dos serviços de saneamento pode favorecer o aparecimento de diversas doenças, dentre as quais se destacam a doença diarreica aguda (DDA), parasitas intestinais, infecção dos olhos e da pele, entre outras (HELLER, 1997; COSTA et al., 2005). Dependendo da vulnerabilidade<sup>3</sup> individual, o processo de adoecimento poderá se manifestar variando desde os subclínicos (que envolvem apenas alguma perda de bem-estar) até os mais graves em que, mediante condições extremas, podem resultar em óbito (BRASIL, 2011).

No entanto, a relação entre saneamento básico e saúde é caracterizada por uma interpretação complexa e subjetiva, ou seja, há imprecisão em estabelecer se os efeitos adversos são diretamente associados com a exposição à determinada condição ambiental. Mas é interessante considerar a importância da aplicação das políticas sociais e econômicas, direitos observados na Constituição brasileira de 1988, a qual dispõe que o acesso à saúde deve ser universal, e, neste sentido, o Sistema Único de Saúde tem a atribuição de "participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico", considerando, inclusive, os princípios da universalidade, da integralidade e da equidade (BRASIL, 2000).

Contudo, em relação aos demais serviços de saneamento, o abastecimento de água e o esgotamento sanitário se destacam em razão da abrangência sanitária que representam. Até a década de 1970, esses serviços eram de responsabilidade de empresas municipais, estas, com estruturas administrativas e financeiras

---

<sup>3</sup> define-se por exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação (Fonseca e Torres, 2006).

inteiramente distintas entre si. Isto acarretava em uma oferta insuficiente de serviços. Além disso, não existiam instituições (órgãos, recursos financeiros, planejamento) para ampliação da oferta na escala necessária, considerando os índices de crescimento populacional e de urbanização.

Para atender à demanda dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, no ano de 1968, foi criado o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que teve sua implementação dois anos mais tarde, com apoio financeiro do Banco Nacional da Habitação (BNH), do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) e das companhias estaduais de saneamento (CESBs). No entanto, a expansão da cobertura desses serviços ocorreu de modo desigual, pois foram privilegiados os investimentos em abastecimento de água, por representarem menores gastos e propiciarem retornos mais rápidos através de tarifas.

Embora tenha ocorrido uma significativa expansão dos serviços em todo o território nacional, o Planasa favoreceu as regiões mais ricas do Sul e Sudeste do País, concentrando a maior parte dos investimentos nas cidades mais populosas e, nestas, nos segmentos de maior poder aquisitivo.

Nos níveis estadual e municipal, as ações de saneamento são realizadas por órgãos com diferentes formatos institucionais e administrativos. Em cada estado da federação encontram-se as companhias estaduais de saneamento, responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de água.

### **2.3 Qualidade da água**

No passado, período em que as pessoas ainda não relacionavam o consumo da água com algumas doenças, acreditava-se que aparência limpa, clara, insípida e inodora representava água de qualidade. No entanto, a partir do aprimoramento tecnológico, bem como a vinculação entre algumas doenças e o consumo de água, foi possível desenvolver técnicas de tratamento visando torná-la potável, assim definida como aquela que atende ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde (BRASIL, 2011).

O comportamento das doenças relacionadas com a água é de interesse no campo de investigação epidemiológica, uma vez que algumas situações detectadas representam risco iminente à saúde da população, dentre os quais os decorrentes

de hábitos higiênicos precários, assim como ausência de conformidade com o padrão de potabilidade previsto na legislação vigente.

O consumo de água de má qualidade representa um fator de risco que envolve a relação direta entre o ambiente e a população exposta. É condição imperativa para afetar a saúde individual ou coletiva. Provoca efeitos negativos, que são as manifestações na população, variando em sua proporção e intensidade. Constitui fator preponderante na propagação de doenças a exemplo da cólera, responsável por epidemias e surtos ocorridos no Brasil e em outros países do mundo. Segundo o Guia de Vigilância Epidemiológica (BRASIL, 2002), epidemias e surtos podem ser definidos da seguinte forma:

- Epidemias: elevação do número de casos de uma doença ou agravo, em determinado lugar e período de tempo, caracterizando de forma clara um excesso em relação à frequência esperada;
- Surtos: tipo de epidemia em que os casos se restringem a uma área geográfica pequena e bem delimitada ou a uma população institucionalizada (creches, quartéis, escolas, entre outros).

Enfatizando a importância do controle e prevenção dos agravos à saúde associados ao consumo de água, Pádua (2009) considera promissora a aplicação da metodologia de Análise de Risco<sup>4</sup> (AR), devido ao seu caráter preventivo. Nesse contexto, a descrição do sistema de abastecimento e suas vulnerabilidades favorece o processo decisório que envolve as intervenções relacionadas com o controle, enquanto os riscos levantados tendem a ser eliminados, minimizados ou mesmo estabelecidos como toleráveis (PÁDUA, 2009).

### **2.3.1 Padrão de potabilidade**

Em termos gerais, é considerada água potável aquela que atende ao padrão de potabilidade e pode ser consumida sem riscos à saúde. Portanto, deve atender

---

<sup>4</sup> Conhecimento e descrição de fatores, agentes ou situações que podem determinar a ocorrência de eventos indesejáveis.

aos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos estabelecidos na Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

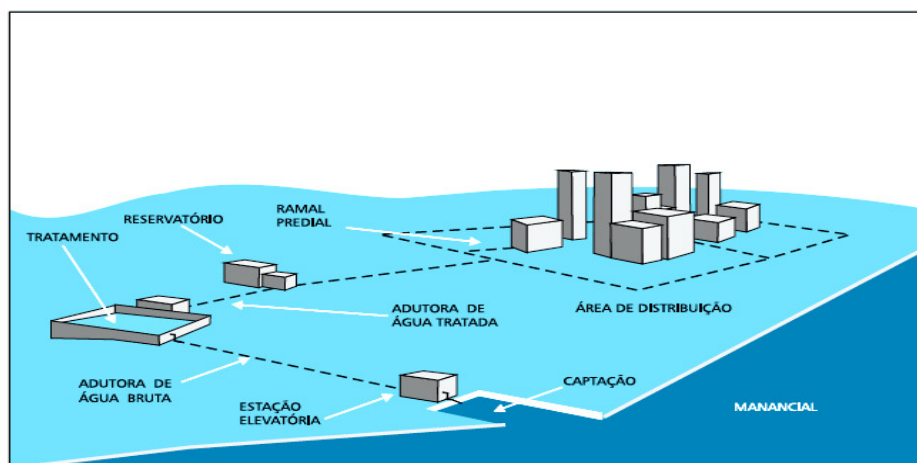
Objetivando o cumprimento da legislação brasileira em vigor, a água destinada ao abastecimento público é submetida ao tratamento, baseado em processos físicos, químicos ou combinação destes.

O padrão de potabilidade brasileiro é composto por 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 potabilidade da água é aferida pela observação, simultaneamente, dos valores máximos permitidos (VMP – concentrações limites) estabelecidos para cada parâmetro (BRASIL, 2006).

#### **2.4 Sistema de abastecimento de água**

O sistema de abastecimento de água para consumo humano é definido, conforme a Portaria 2.914/2011 como sendo uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, através de rede de distribuição, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão. Os sistemas de abastecimento convencional são providos das seguintes unidades: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição (Figura 1).

**Figura 1** – Esquema geral de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. (BRASIL, 2006).

#### 2.4.1 Manancial

O manancial é a primeira garantia de qualidade da água, é dele que se retira a água que abastecerá o sistema e pode ser classificado nas categorias: superficial (rios, represas ou lagos) e subterrâneo (águas de lençol freático ou confinado).

Em termos quantitativos, é importante que a escolha do manancial considere a disponibilidade de água, incluindo séries históricas de vazão, para que o projeto possa atender à demanda presente, sem tornar-se insuficiente às gerações futuras (PARSEKIAN, 1998). No que se refere à qualidade da água bruta, consideram-se relevantes informações sobre variações sazonais entre períodos de chuva e estiagem, situação esta, que exige maior atenção na operação da estação de tratamento de água.

Embora os mananciais superficiais, a exemplo das barragens, apresentem uma água de boa qualidade em termos de partículas em suspensão (turbidez), estas podem apresentar variações significativas durante as diferentes épocas do ano. Contudo, estão mais sujeitos ao fenômeno da eutrofização<sup>5</sup>, ambiente propício para a proliferação de algas e cianobactérias. Assim, toda água para consumo humano,

<sup>5</sup> Processo pelo qual um ecossistema aquático apresenta elevadas concentrações de nutrientes (principalmente compostos fosfatados e nitrogenados).

suprida por este tipo de manancial e distribuída por canalização, deve incluir tratamento por filtração (BRASIL, 2007).

As águas subterrâneas, apesar de mais bem protegidas na maioria das vezes, também podem estar sujeitas a contaminação por infiltrações de esgotos e elementos tais como ferro, manganês, arsênico e fluoretos.

Contudo, normalmente no tratamento dessas águas, é dispensada a etapa de clarificação, tendo em vista os baixos níveis de turbidez encontrados. Sendo requerido, geralmente, apenas o processo de desinfecção.

#### **2.4.2 Captação**

Entende-se por captação o conjunto de estruturas construídas junto a um manancial para a tomada de água. Existem duas principais formas: a primeira se dá através da captação de águas subterrâneas, enquanto a segunda através da captação de águas superficiais (BRASIL, 2006).

#### **2.4.3 Adução**

A adução é feita através de um conjunto de canalizações destinadas a conduzir água entre as diversas unidades do sistema, contemplando desde o ponto de captação, até a estação de tratamento e desta para o sistema de distribuição (BRASIL, 2006). As adutoras podem ser classificadas em adutora de água bruta, que transporta água da captação até a ETA, e adutora de água tratada, que transporta água da ETA até o sistema de distribuição.

É importante ressaltar que no percurso do sistema adutor não ocorre consumo, ou seja, não existem ligações prediais. Existe também a subadutora, que consiste na canalização que provém de uma adutora e abastece um determinado setor.

Quanto à energia utilizada para a movimentação da água, a adutora pode ser por gravidade em conduto livre, em que a água escoar sempre em declive, mantendo uma superfície livre sob o efeito da pressão atmosférica. Por gravidade em conduto

forçado, em que a pressão interna permanece superior à pressão atmosférica, permitindo que a água se movimente em ambos os sentidos, descendente ou ascendente, graças à existência de uma carga hidráulica.

Além da existência de adutora por recalque, que consiste no emprego de equipamento de recalque (conjunto moto-bomba e acessórios).

#### **2.4.4 Estação elevatória**

Segundo Brasil (2006), a estação elevatória é composta por instalações de bombeamento projetadas para o transporte da água até os pontos mais distantes ou elevados. Comumente encontrada nas unidades de captação e adução, mas pode ser necessária bem em pontos intermediários do sistema.

#### **2.4.5 Estação de tratamento de água**

Do ponto de vista da qualidade da água, a Estação de Tratamento de Água (ETA) é a unidade fundamental do sistema, pois nela é levado a efeito todo o processo necessário para adequar a água bruta ao padrão de potabilidade. Para o tratamento de água de mananciais superficiais, a maioria das ETA's apresenta um sistema convencional, que consiste na combinação das etapas de clarificação, desinfecção e controle de corrosão.

A clarificação tem por objetivo remover a turbidez da água, o que oferece uma adequada aparência estética e contribui para a redução de microrganismos, além de melhor desempenho na desinfecção. Deste modo, os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, geralmente presentes em estações convencionais (Figura 2), são fundamentais para a remoção de sólidos presentes na água (BARROS et al., 1995).



**Figura 2** – Etapas do processo de tratamento convencional de água.



Fonte: SAAE, Aracruz, 2006.

Segundo Vianna (1997) a coagulação é resultante de uma série de processos físicos e químicos que envolvem os coagulantes, a superfície das partículas, algumas substâncias químicas presentes na água (as que conferem alcalinidade), e a própria água. O coagulante químico mais utilizado nas ETA's brasileiras é o sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$ , pois trata-se de um mineral abundante, de baixo custo e de fácil manuseio.

A coagulação corresponde ao processo de desestabilização das partículas coloidais formando coágulos que, ao aglutinarem-se, dão origem aos flocos (VIANNA, 1997), caracterizando o processo de floculação.

A decantação consiste na ação gravitacional usada para separar partículas mais densas que a água, as quais tendem a sedimentar no interior do reservatório. Sedimentados os flocos, a água denomina-se decantada (RICHTER E NETTO, 2001; VIANNA, 1997).

Posteriormente à decantação, a água em tratamento é conduzida aos filtros. É na filtração que as partículas que não decantaram são removidas. Segundo a FUNASA (2006), o processo consiste em fazer com que a água atravesse uma camada filtrante para remoção das impurezas físicas e algumas biológicas. Para isto, o filtro de areia ainda é mais comumente utilizado, principalmente, devido ao baixo custo.

De acordo com Vianna (1997) existem diferentes tipos de filtros, projetados para atender diversas formas de tratamento da água. Consistindo na filtração de fluxo descendente aquela que é realizada através de filtros lentos ou filtros rápidos,

e a filtração de fluxo ascendente por meio de filtros lentos ascendentes ou filtros rápidos ascendentes. Embora a eficiência da filtração esteja relacionada com as características da suspensão, do meio filtrante, da hidráulica do sistema e ocorrência de algas ou outros microrganismos aderidos ao meio filtrante, os filtros rápidos de fluxo descendente são os mais utilizados em estações clássicas de tratamento de água e consistem na operação introduz a água na parte superior do filtro, a qual percola através do leito filtrante, atravessa o fundo falso, e finalmente é encaminhada ao reservatório de água filtrada.

Após a etapa de filtração, se faz necessário o uso da desinfecção para que suprima totalmente os microrganismos ainda presentes. Para isto, são introduzidos produtos químicos, dentre os quais o mais habitual é o cloro, pois, em qualquer dos seus diversos compostos, destrói ou inativa os organismos causadores de doenças ao ser humano, sendo de aplicação simples, com utilização de equipamentos de baixo custo, bem como relativamente seguro ao homem nas dosagens adequadas para a desinfecção da água, além de fornecer uma quantidade residual que contribui para proteger a água de posteriores contaminações. No entanto, como opção também podem ser empregados ozônio, dióxido de cloro e radiação ultravioleta. Além disto, o tratamento da água deve assegurar que a mesma não seja corrosiva ou incrustante, de modo a preservar os componentes do sistema de abastecimento.

Enfim, à água tratada também devem ser adicionados compostos de flúor, considerando que, segundo Barros (1995), trata-se de uma medida de saúde pública que visa diminuir a incidência de cárie dentária na população infantil.

#### **2.4.6 Reservatórios de distribuição**

Segundo Brasil (2006), os reservatórios de distribuição são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água, que ficam localizados em pontos estratégicos do sistema com o objetivo de atenderem às variações de consumo ao longo do dia, mantendo a continuidade do abastecimento da população em eventuais paralisações da produção de água, bem como garantir pressões adequadas na rede de distribuição.

De acordo com a localização no terreno, os reservatórios classificam-se como elevados (construídos sobre pilares quando há necessidade de aumentar a pressão em consequência de condições topográficas), apoiados, enterrados e semi-enterrados, construídos sobre o solo, abaixo do solo e parte abaixo do solo, respectivamente.

De acordo com a localização no sistema, o reservatório pode ser de montante, situado no início da rede de distribuição, sendo sempre fornecedor de água para a rede, ou reservatório de jusante, situado no extremo ou em pontos estratégicos do sistema, podendo, alternadamente, fornecer ou receber água da rede de distribuição.

Os reservatórios devem ser estrategicamente localizados, no intuito de manter o equilíbrio entre pressões estáticas máximas e pressões dinâmicas mínimas. Pressões estáticas referem-se ao nível máximo do reservatório quando a rede não está em funcionamento. Pressões dinâmicas são as pressões nos pontos da rede de distribuição estimadas a partir do nível mínimo do reservatório, descontadas as perdas de carga que ocorrem durante o movimento da água nas tubulações (BRASIL, 2006).

No caso de uma demasiada pressão, poderá ocorrer rompimento da tubulação e possibilidade de desperdício e contaminação. Por outro lado, uma pressão insuficiente dificultará que a água chegue aos pontos mais altos e, ou distantes, contribuindo também para a contaminação (OGATA, 2011).

#### **2.4.7 Rede de distribuição**

A rede de distribuição é constituída por conjunto de tubulações interligadas, instaladas ao longo do subsolo das vias públicas, conduzindo a água tratada até os pontos de consumo. As tubulações podem ser conectadas de modo a formar uma rede ramificada ou em malha.

Na rede de distribuição ramificada há um conduto principal longitudinal que se ramifica para ambos os lados. A vantagem deste tipo de rede consiste na economia do projeto, uma vez que requer uma menor quantidade de tubos e elementos acessórios. No entanto, pelo fato do escoamento ser unidirecional, qualquer ruptura dos condutos interrompe todo o fornecimento de água a jusante, além da tendência

em acumular sedimentos nas pontas de rede, em razão das baixas velocidades do escoamento.

A rede em forma de malha constitui um conjunto de canalizações que formam um circuito fechado e que favorece a limpeza, diminuindo a formação de biofilmes. Sob o ponto de vista hidráulico, possui escoamento bidirecional, além de não ser composta apenas por tubos e conectores, integrando também peças especiais que permitem a sua funcionalidade e operação, tais como válvulas de manobra, ventosas, descargas e hidrantes. Assim, no caso de danos aos condutos hidráulicos é possível isolar uma determinada zona da rede de distribuição de água, através do fechamento de um conjunto de válvulas, sem que os demais consumidores tenham seu fornecimento afetado, o que lhe confere à rede em forma de malha, uma maior fiabilidade.

## **2.5 Plano de segurança da água**

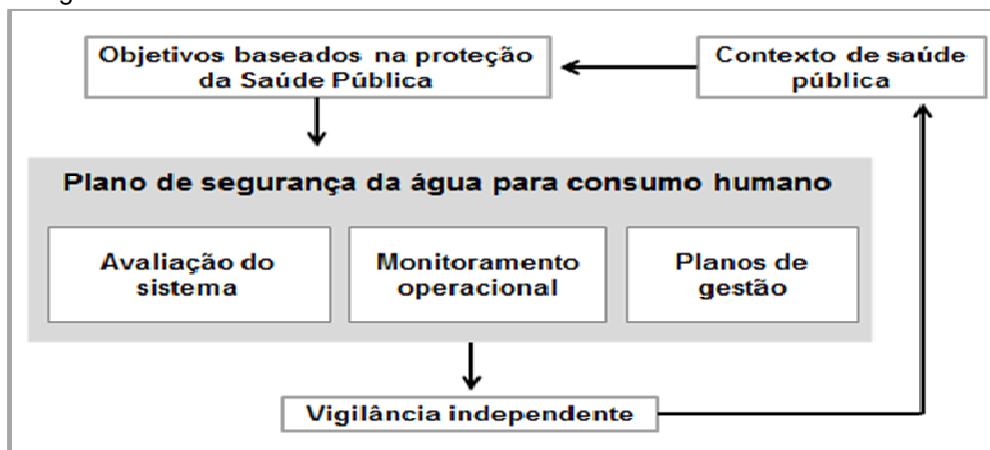
Recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), o Plano de Segurança da Água (PSA) é um instrumento que deve ser elaborado e aplicado pelo produtor de água, com o qual se pretende aprimorar a metodologia de controle de qualidade da água. Essa proposta pode ser ajustada conforme a instituição e os diversos tipos de sistemas de abastecimento de água para consumo humano.

O PSA representa um instrumento de identificação das possíveis falhas no sistema de abastecimento de água, desde o ponto de captação até a distribuição. Seus objetivos incluem a redução de contaminantes no manancial, eficiência no processo de tratamento e a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e a distribuição da água; tais medidas reduzem os riscos e contribuem para a qualidade da água.

Do ponto de vista dos riscos à saúde, a avaliação do sistema de abastecimento de água para consumo humano é recomendada pela Portaria MS nº 2.914/2011, orientada por WHO (2005) e defendida por Vieira (2005), sendo adotado um quadro de referência para o abastecimento de água segura para consumo humano (Figura 3), o qual contempla cinco etapas importantes:

- O estabelecimento de objetivos para a qualidade da água destinada ao consumo humano, com base nos aspectos de saúde;
- A avaliação do sistema (do manancial até a distribuição) a fim de determinar se o sistema possui capacidade para atingir os objetivos propostos de proteção à saúde;
- A identificação de medidas de controle que garantam o controle dos riscos na perspectiva de saúde pública, envolvendo o monitoramento operacional;
- A preparação de planos de gestão. Este componente inclui a elaboração dos planos de monitoramento e comunicação;
- O funcionamento de um sistema de vigilância independente.

**Figura 3** – Quadro de referencia para o estabelecimento da segurança da qualidade da água.



Fonte: Adaptado, WHO, 2005.

Considerando que a abordagem tradicional de controle da qualidade da água para consumo humano resume-se às análises laboratoriais, com técnicas demoradas e lentidão no alerta dado à população, a implantação do PSA presta benefícios relevantes aos sistemas de abastecimento de água para consumo humano, contribuindo para uma produção de água com qualidade (VIEIRA, 2005).

## 2.6 Controle e vigilância da qualidade da água de abastecimento

Os termos Controle e Vigilância da água para consumo humano foram adotados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e encontram-se definidos na legislação brasileira, através da Portaria 2.914/2011.

Controle é o conjunto de atividades exercidas pelo responsável pela operação do sistema de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição. No Brasil, o controle, comumente é realizado pela companhia estadual de saneamento, autarquia municipal, prefeitura ou empresa privada. No caso do não atendimento às condições satisfatórias de qualidade, ações corretivas poderão ser demandadas pelo setor saúde aos responsáveis pela prestação de serviços de fornecimento e tratamento da água (BRASIL, FUNASA, 2002).

De maneira concisa a Portaria nº 2.914/2011 apresenta atividades inerentes ao Controle da Qualidade da Água que devem ser observadas sob uma perspectiva que incorpora e adota boas práticas em todos os componentes do sistema, desse modo é importante:

- Manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, no histórico das características da água do manancial, nas particularidades físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.
- Requerer as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento (em conjunto com os órgãos ambientais) e, sempre que houver indícios de risco à saúde, notificar imediatamente a autoridade de saúde pública.
- Manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública. Assim como, mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água, visando adotar as providências pertinentes.

- Disponibilizar informações aos consumidores sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório com periodicidade mínima anual.

A vigilância, no entanto, tem a finalidade de verificar se a água distribuída pelo sistema de abastecimento atende à norma brasileira, avaliando os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana. Nesse contexto, a vigilância corresponde ao conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, sob o encargo do Ministério da Saúde, por intermédio das secretarias estaduais.

Cabe ao setor saúde, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água, mediante as diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS).

Quando pertinente ao consumo da água fornecida pelo sistema de abastecimento, os casos considerados de risco à saúde deverão ter a intervenção das Secretarias Estaduais de Saúde, no sentido de encaminhar aos responsáveis pelo abastecimento, quaisquer informações referentes a investigações de surto relacionado à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

O termo vigilância pode ser entendido como uma avaliação frequente de vários aspectos, com o objetivo de identificar riscos potenciais à saúde humana, permitindo formas de intervenção ou controle, assumindo caráter rotineiro e preventivo (CARMO et al., 2008). Quando relacionada à água para consumo humano, o caráter preventivo representa um grande desafio para os responsáveis pela vigilância, devido à condição dinâmica da água, as ações precisam ser realizadas ao mesmo tempo em que a água é captada, distribuída e consumida.

## **2.7 Indicadores Sentinelas e Auxiliares**

O termo “indicador” é oriundo do latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar. O indicador comunica ou informa sobre o avanço em direção a uma determinada meta, sendo utilizado como um recurso capaz de deixar

mais perceptível uma tendência ou fenômeno, que por meio de dados isolados não seria detectável (BELLEN, 2005).

Um indicador é composto de um conjunto de dados ou variáveis que, submetidos a análises estatísticas, no caso dos indicadores quantitativos, informam acerca de um determinado fenômeno ou evento. Nesse caso, o próprio indicador torna-se um tipo de informação. Uma das características que colaboram para a utilização dos indicadores é a sua capacidade de síntese, sendo possível simplificar informações relevantes, tornando-as acessíveis e contribuindo nos processos de gestão, planejamento e tomada de decisões.

Segundo Costa et al.(2002) o conceito do termo “sentinelas” é utilizado em analogia às chamadas Fontes Sentinelas e aos Sistemas de Vigilância Sentinela bastante utilizados na Epidemiologia. Segundo a FUNASA (1998), fontes sentinelas, quando bem selecionadas, são capazes de assegurar representatividade e qualidade às informações produzidas, ainda que não se pretenda conhecer o universo de ocorrências.

Segundo a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, Sistemas de Vigilância Sentinela têm como objetivo monitorar indicadores chaves na população geral ou em grupos especiais, que sirvam como alerta precoce para o sistema, não tendo a preocupação com estimativas precisas de incidência ou prevalência da população geral. O termo sentinela, utilizado para os indicadores sanitários, analogamente, pretende conferir aos mesmos a condição de instrumento de identificação precoce de situações de riscos em relação à água consumida pela população, que podem resultar em doenças, passíveis de prevenção e controle com medidas de saneamento básico (BRASIL, 2006).

A referida Diretriz Nacional estabelece como “indicadores sentinelas” os parâmetros *cloro residual livre e turbidez* (BRASIL, 2006). Tendo em vista a relação com a desinfecção da água, podem-se ter como indicadores auxiliares os parâmetros *cloro residual combinado e pH* nas ações de Vigilância e Controle da Qualidade da Água de Consumo Humano.



### **2.7.1 Cloro residual livre**

O cloro é o desinfetante mais amplamente utilizado em sistemas públicos de abastecimento. A explicação para isto, segundo Sanches (2003), se dá em virtude do seu baixo custo, seu simples manuseio e por deixar um residual ativo na água. Age na água de duas maneiras: como desinfetante, inativando o crescimento bacteriano, e como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes.

Contudo, a ação do cloro dependerá de algumas características, tais como: sua concentração na água, forma como se apresenta (residual ou combinado), o tempo de contato, temperatura da água, o pH da água e a turbidez da água.

Quando o cloro é adicionado à água, parte é consumida durante o tratamento, enquanto a outra parte se mantém como “cloro residual livre” que, segundo Rossin (1987) é a soma das concentrações do ácido hipocloroso (HOCl) e do íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). Entretanto, o efeito do ácido hipocloroso se diferencia das demais formas de cloro, além de possuir uma ação bactericida 80 vezes mais eficaz que o íon hipoclorito (GRAY, 1996).

#### **2.7.1.1 Cloro residual livre como indicador sentinela**

O cloro residual livre constitui um indicador essencial da qualidade microbiológica da água para consumo humano. Considerando que o cloro pode sofrer decaimento ao longo de toda a rede de distribuição e aumentar as chances de eventuais contaminações, a Portaria nº. 2.914/2011 recomenda a manutenção obrigatória mínima de 0,2 mgCl<sub>2</sub>/L e teor máximo de 2,0 mgCl<sub>2</sub>/L, em qualquer ponto da rede de distribuição.

#### **2.7.2 Turbidez**

A turbidez da água é uma característica resultante da presença de partículas suspensas, que podem ser de origem orgânica ou inorgânica, opondo-se a transparência da água.

A estética desagradável de uma água turva pode causar rejeição por parte dos consumidores, uma vez que, frequentemente, atribui-se boa qualidade à água de aparência límpida. Entretanto, o fator puramente estético não representa o único atributo da turbidez, porquanto ela também assume função de indicador sanitário (BRASIL, 2006).

A legislação brasileira estabelece a turbidez como mais um indicador sentinela, uma vez que, turbidez elevada indica possível falha em algum processo de tratamento, o que dificulta a desinfecção da água. Neste caso, as partículas em suspensão atuam como camada protetora para os organismos patogênicos, ocasionando inclusive, em maior demanda de cloro.

A Portaria nº 2.914/2011 do MS estabelece que o Valor Máximo Permitido (VMP) é de 1,0 UT (Unidade de Turbidez) para água subterrânea desinfetada e água filtrada (filtração rápida) após tratamento convencional ou filtração direta. Para água resultante de filtração lenta o Valor Máximo Permitido é 2,0 UT. Para consumo humano, o padrão de aceitação estabelece 5,0 UT.

### **2.7.3 Cloro residual combinado**

Na existência de amônia e compostos amoniacais na água de abastecimento, quando o cloro é adicionado, são formados compostos clorados denominados cloraminas e que apresentam baixo poder desinfetante. Deste modo, denomina-se cloro residual combinado o cloro presente sob a forma de cloraminas (OPAS, 1987; ROSSIN, 1987).

O cloro sob a forma de ácido hipocloroso reage com a amônia presente na água e forma monoclорamina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ), cujas frações dependerão da relação entre a dosagem de cloro aplicado e o nitrogênio amoniacal presente ( $\text{Cl}_2/\text{NH}_4^+$ ), do pH, da temperatura e do tempo de reação (ROSSIN, 1977). Em valores de pH mais baixos, as reações tendem a ser mais rápidas, o que favorece a formação de derivados mais clorados (VAN BREMEM, 1984).

Durante a distribuição da água tratada, as cloraminas servirão como uma reserva de cloro, contribuindo para prevenir a recontaminação da água ao longo da rede.

#### **2.7.4 pH**

Considerado um parâmetro importante na área do abastecimento público de água, o pH varia na faixa de 0 a 14, sendo uma expressão da concentração de íons hidrogênio e empregado para expressar a intensidade das condições ácidas ou básicas de uma solução. As alterações do pH da água bruta podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênicas (despejos domésticos e industriais). Contudo, no sistema de distribuição, o pH deve ser medido e ajustado sempre que necessário, pois o não atendimento da faixa entre 6,0 a 9,5, recomendada pela Portaria nº 2.914/2011 MS, interfere na coagulação química e na desinfecção durante os processos de tratamento. Contudo, a acidez da água favorece a corrosão, enquanto sua basicidade é responsável pela incrustação das tubulações (BRASIL, 2011; BRASIL, 2006).

#### **2.7.5 Bactérias Heterotróficas**

As bactérias heterotróficas são microrganismos capazes de metabolizar carbono orgânico. Muito embora não sejam considerados patogênicos, desempenham a função de indicador auxiliar da qualidade da água e, no sistema de distribuição de água, podem fornecer informações adicionais e relevantes sobre: eventuais falhas no processo de tratamento, incluindo a remoção de turbidez e desinfecção, integridade e limpeza do sistema de distribuição, bem como a existência da formação de biofilmes nesse sistema (BRASIL, 2006).

A formação de biofilmes pode ser favorecida, dentre outros fatores, pela temperatura elevada, estagnação de água em pontas de rede, disponibilidade de nutrientes ou em baixas concentrações de desinfetante residual.

Adicionalmente, a contagem de bactérias heterotróficas é utilizada no controle de qualidade das análises de coliformes, uma vez que elevadas densidades de bactérias podem inibir o crescimento dos coliformes em meios de cultura à base de lactose (BRASIL, 2006).

Segundo disposições da Portaria Nº 2.914/2011, a contagem de bactérias heterotróficas não deve ultrapassar 500 UFC/ml. No caso de alterações bruscas ou

acima do usual na contagem de bactérias heterotróficas, essas devem ser investigadas e providências adotadas para o restabelecimento da integridade do sistema de distribuição (BRASIL, 2011).

### **2.7.6 Coliformes Totais**

Bactérias do grupo dos Coliformes totais, em geral, são anaeróbias facultativas, bastonetes gram-negativos e não formadores de esporos. Capazes de fermentar a lactose com produção de gás em 24-48 horas, à temperatura de 35°C. No grupo podem ser encontradas bactérias originárias do trato intestinal, habitam no solo e nos vegetais, podendo inclusive, se multiplicar na água com certa facilidade (ZULPO et al., 2006).

Consideradas indicadores da qualidade microbiológica da água, segundo a Portaria Nº 2.914/2011, na saída da ETA as bactérias do grupo coliforme podem indicar a eficiência do tratamento e, no sistema de distribuição indicar a integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede). Sendo que, a presença destas indica contaminação da água e sua ausência representa uma água, sob o ponto de vista microbiológico, adequada para o consumo humano, ou seja, que não oferece riscos à saúde. Para o atendimento aos padrões, deve haver ausência de Coliformes totais em 100 ml das amostras na saída do tratamento e em sistemas de distribuição que abastecem a partir de 20.000, ausência em 100 ml de 95% das amostras analisadas no mês.

### **2.8 Definições de risco**

O termo “risco” tem sido aplicado em diferentes áreas do conhecimento, dentre elas, algumas designações são aplicadas, tais como: riscos para a saúde humana, riscos ambientais, tecnológicos, epidemiológicos, industriais, acidentais e ecológicos. Dependendo do foco dado ao assunto explorado, o risco pode assumir variadas abordagens, mas embora não haja um consenso na literatura com relação à definição do termo risco, a ideia comum geralmente é norteadada na possibilidade da incidência de algo negativo.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) risco é a combinação da probabilidade de um evento e de suas consequências. Entretanto, ao abordar o risco, é importante diferenciar as terminologias risco e perigo, atualmente muito empregadas em avaliação de risco. Embora no discurso corriqueiro, tais palavras sejam relacionadas como sendo de significado equivalente, todavia, no meio científico conceituam-se distintamente (BRASIL, 2006).

Risco é a intensidade do dano, a exemplo de uma enfermidade resultante da exposição a um perigo, por exemplo, uma água para consumo humano pode representar um perigo caso contenha agentes patogênicos, contudo, a sua distribuição à população constitui um risco (BRASIL, 2006), demonstrado através da quantidade de pessoas que podem ser afetadas de maneira nociva.

Contrariamente ao risco, o perigo pode ser representado por um agente físico, químico ou biológico, apresentando efeito adverso que decorre de quaisquer circunstâncias nocivas e negligenciadas, com capacidade de potencializar os danos à saúde (FISCHER & GUIMARÃES, 2002).

## **2.9 Análise de risco em sistemas de abastecimento de água**

Considerando a importância dos sistemas de abastecimento de água para promoção da qualidade de vida da população, faz-se necessário introduzir a gestão e o planejamento para implantação ou ampliação dos sistemas de abastecimento de água potável, de modo que possa suprir a demanda adequada de água, incluindo a avaliação dos riscos associados ao projeto de expansão. A análise de risco (AR) é definida por Colle (2008) como sendo uma metodologia que identifica as possíveis falhas do sistema, bem como a magnitude das consequências resultantes da falha. No sistema de abastecimento de água, através da análise de risco é possível quantificar e qualificar os fatores ou perigos associados, adotando medidas mitigadoras<sup>6</sup> que reduzam o risco.

---

<sup>6</sup> Atuam sobre as condições que cercam o evento de risco de maneira a reduzir as chances de sua ocorrência e extensão do seu impacto.

A análise de risco é um processo composto de três etapas: avaliação de risco, gerenciamento de risco e comunicação de risco. Cada etapa com uma função distinta, porém desenvolvidas de maneira estruturada, integrada e sequencial.

Na avaliação de risco são estimadas a probabilidade e a magnitude do evento, por período determinado. Trata-se de um procedimento que inclui as etapas descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Etapas da avaliação de risco

Etapas	Objetivos
Identificação de perigos	Identificar substâncias, situações, procedimentos ou falhas de operações. Considerando a frequência dos eventos como informação necessária para o cálculo numérico do risco.
Relação dose-resposta	Análise da quantidade total de um agente capaz de gerar efeitos adversos em um grupo de organismos.
Avaliação de exposição	Análise da quantidade do agente no meio, vulnerabilidades da população exposta e a inferência de possíveis consequências que ele pode ter para esta população.
Caracterização do risco	Os dados gerados, argumentos e conclusões coletadas nas fases anteriores, são transformados em uma informação de fácil entendimento. Última etapa da avaliação de risco.

Fonte: Rodrigues, 2014.

O gerenciamento de risco é um processo de tomada de decisão por meio do qual uma ação ou política é desenvolvida no sentido de prevenir o risco e/ou reduzir o impacto dos eventos negativos. E quando aplicado aos sistemas de abastecimento de água, oferece a vantagem de avaliar o risco sob o aspecto do custo-benefício, determinando a importância dos riscos estimados para a população afetada. Além disso, auxilia no controle de emissão e exposição das ocorrências, colaborando para a melhoria desses sistemas (VIEIRA e MORAIS, 2005; RAZZOLINI e NARDOCCI, 2006).

Na última etapa, a comunicação de risco, inclui a troca interativa de informação entre os grupos interessados, imprensa e público em geral. Tal compartilhamento de informações é essencial para o conhecimento prévio da exposição aos riscos existentes. Assegurando o direito à informação, a população tem a oportunidade de adotar medidas de proteção que influenciam na saúde pública.

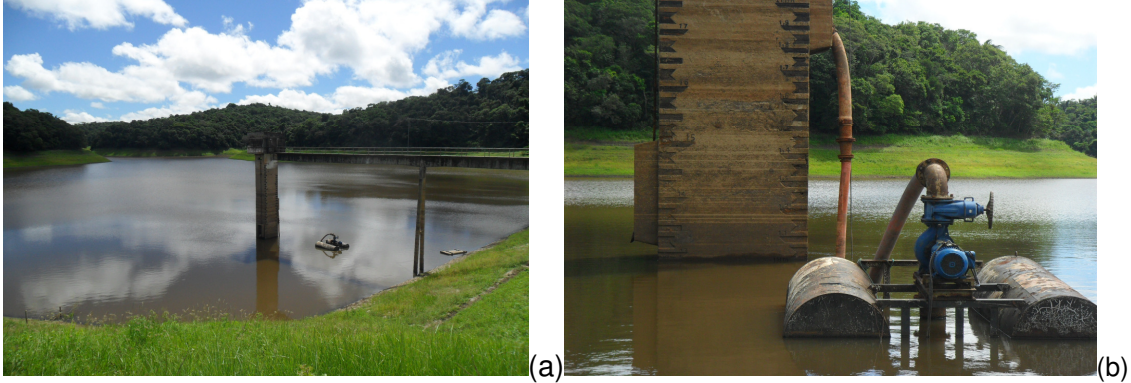
### 3.0 O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE ESPERANÇA

#### 3.1 Descrição do Sistema de Abastecimento

O abastecimento público da cidade de Esperança é operado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A água é captada do açude Vaca Brava, um manancial localizado no município de Areia – PB (Figura 4a), que tem capacidade de 3.783.556 m<sup>3</sup>. Entretanto, na época da pesquisa este manancial se encontrava com um volume médio de 1.030.800 m<sup>3</sup>, o que corresponde a 27,2 % de sua capacidade total.

Em virtude da diminuição de água acumulada no açude Vaca Brava, a captação passou a ser feita através de captação flutuante instalada no local (Figura 4b).

**Figura 4** – Vista do açude Vaca Brava (a) e detalhe da captação flutuante (b).



Fonte: A autora (2013)

A água do manancial é transportada por gravidade até a Estação Elevatória do Guarim (Areia-PB), posteriormente a água é bombeada até a ETA de Cepilho (Areia-PB), de onde é transportada por gravidade até a Estação Elevatória de Esperança, e finalmente transportada até a Estação de Tratamento de Esperança. O trajeto da água do manancial até a cidade de Esperança é ilustrado na Figura 5.

**Figura 5** – Transporte da água do açude Vaca Brava até a Estação Elevatória de Esperança.

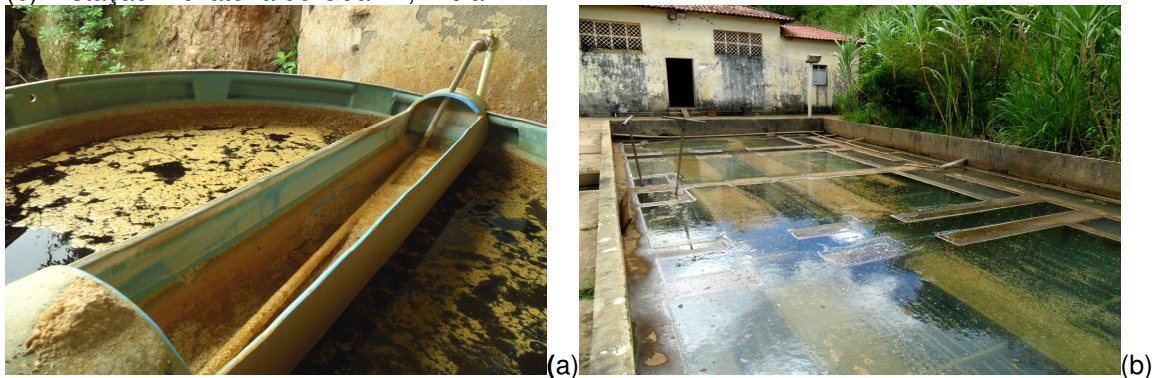


### ***Estação Elevatória do Guarim***

A água captada do manancial é transportada através de duas adutoras de 300 mm em ferro fundido, que percorrem uma distância média de 400 metros, onde desemboca em um canal de concreto subterrâneo, com 40 cm de largura e 60 cm de altura, construído ao longo da estrada até chegar a Estação Elevatória do Guarim, esta é responsável por captar e conduzir a água até a Estação de Tratamento do distrito de Cepilho, através de uma linha de recalque, com 300 mm de diâmetro de ferro fundido e 1.800 m de extensão.

A Estação Elevatória do Guarim está localizada em área rural do município de Areia – PB a cerca de 2 km do manancial Vaca Brava. Antes de ser conduzida, a água bruta recebe um tratamento prévio, consistindo na adição de coagulante e processo de filtração (Figura 6)

**Figura 6** – Tratamento preliminar da água: adição de Sulfato de Alumínio (a) e filtração (b). Estação Elevatória do Guarim, Areia – PB.



Fonte: A autora (2013)



### ***Estação de Tratamento de água do Distrito de Cepilho***

A água que chega à Estação de Tratamento localizada no distrito de Cepilho, município de Areia – PB (Figura 7a), parte é submetida ao tratamento convencional e armazenada no reservatório elevado, para ser distribuída à cidade de Remígio e aos distritos Lagoa do Mato (Remígio) e São Miguel (Esperança). Enquanto outra parte da água é reservada em um reservatório com capacidade de 1.008 m<sup>3</sup> (Figura 7b). Esta água é então transportada através de duas linhas adutoras em material PVC, com 200 mm cada, deslocando-se por gravidade a uma distância média de 7,74 km até o sítio Punaré localizado no município de Esperança, local de onde a água é bombeada para a Estação de Tratamento de Água de Esperança.

**Figura 7** – Estação de Tratamento de Água (a) e reservatório elevado (b) (Distrito de Cepilho, Areia PB).



Fonte: A autora (2013)

### ***Estação Elevatória (casa de bomba)***

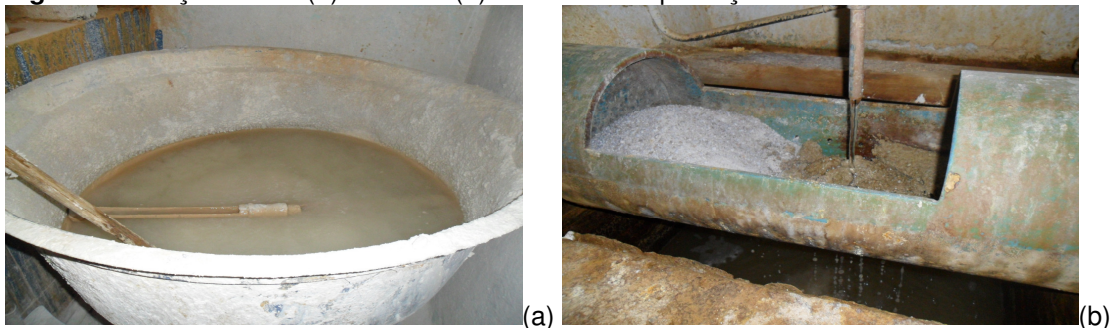
A Estação Elevatória fica localizada no sítio Punaré, município de Esperança, distante 1,24 km da ETA de Esperança e tem a finalidade de bombear a água recebida da ETA de Cepilho, transportando-a para a ETA de Esperança. O transporte é feito através de tubulação em material PVC, consistindo em duas linhas adutoras paralelas de 200 mm cada.

### ***Estação de Tratamento de Água de Esperança***

A Estação de Tratamento de Água de Esperança foi projetada para tratar uma vazão máxima de 102 m<sup>3</sup>/h. Aplica um tratamento convencional que dispõe de floculadores, dois decantadores, quatro filtros e tanque de contato.

A água que chega à ETA inicialmente recebe adição de cal e sulfato de alumínio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, conforme ilustrados na Figura 8.

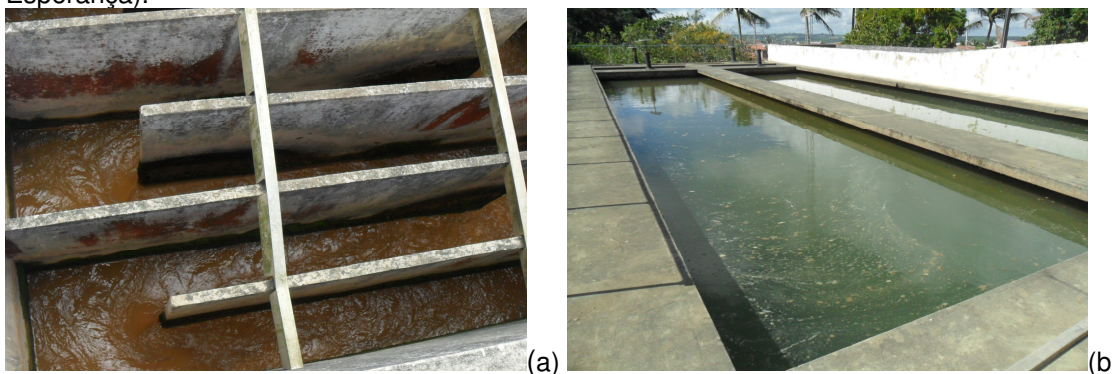
**Figura 8** – Adição de cal (a) e sulfato (b) na ETA de Esperança – PB.



Fonte: a autora (2013).

Após a introdução dos produtos químicos, a água é direcionada através do floculador hidráulico de chicanas horizontais (Figura 9a). Neste tipo de floculador, a agitação é assegurada pela passagem da água em tratamento por sucessivas mudanças horizontais de direção. Na etapa seguinte, a água é direcionada aos decantadores (Figura 9b). Os flocos resultantes da floculação sedimentam-se, contudo, a água isenta desses flocos é chamada de água decantada.

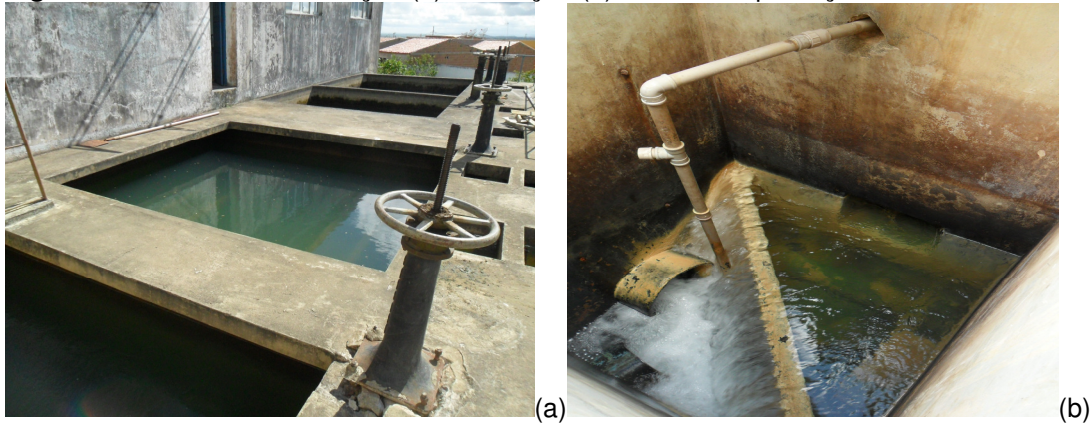
**Figura 9** – Floculador hidráulico de chicanas horizontais (a) e decantadores (b). (ETA de Esperança).



Fonte: A autora (2013)

Após a decantação, a água segue para os quatro filtros (Figura 10a) rápidos de fluxo descendente e, depois de filtrada, é realizada a desinfecção no tanque de contato (Figura 10b). Para esta última etapa, emprega-se o cloro gasoso.

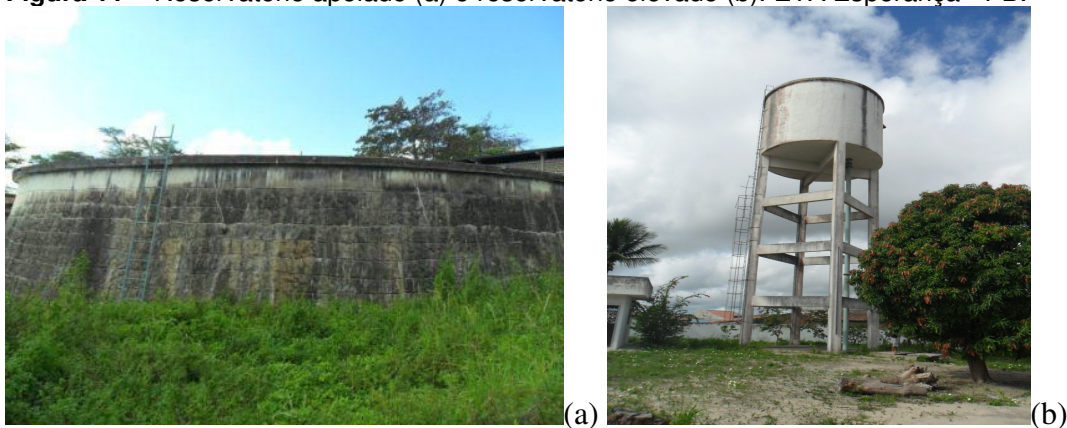
**Figura 10** – Processo de filtração (a) e cloração (b). ETA de Esperança - PB.



Fonte: A autora (2013).

A água pós-tratamento é armazenada em dois tipos de reservatório de distribuição, um apoiado com capacidade de acumulação de 1.000 m<sup>3</sup> (Figura 11a), e outro elevado com capacidade de acumulação de 350 m<sup>3</sup> (Figura 11b). No entanto, o sistema de abastecimento de Esperança não opera com reserva de água, esta é recebida diariamente, tratada e fornecida à população.

**Figura 11** – Reservatório apoiado (a) e reservatório elevado (b). ETA Esperança - PB.



Fonte: A autora (2013).



A distribuição de água na cidade de Esperança é feita através de sistema de manobras. O fornecimento de água é feito em dias alternados, abastecendo um setor de cada vez e por tempo limitado, dependendo da variação de consumo de cada localidade.

Entre os meses de outubro de 2012 e março de 2013, o abastecimento era feito durante cinco dias consecutivos e, interrompido em toda a rede por dois dias. A operação do abastecimento durante os sete dias semanais ocorreu somente a partir do mês de abril de 2013.

Através do reservatório apoiado é feito o abastecimento da parte baixa da cidade. Por meio do reservatório elevado é feito o abastecimento dos pontos mais altos da cidade, denominados de comunidades: Portal, Bela Vista e Umburanas. No entanto, para ambos os setores da cidade de Esperança, a distribuição geográfica também contribui para a intermitência do sistema, visto que o abastecimento é feito por gravidade e as localidades mais altas tendem a apresentar intervalos maiores entre os fornecimentos de água.

O sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança foi implantado na década de 1970, através do convênio entre a CAGEPA, o Banco Nacional de Habitação e a Prefeitura Municipal de Esperança. Este sistema recebeu melhorias no ano de 2001, que estimava abastecer 20.000 habitantes, contudo, com o crescimento urbano e ausência de ampliação proporcional, o fornecimento de água tratada é insuficiente para a população, que ao longo dos anos, convive com a interrupção deste serviço. Algumas comunidades urbanas e rurais que não são atendidas pelo abastecimento feito pela empresa responsável, recorrem a solução alternativa coletiva ou individual de abastecimento de água, através de cisternas comunitárias ou particulares, bem como carros-pipa.

No período entre setembro e dezembro de 2012, época de maior estiagem na região, foi divulgado nos perfis de redes sociais da CAGEPA e *sites* de notícias a situação sobre o abastecimento de água na cidade e região, informando que as cidades de Remígio e Esperança, e os distritos de Lagoa do Mato, São Miguel e Cepilho, todas localizadas no Agreste paraibano, adotariam um sistema de racionamento de água em decorrência do baixo volume de água armazenada no açude Vaca Brava, responsável pelo abastecimento destas cidades e também afetadas pela estiagem no estado.

## 4.0 MATERIAL E MÉTODOS

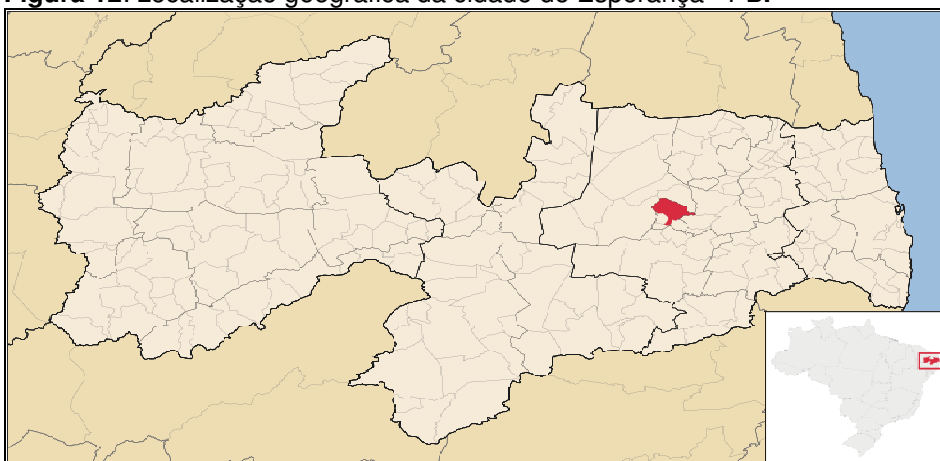
### 4.1. Área de estudo

O município de Esperança (estado da Paraíba) fica localizado na Microrregião Esperança e na Mesorregião Agreste Paraibano do Estado da Paraíba (Figura 12). A sede do município homônimo localiza-se a uma latitude 07° 01' 59" sul, longitude 35° 51' 26" oeste, a uma altitude aproximada de 631 metros, distante a 145 km da capital João Pessoa.

De acordo com dados do IBGE (2010), o município conta com uma população de 31.095 habitantes, sendo 21.631 (69,6%) residentes na zona urbana. O acesso à rede geral com canalização de água atende 67,7% dos moradores e 62,7% possuem formas de esgotamento sanitário. (IBGE 2010).

O estudo discute a qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento público da cidade de Esperança - PB, considerando a interrupção sistemática do serviço de abastecimento de água.

**Figura 12:** Localização geográfica da cidade de Esperança - PB.

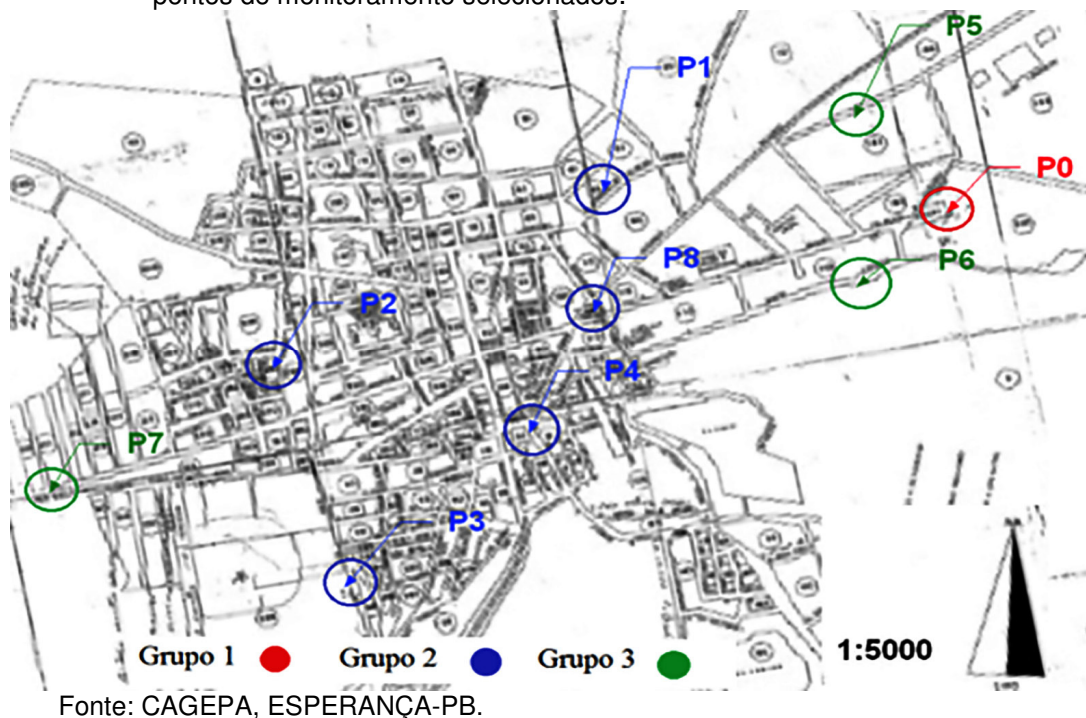


Fonte: Wikipédia.

## 4.2. Pontos de monitoramento

Os pontos de amostragem selecionados na cidade de Esperança estão ilustrados no mapa digitalizado da rede de distribuição de água da cidade (Figura 13). Foi traçada uma linha imaginária para esquematizar a divisão entre lado direito e lado esquerdo da cidade, ambos abastecidos pelo reservatório apoiado e tendo como referencial a ETA (P0).

**Figura 13** – Mapa digitalizado da rede de distribuição de água da cidade de Esperança – PB e pontos de monitoramento selecionados.



Foram definidos nove (9) pontos, considerando as recomendações da “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2006), a qual estabelece que esses devam ser escolhidos de acordo com critérios como “distribuição geográfica” ou “locais estratégicos” que permitem a identificação de situações de riscos.

Por distribuição geográfica, entende-se a escolha de pontos que permitam a amostragem do universo da população, bem como as formas de abastecimento e consumo de água; exemplo: saída do tratamento ou entrada no sistema de distribuição. O critério por locais estratégicos (identificação de situações de risco)

sugere a escolha de pontos de coleta no sistema ou solução alternativa de abastecimento, reconhecidos como vulneráveis e que abastece maior número de consumidores ou existência de consumidores susceptíveis (hospitais, serviços de hemodiálise, creches, escolas, entre outros).

Para cada um dos nove pontos selecionados, descritos na Tabela 2, foram analisados indicadores físicos e químicos, considerando especialmente os “Indicadores Sentinelas”. Os indicadores microbiológicos foram analisados considerando a saída do tratamento e o sistema de distribuição (rede).

**Tabela 2** – Localização dos pontos de coleta de amostras para análises dos indicadores sentinelas.

<b>Critério</b>	<b>Ponto de amostragem</b>	<b>Endereço</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>DG</b>	P0 – Saída da ETA	Rua Elisiário Costa, s/n	7° 00' 45" Sul e 35°51'09" Oeste
<b>RESERVATÓRIO APOIADO/LADO DIREITO</b>			
	P1 – UBS Centro	Rua Severino de A. Nascimento	7° 00' 56" Sul e 35°51'56" Oeste
<b>LE</b>	P2 – Creche Vovó Milintina	Rua General Osório.	7° 01' 13" Sul e 35°51'43" Oeste
<b>RESERVATÓRIO APOIADO/LADO ESQUERDO</b>			
	P3 – UBS São Francisco	Rua Treze de Maio.	7° 01' 24" Sul e 35°51'33" Oeste
<b>LE</b>	P4 – Sindicato Rural	Praça Getúlio Vargas	7° 01' 11" Sul e 35°51'24" Oeste
<b>RESERVATÓRIO ELEVADO/UMBURANAS</b>			
<b>LE</b>	P5 – UBS Campestre	Rua Eulina Machado.	7° 00' 40" Sul e 35°51'18" Oeste
<b>RESERVATÓRIO ELEVADO/BELA VISTA</b>			
<b>LE</b>	P6 – E.M.F. José Lopes	Rua Santo Antônio.	7° 00' 50" Sul e 35° 51'10" Oeste
<b>RESERVATÓRIO ELEVADO/PORTAL</b>			
<b>LE</b>	P7 – Ministério Público	Rua Joaquim Virgulino.	7° 01' 31" Sul e 35° 51' 49" Oeste
<b>RESERVATÓRIO APOIADO DIREITO/ESQUERDO</b>			
<b>DG</b>	P8 – Posto de Gasolina	Praça Dom Adauto.	7° 01' 03" Sul e 35°51'25" Oeste

Nota: DG=Distribuição geográfica; LE=Local estratégico.

### 4.3. Cronograma de coleta

O cronograma de coleta de amostras acompanhou o próprio esquema de manobras feito pela CAGEPA, durante os dias com disponibilidade de água nas torneiras, por um período de 10 meses.

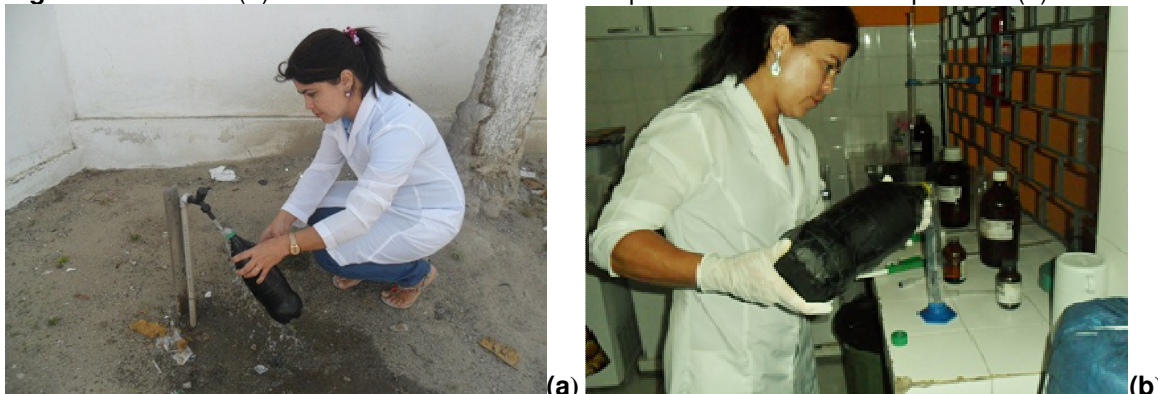
### 4.4. Métodos analíticos

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

### 4.5. Metodologia de coleta para análises físico-químicas

As coletas foram realizadas em torneiras existentes nos pontos definidos diretamente do sistema público de distribuição de água. As amostras para análises físico-químicas (cloro residual livre, turbidez, pH e temperatura) foram coletadas com o auxílio de uma garrafa plástica (PET) de 2L, coberta com fita adesiva preta para evitar a incidência direta de luz solar sobre a água coletada. A torneira era deixada aberta por 2 minutos para eliminar a água parada na tubulação, para, então, efetuar a coleta. Em seguida a amostra era analisada em triplicata *in loco*. Nesta etapa, os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram os procedimentos padrões já citados e descritos também por Silva e Oliveira (2001). As análises foram realizadas *in loco* (Figura 14).

**Figura 14** – Coleta (a) e laboratório montado *in loco* para as análises físico-químicas (b)



Fonte: A autora.



#### **4.5.1. Temperatura**

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

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

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Nesse 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 procedimento de execução da análise foi descrito por Silva e Oliveira (2001).

#### **4.5.3 Turbidez**

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

#### **4.5.4. Medida de pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, que determina a atividade iônica do hidrogênio, com o auxílio de um pH-metro portátil, modelo mPA210 P, calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0.

#### **4.6. Metodologia da coleta para análise microbiológica**

Para as análises bacteriológicas, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos com tampas de rosca, com volumes de 350 mL, previamente esterilizados em autoclave a 121°C e pressão de 1 kg/cm<sup>2</sup> durante 15 minutos, contendo 0,1mL

de solução de tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), a 10%, para cada 100 mL de água a ser coletada.

Após os procedimentos de esterilização, os recipientes eram levados para o ponto de coleta onde, inicialmente, era feita a lavagem das mãos com água e sabão. Em seguida realizada a limpeza da torneira com um pedaço de algodão embebido em álcool a 70% e, posteriormente, realizado a descarga por mais de dois minutos na torneira; para então ser feita a coleta da amostra. Imediatamente após a coleta de cada amostra, o frasco era tampado e identificado com o respectivo ponto de coleta, data e hora, e acondicionado em caixa de isopor com gelo. O transporte das amostras era feito logo em seguida ao término das coletas, encaminhadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (UFMG) para realização das análises.

#### **4.6.1 Contagem padrão de bactérias heterotróficas**

Antes de iniciar as análises, foi feita a desinfecção na bancada do laboratório utilizando uma solução de álcool etílico a 70%. Acendeu-se o bico de Bunsen para flambar a boca dos tubos de ensaio contendo meios de cultura, antes de vertê-los em cada placa.

Para a execução do método transferiu-se, com pipeta estéril, 1 ml da amostra para cada placa de Petri previamente esterilizada. Entreabriu-se a placa e adicionou-se o meio de cultura contido no tubo de ensaio, previamente fundido e estabilizado em banho-maria a 44-46°C; homogeneizou-se o conteúdo da placa em movimentos circulares moderados em forma de ( $\infty$ ), em torno de 10 vezes consecutivas; quando o meio de cultura se solidificou, incubou-se a placa em posição invertida em estufa bacteriológica a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$  durante  $48 \pm 3$  horas. No final do período de incubação, realizou-se a contagem das colônias com o auxílio de um contador de colônias. Todo o procedimento foi realizado em triplicata.

#### **4.6.2 Coliformes totais**

As análises foram feitas através do método da membrana filtrante (Presença/Ausência) e em triplicata para cada ponto amostral. Inicialmente foi feita a

esterilização da bancada com utilização de álcool a 70% com posterior utilização de luz UV na sala fechada por 30 minutos. Em seguida, foram dispostos na bancada de trabalho o equipamento de filtração com porta-filtro e funil, devidamente esterilizados e, as placas de Petri contendo meio ágar mFC, com a identificação e a data da amostra.

Antes de verter a amostra, procedia-se a homogeneização em torno de 25 vezes, em seguida, com o auxílio de uma pinça flambada e esfriada, era colocada a membrana estéril na base do suporte do filtro, com a face quadriculada voltada para cima. Em seguida, procedia-se a lavagem das paredes do funil com a água de diluição, e posteriormente era vertido cuidadosamente 100 mL da amostra e, aplicado vácuo para filtração. Ao término desse procedimento, a membrana era removida com a pinça flambada e fria, e colocada na placa de Petri, previamente preparada com o meio de cultura, com o lado quadriculado para cima. A placa de Petri era tampada e incubada a 35° C, durante 24 ± 2 horas. Após este período de incubação, as colônias formadas sobre a membrana eram contadas.

#### **4.7 Avaliação de risco**

Para avaliação de risco foi proposto o método FMEA (Apêndice A), este, foi por Ogata (2011), aplicado ao sistema de distribuição de água da cidade Campina Grande. Uma ferramenta simples, o FMEA se baseia nos modos e nos efeitos das falhas, assumindo um caráter preventivo.

##### **4.7.1. Critérios para a elaboração do formulário FMEA**

O levantamento das falhas teve como base os indicadores estudados em cada ponto de amostragem, fundamentado nos padrões estabelecidos na Portaria Nº 2.914/2011 MS. Desse modo, foram listados os seguintes perigos: baixa e alta concentrações de CRL, alta turbidez, alta concentração de CRC, alto e baixo pH, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais.

Para a construção do formulário FMEA, foi considerada a causa, o efeito e as medidas mitigadoras para cada perigo, bem como os escores dos elementos de risco, analogamente ao formulário empregado por Ogata (2011) e Rodrigues (2014).

Os escores para os elementos de risco são Severidade (S), Ocorrência (O), Detecção (D) e Abrangência (A), sendo o Risco (R) estimado a partir do produto deles. Cada escore pode variar de 1 a 3, sendo 1 para as situações mais favoráveis, 3 para situações críticas e o valor 2 para situações intermediárias. Por exemplo, quando a substância não causa consequências à saúde humana o grau de Severidade é 1, mas se forem causados agravos, entre leves e moderados, que não persistam com o tempo a severidade recebe peso 2. O grau de severidade 3 é atribuído quando os efeitos sobre a saúde são graves, perdurando por longo período de tempo.

A tabela de escores (Apêndice B) orientou as classificações de 1 a 3 e foi utilizada para o preenchimento do Formulário FMEA. A tabela de escores deste trabalho teve como base a mesma desenvolvida por Ogata (2011), sendo apresentada no Anexo A. No entanto, algumas alterações foram feitas na tabela original com o objetivo de adequá-la ao sistema analisado. Para isso, foi alterado o escore severidade de níveis 3 (alta), 2 (moderada) e 1 (baixa) com a remoção da característica de muito, danosas e pouco danosas a meio ambiente à saúde humana, respectivamente. Ao nível 3 foram incluídas características de efeitos severos e/ou agudos à saúde humana e ao nível 2 características de efeitos leves, moderados e/ou crônicos.

Na ocorrência as alterações consideraram nível 3 (alta) quando foram verificadas de 5% a 100% de não conformidades, nível 2 (moderado) quando da ocorrência de não-conformidades em até 5% das amostras analisadas e nível 1 (baixa) quando não ocorreram não-conformidades.

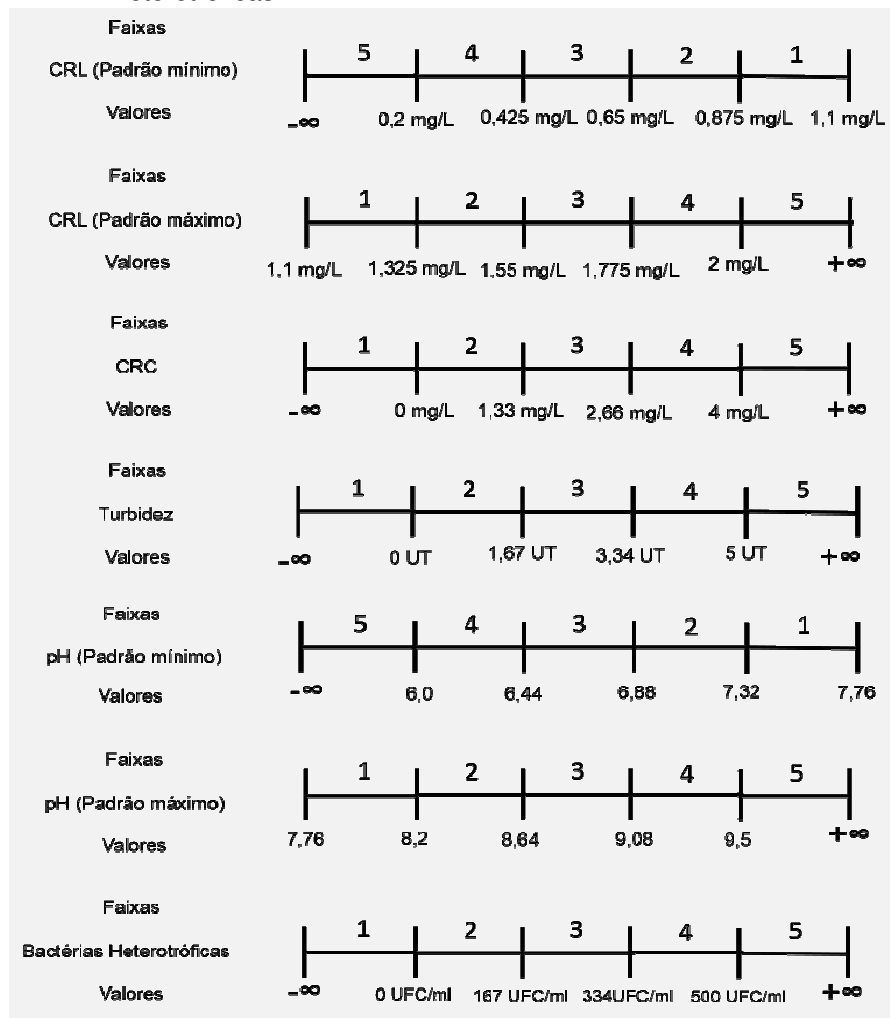
A avaliação e preenchimento do formulário contemplaram os três grupos de dados: saída do tratamento (P0) e sistema de distribuição, representado pelos pontos abastecidos pelo reservatório apoiado (P1, P2, P3, P4 e P8) e pontos abastecidos pelo reservatório elevado (P5, P6 e P7).

Os dados resultantes das análises físico-químicas, também foram representados através de medidas de tendência central, com base na metodologia de classificação descrita por Ogata (2011) e adaptada por Rodrigues (2014). No

modelo de classificação utilizado, consideram-se os padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Para os indicadores em que há padrões máximos e mínimos, entre estes, foi estimada a média e, a partir dessa, foram estabelecidas duas regiões, uma do padrão mínimo à média e uma da média ao padrão máximo, cada região contando com 5 faixas, representadas por valores de 1 a 5. Para todos os indicadores, as faixas são ilustradas na Figura 15.

**Figura 15** – Classificação para os indicadores CRL (padrão máximo e mínimo), turbidez CRC, pH (padrão máximo e mínimo), e bactérias heterotróficas.



Fonte: Rodrigues, 2014.

O padrão microbiológico da Portaria MS 2914/2011, estabelece que na saída do tratamento deve haver ausência de coliformes totais em 100 mL e para os sistemas de distribuição, que abastecem acima de 20.000 habitantes, até 95% das amostras examinadas deverão apresentar ausência. Desse modo, não existe um VMP que padronize a concentração desse indicador, sendo assim, foram admitidas, segundo Rodrigues (2014), apenas duas faixas: a faixa 1, em caso de resultados negativos; e faixa 5, quando ocorrerem resultados positivos.

#### 4.7.2 Cálculo da soma ponderada dos riscos

Após o preenchimento dos escores de severidade, ocorrência, detecção, abrangência e resultado de risco para cada perigo listado no formulário FMEA, foi estimada a importância percentual de cada risco para cada grupo estudado, considerando a saída do tratamento e o sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança-PB. Desse modo, foi determinado, em termos percentuais, cada risco do sistema estudado através do cálculo simples da soma ponderada. Assim, foram inicialmente somados todos os riscos individuais, sendo resultado dessa soma o divisor para cada risco individual (Equação 1). Para o risco individual, cada valor é obtido através do formulário FMEA devidamente preenchido.

#### Equação 1-

$P = \left( \frac{R_i}{\sum R} \right)$  P= Ponderação;  $R_i$  = Risco Individual; n= Quantidade de Risco;  $\sum R$  = Soma de todos os Riscos.

#### 4.7.3 Cálculo do risco total

Concluídas as etapas da ponderação dos riscos individuais, bem como a estatística e classificação dos dados, foi possível calcular o risco total de um, ou vários pontos de amostragem. Esse cálculo consistiu na multiplicação da classificação do indicador (segundo a tabela de classificação) pela ponderação do

seu respectivo risco, com posterior soma de todos os produtos, resultando no risco total para o ponto avaliado.

Considerando que o método FMEA foi aplicado a um conjunto de dados comuns, pertencentes ao mesmo grupo, foi imprescindível atribuir uma classificação aos pontos nos quais não foram feitas análises de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Deste modo, constatada a presença de coliformes totais em seis pontos da rede de distribuição e, por se tratar de um indicador da integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede), foi presumido que a intermitência do serviço de abastecimento contribui para a contaminação da água. Critério semelhante também foi usado para as bactérias heterotróficas, muito embora, ao perigo a elas associado tenha sido atribuída menor gravidade.

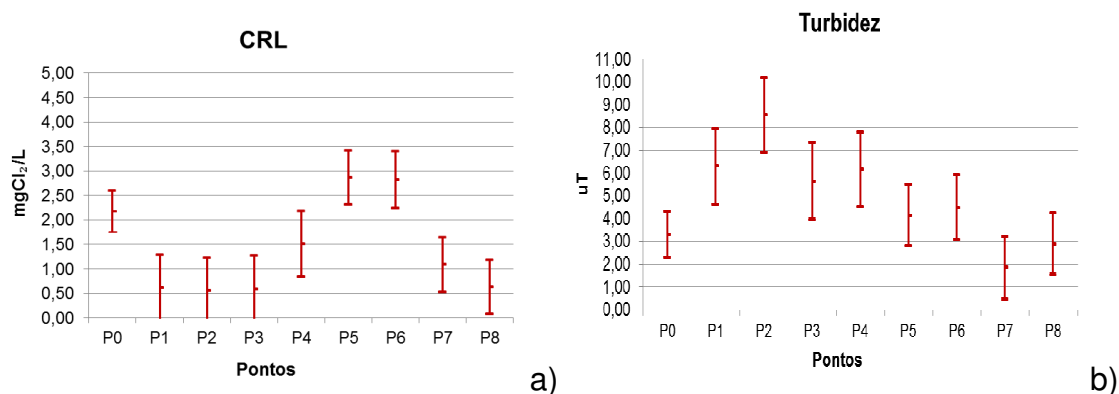
## 5.0 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Para os dados coletados no sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança – PB foram considerados os indicadores sentinelas: cloro residual livre (CRL) e turbidez, bem como os indicadores auxiliares: pH, temperatura, coliformes totais (CT) e bactérias heterotróficas.

Nas análises físico-químicas, os conjuntos amostrais dos indicadores foram examinados no sentido de detectar a presença de *outliers*, ou seja, os valores extremos e/ou diferentes em relação aos demais pertencentes ao universo amostral, capazes de afetar as conclusões extraídas a partir da análise estatística, pois influenciam os valores médios, as medidas de dispersão e as correlações com outras variáveis de interesse. Para a confirmação da existência de outliers suspeitos, foi aplicado o método de Grubbs, com um nível de significância de 0,05 para cada conjunto amostral.

Em seguida, a todos os conjuntos de dados amostrais, de uma mesma variável, foi aplicada a análise da variância (ANOVA) de fator único, ao nível de significância de 5%, para determinar a existência ( $p \leq 0,05$ ), ou não ( $p > 0,05$ ), de diferenças significativas entre eles. Depois, foi aplicado o método GT-2 (SOKAL & ROHF, 1981), um procedimento gráfico para a comparação simultânea das médias. A partir deste método, foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as representações gráficas, destacando os pontos P1, P2, P3, P4 e P8, que para cloro residual livre, apresentou intervalos semelhantes, constituindo um grupo particular conforme é ilustrado na Figura 16.

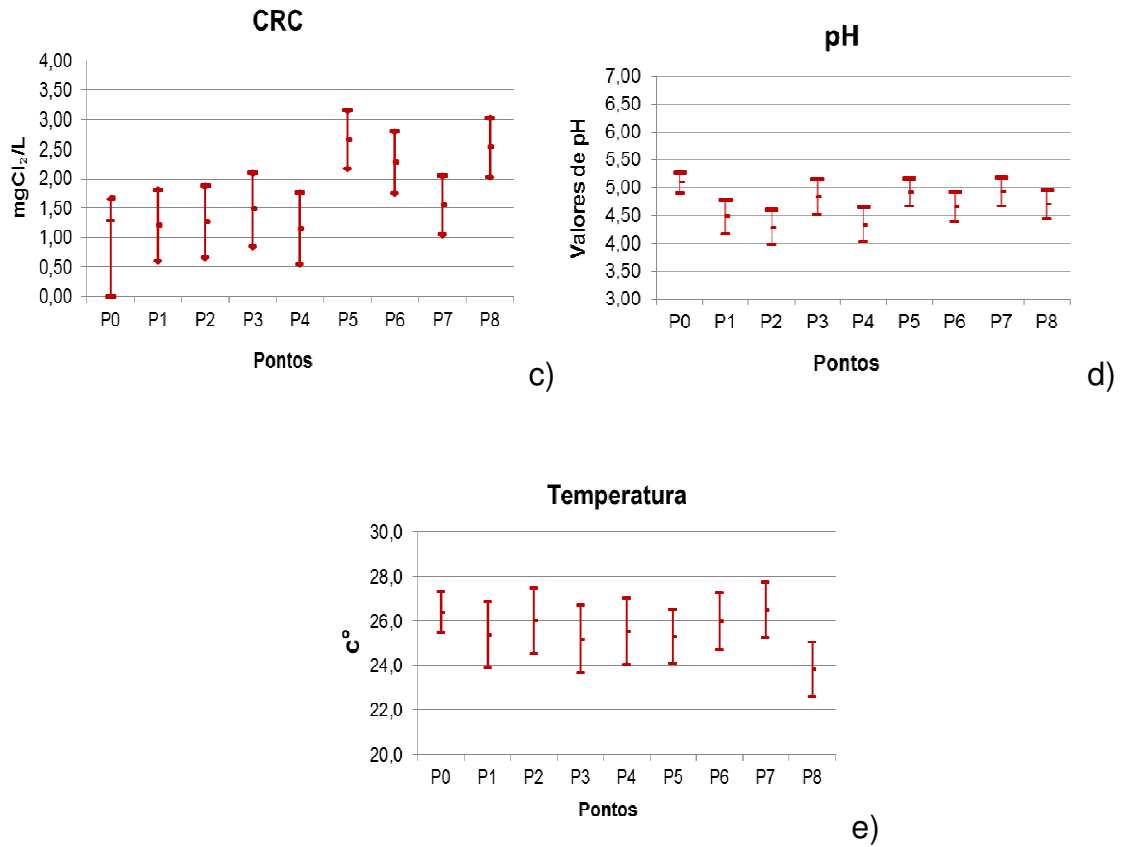
**Figura 16** – Representação gráfica GT-2 para os Indicadores Sentinelas: CRL (a) e Turbidez (b).





Esse comportamento também foi observado nos pontos P5 e P6, e estes apresentaram semelhança de médias para todas as variáveis estudadas (Figura 17).

**Figura 17** – Representação gráfica GT-2 para os Indicadores Auxiliares: CRC (c), pH (d) e Temperatura (e).



## 6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Estatística descritiva e verificação de conformidade com o padrão de potabilidade

Para as análises físico-químicas, os resultados do monitoramento dos indicadores da qualidade da água foram analisados através da estatística descritiva e da verificação de conformidade com o padrão de potabilidade, anexo à Portaria MS 2914/2011. O resumo dos oito pontos analisados é apresentado nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3** – Estatística descritiva e frequência dos indicadores selecionados da qualidade da água nos pontos P0, P1, P2, P3 e P4.

Ponto	N	Variável	Média	DesvPad	Min	Max	Conf. (Nº)	Conf. (%)
P0	53	CRL	2,18	1,64	0,00	6,44	18	66
		CRC	1,66	0,92	0,41	3,65	53	100
		Turbidez	3,31	2,62	0,37	10,63	44	83
		pH	5,09	0,76	3,20	6,32	4	8
		T	26,4	2,0	21,4	30,3	-	-
P1	20	CRL	0,62	0,86	0,02	2,75	7	35
		CRC	1,20	0,74	0,20	2,77	20	100
		Turbidez	6,28	4,22	0,43	15,47	10	50
		pH	4,48	0,47	3,83	5,43	0	0
		T	25,4	2,4	21,3	30,1	-	-
P2	20	CRL	0,55	0,60	0,02	1,69	11	55
		CRC	1,26	0,84	0,15	3,54	20	100
		Turbidez	8,53	5,98	0,35	31,57	6	30
		pH	4,32	0,42	4,48	4,86	0	0
		T	26,0	1,8	20,6	28,6	-	-
P3	19	CRL	0,58	0,55	0,00	1,87	12	63
		CRC	1,53	1,05	0,40	4,53	17	85
		Turbidez	5,64	4,30	0,64	13,93	10	50
		pH	4,83	0,65	4,03	6,00	1	5
		T	25,2	2,8	20,5	29,3	-	-
P4	20	CRL	1,51	1,88	0,00	6,61	7	35
		CRC	1,15	0,79	0,25	3,14	20	100
		Turbidez	6,16	3,79	2,22	15,77	9	45
		pH	4,33	0,27	3,87	4,97	0	0
		T	25,5	2,1	21,3	28,2	-	-

Nota: CRL = Cloro Residual Livre (mgCl<sub>2</sub>/L), CRC = Cloro Residual Combinado (mgCl<sub>2</sub>/L), T = Temperatura (°C), Turbidez (uT), Conf. = Conformidade (Nº, %), DesvPad = Desvio Padrão.

**Tabela 4** – Estatística descritiva e frequência dos indicadores selecionados da qualidade da água nos pontos P5, P6, P7 e P8.

Ponto	N	Variável	Média	DesvPad	Min	Max	Conf. (Nº)	Conf. (%)
P5	30	CRL	2,87	1,75	0,04	6,64	7	23
		CRC	2,66	1,70	0,78	6,95	26	87
		Turbidez	4,35	2,93	0,93	14,4	19	63
		pH	4,92	0,68	4,11	6,09	2	7
		T	25,3	2,1	20,2	29,2	-	-
P6	27	CRL	2,82	1,20	0,32	5,70	8	30
		CRC	2,27	1,19	1,06	4,78	23	85
		Turbidez	4,49	2,09	1,22	8,19	16	59
		pH	4,66	0,69	3,66	5,86	0	0
		T	26,0	2,2	20,6	30,4	-	-
P7	29	CRL	1,08	1,22	0,00	3,94	15	52
		CRC	1,54	1,09	0,22	4,40	28	97
		Turbidez	1,84	2,10	0,02	5,94	24	83
		pH	4,93	0,69	3,95	6,13	1	3
		T	26,5	2,4	22,3	30,3	-	-
P8	30	CRL	0,62	0,93	0,00	3,06	10	33
		CRC	2,72	2,45	0,43	11,94	23	77
		Turbidez	2,88	2,47	0,19	7,71	25	83
		pH	4,70	0,51	4,16	6,03	1	3
		T	23,8	1,2	21,2	26,6	-	-

Nota: CRL = Cloro Residual Livre (mgCl<sub>2</sub>/L), CRC = Cloro Residual Combinado (mgCl<sub>2</sub>/L), T = Temperatura (°C), Turbidez (uT), Conf. = Conformidade (Nº, %), DesvPad = Desvio Padrão.

As concentrações de cloro residual livre, abaixo do mínimo obrigatório (Tabela 5), nos pontos P1 e P8 representaram mais de 50% das determinações obtidas. O que caracteriza violação da Portaria MS 2914/2011, que estabelece a obrigatoriedade da manutenção mínima de 0,2 mgCl<sub>2</sub>/L, de cloro residual livre, em toda a extensão do sistema de distribuição, incluindo reservatórios e rede.

**Tabela 5** – Número e percentual de amostras avaliadas em cada ponto de amostragem para Cloro Residual Livre (CRL), inferior ao padrão mínimo obrigatório estabelecido pela Portaria 2.914/2011.

Ponto	Cloro residual livre (CRL)	
	Concentração menor que 0.2mg/L	
	Nº	%
P0	7	13
P1	11	55
P2	9	45
P3	7	37
P4	8	40
P5	0	0
P6	0	0
P7	8	28
P8	16	53

Tal violação, também foi verificada nos pontos P2 (45%), P3 (37%) e P4 (40%), os quais apresentaram amostras com teor de cloro residual livre (CRL) abaixo do mínimo obrigatório.

Além do valor mínimo obrigatório, existe a orientação quanto ao valor máximo recomendável de 2,0 mgCl<sub>2</sub>/L de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento. Contudo, na saída do tratamento, um teor de cloro superior a 2,0 mgCl<sub>2</sub>/L e até 5,0 mgCl<sub>2</sub>/L não necessariamente será nocivo à saúde humana, uma vez que, dependendo dos pontos de consumo e pela reatividade do cloro livre, este poderá ser consumido antes de chegar aos pontos mais desfavoráveis da rede.

A Tabela 6 apresenta o número (Nº) e o percentual (%) de amostras analisadas no sistema de distribuição da cidade de Esperança-PB, com teor de cloro residual livre superior ao padrão estabelecido pela Portaria MS 2.914/2011.

**Tabela 6** – Percentual e número de amostras avaliadas em cada ponto para CRL superiores ao VMP proposto pela Portaria 2.914/2011.

Ponto	Cloro residual livre (CRL)			
	Entre 2,0 e 5,0*		Acima de 5,0*	
	Nº	%	Nº	%
P0	28	53	4	8
P1	2	10	0	0
P2	0	0	0	0
P3	0	0	0	0
P4	6	30	1	5
P5	22	73	4	13
P6	19	70	1	4
P7	6	21	0	0
P8	4	13	0	0

Nota: \*mgCl<sub>2</sub>/L.

. No que concerne à turbidez, a Portaria 2.914/2011 estabelece através do seu Anexo X (padrão organoléptico de potabilidade), o limite máximo de turbidez como sendo 5,0 uT, em qualquer ponto do sistema de distribuição. Ao considerarmos a média de cada parâmetro, houve violação em todos os pontos representantes da rede.

A violação do padrão de potabilidade também atingiu o pH, tendo sido constatada a não-conformidade em todos os pontos analisados. Valores de pH abaixo de 6,0 foram verificados em 100% dos pontos monitorados. A Portaria MS 2.914/2011 recomenda que no sistema de distribuição, o pH da água deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Segundo Rodriguez (2001) o pH é uma importante variável na avaliação da qualidade da água, visto que é um fator influenciado por processos biológicos e químicos. Nos sistemas de abastecimento os valores baixos de pH, tornam a água corrosiva, uma característica que compromete o material das tubulações, embora contribua para uma maior eficiência da desinfecção.

Para a temperatura, a Portaria 2.914/2011 não estabelece valores máximos ou mínimos, no entanto sua medição em todas as amostras é considerada relevante, tendo em vista que a velocidade de reação do cloro aumenta com a elevação da temperatura.

## 6.2 Resultado da classificação dos dados

Para os indicadores microbiológicos a Tabela 7 apresenta uma síntese geral dos resultados, considerando o percentual em conformidade com a Portaria 2.914/2011, bem como a classificação de cada representante.

**Tabela 7** – Frequência de conformidades dos indicadores da qualidade microbiológica da água do sistema de abastecimento da cidade de Esperança – PB.

Ponto de Amostragem	Variável	Conformidade Nº e %	Classificação
Saída do tratamento	Coliformes* totais	11 (100)	1
	Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	11 (100)	2
Sistema de distribuição (rede)	Coliformes** totais	7 (30)	5
	Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	23 (100)	1

\* VMP = Ausência em 100 mL; \*\*VMP = Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Para os indicadores microbiológicos, especificamente as bactérias heterotróficas, em nenhum dos pontos houve valores que excedessem o limite máximo estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, que é de 500 UFC/mL. Entretanto, deve-se considerar que a contagem de bactérias heterotróficas precisa ser realizada em 20% (vinte por cento) das amostras mensais para análise de

coliformes totais nos sistemas de distribuição (reservatório e rede), desse modo, os resultados podem sofrer alteração mediante o aumento das coletas e das análises.

A presença de contaminação por coliformes totais na saída do tratamento (P0) não foi verificada. Segundo a Portaria MS 2.914/2011, a interpretação desse resultado supõe a eficiência de tratamento da água. Contudo, é presumível que o sistema (rede de distribuição) tenha sua integridade afetada em decorrência da falta de manutenção e abastecimento intermitente, pois, para a mesma variável, foi verificada a presença de coliformes totais em 70% dos pontos representativos do sistema de distribuição.

Para os dados físico-químicos, o tratamento estatístico incluiu as medidas de tendência central em cada ponto de amostragem, bem como a respectiva classificação (Tabela 8).

**Tabela 8** – Resumo das medidas de tendência central e classificação dos indicadores analisados nos pontos P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8.

Ponto de Amostragem		CRL (mg/l)	Turbidez (uT)	CRC (mg/L)	pH
Média	P0	2,18	3,31	1,66	5,09
Classificação		5 **	3	2	5*
Média	P1	0,62	6,28	1,20	4,48
Classificação		3 *	5	2	5*
Média	P2	0,55	8,53	1,26	4,32
Classificação		3 *	5	2	5*
Média	P3	0,58	5,64	1,53	4,83
Classificação		3 *	5	3	5*
Média	P4	1,51	6,16	1,15	4,33
Classificação		2 **	5	2	5*
Média	P5	2,87	4,35	2,66	4,92
Classificação		5 **	4	3	5*
Média	P6	2,82	4,49	2,27	4,66
Classificação		5 **	4	3	5*
Média	P7	1,08	1,84	1,54	4,93
Classificação		1*	3	3	
Média	P8	0,62	2,88	2,72	4,70
Classificação		3 *	3	3	5*

\* Padrão mínimo \*\* Padrão máximo

### 6.3 Aplicação do FMEA para os Grupos 1, 2 e 3

Durante a reunião da equipe de especialistas foram preenchidos três formulários FMEA, um para cada grupo e suas especificidades (Tabelas 9, 10 e 11). Cada formulário foi preenchido individualmente para cada um dos três grupos de pontos monitorados.

**Tabela 9** – Formulário FMEA preenchido para o grupo 1 (saída do tratamento).

Perigo	Efeito	Causa	Severidade	Ocorrência	Deteção	Abrangência	Risco	Medidas Mitigadoras
<b>Baixa Concentração de CRL</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção ou presença de substâncias redutoras.	3	3	2	3	54	Aumento da dose do desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
<b>Alta Concentração de CRL</b>	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma;	Falha na desinfecção.	2	3	2	3	36	Redução de desinfetante
<b>Alta Turbidez</b>	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	3	2	3	54	Melhorias no processo de remoção de Turbidez
<b>Alta Concentração de CRC</b>	Odor e sabor característicos; irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta.	Alta concentração de nitrogênio amoniacal.	2	1	2	2	8	Remoção de nitrogênio amoniacal no manancial ou ETA
<b>Baixo pH</b>	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	3	2	3	36	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alto pH</b>	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	1	2	1	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção.	3	1	3	1	9	Manutenção da desinfecção
<b>Presença de coliformes totais</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos.	Falha na desinfecção.	3	1	3	1	9	Manutenção da desinfecção

**Tabela 10** – Formulário FMEA preenchido para o grupo 2, reservatório apoiado (P1, P2, P3, P4, P8)

Perigo	Efeito	Causa	Severidade	Ocorrência	Detecção	Abrangência	Risco	Medidas Mitigadoras
<b>Baixa Concentração de CRL</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	3	2	3	54	Aumento da dose do desinfetante na saída da ETA, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
<b>Alta Concentração de CRL</b>	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma;	Falha na desinfecção	2	3	2	3	36	Utilização adequada do desinfetante
<b>Alta Turbidez</b>	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	3	2	3	54	Melhorias no processo de remoção de Turbidez
<b>Alta Concentração de CRC</b>	Odor e sabor característicos; irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta.	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição.	2	2	2	3	24	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
<b>Baixo pH</b>	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	3	2	3	36	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alto pH</b>	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	1	2	1	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	1	3	3	27	Manutenção da rede e reservatórios, desinfecção continuidade da distribuição
<b>Presença de coliformes totais</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos.	Falha na desinfecção; falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	3	3	3	81	Manutenção da rede e reservatórios, desinfecção continuidade da distribuição



**Tabela 11** – Formulário FMEA preenchido para o grupo 3, reservatório elevado (P5, P6 e P7).

Perigo	Efeito	Causa	Severidade	Ocorrência	Deteção	Abrangência	Risco	Medidas Mitigadoras
<b>Baixa Concentração de CRL</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	3	2	3	54	Aumento da dose do desinfetante na saída da ETA, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
<b>Alta Concentração de CRL</b>	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma;	Falha na desinfecção	2	3	2	3	36	Utilização adequada do desinfetante
<b>Alta Turbidez</b>	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	3	2	3	54	Melhorias no processo de remoção de Turbidez
<b>Alta Concentração de CRC</b>	Odor e sabor característicos; irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta.	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição.	2	3	2	3	36	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
<b>Baixo pH</b>	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	3	2	3	36	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alto pH</b>	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	1	2	1	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
<b>Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	1	3	3	27	Manutenção da rede e reservatórios, desinfecção continuidade da distribuição
<b>Presença de coliformes totais</b>	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos.	Falha na desinfecção; falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	3	3	3	81	Manutenção da rede e reservatórios, desinfecção continuidade da distribuição

Após o preenchimento dos formulários FMEA para cada grupo, o resultado do Risco é listado na Tabela 12, ressaltando as diferenças entre os três grupos de pontos analisados.

**Tabela 12** – Consolidação dos dados obtidos para os grupos 1, 2 e 3.

<b>Risco</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
Baixa Concentração de CRL	54	54	54
Alta Concentração de CRL	36	36	36
Alta Turbidez	54	54	54
Alta Concentração de CRC	8	24	36
Baixo Ph	36	36	36
Alto pH	4	4	4
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	9	27	27
Presença de coliformes totais	9	81	81

Nota: Grupo 1 = P0; Grupo 2 = P1, P2, P3, P4 e P8; Grupo 3 = P5, P6 e P7.

#### Baixa concentração de cloro residual livre (CRL)

Para todos os grupos o escore de severidade atribuído ao perigo da baixa concentração de CRL foi 3, uma vez que a ocorrência desse perigo resulta na probabilidade da presença de microrganismos patogênicos, que podem vir a causar efeitos severos à saúde humana. Também, o escore da ocorrência para todos os pontos foi considerado 3, uma vez que em todos os grupos de pontos, mais de 5% do total analisado, estavam em desacordo com o padrão mínimo estabelecido pela Portaria MS 2914/2011. A detecção, nos grupos 1, 2 e 3, teve um escore 2, porque a forma de medição é simples. A abrangência foi considerada de valor 3, pois o perigo alcança todas as áreas do sistema de abastecimento de água (até as ligações prediais). O produto entre os escores, para cada grupo, resultou em 54.

#### Alta concentração de cloro residual livre

Com relação ao perigo de alta concentração de CRL, foi atribuído o escore de severidade igual a 2, porquanto a existência desse perigo causa efeitos leves. A ocorrência deste evento alcançou escore 3, conforme o mesmo critério usado para a baixa concentração de CRL. A detecção obteve escore 2, pela utilização de procedimentos simples para sua estimativa. A abrangência foi considerada 3, pois o

perigo também chega aos pontos de consumo. O produto dos escores, para cada grupo, resultou em 36.

#### Alta turbidez

O perigo referente à alta turbidez na água potável, induz o escore de severidade 3, pois, além de interferir na desinfecção, é um indicador de natureza sanitária que está relacionado com a qualidade microbiológica da água, podendo vir a causar efeitos severos e/ou agudos à saúde humana. A ocorrência obteve escore 3, pois num universo amostral de todos os pontos contidos em cada grupo, mais de 5% não apresentaram conformidade com o padrão de potabilidade vigente. O escore da detecção foi considerado 2, uma vez que a medição pode ser feita com o auxílio de turbidímetro portátil. A abrangência foi 3, pois a alta turbidez relacionada à este grupo, alcança também as áreas externas ao local de potabilização da água, estendendo-se por todo o sistema. O produto entre os escores, para cada grupo, resultou em 54.

#### Alta concentração de cloro residual combinado

No que concerne à alta concentração de CRC, houve diferenças e semelhanças entre os grupos 1, 2 e 3. A severidade foi 2 para os três grupos, pois embora possa causar problemas à saúde humana (irritação de mucosas), estes são bem mais leves, sendo que o CRC possui um poder oxidativo reduzido em relação ao do CRL. Contudo, a ocorrência entre os escores foi divergente. No grupo 1, não houve ocorrência deste evento no universo amostral, sendo portanto atribuído escore de valor 1.

Para o grupo 2, a observação do perigo incluiu 5% das amostras avaliadas, dessa maneira caracterizando perigo moderado, sendo atribuído à ocorrência o escore 2.

Entre os pontos do grupo 3, a ocorrência foi 3, classificada como alta, uma vez que o evento alta concentração de CRC, ocorreu em 13% das análises realizadas nos pontos pertencentes ao último grupo. À detecção foi atribuído escore 2 para todos os grupos, visto que o método analítico utilizado em sua detecção é similar ao do CRL. O escore de abrangência para o grupo 1, foi igual a 2, pois o

perigo chega apenas aos limites dos reservatórios, nos demais grupos, 2 e 3, foi atribuído escore 3, pois o perigo chega aos pontos de consumo. O valor obtido para o produto dos escores, para o grupo 1 foi 8, para o grupo 2 foi 24 e para o grupo 3 foi 36.

#### Baixo pH

Para o perigo de baixo pH, o escore de severidade foi 2 para todos os grupos, uma vez que ele auxilia na desinfecção, e pode causar corrosão das tubulações, que comprometem a qualidade da água. Analogamente, o escore da ocorrência foi 3, para todos os grupos, dado que em mais de 90% foi verificada não-conformidade com relação à Portaria MS 2914/2011.

A detecção obteve escore 2, classificado como moderado, em função do mesmo nível de dificuldade do perigo anteriormente analisado. A abrangência foi alta, recebendo escore 3, pois alcança até as ligações prediais.

#### Alto pH

Para o risco de alto pH, atribuiu-se severidade 2, uma vez que o pH assume importância no que diz respeito ao estado de conservação das tubulações, pois a combinação de valores de pH muito altos e águas duras pode causar incrustações nas canalizações. Este risco não foi comum no sistema estudado, uma vez que em nenhum momento ocorreram valores de alto pH, portanto atribuiu-se à ocorrência o escore 1. A detecção recebeu escore 2, visto que para determinar o valor do pH na água, necessita-se de equipamento, mas de utilização simples para este fim. O escore de abrangência foi 1, pois para esse perigo não houve não-conformidades. Para este perigo o valor estimado para o risco foi de 4.

#### Alta concentração de bactérias heterotróficas para o grupo 1

Para o perigo de alta concentração de bactérias heterotróficas, o escore de severidade foi 3, pois apesar da não patogenicidade, este grupo de bactérias forma biofilmes nas tubulações, os quais podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos e interferir no processo de desinfecção. A ocorrência obteve escore 1,

pela ausência de não-conformidades. A detecção obteve escore 3, pois sua determinação ocorre por método mais complexo, que requer um grande investimento, demanda tempo e pessoal especializado. A abrangência foi baixa, recebendo escore 1. O risco resultante foi 9.

#### Alta concentração de bactérias heterotróficas para os grupos 2 e 3

Com relação à alta concentração de bactérias heterotróficas, o escore de severidade foi 3, pelas mesmas razões apontadas para o grupo 1. A ocorrência obteve escore 3 em ambos os grupos, por motivo da existência das não-conformidades. A detecção obteve escore 3, dada a complexidade do procedimento laboratorial. O escore de abrangência foi 3, pois existe o perigo em todo o sistema, de modo que pode afetar os consumidores. O risco resultante foi 81.

#### Presença de coliformes totais para o grupo 1

Ao perigo da presença de coliformes totais para a severidade foi atribuído escore 3, em razão da indicação sanitária que exerce, pois a presença de patógenos pode ocasionar agravos à saúde. A ocorrência obteve escore 1, considerando a ausência de não-conformidades. A detecção foi atribuído escore 3, considerando a necessidade de empregar metodologia mais complexa.. O escore para abrangência foi 1. O risco resultante foi 9.

#### Presença de coliformes totais para os grupos 2 e 3

Enfim, ao perigo da presença de coliformes totais para o escore severidade foi atribuído escore 3, pelos mesmos motivos descritos anteriormente. A ocorrência obteve escore 3, considerando as não-conformidades das amostras analisadas. A detecção foi atribuído escore 3, considerando a necessidade de empregar metodologia mais complexa. O escore abrangência atingiu o valor 3, visto que o evento é observado em vários pontos da rede de distribuição. O risco resultante foi 81.

### 6.3.1 Importância de cada risco para o grupo 1

Após a aplicação do cálculo da soma ponderada, descrito anteriormente na metodologia, foi construída a Tabela 13, a qual demonstra o percentual de influência do risco individual sobre o risco total do sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança-PB. Para o grupo 1, os indicadores sentinelas CRL e turbidez possuem respectivamente riscos acentuados. Ambos apresentando um risco individual de 25,7%, a baixa concentração de cloro residual livre e a alta turbidez estão associados a alguma falha operacional, resultando no comprometimento da qualidade da água e que, distribuída à população, também está sujeita à contaminação ao longo da rede. Outro aspecto considerável, diz respeito ao risco de baixo pH, uma vez que pode causar corrosão dos equipamentos hidráulicos e influenciar na qualidade da água.

**Tabela 13** – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 1

Risco	Resultado do Risco individual	Cálculo	Percentual
Baixa concentração de CRL	54	$54/210 = 0,25714$	25,714%
Alta concentração de CRL	36	$36/210 = 0,17143$	17,143%
Alta turbidez	54	$54/210 = 0,25714$	25,714%
Alta concentração de CRC	8	$8/210 = 0,0381$	3,81%
Baixo Ph	36	$36/210 = 0,17143$	17,143%
Alto pH	4	$4/210 = 0,01905$	1,905%
Alta conc. bactérias heterotróficas	9	$9/210 = 0,04286$	4,286%
Presença de coliformes totais	9	$9/210 = 0,04286$	4,286%
Somatório dos riscos	210	$210/210 = 1$	100%

### 6.3.2 Importância de cada risco para o grupo 2

Para o grupo 2 (Tabela 14), dentre os riscos e percentuais listados, a presença de coliformes é mais evidente (25,63%), destacando a importância dos indicadores microbiológicos da qualidade da água, por assumirem a função de indicador de integridade do sistema de distribuição. Semelhante ao constatado no grupo anterior, a baixa concentração de cloro e a turbidez, ambos com 17,08%, também são

destacados no grupo 2, seguidos da alta concentração de CRL e baixo pH, ambos representando 11,39% do risco neste grupo.

**Tabela 14** – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 2

Risco	Resultado do risco individual	Cálculo	Porcentagem
Baixa concentração de CRL	54	$54/316 = 0,17089$	17,089%
Alta concentração de CRL	36	$36/316 = 0,11392$	11,392%
Alta turbidez	54	$54/316 = 0,17089$	17,089%
Alta concentração de CRC	8	$24/316 = 0,07595$	7,595%
Baixo pH	36	$36/316 = 0,11392$	11,392%
Alto pH	4	$4/316 = 0,01266$	1,266%
Alta conc. bactérias heterotróficas	27	$27/316 = 0,08544$	8,544%
Presença de coliformes totais	81	$81/316 = 0,25633$	25,633%
Somatório dos riscos	316	$316/316 = 1$	100%

### 6.3.3 Importância de cada risco para o grupo 3

A importância em termos percentuais para o risco no grupo 3, é observada através da Tabela 15. De acordo com as informações listadas, apresenta um risco mais elevado para a presença de coliformes totais de 25,69%. Em seguida, a baixa concentração de CRL e a alta turbidez apresentam simultaneamente os mesmos percentuais de 17,08%. Nesse contexto, é presumível a existência de microrganismos na rede de distribuição, o que representa um risco à saúde da população abastecida.

**Tabela 15** – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 3

Risco	Resultado do risco individual	Cálculo	Porcentagem
Baixa concentração de CRL	54	$54/328 = 0,16463$	16,463%
Alta concentração de CRL	36	$36/328 = 0,10976$	10,976%
Alta turbidez	54	$54/328 = 0,16463$	16,463%
Alta concentração de CRC	36	$36/328 = 0,10976$	10,976%
Baixo pH	36	$36/328 = 0,10976$	10,976%
Alto pH	4	$4/328 = 0,0122$	1,22%
Alta conc.bactérias heterotróficas	27	$27/328 = 0,08232$	8,232%
Presença de coliformes totais	81	$81/328 = 0,24695$	24,695%
Somatório dos riscos	328	$328/328 = 1$	100%

## 6.4 Consolidação dos riscos

Depois do cumprimento das etapas de ponderação dos riscos individuais, foi calculado o risco total para cada ponto, que consiste no produto da classificação do indicador pela ponderação do seu respectivo risco e, posteriormente na soma de todos os produtos, resultando no risco total para cada ponto do sistema de abastecimento (Tabela 16).

**Tabela 16 – Risco total para cada ponto do sistema de abastecimento.**

P0					P1				P2					
	MED	CLAS	RISCO		MED	CLAS	RISCO		MED	CLA	RISCO			
			%	Total			%	Total			%	Total		
CRL	2,18	5	25,71%	1,2855	0,62	3	17,09%	0,5127	0,55	3	17,09%	0,5127		
Turb	3,31	3	25,71%	0,771	6,28	5	17,09%	0,8545	8,53	5	17,09%	0,8545		
CRC	1,66	2	3,81%	0,0762	1,2	2	7,60%	0,152	1,26	2	7,60%	0,152		
pH	5,09	5	17,14%	0,857	4,48	5	11,39%	0,5695	4,32	5	11,39%	0,5695		
C.T	A	1	4,29%	0,0429	P	5	25,63%	1,2815	-	5	25,63%	1,2815		
BHF	2	2	4,29%	0,0858	-	1	8,54%	0,0854	-	1	8,54%	0,0854		
Soma				3,1187	Soma				3,4556	Soma				3,4556
P3					P4				P5					
CRL	0,58	3	17,09%	0,5127	1,51	2	17,09%	0,3418	2,87	5	16,46%	0,823		
Turb	5,64	5	17,09%	0,8545	6,16	5	17,09%	0,8545	4,35	4	16,46%	0,6584		
CRC	1,53	3	7,60%	0,228	1,15	2	7,60%	0,152	2,66	3	10,98%	0,3294		
pH	4,83	5	11,39%	0,5695	4,33	5	11,39%	0,5695	4,92	5	10,98%	0,549		
C.T	-	5	25,63%	1,2815	P	5	25,63%	1,2815	P	5	24,70%	1,235		
BHF	-	1	8,54%	0,0854	-	1	8,54%	0,0854	205	2	8,23%	0,1646		
Soma				3,5316	Soma				3,2847	Soma				3,7594
P6					P7				P8					
CRL	2,82	5	16,46%	0,823	1,08	1	16,46%	0,1646	0,62	3	17,09%	0,5127		
Turb	4,49	4	16,46%	0,6584	1,84	3	16,46%	0,4938	2,88	3	17,09%	0,5127		
CRC	2,27	3	10,98%	0,3294	1,54	3	10,98%	0,3294	2,72	3	7,60%	0,228		
pH	4,66	5	10,98%	0,549	4,93	5	10,98%	0,549	4,7	5	11,39%	0,5695		
C.T	P	5	24,70%	1,235	-	5	24,70%	1,235	P	5	25,63%	1,2815		
BHF	-	1	8,23%	0,0823	-	1	8,23%	0,0823	70	2	8,54%	0,1708		
Soma				3,6771	Soma				2,8541	Soma				3,2752

Nota: CRL = Cloro Residual Livre (mgCl<sub>2</sub>/L), Turbidez (uT), CRC = Cloro Residual Combinado (mgCl<sub>2</sub>/L), C.T = Coliformes totais, BHF = Bactérias heterotróficas, MED = Média, CLAS = Classificação.



Calculado para cada ponto, o risco é classificado para facilitar a compreensão e, para isso, multiplica-se a classificação máxima de cada indicador pela ponderação do seu respectivo risco e, em seguida, somam-se todos os produtos, o que resulta no risco total máximo, que representa a pior das hipóteses para cada grupo representativo do sistema de abastecimento (Tabela 17).

**Tabela 17** – Classificação do risco máximo no sistema de abastecimento de Esperança-PB.

Grupo 1	Classificação	Risco	
		%	Total
CRL	5	25,71%	1,286
Turb	5	25,71%	1,286
CRC	5	3,81%	0,191
pH	5	17,14%	0,857
C.T	5	4,29%	0,214
BHF	5	4,29%	0,214
			<b>4,05</b>

Grupo 2	Classificação	Risco	
		%	Total
CRL	5	17,09%	0,855
Turb	5	17,09%	0,855
CRC	5	7,60%	0,380
pH	5	11,39%	0,570
C.T	5	25,63%	1,282
BHF	5	8,54%	0,427
			<b>4,37</b>

Grupo 3	Classificação	Risco	
		%	Total
CRL	5	16,46%	0,823
Turb	5	16,46%	0,823
CRC	5	10,98%	0,549
pH	5	10,98%	0,549
C.T	5	24,70%	1,235
BHF	5	8,23%	0,412
			<b>4,39</b>

Nota: CRL = cloro residual livre; Turb = Turbidez; CRC = cloro residual combinado; CT = coliformes totais; BHF = bactérias heterotróficas.

O valor do risco total máximo é então dividido em cinco faixas, conforme a Tabela 18, que segue a mesma feita por Ogata (2011). Assim, o risco total máximo para o grupo 1 foi de 4,05, para o grupo 2 foi de 4,3 e para o grupo 3 foi de 4,4.

**Tabela 18** – Classificação do risco total para os Grupos 1, 2 e 3.

<b>Grupo 1</b>	
<b>Faixa (intervalo do risco)</b>	<b>Classificação</b>
$0 \leq x \leq 0,81$	Desprezível
$0,81 < x \leq 1,62$	Baixo
$1,62 < x \leq 2,43$	Moderado
$2,43 < x \leq 3,24$	Alto
$3,24 < x \leq 4,05$	<b>Crítico</b>
<b>Grupos 2 e 3</b>	
<b>Faixa (intervalo do risco)</b>	<b>Classificação</b>
$0 \leq x \leq 0,88$	Desprezível
$0,88 < x \leq 1,76$	Baixo
$1,76 < x \leq 2,64$	Moderado
$2,64 < x \leq 3,52$	Alto
$3,52 < x \leq 4,40$	<b>Crítico</b>

Aplicando os cálculos exemplificados na metodologia para quantificar os riscos, com as ponderações e os valores de medidas centrais, foi estimado o risco total para cada ponto de amostragem. Assim o risco total nos pontos P3, P5 e P6 foi categorizado como crítico, e com exceção do ponto P7, os demais foram categorizados como risco alto, o que denota uma má qualidade da água de abastecimento do sistema estudado. A Tabela 19 resume a categorização consolidada dos riscos associados a todos os pontos.

**Tabela 19** – Risco associado a cada ponto de amostragem do sistema de abastecimento de água de Esperança, PB.

<b>Grupo</b>	<b>Ponto de Amostragem</b>	<b>Risco Total</b>	<b>Classificação do Risco</b>
1	P0	3,11	Alto
	P1	3,45	Alto
2	P2	3,45	Alto
	P3	3,53	<b>Crítico</b>
	P4	3,28	Alto
	P5	3,75	<b>Crítico</b>
3	P6	3,67	<b>Crítico</b>
	P7	2,85	Moderado
2	P8	3,27	Alto

## 7.0 CONCLUSÃO

É perceptível que o risco é abrangente no sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança/PB, uma vez que a qualidade da água não apresentou conformidade com o padrão de potabilidade em vários pontos. Contudo, diante dos principais perigos apontados, o risco tende a tornar-se crítico em todo o sistema, em virtude da ausência de ações corretivas, que devem incluir inicialmente a ampliação e melhoria do sistema, incluindo a oferta de água, além de melhorias na operação e manutenção.

A avaliação de risco aplicada ao sistema de abastecimento de água da cidade de Esperança – PB, foi capaz de demonstrar que o risco associado à ETA (Grupo 1) não foi significativamente diferente daquele associado aos outros grupos de pontos, quando consideradas as parcelas referentes aos indicadores físico-químicos, mas foi significativamente menor quando consideradas as parcelas associadas aos indicadores microbiológicos.

Isso significa que a qualidade da água é degradada à medida que deixa a ETA e é distribuída pelos diversos setores da rede de distribuição (Grupos 2 e 3).

Diversos fatores podem estar relacionados a essa degradação, entre os quais, a qualidade da água bruta, deficiências na manutenção das unidades do sistema, mas o abastecimento intermitente da água parece constituir o aspecto operacional mais distinto e relevante para essa situação.

Os indicadores sentinelas apresentaram muito bom desempenho na descrição da degradação da qualidade da água na rede de distribuição, havendo uma correspondência entre os riscos associados aos perigos por eles indicados e a presença de microrganismos indicadores da má qualidade da água.

## 8.0 RECOMENDAÇÕES

Perante a avaliação de riscos do sistema de abastecimento da cidade de Esperança-PB, recomenda-se que a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) elabore um plano para a manutenção preventiva e corretiva do sistema de distribuição da cidade, de modo que possa oferecer uma melhor qualidade da água consumida pela população residente.

Embora a avaliação de risco, isoladamente não seja suficiente, se faz necessário incluir também uma gestão eficiente e atuante, que procure controlar os riscos em sistemas de abastecimento de água. Para efeito disto, cabe ao responsável pelo sistema exercer o controle da qualidade da água, incluindo o monitoramento adequado e a comunicação de riscos.

É também sugestiva a aplicação contínua do método FMEA para cada ponto analisado, incluindo também outros pontos estratégicos. A análise regular do sistema de abastecimento, mesmo sem as alterações esperadas, deve atualizar a análise anterior, confrontando as falhas potenciais denunciadas pelo grupo com as que ocorrem no cotidiano do sistema, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas pelo grupo, no intuito de incluir as medidas mitigadoras necessárias.

## 9.0 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..
- ALMEIDA, B. de. O conceito de risco socialmente aceitável como componente crítico de uma gestão do risco aplicada aos recursos hídricos. **In: 7º Congresso da Água.** Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, LNEC. 2004. p. 1-14.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21<sup>th</sup> ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005. 1600p.
- AQUINO, C. M. S. de; OLIVEIRA, J. G. B. de; SALES, M. C. L. Suscetibilidade das terras secas do estado Piauí à desertificação: avaliação a partir de índices. **Revista de Geografia da UFC**, v.9, p. 49-60, 2006.
- 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.
- AYRES, J. R. Sobre o risco. Para compreender a epidemiologia. 2008.
- BARROS, R. T. V., CHERNICHARO, C. A. L., HELLER, L. & VON SPERLING, M. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios.** V. 2: Saneamento. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 221 p, 1995.
- 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. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.318 p.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado Federal, 1988.

- \_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde/ Ministério Público. **Guia brasileiro de vigilância epidemiológica**. 5ª ed. Brasília, 1998.
- \_\_\_\_\_, Ministério da saúde. **Sistema Único de Saúde (SUS): princípios e conquistas**. Brasília, 2000. 44 p.
- \_\_\_\_\_. **Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005**. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Brasília. DF. 2005.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 252 p.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.60 p.
- \_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico**. Brasília: Editora, 2009. 239p.
- \_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico** (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos). Brasília: Editora, 2009. v.2, 193p.
- \_\_\_\_\_ Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011,124 p.
- \_\_\_\_\_. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília. DF. 2011.
- BROMBERG, M. **Safe drinking water: Microbial standards help ensure water quality for consumers**, 1995.
- CEBALLOS, B. O. de; DANIEL, L. A.; BASTOS, K. X. R. Tratamento de água para consumo humano: panorama mundial e ações do Prosab.In: PÁDUA, V. L. de. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

- COLLE, G. A. Metodologias de Análise de Risco para classificação de barragens segundo a segurança. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)**, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008, p. 124.
- COSTA, E. A. et al. **Vigilância Sanitária: temas para debate**. Salvador: EDUFBA, 2009. 240 p.
- D'AGUILA P.S.; ROQUE, O. C. C.; MIRANDA, C. A. S.; FERREIRA, A.P. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu. **Caderno de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v16, n. 3, p. 791-798, 2000.
- DAHI, E. **Water Supply in Developing Countries: Problems and Solutions**. Lyngby: Eds. Technical, University of Denmark, 1992.
- DANIEL, L. A. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. Prosab: São Carlos, 2001.
- DAVISON, Annette et al. **Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer**. 2005.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA PARAÍBA. Vinculada a Secretaria de Estado e Desenvolvimento da Agropecuária e Pesca – SEDAP. **Relatório de precipitações**. Esperança – PB, 2012. 3 p.
- FISCHER, D.; GUIMARÃES, L.; SCHAEFFER, C. Percepção de Risco e Perigo: Um Estudo Qualitativo no Setor de Energia Elétrica. **In: Encontro Nacional de Engenharia da Produção (ENEGEP)**, 22, 2002, Curitiba, PR. Anais...Rio de Janeiro, RJ: ABEPRO, 2002. p. 1-8.
- FONSECA ALVES, H.; TORRES, H. Vulnerabilidade socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise das famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v.20, n.1, p.44-60, jan.-mar. 2006.
- FORTES, F. S. D. Influência do Gerenciamento de Riscos no Processo Decisório: Análise de Casos. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval)** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011, p 161.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA), ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS DE MUNICIPALIDADE DE SANEAMENTO (ASSEMAE). **Diagnóstico nacional dos serviços municipais de saneamento**. Brasília: FNS/ASSEMAE, 1995.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento**. 3 ed. revisada. Brasília: Funasa, 2006.

- GRAY, N. F. **Calidad Del água potable**. Zaragoza: Acribia, 1994. 365 p.
- HELLER, L. **Saneamiento y Salud**. Washington, D.C.: CEPIS/OPS, 1998.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE). **Censos Demográficos**. Brasília: 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 05 de maio de 2012.
- KUMPEL, E.; NELSON, K.L. Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply. **Water Research**. v. 47(14), p. 5176-5188, 2013.
- LANDI, F. R. **A evolução histórica das instalações hidráulicas**. São Paulo, SP: Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo–EPUSP, 1993.
- LECHEVALLIER, M. W. Coliform regrowth in drinking water: a review. **Journal of American Water Works Association**, v. 11, n. 82, p. 74-86, 1990.
- MADEIRA, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso. **Revista do BNDES**, v. 33, p. 123-154, 2010.
- MEDRI, W.; SOEIRO, J. C.; YOTSUMOTO, A. S.; DALMAS, J.C.; NÓBREGA, M. M. Amostragem probabilística no controle da qualidade da água para o consumo humano. **Revista Semina: Ciência exatas e tecnológicas**, Londrina, v.33, n. 1, p. 49-56, 2012.
- OGATA, I. S. Avaliação de Risco da Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB). **Monografia (Engenharia Sanitária e Ambiental)**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2011, p 69.
- OPAS (Organizacion Panamericana de la Salud). **Guias para la Calidad del Agua Potable**. Volumes I, II eIII. Genebra: Opas, 1987.
- PÁDUA, V. L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte; UFMG; 2006; 855p.
- PARSEKIAN, M. P. S. Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo. São Carlos. **Dissertação (Mestrado)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998,194p.
- RAZZOLINI, M. T. P., NARDOCCI, A. C. Avaliação de risco microbiológico: etapas e sua aplicação da qualidade da água. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente (INTERFACEHS)**, v.1, n.2, 2006. Disponível em:<[www.interfacehs.sp.senac.br](http://www.interfacehs.sp.senac.br)>. Acesso em set. 2013.



- RICHTER, C; NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001.
- RODRIGUES, A. B. Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento de um hospital público regional de urgência e emergência. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2014, p. 96.
- RODRIGUES, T. C.; BRASIL, C. C. B.; GRACIOLLI, M. A.; SANT, R. C. V. Incidência de Rotavírus em crianças de zero a cinco anos residentes na região oeste do município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. **Revista Newslab** , ed. 83, 2007, p. 160-165.
- ROSSIN A.C. **In: Técnica de abastecimento e tratamento de água**. Vol. 2. Cap.24. 3ª ed. São Paulo. CETESB; 1987.
- SANCHES, Sérgio. M.; SILVA, Carlos Henrique Tomich de Paula.; VIEIRA, Eny Maria. Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. **Rev. Química Nova na Escola**, nº 17, p. 8-12, 2003.
- SCHEMBRI, M. C. A. C.; ENNES, Y. M. Deterioração da qualidade da água distribuída: o caso de Belo Horizonte. **Anais: Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu, 1997, p. 1157-1169.
- SERRANO, J. L. A Diferença Risco/Perigo. **Novos Estudos Jurídicos**, v. 14, n. 2, p. 233-250, 2009.
- SILVA; S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande: O Autor, 2001. 266p.
- Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. **Biometry: The principles and practice of statistics in biological research**. 4º ed. W. H. Freeman and Company, New York, USA, 2012, 937 pp.
- VAN BREMEM, J. Water Quality. **International Course in Sanitary Engineering**. Delft: IHE/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, 1984.
- VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Rev. Ambiente & Sociedade**, n. 5, p. 109-134, 1999.
- VENTURINI, M. A. A G.; BARBOSA P. S. F. Subsídios à escolha de técnicas de reabilitação de redes de distribuição de água. **Anais: Seminário sobre Planejamento, Projeto e Operação de redes de Abastecimento de Água, Estado da Arte e Questões Avançadas**. João Pessoa-PB, 2002.
- VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3º ed. Belo Horizonte: Ed. Imprimatur, 1997.

- VIEIRA, J. M. P., MORAIS C. M. **Planos de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento**. Guia Técnico nº 7, Instituto Regulador de Águas e Resíduos. p. 161, 2005.
- ZULPO, D. L., PERETTI, J., ONO, L. M., GARCIA, J. L. Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n.1, p. 107-110, 2006.

## APÊNDICE A – Formulário FMEA

<b>Perigo</b>	<b>Efeito</b>	<b>Causa</b>	<b>Severidade Ocorrência Detecção Abrangência Risco</b>	<b>Medidas Mitigadoras</b>
<b>Baixa Concentração de CRL</b>				
<b>Alta Concentração de CRL</b>				
<b>Alta Turbidez</b>				
<b>Alta Concentração de CRC</b>				
<b>Baixo pH</b>				
<b>Alto pH</b>				
<b>Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas</b>				
<b>Presença de coliformes totais</b>				

**APÊNDICE B**  
**Tabela de escores para um FMEA aplicado ao sistema de abastecimento de**  
**água de Esperança-PB**  
**Severidade do perigo**

<b>Escore para Severidade</b>		
	<b>Severidade da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	Substância ou condição que causa efeitos severos e/ou agudos à saúde humana. Apresenta reatividade, característica corrosiva, tóxica e patogênica.	3
Moderada	Substância ou condição que causa efeitos leves, moderados e/ou crônicos (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substância ou condição que não causa efeitos negativos a saúde humana e possui curto tempo de decomposição.	1
<b>Escore para Ocorrência</b>		
	<b>Ocorrência da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	Ocorrência de 5% a 100% de não conformidades	3
Moderada	Ocorre não-conformidade em até 5% das amostras analisadas	2
Baixa	Não existe não-conformidade	1
<b>Escore para Detecção</b>		
	<b>Detecção da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3
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.	1
<b>Escore para Abrangência</b>		
	<b>Abrangência da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	A não-conformidade alcança até as ligações prediais.(Até o consumidor)	3
Moderada	A não-conformidade alcança até os limites do sistema de abastecimento e água (nas proximidades dos reservatórios)	2
Baixa	A não-conformidade alcança apenas o local onde e realizada a potabilização da água (na ETA) ou não existe não-conformidade.	1

## ANEXO A

**Tabela de escore para um FMEA aplicado ao sistema de abastecimento de água de Campina Grande-PB Campina Grande-PB**

<b>Severidade do perigo</b>		
<b>Escore para Severidade</b>		
	<b>Severidade da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
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 a saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
<b>Escore para Ocorrência</b>		
	<b>Ocorrência da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	O impacto ambiental ocorre diariamente ou semanalmente. (mais de 53 não-conformidades no ano).	3
Moderada	O impacto ambiental ocorre mensalmente. (entre 12 e 53 não-conformidades no ano).	2
Baixa	O impacto ambiental ocorre semestralmente ou anualmente. (menos de 12 não-conformidades no ano).	1
<b>Escore para Detecção</b>		
	<b>Detecção da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3
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.	1
<b>Escore para Abrangência</b>		
	<b>Abrangência da não-conformidade</b>	<b>Classificação</b>
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 alcança apenas o local onde é realizada a potabilização da água (na ETA).	1