



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções
alternativas na zona rural de Campina Grande - PB**

DANYLLO VIEIRA DE LUCENA

Campina Grande – PB

Agosto de 2018

DANYLLO VIEIRA DE LUCENA

**Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções
alternativas na zona rural de Campina Grande - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadores: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura e Prof. Dr. Rui de Oliveira

Campina Grande – PB

Agosto de 2018

L935a

Lucena, Danyllo Vieira de.
Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções
alternativas na zona rural de Campina Grande-PB / Danyllo Vieira de
Lucena. – Campina Grande, 2018.
125 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,
2018.

"Orientação: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, Prof. Dr. Rui de
Oliveira".

Referências.

1. 1. Abastecimento de Água – Soluções Alternativas. 2. Saneamento
Ambiental. 3. Plano de Segurança da Água. 4. Recursos Hídricos –
Qualidade da Água. I. Coura, Mônica de Amorim. II. Oliveira, Rui de.
III. Título.

CDU 628.1(043)

DANYLLO VIEIRA DE LUCENA

**Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções
alternativas na zona rural de Campina Grande - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadores:

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura

Prof. Dr. Rui de Oliveira

Aprovada em: 31/08/2018.

BANCA EXAMINADORA

Mônica de Amorim Coura

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura (Orientadora)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Rui de Oliveira

Prof. Dr. Rui de Oliveira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ruth Silveira do Nascimento

Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Andréa Carla Lima Rodrigues

Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

*Ao meu pai do céu **Deus**, aos meus pais **Damião e Socorro**, a minha irmã **Danielly**, e a minha namorada **Iasmim**, pelo o apoio, dedicação, companheirismo e amizade, e por sempre estarem ao meu lado.*

Eu dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao fim dessa jornada tudo se resume a esta dissertação, assim se omite toda a longa caminhada para que se possa chegar a esse momento, todas as noites em claro de estudo, aqueles momentos que a vontade de desistir era quase superada pela a determinação que estava seguindo o caminho certo, as diversas dificuldades que foram impostas durante esses últimos anos. Nesta reta final o sentimento que me define é o de dever cumprido.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, o meu criador acima de tudo, por me conceder oportunidade e discernimento para fazer este trabalho, e por sempre estar ao meu lado nessa caminhada.

Ao meu Pai Damião pelo apoio irrestrito em todos os momentos da minha vida, e por ser um modelo de pessoa correta e com fibra moral. Terás sempre minha gratidão por não medir esforços para me ajudar e minha admiração por ser esse exemplo de grande batalhador para conseguir seus objetivos.

À minha mãe Socorro pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos de dificuldades, agradeço por todo sacrifício e investimento, pelas noites que ficou em claro esperando a minha chegada após cada noite de estudo na casa dos colegas, pelos telefonemas de preocupação para saber onde estava e se tinha me alimentado bem, sem dúvidas você foi minha grande apoiadora.

À minha irmã Danielly, amor da vida inteira que sempre me apoio e me deu conselhos de grande valia, por ser esse exemplo em minha casa de que todas essas dificuldades têm grande importância e que com perseverança a recompensa vai aparecer no momento certo.

À minha namorada e companheira, Iasmim Mangabeira que sempre esteve ao meu lado nessa longa trajetória desde do começo da minha graduação, compartilhando tanto os momentos de felicidade, quanto os de angústia e ansiedade. Obrigado pelos conselhos, pelos puxões de orelha e ensinamentos.

À Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, por não ser apenas uma orientadora acadêmica, mas sim uma conselheira, levarei suas lições para a vida. E agradeço pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pelo estímulo acadêmico e todas as suas contribuições.

Ao Prof. Dr. Rui de Oliveira, por me auxiliar desde a graduação com seu conhecimento profundo na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, por seus conselhos, broncas e bom humor.

Aos participantes da banca examinadora, Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento e a Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, por todas as contribuições prestadas.

A todos os professores que fazem parte do mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, os meus sinceros agradecimentos por todos os ensinamentos passados, e por serem verdadeiros educadores.

A todos os meus amigos e companheiros de pós-graduação, em especial, Thiago Nepomuceno, Renan Tavares, Mariah de Sordi e João Dehon por todo o companheirismo e incessante presteza em me ajudar durante toda essa caminhada. Terão sempre meu agradecimento e amizade para toda a vida.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento Ambiental, Tiquinho, Val, Cris, Savana e Igor, por todo o apoio nas atividades realizadas, por fazerem os dias no Laboratório de Saneamento serem mais felizes.

À Defesa Civil de Campina Grande - PB, por disponibilizar informações técnicas e administrativas, dados e informações sobre a operação Carro-pipa, essenciais para o desenvolvimento do trabalho, em especial ao Rúiter Sansão e Leandro.

Ao Centro de Vigilância Ambiental e Zoonoses, por auxiliar com informações sobre o VIGIAGUA e localização de soluções alternativas de abastecimento, em especial Rossandra Oliveira, Rostiane, Pablo e Pedro.

À Capes pelo auxílio financeiro concedido, e incentivo ao desenvolvimento técnico científico do país.

Por fim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram ou acompanharam-me nessa jornada, o meu muito obrigado.

“A água é a melodia de fundo que acompanha incessantemente a vida nas suas metamorfoses. Destrói as formas existentes para colocá-las à disposição de uma nova criação. Ata e desata, carrega e transforma. Recria sem cessar o organismo da Terra”.

(Theodor Schwenn)

RESUMO

A água é sem dúvida o bem mais amplamente consumido no mundo e um recurso indispensável para o desenvolvimento da vida da terra, a existência de água em quantidade e qualidade suficiente está ligada diretamente manutenção da saúde pública. O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade das águas utilizadas para o consumo humano na zona rural de Campina Grande – PB, como também as condições de saneamento que possam gerar potenciais riscos à saúde da população residente nessas áreas, por meio da contaminação das águas. Foram analisadas as soluções alternativas de abastecimento coletivas e individuais (SAC e SAI), desde à adução até a reservação nas residências. Para tal, foram utilizados os fundamentos do Plano de segurança da água como base para a realização do estudo e por meio dele foi possível adaptar as ferramentas metodológicas de avaliação e gerenciamento de riscos. Foi realizado o monitoramento dos indicadores mínimos de qualidade da água de acordo com a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, utilizando 10 pontos de amostragem, sendo 5 de cisternas e 5 de caminhões-pipas. Os resultados físico-químicos e microbiológicos mostraram que as águas eram impróprias para o consumo humano. Posteriormente foi realizada a análise de risco de produto e de processo pelo o método da análise de modo e efeito de falha (FMEA), que permitiu elencar e avaliar os principais riscos de falhas e seus efeitos. Os principais perigos obtidos para o produto (água) após a classificação do nível de prioridade de risco foram, a presença de *Escherichia coli*, a presença de coliformes totais, baixa concentração de CRL (cloro residual livre) e alta cor aparente, e para o processo foi a ausência de reclusão no reservatório de consumo da água. Ao final, foram identificadas as deficiências no sistema de abastecimento por soluções alternativas e propostas medidas de segurança como a adoção do princípio de múltiplas barreiras, criação de equipe comunitária do PSA, implementação de protocolos de otimização no tratamento das águas e relatórios periódicos.

Palavras-Chave: Qualidade da água, Soluções alternativas de abastecimento, Análise de risco, Metodologia FMEA, Plano de segurança da água.

ABSTRACT

Water is undoubtedly the most widely consumed good in the world and an indispensable resource for the development of life on earth, the existence of water in quantity and sufficient quality is linked directly to public health maintenance. The objective of this work is to evaluate the quality of water used for human consumption in the rural area of Campina Grande - PB, as well as the sanitation conditions that could generate potential health risks for the population living in these areas, through water contamination. We analyzed the collective and individual alternative supply solutions (SAC and SAI), from adduction to reservation in the residences. To this end, the basics of the Water Safety Plan were used as the basis for the study and through it was possible to adapt the methodological tools for risk assessment and management. Monitoring of minimum water quality indicators was carried out in accordance with Ministry of Health Consolidation Ordinance N° 5 of 2017, using 10 sampling points, 5 of cisterns and 5 of trucks. Physical-chemical and microbiological results showed that the waters were unfit for human consumption. Subsequently, the product and process risk analysis was performed by the FMEA method, which allowed to list and evaluate the main risks of failures and their effects. The presence of *Escherichia coli*, the presence of total coliforms, low concentration of CRL (free residual chlorine) and high apparent color were the main hazards to the product (water) after classification of the risk priority level. Process was the absence of reclaiming in the water consumption reservoir. In the end, deficiencies were identified in the supply system for alternative solutions and proposed safety measures such as the adoption of the principle of multiple barriers, creation of PSA community team, implementation of optimization protocols in water treatment and periodic reports.

Key-words: Water quality, Alternative supply solutions, Risk analysis, FMEA methodology, Water safety plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Impurezas contidas na água.....	4
Figura 2.2 – Características hidrobiológicas de qualidade da água.....	6
Figura 2.3 – Organização institucional do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.....	16
Figura 2.4 – Ações básicas para operacionalização da vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil.....	18
Figura 2.5 – Objetivos do Plano de Segurança da Água.....	20
Figura 2.6 – Etapas do Plano de Segurança da Água.....	21
Figura 3.1 – Fluxograma da pesquisa.....	26
Figura 3.2 – Detalhamento da localização do Município de Campina Grande – PB.....	27
Figura 3.3 – Fluxograma do planejamento amostral das coletas.....	29
Figura 3.4 – Pontos de coleta nas cisternas no Sítio Marinho em imagens de satélite.....	30
Figura 3.5 – Mostra os locais da coleta da pesquisa enfatizando os pontos fixos e móveis.....	31
Figura 3.6 – Procedimento de coleta.....	32
Figura 3.7 – Recipientes utilizado para preservação das amostras: a-) análises físico-químicas b-) análises microbianas.....	33
Figura 3.8 – Aspectos da determinação de cloro.....	34
Figura 3.9 – Passo a passo da análise de Coliformes totais.....	36
Figura 3.10 – Exemplo dos gráficos obtidos com distribuição normal do cloro residual livre em Caminhões-pipa.....	37
Figura 3.11 – Exemplo de normalização de conjunto de dados obtida através da transformação Box-Cox.....	38
Figura 3.12 – Exemplo de gráficos Tukey gerados do em pipas.....	39
Figura 3.13 – Fases de um processo de gestão de risco.....	40
Figura 3.14 – Localização dos Municípios de Araçagi e Campina Grande – PB.....	47
Figura 3.15 – Diagrama de fluxo das soluções alternativas.....	47
Figura 3.16 – Fluxograma para identificação de pontos críticos de controle.....	48
Figura 4.1 – Gráfico <i>boxplot</i> do cloro residual livre (cisternas).....	50
Figura 4.2 – Gráfico de Tukey para CRL em cisternas.....	51
Figura 4.3 – Gráfico <i>boxplot</i> do Cloro Residual Livre (caminhões-pipas).....	52
Figura 4.4 – Gráfico <i>boxplot</i> do cloro residual combinada (cisternas).....	53
Figura 4.5 – Gráfico de Tukey para CRC em cisternas.....	54
Figura 4.6 – Gráfico <i>boxplot</i> do cloro residual combinado (caminhões-pipas).....	55
Figura 4.7 – Gráfico <i>boxplot</i> da turbidez (cisternas).....	56
Figura 4.8 – Gráfico de Tukey para turbidez em cisternas.....	57
Figura 4.9 – Gráfico <i>boxplot</i> da turbidez (caminhões-pipas).....	57
Figura 4.10 – Gráfico de Tukey para condutividade em cisternas.....	59
Figura 4.11 – Gráfico <i>boxplot</i> da condutividade da água em soluções alternativas.....	60
Figura 4.12 – Gráfico <i>boxplot</i> do pH da água em soluções alternativas de abastecimento.....	61
Figura 4.13 – Gráfico de Tukey para o pH em cisternas.....	62
Figura 4.14 – Gráfico <i>boxplot</i> da cor aparente em cisternas.....	63
Figura 4.15 – Gráfico <i>boxplot</i> da cor aparente (caminhões-pipas).....	65
Figura 4.16 – Gráfico <i>boxplot</i> da presença de coliformes totais na água em soluções alternativas de abastecimento.....	66
Figura 4.17 – Gráfico <i>boxplot</i> da presença de <i>Escherichia coli</i> na água em soluções alternativas de abastecimento.....	67
Figura 5.1 – Registro do volume do Açude de Araçagi.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Evolução do número de indicadores adotados no Padrão de potabilidade.....	9
Tabela 2.2 – Exemplos de soluções alternativas de abastecimento de água para o consumo...10	10
Tabela 2.3 – Itens a serem verificados em inspeções sanitárias de soluções alternativas.....12	12
Tabela 2.4 – Métodos de Avaliação de Riscos, vantagens e desvantagens.....25	25
Tabela 3.1 – Descrição dos pontos de coletas e coordenadas de satélite.....31	31
Tabela 3.2 – Parâmetros utilizados, metodologias de análises e referência.....34	34
Tabela 3.3 – Esquema conceitual para a estruturação da informação necessária elaboração de um Plano de Segurança da Água.....46	46
Tabela 4.1 – Resultado da ANOVA para CRL em cisternas.....51	51
Tabela 4.2 – Resultado da análise de variância para CRL em caminhões-pipas.....53	53
Tabela 4.3 – Resultado da ANOVA para CRC em cisternas.....54	54
Tabela 4.4 – Resultado da ANOVA para CRC em caminhões-pipas.....55	55
Tabela 4.5 – Resultado da ANOVA para turbidez em cisternas.....56	56
Tabela 4.6 – Resultado da ANOVA para turbidez em caminhões-pipas.....58	58
Tabela 4.7 – Faixas de condutividade elétrica de águas.....58	58
Tabela 4.8 – Resultado da ANOVA para condutividade em cisternas.....59	59
Tabela 4.9 – Resultado da ANOVA para condutividade em caminhões-pipas.....60	60
Tabela 4.10 – Resultado da ANOVA para pH das cisternas.....61	61
Tabela 4.11 – Resultado da ANOVA para pH dos caminhões-pipas.....63	63
Tabela 4.12 – Resultado da ANOVA para a cor aparente das cisternas.....64	64
Tabela 4.13 – Resultado da ANOVA para a cor aparente em caminhões-pipas.....65	65
Tabela 4.14 – Tabela resumo da FMEA de produto.....70	70
Tabela 4.15 – FMEA de processo de soluções alternativas de abastecimento.....75	75
Tabela 4.16 – Resultado da hierarquização da prioridade de riscos individuais para o FMEA de produto.....78	78
Tabela 4.17 – Resultado da hierarquização da prioridade de riscos individuais para o FMEA de processo.....79	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

31°BIMtz	31° Batalhão de Infantaria Motorizada
ANA	Agência Nacional das Águas
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Constituição Federal
CGVAM	Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde
CGVAM	Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde
CRC	Cloro Residual Combinado
CRL	Cloro Residual Livre
DENSP	Departamento de Engenharia de Saúde Pública
DIEHSA	Divisão de Ecologia Humana e Saúde Ambiental
DNSP	Departamento Nacional de Saúde Pública
DPD	N, N-dietil-p-fenilenediamina
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
FNS	Fundação Nacional de Saúde
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GEVISA	Gerência de vigilância sanitária do município de Campina Grande – PB
IQA	Índice de Qualidade das Águas
LAPECA	Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais
OMS	Organização Mundial da Saúde
VIGIAGUA	Vigilância da qualidade da água para consumo humano
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PSA	Plano de Segurança da Água
SIG	Sistema de Informação Geografia
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISUAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo

Humano

SNVS	Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária
SUS	Sistema Único de Saúde
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USA	Estados Unidos da América
UT	Unidade de Turbidez
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto da Pesquisa	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Geral	2
1.2.2 Específicos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 Qualidades da Água	3
2.2 Soluções alternativas de abastecimento	9
2.3 Vigilância e controle de qualidade da água	14
2.4 Segurança da Água	18
2.5 Análise de risco	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Caracterização da Área de Estudo	27
3.2 Análises Laboratoriais	31
3.3 Análise dos Dados	36
3.4 Avaliação de Risco	39
3.5 Plano de Segurança da Água	45
4. RESULTADOS	50
4.1 Indicadores de qualidade das águas	50
4.1.1 Cloro residual livre em cisternas e caminhões-pipas	50
4.1.2 Cloro residual combinado em cisternas e caminhões-pipas	53
4.1.3 Turbidez em cisternas e caminhões-pipas	55
4.1.4 Condutividade em cisternas e caminhões-pipas	58
4.1.5 pH em cisternas e caminhões-pipas	61
4.1.6 Cor aparente em cisternas e caminhões-pipas	63
4.1.7 Coliformes totais	65
4.1.8 <i>Escherichia coli</i>	66
4.2 Análise de risco	67
4.2.1 Ponderação pontual dos níveis de prioridade dos riscos individuais	78
4.3 Plano de Segurança da Água	81
5. DISCUSSÃO	86
6. CONCLUSÃO	90

1. INTRODUÇÃO

A água é sem dúvida o bem mais amplamente consumido no mundo e é essencial à sustentabilidade da vida no planeta, de tal maneira que a exigência de uma água de qualidade é o propósito fundamental para a proteção da saúde pública. Assim, o monitoramento do risco de contaminação no fornecimento de água se mostra como a primeira linha de defesa, no alerta contra possíveis perigos do contato com água de má qualidade para a população.

A baixa qualidade da água é devida à poluição natural e, principalmente, decorrente das atividades antropogênicas. Sendo assim, impõe-se a necessidade de seu tratamento em função do uso que a mesma se destina, visando remover agentes físicos, químicos e microbiológicos que comprometem a sua qualidade.

O uso de água de má qualidade no abastecimento público é o mais preocupante nos dias atuais, pois por meio dela podem ser contraídas diversos tipos de doenças gastroentéricas pela população. Tais enfermidades são promovidas pela presença de organismos patogênicos na água e constituem uma das principais fontes de mortalidade humana. Dessa forma, o Ministério da Saúde através da Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017, estabelece as diretrizes de controle, vigilância e do padrão de potabilidade da água para o consumo da população.

No nordeste brasileiro, especificamente na região semiárida em que ocorrem características climáticas severas marcadas por poucos meses de chuva e longos períodos de estiagem, a perda de água através da evaporação tem uma consequência significativa para a quantidade e qualidade de água disponível nos mananciais de abastecimento. Devido à escassez e a precariedade dos sistemas de abastecimento de água o poder público prioriza a utilização de sistema de abastecimento convencional em centros urbanos, ficando assim, às zonas rurais em segundo plano sendo abastecida em sua maior parte por soluções alternativas, tais como, poços comunitários, distribuição por veículo transportador (caminhão pipa), cisternas, chafariz, instalações condominiais entre outros conforme a definição da Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde. Esses sistemas têm despertado pouca atenção das autoridades responsáveis pela gestão do sistema de abastecimento, embora atendam a um substancial parcela da população brasileira que vive nessas áreas.

A compreensão das etapas de proteção da água, desde adução até o consumidor final, possibilita ter o controle do processo de abastecimento da água viabilizando, assim, a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA). Em consequência disso, a OMS (Organização Mundial da Saúde) propõe uma nova abordagem de avaliação e gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água. Esta metodologia pretende que as autoridades

governamentais, reguladores e entidades gestoras de sistemas de abastecimento público garantam, de forma pragmática e consistente, o fornecimento de água segura tanto no sistema convencional como também no alternativo, contribuindo de forma efetiva para a promoção da saúde pública e bem-estar das populações.

Dessa forma, este trabalho pretende avaliar a qualidade das águas utilizadas para o consumo humano na zona rural de Campina Grande – PB, como também as condições de saneamento que possam gerar potenciais riscos à saúde da população residente nessas áreas, por meio da contaminação das águas. Serão avaliadas as soluções alternativas de abastecimento, desde à adução até a reservação nas residências, a fim de que ao final do estudo possa se ter um diagnóstico da real situação do abastecimento dessas localidades, e assim, seja capaz de elaborar medidas que garantam segurança da água nessa região e em localidades com caracterizas similares.

1.1 Contexto da Pesquisa

Esse estudo é motivado pela detecção de casos de contaminação microbiológica em soluções alternativas de abastecimento na zona rural de Campina Grande – PB, pelo Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISUAGUA). Deste modo, a pesquisa enfoca no sistema de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, visando entender sua dinâmica desde o manancial até o consumo final, avaliando os riscos e promovendo medidas preventivas e corretivas necessárias para a manutenção da qualidade desse recurso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Estudar a qualidade de águas de abastecimento por soluções alternativas de abastecimento desde a captação no manancial e transporte por caminhão pipa até o armazenamento em cisternas, com base no Plano de Segurança da Água para consumo humano proposto pela *World Health Organization* (WHO).

1.2.2 Específicos

- Avaliar a qualidade sanitária das águas de soluções alternativas de abastecimento, para consumo humano na zona rural no município de Campina Grande - PB;
- Avaliar a vulnerabilidade dessas águas à contaminação com base em análise de risco;
- Propor Plano de Segurança da água de abastecimento por soluções alternativas em comunidades rurais do semiárido nordestino.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Qualidades da Água

Elemento indispensável a todos os seres vivos, a água constitui o insumo essencial à preservação da vida no planeta, um dos recursos mais abundantes e importantes para a vida humana, e o desenvolvimento do meio ambiente. No entanto, no final do século XIX e início do século XX, surgiu uma nova preocupação, pois não basta que as populações apenas disponham de água, é necessário também que essa água tenha o mínimo de qualidade, logo a utilização de uma água potável é fundamental para a promoção da saúde pública (DANTAS et al., 2010).

Segundo a WHO (2011), a qualidade da água, seja ela usada para beber, para fins domésticos, para a produção de alimentos ou fins recreativos tem um impacto importante sobre a saúde, sendo imprescindível sua segurança sanitária para a manutenção da mesma.

Esse panorama atual evidencia o efeito da ação antrópica na qualidade das águas, visto que os corpos aquáticos situados nas proximidades das áreas urbanas apresentam, em grande parte das análises, algum tipo de contaminação. Mais de 90% dos corpos de água afastados das áreas urbanas apresentam-se com qualidade satisfatória para ser destinada ao consumo humano (PEREIRA, 2015).

A prioridade na implementação de ações com a participação da população de padrões que visem assegurar a qualidade da água, tem como base o desenvolvimento de medidas que garantam a segurança do fornecimento de água através da eliminação ou redução da concentração mínima de constituintes indesejados na água, sendo eles conhecidos por serem perigosos à saúde humana (REGO, 2006).

Na avaliação da qualidade das águas de abastecimento humano pós-tratamento utiliza-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation

dos Estados Unidos, que foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para utilização no Brasil. Segundo Agência Nacional das Águas (ANA, 2013) utilizou-se um IQA único para todos os estados brasileiros, com o intuito de permitir a comparação entre os valores obtidos de qualidade da água para consumo humano.

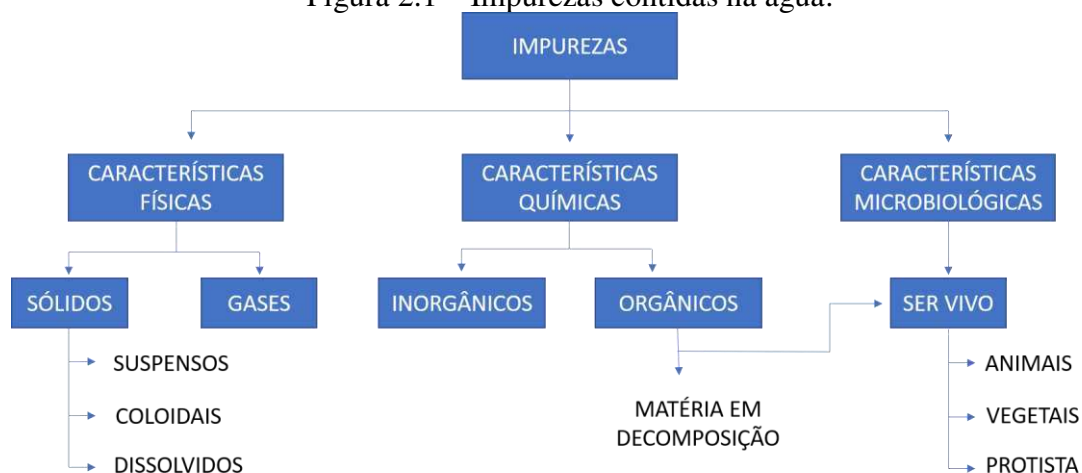
As características físicas, químicas e biológicas e radiológicas das águas estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e em sua bacia hidrográfica, como consequência das mencionadas capacidades de dissolução de ampla gama de substâncias e de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (AWWA, 2006).

Ao se abordar a questão da qualidade da água, é fundamental ter em mente que o meio líquido apresenta duas características marcantes, que condicionam de maneira absoluta a conformação desta qualidade: capacidade de dissolução e capacidade de transporte.

Constata-se assim que a água, além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio na proporção de dois para um, também pode dissolver uma ampla variedade de substâncias, as quais conferem a ela características peculiares (BRASIL, 2006a).

Os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados, de uma maneira ampla e simplificada, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas como pode ser visto na Figura 2.1. Estas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. As principais características da água podem ser expressas como (VON SPERLING, 1996).

Figura 2.1 – Impurezas contidas na água.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996) e Barnes et al (1981).

- Características físicas: As características físicas das águas geram comumente o impacto de imediato ao consumidor, podendo, com alguma frequência, concorrer para recusa

da água distribuída pela concessionária. Quando tal fato ocorre, a opção de abastecimento recai para fontes alternativas, não necessariamente seguras. Esta percepção imediata abarca os sentidos da visão (turbidez e cor), paladar e olfato (sabor e odor) (LIBÂNIO, 2010).

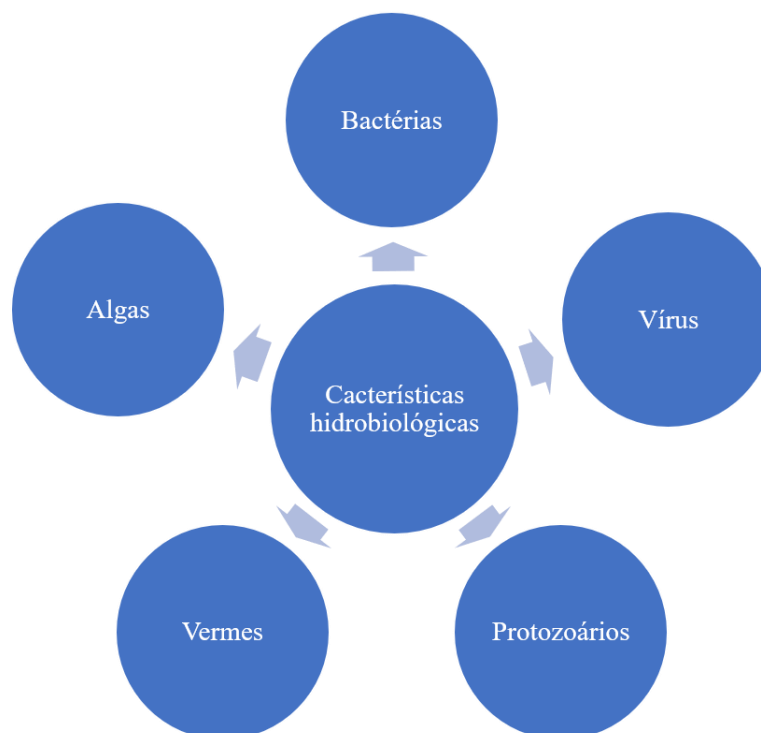
- Características químicas: As características químicas de uma água podem ser interpretadas através de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica.

- Características biológicas: As características biológicas das águas naturais referem-se aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático. Sua relevância manifesta-se na possibilidade de transmitir doenças e na transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos biogeoquímicos de diversos elementos como por exemplo nitrogênio. Na primeira premissa, diversas enfermidades são passíveis de serem transmitidas por ingestão ou contato com água contaminada (CALIJURI E CUNHA, 2013).

A administração das condições de abastecimento desempenha um papel central no controle das enfermidades, que podem ser advindas das alterações na qualidade e/ou quantidade da água, como também atribuídas à sua condição lântica. Elas podem ser sanadas com a implantação de um sistema de abastecimento de qualidade, assim, protegendo a população contra diversas doenças de veiculação hídrica. A grande problemática enfrentada pelo poder público são os elevados custos para o estabelecimento desses sistemas, fazendo com que eles sejam implantados apenas em aglomerados populacionais, deixando para as zonas rurais as soluções alternativas de abastecimento (BUSCH, 2009).

Segundo Richter (2009), milhares de seres vivos são encontradas na água, esses podem ser da escala macroscópica (peixes, algas etc.) a microscópica (vírus, bactérias, algas etc.). Os microrganismos são os que necessitam de maior atenção no processo de tratamento da água, pela sua considerável importância no controle da qualidade da água, sendo a maior parte benéfica principalmente na purificação de corpos d'água (Figura 2.2). Entretanto algumas espécies são responsáveis por doenças como a febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar, cólera, legionelose entre outras conhecidas como doenças de veiculação hídrica.

Figura 2.2 – Características hidrobiológicas de qualidade da água.



Fonte: Adaptado Richter (2009).

Segundo Moreno (2009), a água destinada ao abastecimento da comunidade deve possuir características que a tornem agradável ao consumo humano. Para tanto, esta não deve ser quimicamente pura, pois a água carente de matéria dissolvida e em suspensão não tem sabor e odor agradáveis, além do mais, a presença de certos minerais na água é essencial à saúde e, por esse motivo, algumas águas são consideradas mais saudáveis que outras.

2.1.1 Primeiras legislações relacionadas a água no Brasil

De acordo com os registros do Ministério da Saúde, a criação do Departamento Nacional de Saúde Pública (DNSP), em 1920, evidenciam uma a atenção das autoridades brasileiras de saúde sobre a qualidade da água para consumo humano. Esse órgão governamental foi instituído pelo Decreto-Lei N° 3.987, marcando a fase de reorganização dos serviços de saúde do país, tido como base no que, então se denominava “Reforma Carlos Chagas”.

O surgimento das primeiras legislações brasileiras tratando da gestão das águas do nosso país foi por volta de 1930. Em 1933 foi criada a Diretoria de Águas, e em seguida o Serviço de Águas. Em 1934 foi estabelecido o Código de Águas, pelo Decreto N° 24.643, de

10 de julho de 1934. Este estabelecia modelos diferentes de gestão de acordo com os diferentes tipos de uso (TUNDISI, 2013).

O Governo Federal estabeleceu normas mais abrangentes sobre defesa e proteção à saúde, ao promulgar o Código Nacional de Saúde, por meio do Decreto N° 49.974/1961, que regulamentou a Lei N° 2.314/1954. Segundo Rodrigues (2014) este código incorporou novos objetos à área de abrangência no que hoje, se denomina vigilância sanitária, entre elas o saneamento e a proteção ambiental. É nele que possivelmente aparece pela primeira vez o termo “risco” na legislação sanitária.

Com advento da Constituição Federal (CF) de 1988, as águas particulares não mais existiam, e assim, seriam todas elas de domínio público, portanto, cabendo a todos os cidadãos brasileiros o direito de acesso e o dever de proteger os recursos hídricos. O alicerce democrático foi consolidado quase uma década após, ao ser promulgada a Lei Federal N° 9.433/97 (Lei de Águas), que regulamenta no artigo 21 da CF de 1988, instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), elegendo a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos como um de seus fundamentos.

2.1.2 Evolução dos padrões de potabilidade brasileiros

O primeiro padrão de potabilidade criado no Brasil foi instituído pelo decreto federal N° 79.367 de 9 de março de 1977, que estabeleceu a competência do Ministério da Saúde sobre a definição do padrão de potabilidade da água para consumo humano, a ser observado em todo território nacional, através da Portaria N° 56/1977, publicada em 14 de março de 1977.

Este foi considerado o marco regulatório no país, uma vez que definiu os limites máximos para as diversas características químicas, físicas e biológicas referentes à qualidade da água para consumo humano. De acordo com essa Portaria, caberia às Secretarias de Saúde dos Estados e aos órgãos equivalentes dos territórios e Distrito Federal o exercício de fiscalização e o controle do exato cumprimento das normas e do padrão de potabilidade (ABES, 2009).

Em 1988 iniciou-se a revisão da Portaria N° 56 BSB/77, sendo posteriormente revogada e substituída pela Portaria N° 36 de 19 de janeiro de 1990. Inicialmente a participação foi apenas de setores governamentais de saúde e de companhias estaduais de abastecimento de água e órgãos estaduais de controle ambiental. Em seguida conseguiu

envolver as vigilâncias sanitárias, os laboratórios de saúde pública, a comunidade científica e algumas associações de classe, na discussão da revisão, que forneceu subsídios à nova Portaria Nº 36/1990 GM. Destaca-se como principais inovações introduzidas pela nova legislação (GALDINO, 2009):

- 1) a definição de controle e vigilância da qualidade;
- 2) a definição de serviço e sistema de abastecimento de água; e
- 3) a inclusão e revisão de alguns parâmetros químicos e microbiológicos.

Uma década depois, excedendo o prazo máximo recomendado na Portaria Nº 36/1990 GM, foi iniciando um amplo processo de revisão da normativa. Utilizando um processo participativo, na elaboração da norma, uma vez que houve a colaboração de diversas entidades dos setores público, privado e de organizações não-governamentais. A revisão foi conduzida pelo Ministério da Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde (CGVAM), em parceria com o Departamento de Engenharia de Saúde Pública (DENSP), da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e com a representação da Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) e da OMS, no Brasil (BRASIL, 2001).

Resultando na Portaria Nº 1469 MS em 29 de dezembro de 2000, que estabelecia o controle e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. A principal inovação trazida pela nova norma foi a classificação dos tipos de sistemas de abastecimento de água em: sistema coletivo e sistema ou solução alternativa de abastecimento de água. As instituições ou órgãos tiveram prazo para adequação de 3 anos, exceto para a monitoração de cianobactérias, que teve seu prazo-limite estendido devido a necessidade de tecnologias avançadas, por parte das companhias de água e saneamento do país para sua implementação (ARAÚJO, 2010).

A Portaria 518/2004 do MS foi editada revogando a Portaria Nº 1469/2000, devido a mudanças na estrutura do Ministério da Saúde. Ela manteve todos os parâmetros da portaria anterior entre outros aspectos, apenas com algumas adaptações ao novo ordenamento do MS. Dentre essas inovações, encontra-se a obrigatoriedade da desinfecção para todas as águas, a filtração para águas superficiais, a valorização da *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal, obrigatoriedade da pressurização da rede e a caracterização do sistema coletivo e do sistema alternativo de abastecimento de água (OGATA, 2011).

A revisão da Portaria MS nº 518/2004 foi realizada entre os anos de 2009 até 2011, sob a coordenação do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador (DSAST/SVS), da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde. Após um amplo processo de discussão foi publicada em 12 de dezembro de 2011 a Portaria

do MS Nº 2.914, dispõe que “toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água”. Além disto, define como água potável aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem ao padrão de potabilidade e não oferece risco à saúde (BRASIL, 2011).

Segundo Ribeiro (2012), a Portaria Nº 2.914/2011, além dos avanços em relação aos parâmetros de qualidade também aborda sobre a necessidade da estruturação e habilitação de laboratórios, nos mais diversos níveis do governo e também na área privada, exige a informação sobre a qualidade de produtos químicos utilizados em tratamento de água para consumo humano e a comprovação do baixo risco à saúde, proíbe a existência de solução alternativa coletiva, onde houver rede de distribuição e de misturas com a água da rede, prevê competências específicas para a União, os Estados e Municípios, e amplia a necessidade de capacitação e atualização técnica aos profissionais que atuam no fornecimento e controle de qualidade da água, dentre outros.

A Tabela 2.1 mostra a evolução dos padrões de potabilidade das portarias brasileiras estabelecidas pelo Ministério da Saúde (MS) com relação ao número de parâmetros contemplados e a sua tipologia.

Tabela 2.1 – Evolução do número de indicadores adotados no Padrão de potabilidade.

TIPO DE INDICADORES	NÚMERO DE INDICADORES			
	Portaria 56/1977	Portaria 36/1990	Portaria 518/2004	Portaria 2.914/2011
Orgânicos	0	7	13	15
Inorgânicos	10	11	13	15
Organolépticos	14	17	18	21
Agrotóxicos	12	13	22	27
Subprodutos	0	2	6	7

Fonte: Adaptado de Libânio (2012).

2.2 Soluções alternativas de abastecimento

A Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde define em seu Anexo XX, Capítulo II, no Art. 5º, Inciso § VI à VIII:

VI- Sistema de abastecimento de água (SAA) para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;

VII- Solução alternativa coletiva (SAC) de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição;

VIII- Solução alternativa individual (SAI) de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares.

A Tabela 2.2 abaixo mostra com maior clareza exemplos de soluções alternativas individuais e coletivas de abastecimento.

Tabela 2.2 – Exemplos de soluções alternativas de abastecimento de água para o consumo humano.

COMPONENTE DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA ÁGUA	SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
Captação	Nascente, poço de uso familiar ou coletivo, manancial de superfície, água de chuva
Tratamento	Desinfecção solar, fervura, uso de desinfetantes a base de cloro, filtros domésticos, tratamento domiciliar com filtros de areia, emprego de coagulantes naturais, sachês de produtos químicos
Reservação	Reservatórios domiciliares (caixa d'água), cisternas ou caixas para armazenamento de água de chuva, pequenos reservatórios públicos
Distribuição	Chafariz, torneiras públicas, veículos transportadores

Fonte: Adaptado Heller. e Padua (2010).

Segundo os dados do relatório da UNESCO (2012), um bilhão de pessoas ainda não têm o acesso à água potável nas cidades e esta cifra está aumentando. As infraestruturas sanitárias não seguem o ritmo do crescimento urbano mundial, cuja população, segundo as previsões, quase se duplicará até 2050, passando de 3,4 bilhões para 6,3 bilhões de habitantes vivendo nas cidades. Além disso, atualmente, mais de 80% do esgoto produzido no mundo é lançado *in natura*, ou seja, sem coleta e/ou tratamento nos rios e lagos (WWAP, 2012).

As cisternas rurais são os reservatórios hídricos mais importantes no semiárido, sua capacidade de acumular água de boa qualidade configura uma excelente solução alternativa para zonas com baixos índices pluviométricos. As águas das cisternas quando utilizadas com o devido cuidado, não têm contato direto com outros ambientes que possam mineralizá-las ou contaminá-las, permitindo também a regulação dos estoques para o consumo das famílias durante todo ano. Centros de pesquisa, organizações não governamentais e governos estaduais têm orientado o homem do campo no sentido de construir cisternas com técnicas modernas, baratas, e possibilitando uma melhor forma de manejo de suas águas (BRASIL, 2012a).

Conhecer e avaliar os possíveis pontos críticos do sistema de soluções alternativas coletiva ou individual de abastecimento de água, é de suma importância para a eliminação dos mesmos. Destacam-se entre os principais itens de inspeção sanitária, qualificar e/ou quantificar os perigos associados ao abastecimento para consumo humano, identificar os pontos críticos do sistema, interferência na qualidade da água pelo uso de solução alternativa coletiva ou individual de abastecimento, informar os resultados aos responsáveis pelo serviço de abastecimento de água e contribuir na formulação de ações de remediação ou minimização de riscos à saúde. A Tabela 2.3 mostra sugestões de roteiros de inspeções sanitárias de soluções alternativas (SOARES, 2011).

Tabela 2.3 – Itens a serem verificados em inspeções sanitárias de soluções alternativas.

SOLUÇÃO ALTERNATIVA	ITENS
Veículo transportador	Informações sobre a origem e qualidade da água; uso exclusivo do veículo para o transporte de água para consumo humano; comprovação do residual mínimo de cloro; comprovação de autorização para o transporte e fornecimento de água; adequação do veículo (estado de conservação e segurança nas operações de enchimento, transporte e fornecimento de água); identificação do responsável.

Poços, fontes e minas	Proteção e conservação das estruturas de captação; proximidade a fontes de poluição (atividades agropecuárias, esgoto sanitário, fossas, lixão, aterro sanitário). Quando cabível, comprovação das exigências de tratamento e controle de qualidade da água, e identificação do responsável.
Captação de água de chuvas	Estado de conservação e manutenção dos dispositivos de coleta e armazenamento da água; existência de dispositivos de dispensa das primeiras águas de chuva.

Fonte: Brasil (2007).

Quanto ao cenário atual do saneamento no meio rural, os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015) demonstram que ainda são intensas as desigualdades no acesso aos serviços de abastecimento de água entre os habitantes das áreas urbanas e rurais. No Brasil, apenas 33,4% dos domicílios rurais estão ligados à rede de distribuição de água (com ou sem canalização interna), sendo que o restante (66,6% das residências) utiliza soluções alternativas coletivas ou individual de abastecimento, como o uso de captação direta de água da chuva, coleta em reservatórios superficiais (açudes e lagos) sem tratamento, poços e a coleta direta em nascentes de rios (FUNASA, 2017).

O Sistema de Informação sobre Qualidade da Água para Consumo Humano mostra que, em 2015, apenas 67,9% dos municípios brasileiros realizaram o cadastro total ou parcial com relação às formas de abastecimento. Sendo que, 47,1% utilizam a SAI, 40,6% o SAC, e 12,3% a SAA, entretanto esses foram responsáveis pelo abastecimento de respectivamente 0,73%, 3,5% e 71,2% da população.

Entre as SAIs cadastradas, 32,5% não tinham tratamento da água e 39,5% não apresentavam informação sobre tratamento no SISAGUA. Em se tratando de SACs e SAA, respectivamente, 64,2% e 14,6% não tinham tratamento da água. Somando, as regiões Norte (50,2%) e Nordeste (51,9%) juntas concentravam mais da metade das SAIs e SACs cadastradas e representavam 38% dos SAA, mesmo percentual verificado para a região Sudeste (38,1%). Também é possível verificar, a partir do sistema, que o percentual da população abastecida apenas por SAIs aumenta conforme diminui o tamanho do município, com os maiores percentuais identificados em municípios com menos de 10 mil habitantes (OLIVEIRA, 2017).

A busca pela sustentabilidade hídrica exige uma mudança nas atitudes e comportamentos, rever a nossa convivência que é mantida com nós mesmos, com os outros e

com a natureza, para tanto, deve-se reconhecer que temos que coexistir em harmonia. Conforme Gadotti (2008) se não mudarmos nosso modo de produzir e consumir água a existência da humanidade estará seriamente comprometida, desta forma, é necessário mudanças substanciais nas relações humanas, sociais e ambientais que temos hoje.

Segundo Tavares (2007) a gestão integrada da qualidade e quantidade da água no semiárido nordestino demanda atenção, por ser um fator limitante para o desenvolvimento social e econômico dessa região. Visando reduzir a vulnerabilidade hídrica da região utiliza-se de soluções alternativas de abastecimento para tentar amenizar os efeitos das secas prolongadas.

As águas das chuvas são geralmente excelentes para vários usos, inclusive para beber, exceto em locais com forte poluição atmosférica. Normalmente, a contaminação da atmosfera não atinge concentrações capazes de comprometer significativamente a qualidade da água das chuvas, que quase sempre têm uma boa qualidade química para vários usos, inclusive para diluir águas duras ou salobras. A contaminação microbiológica na atmosfera é muito rara, sendo assim, geralmente ela ocorre na superfície de captação (telhado, solo ou outra superfície preparada ou natural) ou quando está armazenada de forma não protegida. Desta forma a segurança sanitária das águas de cisternas dependem, principalmente, das condições da superfície de captação e da proteção sanitária do tanque (ANDRADE NETO, 2013).

2.3 Vigilância e controle da qualidade da água

A garantia da qualidade da água para consumo humano fornecida por um sistema de abastecimento público constitui elemento essencial das políticas de saúde pública. Até finais do século XIX, a avaliação e o controle de riscos para a saúde humana por transmissão de doenças provocadas por consumo de água eram realizadas de forma empírica, confiando-se primordialmente na aparência física da água (VIEIRA E MORAIS, 2005).

Tanto o controle da qualidade da água, exercido pela entidade responsável pela operação do SAA ou SAC, quanto a sua vigilância, por meio dos órgãos de saúde pública, são instrumentos essenciais para a garantia da proteção da saúde dos consumidores. É falsa a compreensão de que bastam a concepção, o projeto, a implantação, a operação e a manutenção adequados para que um SAA ou um SAC estejam livres de riscos à saúde humana. Obviamente, essas etapas são essenciais, mas não suficientes, para garantir a necessária proteção à saúde. Fatores diversos podem atingir um SAA ou SAC, por mais

sanitariamente eficientes que estes sejam. As mais imprevisíveis e variadas situações podem ocorrer em um sistema desse tipo, trazendo consigo os riscos à saúde humana (BRASIL, 2006).

A vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano consiste no conjunto de ações adotadas continuamente para garantir que a água consumida pela população atenda ao padrão de potabilidade. É preciso prevenir a transmissão de enfermidades na água utilizada para consumo humano. Para avaliar os riscos que sistemas e soluções alternativas de abastecimento representam à saúde humana, é necessário implantar as medidas de vigilância e controle (BRASIL, 2015).

As suas ações têm como objetivo (BRASIL, 2012a):

- Reduzir à morbimortalidade por doenças e agravos de transmissão hídrica, por meio da vigilância sistemática da qualidade da água consumida pela população;
- Buscar à melhoria das condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano;
- Avaliar e gerenciar o risco à saúde das condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água;
- Monitorar sistematicamente à qualidade da água consumida pela população, nos termos da legislação vigente;
- Informar à população sobre a qualidade da água e os riscos à saúde;
- Apoiar o desenvolvimento de ações de educação em saúde e mobilização social.

2.3.1 Evolução e hierarquia institucional da vigilância e controle no Brasil da água para o consumo humano

A vigilância da qualidade da água para consumo humano só foi implantada no Brasil como um programa, a partir da estruturação da vigilância em saúde ambiental fundamentada nos princípios do Sistema Único de Saúde (SUS) estabelecidas pela Constituição de 1988. Em 1986, o Ministério da Saúde, por meio do Decreto Federal Nº 92.752/1986, institucionalizou o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), ele estabeleceu que compete ao Ministério da Saúde, em parceria com as Secretarias de Saúde dos estados, o Distrito Federal e os territórios da nação, a competência sobre a fiscalização do exato cumprimento do que foi estabelecido pela resolução.

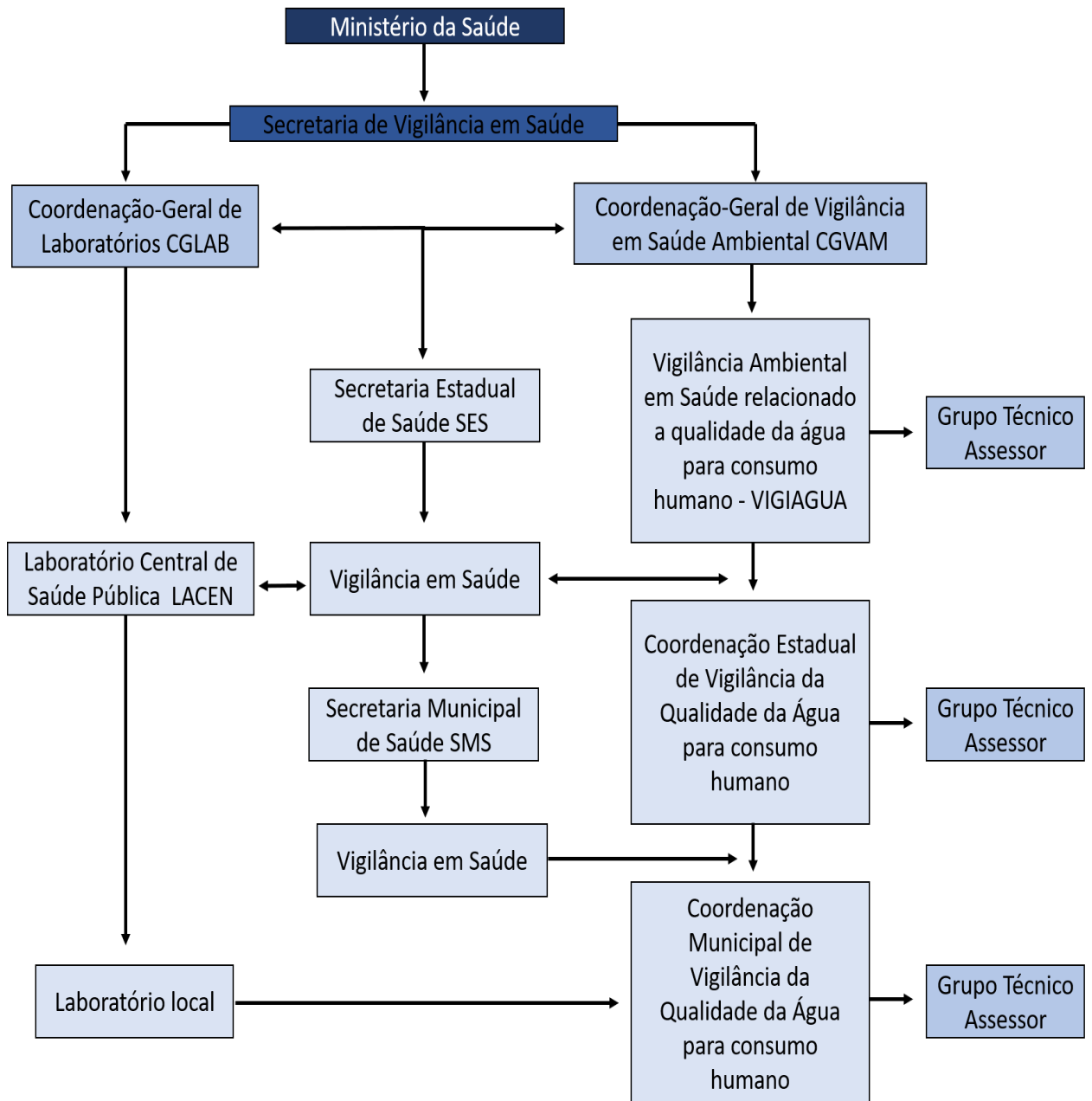
Com a ineficiência da aplicação do Decreto Federal Nº 92.752/1986 pelos estados, houve uma mudança no desenho do Ministério da Saúde reorganizado por meio do Decreto

Federal Nº 109/1991. Criando assim, a Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), por meio de sua Divisão de Ecologia Humana e Saúde Ambiental (DIEHSA), a qual continuava a coordenar o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.

Em 2000, a Fundação Nacional de Saúde (FNS) passa a se chamar, FUNASA, por meio do Decreto Federal Nº 3.450 /2000. No ano 2000, a FUNASA implementa algumas ações para viabilizar o desenvolvimento da vigilância da qualidade da água para consumo humano, destacando-se a criação do Sistema de Informações sobre Qualidade de Água para Consumo Humano (SISAGUA).

Para operacionalizar as ações da VIGIAGUA, foi elaborado um Programa Nacional, que é coordenado, no âmbito federal, pela Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde (CGVAM), da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). Este programa inclui modelo, campo e forma de atuação baseados nas diretrizes do Sistema Único de Saúde (SUS). A organização institucional da vigilância e controle de água para consumo humano no Brasil pode ser melhor compreendida na Figura 2.3 (BRASIL, 2017).

Figura 2.3 – Organização institucional do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.



Fonte: Brasil (2005).

2.3.2 Programa Nacional de vigilância da qualidade da água para consumo humano (VIGIAGUA)

O VIGIAGUA do Ministério da Saúde consiste em um conjunto de ações (Figura 2.4) adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública das três esferas de gestão do SUS, com o objetivo de desenvolver ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano que garantam à população acesso à água em quantidade e qualidade suficiente,

compatível com o padrão de potabilidade estabelecido pela norma brasileira (DANIEL e CABRAL, 2011), promovendo assim, a saúde da população e prevenindo agravos e doenças de transmissão hídrica, por meio da gestão de riscos relacionados ao abastecimento de água (BRASIL, 2017).

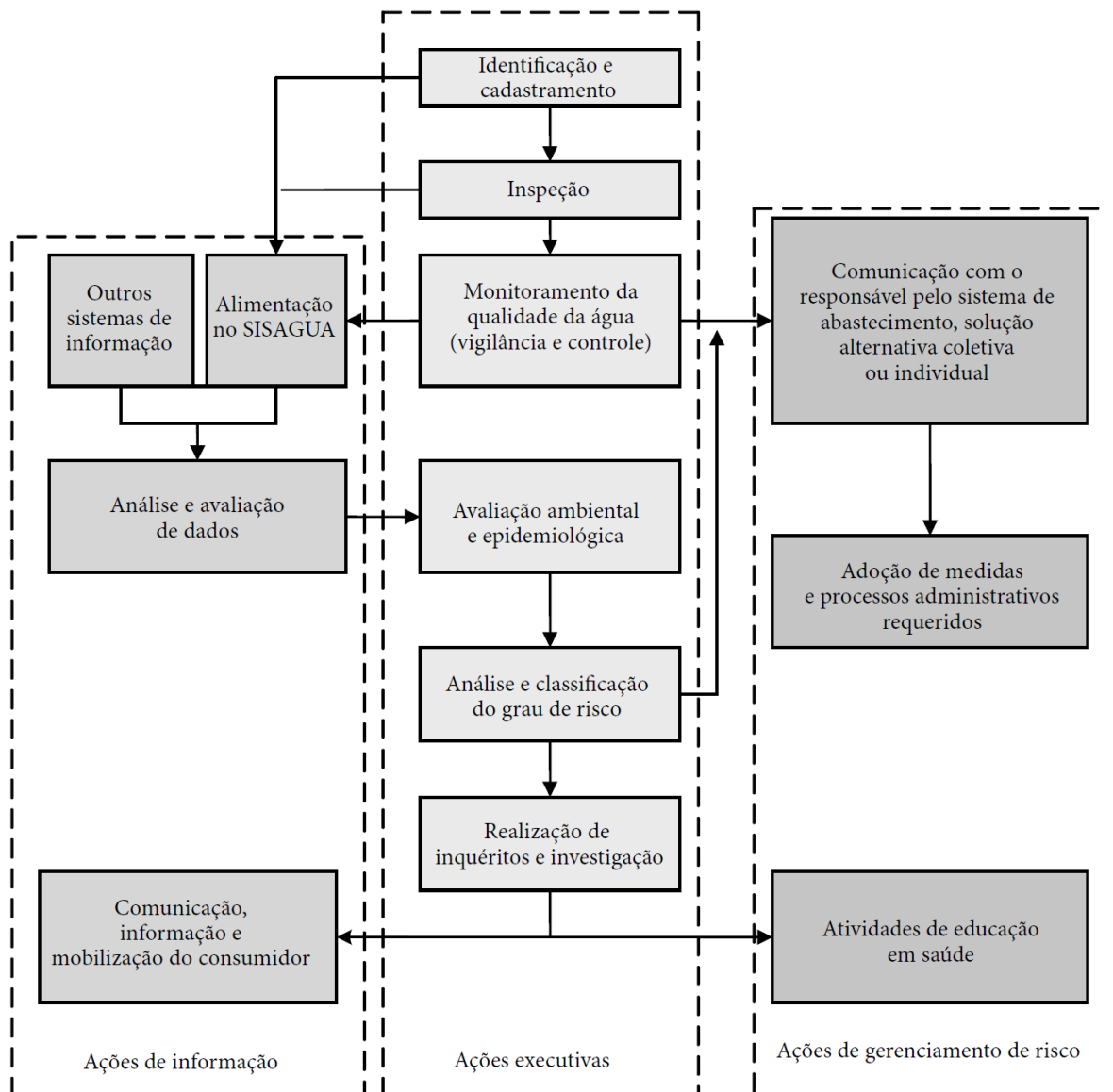
O VIGIAGUA tem como uma de suas responsabilidades a coordenação do seu principal instrumento de gestão, o sistema de informação de vigilância e controle da qualidade da água de consumo humano (SISAGUA). Como previsto na Portaria do MS nº. 2.914/2011, o SISAGUA vem sendo alimentado com informações geradas pelos responsáveis da vigilância da qualidade da água. As secretarias Estaduais e Municipais de Saúde com os dados sobre aspectos físico-químicos, químicos e microbiológicos, como também de vazão, população abastecida e a localização do sistema (BRASIL, 2017).

Esse diagnóstico obtido a partir da vigilância e controle, teoricamente, possibilita aos gestores tomarem as decisões em torno dos sistemas de abastecimento e soluções alternativas, no sentido de se exigirem as intervenções adequadas, quando há ocorrência de não conformidades com a qualidade da água (BEVILACQUA et al., 2014). Também pode permitir o mapeamento de áreas ou sistemas de maior vulnerabilidade ambiental e técnica, ajudando a definir as que são prioritárias. Entretanto, a existência de alguns entraves impossibilita que a vigilância e controle da qualidade da água seja efetivamente exercida (QUEIROZ, 2012).

Dentre esses entraves pode-se destacar:

- 1) a geração de dados, análise e disseminação da informação;
- 2) a descentralização das ações;
- 3) a intersetorialidade nas ações;
- 4) a participação da sociedade para o controle social (Freitas, M.B; Freitas, C.M, 2005).

Figura 2.4 – Ações básicas para operacionalização da vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil.



Fonte: Adaptado do Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água Consumo Humano (BRASIL, 2006a).

2.4 Segurança da Água

O esquema conceitual de um Plano de Segurança da Água para consumo humano, tal como preconizado pelas diretrizes para a qualidade da água potável da WHO (2017), pode ser definido como um documento que identifica e prioriza riscos plausíveis de ocorrerem num sistema de abastecimento, desde a origem da água bruta até à torneira do consumidor. O seu propósito de estabelecer planos de gestão e comunicação dos sistemas de qualidade da água,

por meio da utilização de medidas de adequação e controle para reduzir ou eliminar os riscos do processo.

O seu principal objetivo é o de garantir a qualidade da água para consumo humano através da utilização de boas práticas no sistema de abastecimento de água, tais como: minimização da contaminação nas origens de água, redução ou remoção da contaminação durante o processo de tratamento e a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento, a distribuição e o manuseamento da água na distribuição (BRASIL, 2012b).

A garantia da segurança da água para consumo humano vem passando por uma revisão de seus paradigmas, tornando evidente o entendimento de que apenas o controle laboratorial, para verificar o atendimento ao padrão de potabilidade, é insuficiente para garantir a efetiva segurança da água para consumo humano. Neste sentido, as ferramentas de avaliação e gerenciamento dos riscos, denominadas Plano de Segurança da Água (PSA), constituem os instrumentos mais efetivos, pois utilizam uma abordagem que engloba todas as etapas do fornecimento de água, desde a captação até o consumidor (WHO, 2011).

A OMS recomenda que as entidades gestoras de sistemas de abastecimento público de água desenvolvam planos de segurança para garantir a qualidade da água, incorporando metodologias de avaliação e gestão de riscos, bem como práticas de boa operação dos sistemas. Privilegia-se, assim, uma abordagem de segurança preventiva em detrimento da metodologia clássica de monitorização de conformidade de “fim-de-linha”, através de uma efetiva gestão e operação de origens de água, estações de tratamento e sistemas de distribuição (NOKES AND TAYLOR, 2003; DAVISON et al., 2004).

O PSA é um instrumento com abordagem preventiva, com o objetivo de garantir a segurança da água para consumo humano. Seus objetivos específicos são:

- Prevenir ou minimizar a contaminação dos mananciais de captação;
- Eliminar a contaminação da água por meio do processo de tratamento adequado; e
- Prevenir a contaminação no sistema de distribuição da água (reservatórios e rede de distribuição).

Tem como finalidade ajudar os responsáveis pelo abastecimento de água na identificação e priorização de perigos e riscos em sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor. A Figura 2.5 resume os objetivos do PSA (BRASIL, 2012b).

Figura 2.5 – Objetivos do Plano de Segurança da Água.



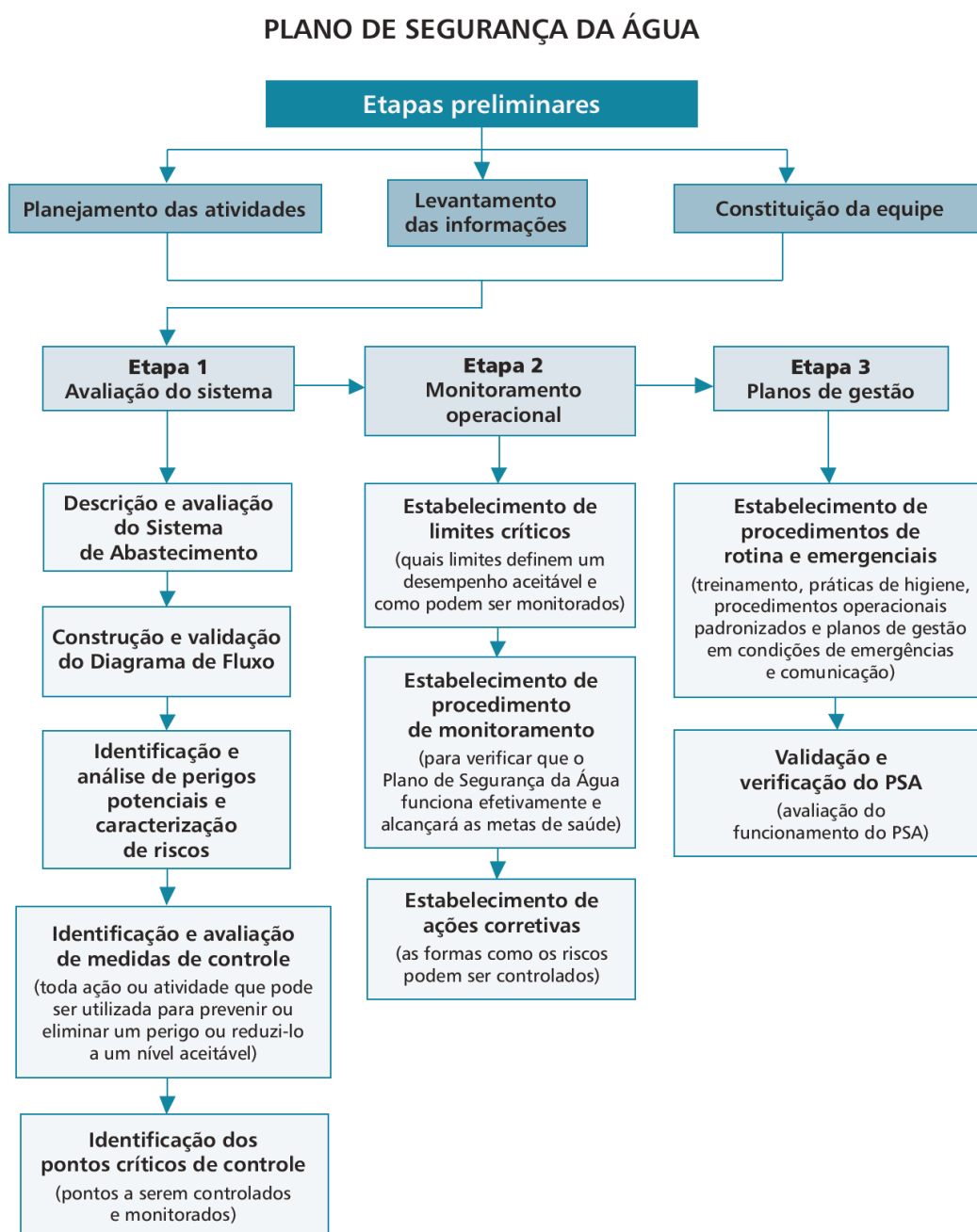
Fonte: Bastos (2010).

O gerenciamento da qualidade da água, baseado em uma abordagem preventiva de risco, auxilia na garantia da segurança da água para consumo humano. O controle da qualidade microbiológica e química da água para consumo humano requer o desenvolvimento de planos de gestão que, quando implementados, forneçam base para a proteção do sistema e o controle do processo, garantindo-se que o número de patógenos e as concentrações das substâncias químicas não representem risco à saúde pública, e que a água seja aceitável pelos consumidores (WHO, 2011).

O desenvolvimento e a adaptação de ferramentas metodológicas de avaliação e gerenciamento de riscos à saúde, associados aos sistemas de abastecimento de água, desde a captação até o consumidor, facilita a implementar os princípios de múltiplas barreiras, boas práticas e gerenciamento de riscos, inseridos na portaria do Ministério da Saúde sobre potabilidade da água para consumo humano, a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017. Tais ferramentas são conceituadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como Planos de Segurança da Água – PSA (BRASIL, 2012b).

De uma forma geral, as etapas para o desenvolvimento do PSA podem ser divididas em três grandes partes, as quais estão representadas na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Etapas do Plano de Segurança da Água.



Fonte: BRASIL, 2012b.

A **avaliação do sistema** é um processo de análise e verificação de riscos, envolvendo todo o sistema de abastecimento, desde a fonte até a torneira do consumidor. Visa determinar se a qualidade final da água distribuída aos consumidores atende aos padrões estabelecidos nas metas de saúde.

O **monitoramento operacional** engloba a identificação e o monitoramento dos pontos críticos de controle, de modo a reduzir os riscos identificados.

Os **planos de gestão** visam à gestão do controle dos sistemas de abastecimento para atender a condições em operação de rotina e excepcionais, em que uma perda de controle do sistema pode ocorrer (VIEIRA; MORAIS, 2005; WHO, 2017).

Segundo Cook e Bakker (2012) a capacidade da população de garantir o acesso seguro e sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável para sustentar os meios de subsistência, está diretamente relacionado ao bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico. É necessário assegurar a proteção da água contra a poluição e os desastres a ela relacionados, para que se possa desfrutar de um ecossistema preservado e seus benefícios (UN-WATER, 2013).

2.5 Análise de Risco

Segundo Melo (2014) a análise de riscos é definida fundamentalmente no uso de informações disponíveis para estimar o risco e a magnitude de suas consequências para indivíduos ou populações, propriedades ou ambiente, em virtude de condições de perigo. A etapa mais complexa no processo de gerenciamento de risco é a quantificação do risco, já que pode envolver uma grande incerteza de acordo com o grau de precisão desejado, além da quantidade de variáveis utilizadas (VIANNA, 2015).

Para maior fluidez no entendimento do assunto é importante definir e distinguir os conceitos de risco e perigo. De acordo com Sánchez (2013) o perigo pode ser definido como um efeito adverso inerente a uma determinada atividade ou circunstância, podendo acarretar dano à algo ou alguém. Já risco, pode ser entendido como a quantificação da probabilidade da ocorrência desse perigo. Portanto, o risco é a materialização de uma situação de perigo (VERÇOSA, 2017).

A análise de risco pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento devido a sua alta flexibilidade, tendo como um ramo promissor de aplicabilidade os sistemas de abastecimento de água para consumo humano, pois através da descrição dos possíveis fatores, agentes ou situações que tragam um risco podem ser propostas medidas para evitar, minimizar ou controlar, com a participação da população interessada no agravo (BASTOS et al., 2009).

Segundo Nascimento (2016) a análise de risco é um processo abrangente e estruturado composto por três diferentes etapas: as ações de avaliação, o gerenciamento e a comunicação do risco, desenvolvidas de forma sequencial e integrada. Estes elementos são utilizados na tomada de decisões para prevenir e controlar os riscos, sendo fundamentais para a definição das abordagens e estratégias do gerenciamento de riscos (FREITAS, 2002).

A avaliação de risco consiste em um conjunto de procedimentos que permitem a identificação de perigos bem como a estimativa e caracterização, quantitativa ou qualitativa, dos potenciais efeitos adversos relacionados a cada perigo (BRASIL, 2006b). Ela é composta por quatro partes: a identificação do perigo, a avaliação da dose-resposta, a avaliação da exposição e a caracterização do risco, segundo *United States Environmental Protection Agency* (2007); WHO (1999; 2004); Bevilacqua et al (2002); Haas, Rose e Gerba (2014).

(1) Identificação de perigos: Compreende uma avaliação do conhecimento disponível e a descrição dos efeitos adversos à saúde, crônicos ou agudos, associados a determinado agente. Em termos da água utilizada para consumo humano, a existência de exploração agrícola na bacia de contribuição do manancial, descarga de efluentes de agroindústrias, falhas no tratamento da água, rupturas de rede de abastecimento são exemplos de risco;

(2) Avaliação da dose-resposta: Após caracterização do perigo e identificação do agente associado, é preciso avaliar o potencial do agente em causar resposta em diversos níveis de exposição, assim como a sua extensão e seus efeitos. Assim, é conduzida uma análise das relações entre a quantidade administrada/ absorvida do agente e as mudanças ocorridas no organismo, sistema ou população. A definição da dose que causa algum efeito adverso é estabelecida a partir de estudos experimentais, principalmente em animais, ou epidemiológicos;

(3) Avaliação de exposição: Compreende a determinação do tamanho e caracterização da população exposta e a magnitude da exposição: definição da(s) rota(s), quantificação, duração e frequência da exposição. Algumas informações são importantes, como: produção e liberação das substâncias no ambiente, fatores relacionados ao movimento, persistência e degradação da substância; tamanho e distribuição das populações vulneráveis e informações sobre a ingestão do agente. Procura-se não apenas identificar o agente presente na água, mas quantificá-lo, além de determinar as circunstâncias envolvidas na exposição humana;

(4) Caracterização do risco: Integra os resultados das etapas anteriores, gerando informações de natureza qualitativa e quantitativa. A partir do conhecimento da dose do agente (quantidade presente na água) e do consumo de água, determina-se, a partir de modelos matemáticos, o risco do agravo para uma ou mais exposições. Dessa forma, estima-se a magnitude do problema de saúde, considerando-se a variabilidade e a incerteza, com o intuito de se subsidiarem as estratégias de gerenciamento de risco.

No gerenciamento é realizada a seleção das alternativas técnicas, políticas e a escolha das ações regulatórias mais adequadas que devem ser executadas para minimizar, eliminar

e/ou mitigar os riscos avaliados, com a função de controlar os riscos considerando o custo-benefício da implantação das melhorias no sistema e assegurando a operação adequada dos processos, como também, respeitando os limites de segurança e criando rotinas de otimização dos processos (NASCIMENTO, 2016; RODRIGUES, 2014; RAZZOLINI e NARDOCCI, 2006).

Por fim, a comunicação é o processo interativo de troca de informações entre às partes interessadas sobre os riscos provenientes de determinada situação, com o objetivo de democratizar a informação entre as partes interessadas. Para que possam estar aptos a estabelecer medidas de proteção, com o conhecimento dos riscos existentes (OGATA et al., 2016).

Deve, entretanto, ressaltar que a avaliação de riscos em sistemas de abastecimento de água para o consumo humano não é um objetivo em si próprio, mas sim uma forma de estruturar o processo de decisão, e constitui, assim um ponto de partida para o estabelecimento de procedimentos que enfatizam o papel fundamental que é o consumo de água segura garantindo a promoção da saúde pública.

Existem diversas metodologias de análise de risco. A tabela 2.4 apresenta uma visão crítica sobre as vantagens e desvantagens na escolha de cada técnica de identificação de perigos.

Tabela 2.4 - Métodos de Avaliação de Riscos, vantagens e desvantagens.

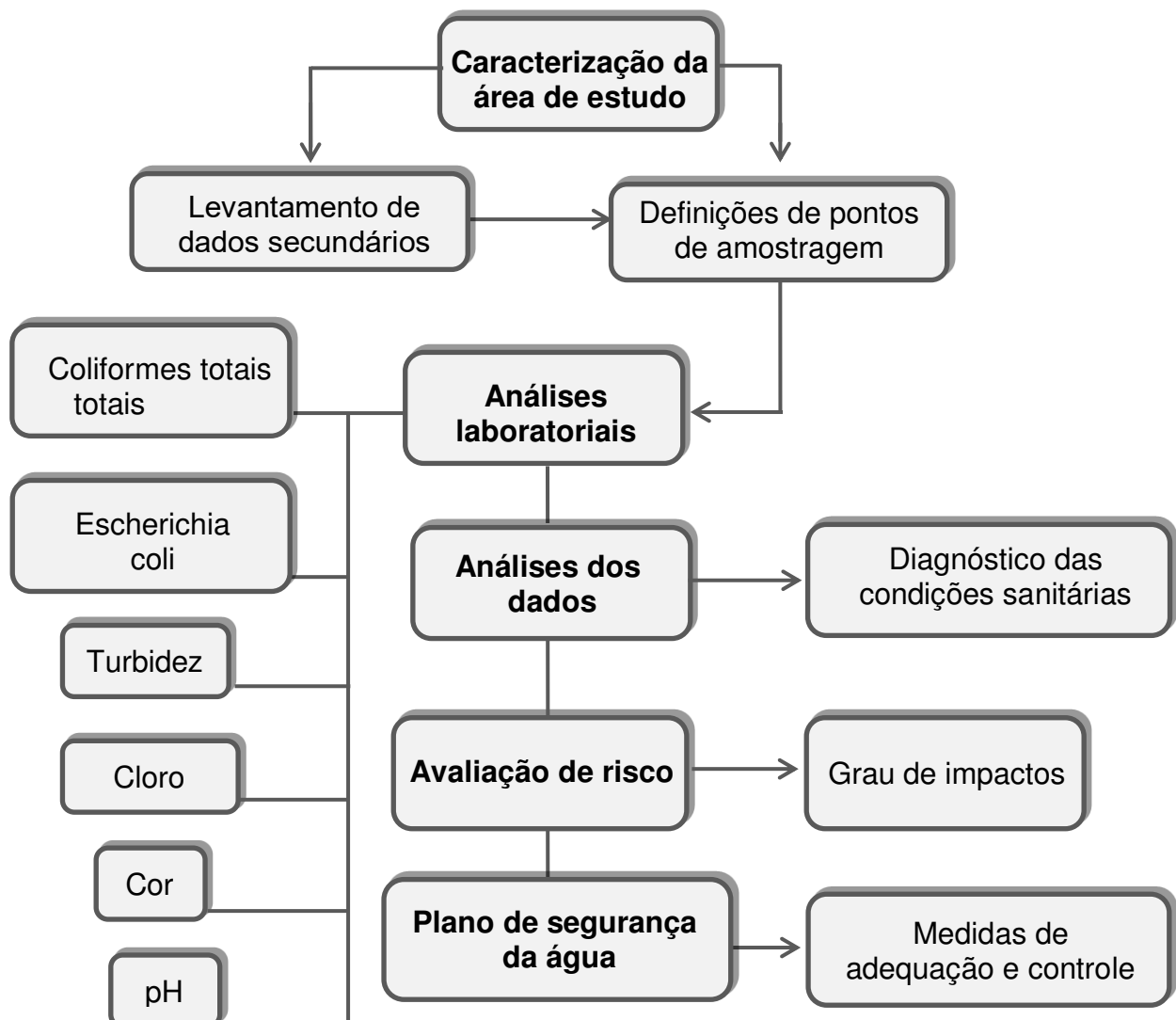
TÉCNICAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Análise Preliminar de Riscos (APR)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de executar, devido ao seu esquema metódico e baixo nível de pormenor. - Permite revisões do projeto em tempo útil. 	<ul style="list-style-type: none"> - É desenvolvida numa fase inicial e pode faltar informação sobre todos os detalhes do projeto. - Necessita de ser complementada por técnicas mais detalhadas e apuradas. - Em sistemas bastante conhecidos, esta técnica pode ser evitada e partir-se diretamente para a aplicação de outras técnicas mais específicas.
Análise de Operabilidade e Perigos (HAZOP)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil aplicação, muito aceite e padronizado e sem modelo matemático. - Identifica as causas possíveis, os desvios, as suas consequências e as ações requeridas para obter a segurança do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de tempo. - Equipe multidisciplinar treinada. - Conhecimento do processo - Método demorado; - Em projetos novos deve ser complementado com outros métodos; - Necessita que o processo esteja bem detalhado.
“WHAT - IF” ou “e se?”	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil aplicação e geral. - Qualitativa, uso em projeto ou operações. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vários “<i>check lists</i>”. - Consumo de tempo.
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil aplicação; - Modelo padronizado; - Classificação de risco. - Analisa subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Examina falhas não perigosas; - Demorada; - Não considera falhas de modo comum ou combinação de falhas.

Fonte: Adaptado de Mendonça (2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida de acordo com o fluxograma ilustrado na Figura 3.1. Na primeira etapa foi realizada a caracterização da área de estudo, através de documentos, informações dos órgãos competentes e visitas exploratórias. Na segunda foram selecionados os parâmetros de qualidade da água para realização das análises laboratoriais. Na terceira foi realizada a análise dos dados laboratoriais e identificação das reais condições sanitárias das soluções alternativas de abastecimento. Na quarta etapa foi realizada a análise de risco pelo o método FMEA, que permitiu elencar e avaliar os principais riscos de falhas e seus efeitos. Finalmente, na quinta foram elaboradas as diretrizes para o plano de segurança da água.

Figura 3.1 – Fluxograma da pesquisa.

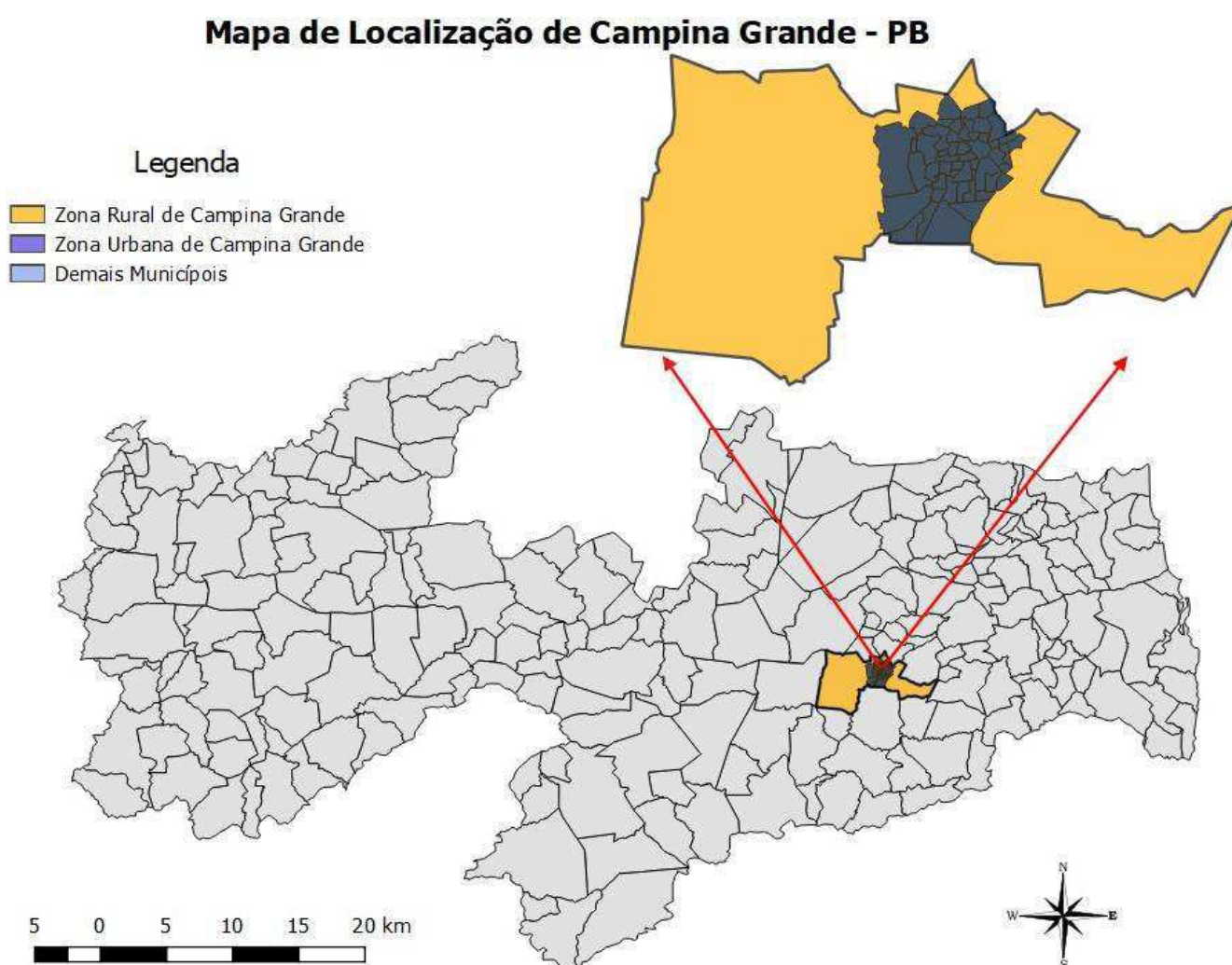


Fonte: Autor (2018).

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Esta pesquisa foi realizada na zona rural do município de Campina Grande – PB, que segundo o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), situa-se no interior da Paraíba, mesorregião do agreste, na região do Planalto da Borborema, a 7° 13'11" de latitude Sul e a 35° 52'31" de longitude Oeste. A área total do município é de, aproximadamente, 621Km² dos quais 525 Km² são de zona rural e 96 Km² de zona urbana (Figura 3.2).

Figura 3.2 – Detalhamento da localização do Município de Campina Grande – PB.



Fonte: Adaptado do IBGE (2010), utilizando QGIS 2.18.14.

3.1.1 Levantamento de dados secundários

Nessa fase foi realizado o levantamento de dados secundários junto aos órgãos competentes, Centro de Vigilância Ambiental e Zoonoses, Secretaria Municipal de Saúde de Campina Grande – PB, Defesa Civil Municipal, Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), 31º Batalhão de Infantaria Motorizada (31ºBIMtz) e consulta a trabalhos científicos, nacionais e internacionais.

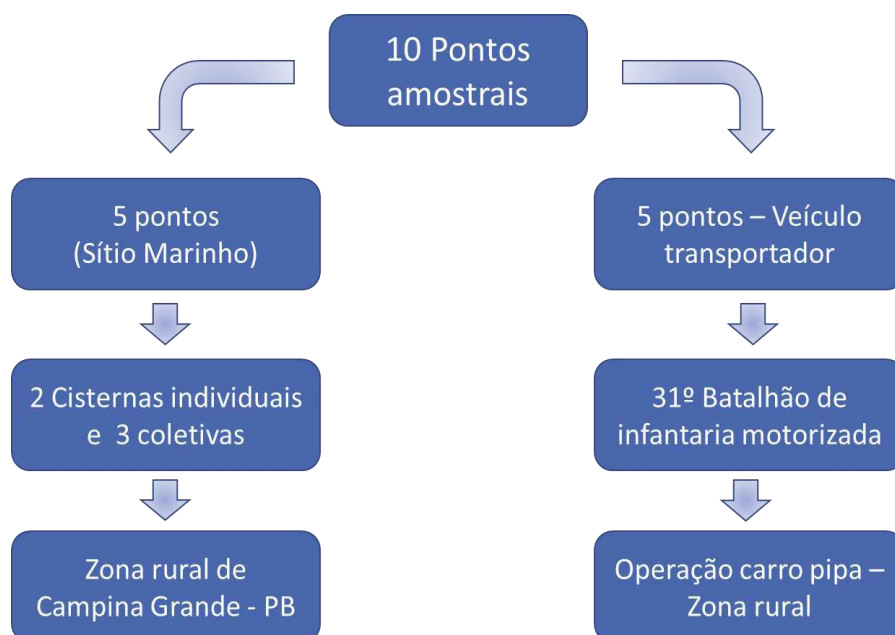
Os dados do monitoramento da qualidade de água na zona rural foram adquiridos junto ao Centro de Vigilância Ambiental e Zoonoses, portal VIGIAGUA, e os da rede de abastecimento de água junto à CAGEPA e dissertações de mestrado.

A Defesa Civil e o Exército cederam informações como, as principais áreas de risco abastecidas por soluções alternativas de abastecimento, o cadastro dos veículos transportadores de água e localidades atendidas, diversas informações técnicas e operacionais sobre o abastecimento na zona rural de Campina Grande – PB e cidades circo vizinhas, e informações sobre a implantação de mais de 1300 cisternas nos anos de 2015 à 2016 na zona rural do município, por meio do Programa Água para Todos.

3.1.2 Definição dos pontos de amostragem

A título de amostragem experimental foram coletadas dez amostras de água em soluções alternativas de abastecimento, sendo todas na zona rural de Campina Grande – PB, cinco de cisternas (três amostras de cisternas coletivas e duas de cisternas individuais) e outras cinco de veículos transportadores que atendiam a mesma região (Tabela 3.1). As análises destas amostras foram efetuadas para servir de base na realização do estudo, como também para o diagnóstico das condições de saneamento e da qualidade da água. A Figura 3.3 mostra de forma esquemática, como se dividiam os pontos de coletas.

Figura 3.3 – Fluxograma do planejamento amostral das coletas.



Fonte: Autor (2018).

Os critérios utilizados nessa pesquisa para a definição dos pontos fixos (cisternas) de coletas das amostras foram selecionados seguindo as recomendações da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, que leva em consideração fatores para seleção de áreas prioritárias de coleta de amostras com base os princípios de riscos à saúde (Brasil, 2016):

- Áreas que do ponto de vista epidemiológico que justifiquem atenção especial (por exemplo, histórico de ocorrência de casos de doenças de transmissão hídrica);
- Locais estratégicos que atendem a populações mais vulneráveis: escolas, creches e hospitais;
- Consumidores vulneráveis;
- Histórico da qualidade da água em desconformidade ao padrão de potabilidade (monitoramento realizado pelo controle e/ou vigilância);
- Sistemas ou soluções desprovidas do tratamento mínimo estabelecido na Portaria de Potabilidade da água ou sem identificação de responsável;
- Tipo de manancial utilizado;
- Uso e ocupação do solo da bacia de captação (Figura 3.4 área em vermelho);
- Zonas de vulnerabilidade da rede de distribuição (zonas de baixa pressão, áreas com intermitência, pontas de rede);

- Áreas com populações em situação sanitária precária, deficiência dos serviços de saneamento (drenagem, coleta de lixo e de esgotos).

Assim, o Sítio Marinho (delimitado em amarelo) localizado na zona rural da cidade de Campina Grande – PB foi selecionado como área para amostragem em cisternas por atender aos requisitos necessários, supracitados, e ser uma localidade representativa da zona rural do município. O mesmo se encontra localizado a 6,6 km do centro da cidade com acesso pela PB-095 (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Pontos de coleta nas cisternas no Sítio Marinho em imagens de satélite.

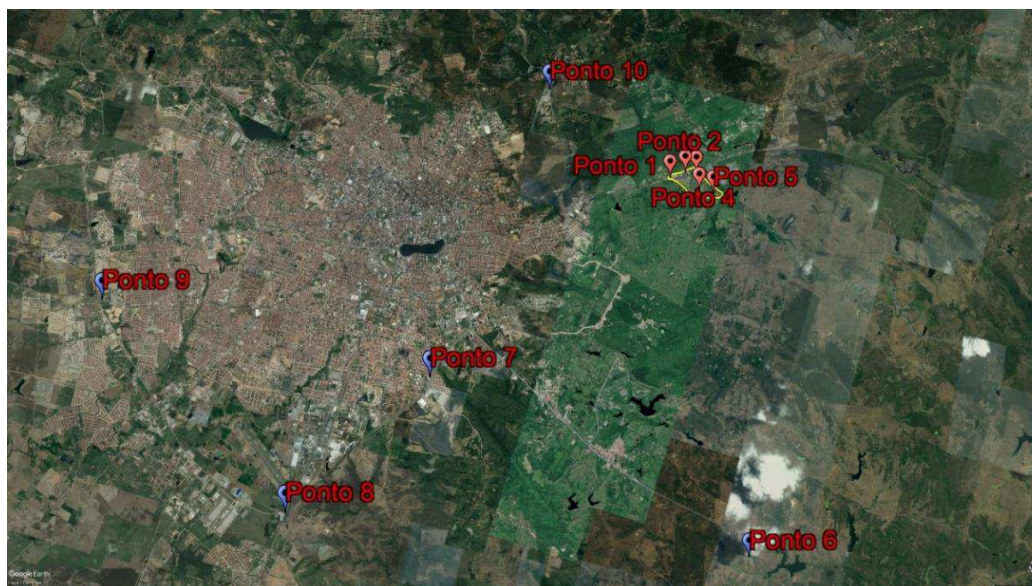


Fonte: Adaptado do Google Earth (2018).

Para os pontos móveis foram escolhidos veículos transportadores de água que participavam da “Operação Carro-pipa”, vinculados ao Exército (31°BIMtz), e abasteciam a zona rural Campina Grande – PB (Tabela 3.1). Vale salientar que esses veículos atendiam aos critérios sanitários necessários ao abastecimento por veículo transportador, e passavam por vistorias periódicas.

As coletas de amostras de água dos Caminhões-pipa eram realizadas durante os acessos às zonas de distribuição (Figura 3.5), as margens da BR-230, Ponto 6 – Km 141(Parque de Vaquejada Maria da luz), Ponto 7 Km 150 (Em frente ao posto GS), Ponto 8 – Km 157 (Acesso a Três irmãs), Ponto 9 – Km 160 (Catolé de Boa Vista) e Ponto 10 – BR 104 Km 132 (Caminho para Queimadas).

Figura 3.5 – Mostra os locais da coleta da pesquisa enfatizando os pontos fixos e móveis.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2018).

Tabela 3.1 – Descrição dos pontos de coletas e coordenadas de satélite.

Ponto de coleta	Coordenadas	Ponto de coleta	Coordenadas
Ponto 1 Cisterna individual	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	Ponto 6 - Veículo transportador	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O
Ponto 2 Cisterna individual	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	Ponto 7 - Veículo transportador	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O
Ponto 3 Cisterna coletiva	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	Ponto 8 - Veículo transportador	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O
Ponto 4 Cisterna coletiva	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	Ponto 9 - Veículo transportador	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O
Ponto 5 Cisterna coletiva	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	Ponto 10 - Veículo transportador	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O

Fonte: Autor (2018).

3.2 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com exceção dos testes de coliformes totais e *Escherichia coli* os quais foram feitos no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizados na cidade de Campina Grande – PB. As análises tiveram início no mês de março de 2017 e foram

concluídas no final de outubro do mesmo ano, sendo realizadas 30 amostragens em 10 pontos de coleta.

Os parâmetros mínimos de qualidade da água para o monitoramento de soluções alternativas de abastecimento, foram selecionados de acordo com a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, são eles:

- Físico-químicos: cloro residual livre, turbidez, pH e cor.
- Microbiológico: Coliformes totais e *Escherichia coli*.

Também foram utilizados alguns parâmetros complementares para a maior segurança no diagnóstico obtido, são eles: condutividade e cloro residual combinado.

3.2.1 Coleta e preservação das amostras

As coletas foram realizadas semanalmente, pela manhã, com início no dia 04/03/2017 e término em 08/11/2017. No total foram coletadas 30 amostras para análise de cada indicador escolhido, em cada ponto (tudo registrado em um formulário de coleta, Apêndice A).

Segundo BRASIL (2012) coleta de amostras é um dos passos mais importantes para a avaliação da área de estudo, portanto, é essencial que a amostragem seja realizada com precaução e técnica, para evitar todas as fontes possíveis de contaminação e de perdas das amostras. As coletas foram realizadas seguindo o guia nacional de coleta e preservação de amostras da ANA (2011), tanto nos reservatórios, quanto nos veículos transportadores. As amostras eram retiradas a uma profundidade de 15 à 30 cm da superfície da água para os caminhões-pipa e reservatórios sem a presença de bomba manual. Para as que tinham bombeamento era feita a assepsia do local de retirada da água com álcool 70%, e em seguida era extraída a água estagnada da tubulação (Figura 3.6). O protocolo detalhado utilizado das coletas segue no Anexo B.

Figura 3.6 – Procedimento de coleta.

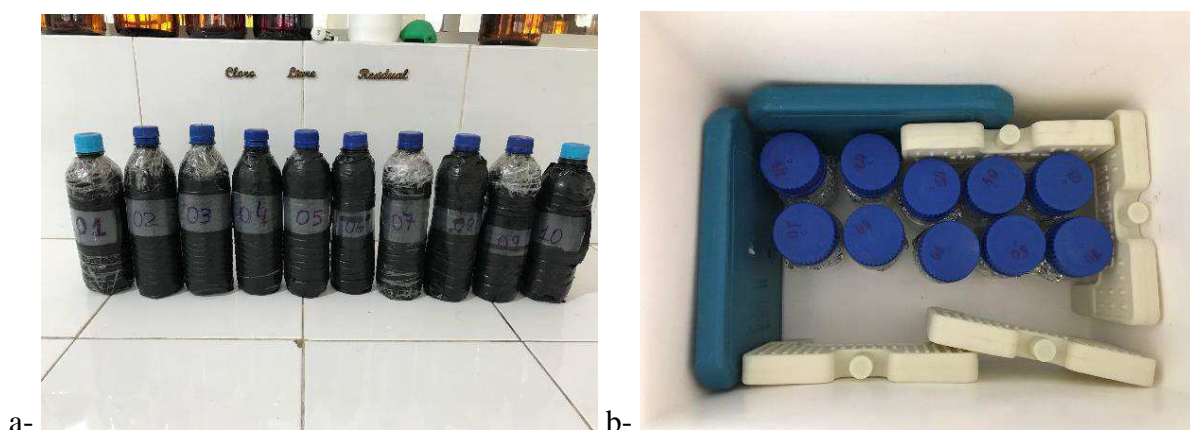


Fonte: O autor (2018).

As amostras das análises físico-químicas (cloro residual livre e combinado, turbidez, condutividade, pH e cor) eram coletadas em garrafas PET (polietileno tereftalato) envoltas em fita isolante preta com capacidade de 500ml (Figura 3.7a). As garrafas eram lavadas com água e sabão em abundância, semanalmente, antes de serem utilizadas, a fim de evitar a contaminação e erros nos resultados.

Nas coletas de amostras para análises de indicadores microbiológicos foram utilizados frascos Schott de 100ml com bocas largas e tampas rosqueadas, os quais eram lavados com água e sabão, enxaguados com água destilada três vezes, envoltos em papel e esterilizados na autoclave a 121°C por 15 a 20 minutos. Após a coleta as amostras eram transportadas em caixa térmica com gelo para garantir a preservação até a chegada no laboratório (Figura 3.7b).

Figura 3.7 – Recipientes utilizado para preservação das amostras: a-) análises físico-químicas
b-) análises microbianas.



3.2.2 Métodos analíticos

Todas as determinações seguiram os métodos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2012), e estão descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros utilizados, metodologias de análises e referência.

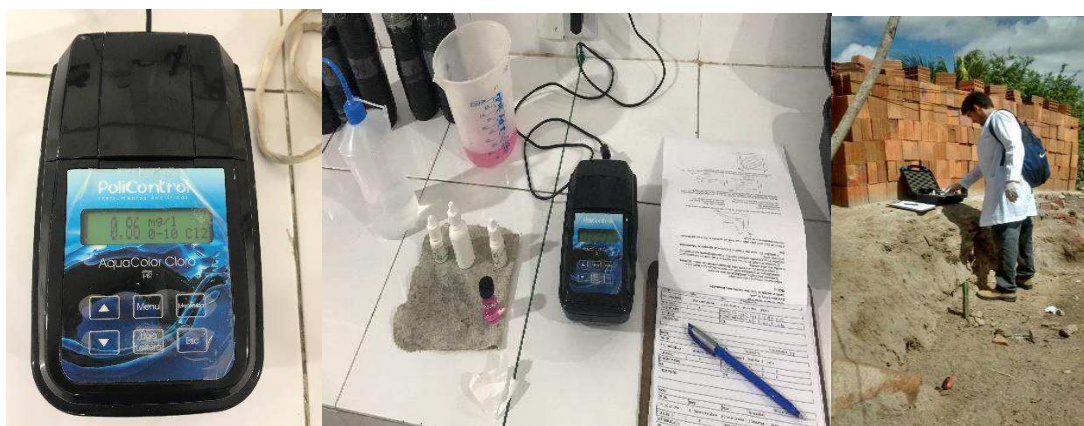
PARÂMETROS	METODOLOGIA
CRL e CRC	DPD - Colorimétrico
Turbidez	Nefelométrico
Cor	Platina – Cobalto Colorimétrico
pH	Potenciométrico
Condutividade elétrica	Potenciométrico
Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	Substrato Cromogênico – COLILERT®

Fonte: O autor (2018).

3.2.2.1 Cloro residual livre e cloro residual combinado

O método DPD Colorimétrico foi utilizado para a determinação das concentrações de cloro residual livre (CRL) e o cloro residual combinado (CRC). Esse método usa uma solução indicadora de N, N-dietil-p-fenilenediamina (DPD), que ao entrar em contato com frações de cloro presente na água apresenta coloração róseo-avermelhada, assim, quanto mais intensa a cor, maior a concentração de cloro na amostra conforme a Lei de Beer. Os resultados foram obtidos com a utilização do equipamento de leitura direta colorímetro AquaColor Cloro. A Figura 3.8 ilustra aspectos das determinações de cloro que para evitar variações foram realizadas *in loco*.

Figura 3.8 – Aspectos da determinação de cloro.



Fonte: O autor (2018).

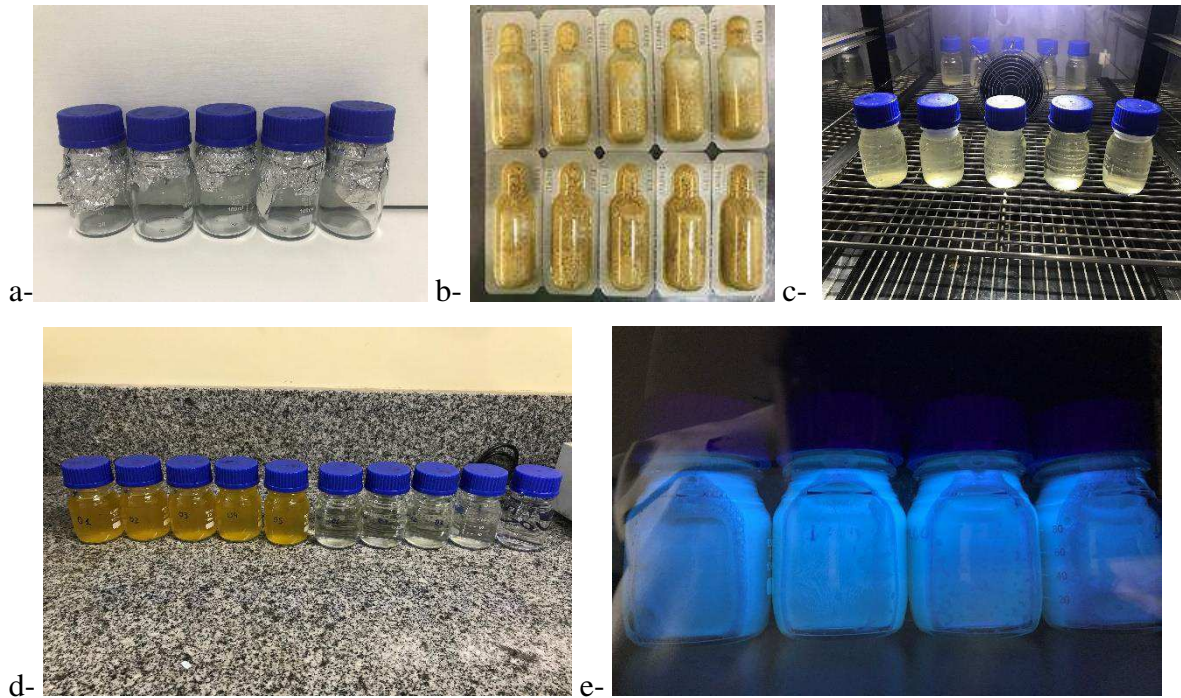
3.2.2.2 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Para as análises microbiológicas foi utilizado o teste de presença ou ausência que Substrato Cromogênico – COLILERT[®], que identifica as bactérias Coliformes totais e *Escherichia coli* nas águas. Esse método é bastante confiável e utilizado por diversas agências de proteção ambiental para o controle e monitoramento de águas, como a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos da América (USA).

Passos da execução do método:

- 1- Com os frascos Schott esterilizados em autoclave a 121 °C por 15 minutos e devidamente selados com papel alumínio, fazer a coleta da amostra de água (Figura 3.9a).
- 2- Ao lado do bico de Bunsen aceso abrir o frasco Schott com a amostras, e fazer a flambagem da boca do frasco. Adicionar o blister (Figura 3.9b) com o meio de cultura, em seguida fechar o frasco e homogeneíza a amostra.
- 3- Incubar as amostras a 36 ± 1 ° C ou $35 \pm 0,5$ ° C durante 24 ± 1 horas (Figura 3.9c).
- 4- Após 24 horas fazer a leitura das amostras e observar se o meio muda de cor ligeiramente translúcida para amarelo ou verde, indicativo da presença de Coliformes (Figura 3.9d).
- 5- Colocar as amostras que mudaram de cor em uma câmara de luz ultravioleta (UV) de onda 366 nm e observar a emissão de fluorescência azul brilhante que é indicativo da presença de *E. coli* (Figura 3.9e).
- 6- é feita a leitura das amostras que apresentaram mudança de cor feita na câmara de luz ultravioleta (UV) de onda 366 nm, o meio que emitir uma fluorescência azul brilhante, tem presença de *E. coli* (Figura 3.9e).

Figura 3.9 – Passo a passo da análise de Coliformes totais.



Fonte: O autor (2018).

3.3 Análise dos Dados

Primeiramente foi utilizada a estatística descritiva para determinar os valores de tendência central: moda e mediana. O cálculo da média não foi utilizado por não representar o comportamento do conjunto amostral, tornando imprecisa a análise dos dados. Em seguida foi determinada a amplitude interquartil (IQR – *Interquartile Range*), (Equação 1) necessária para o cálculo dos limites superiores e inferiores (Equação 2). Os *outliers* (valores atípicos) não foram retirados por se tratarem de dados explicáveis através de ocorrências registradas nos diários de coleta (Apêndice C). Em seguida foram gerados os gráficos *boxplots*.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (1)$$

Q_1 = Quartil 1;

Q_3 = Quartil 3.

$$L_{sup} = \bar{X} + 1,5 \times IQR \quad \& \quad L_{inf} = \bar{X} - 1,5 \times IQR \quad (2)$$

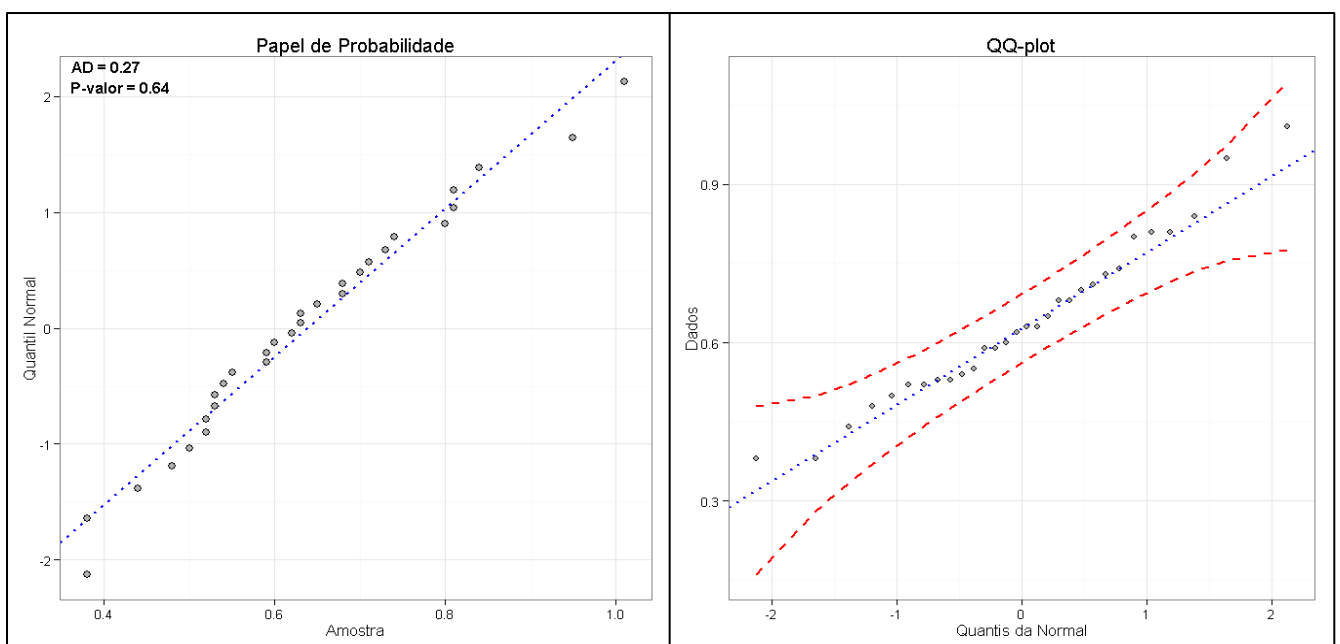
L_{sup} = Limite superior;

L_{inf} = Limite inferior;

\bar{X} = Média.

Posteriormente foi verificado se os dados apresentavam distribuição normal também conhecida como distribuição gaussiana dos conjuntos amostrais (Figura 3.10). Para tanto foi utilizado o programa Action Stat® na versão 3.3.2 extensão do Excel 2016, para realizar os testes: Kolmogorov - Smirnov, Anderson - Darling, Shapiro – Wilk e Ryan – Joiner, alguns dados não apresentaram distribuição normal, o que pode ser justificado pela não retirada dos *outliers* dos conjuntos amostrais.

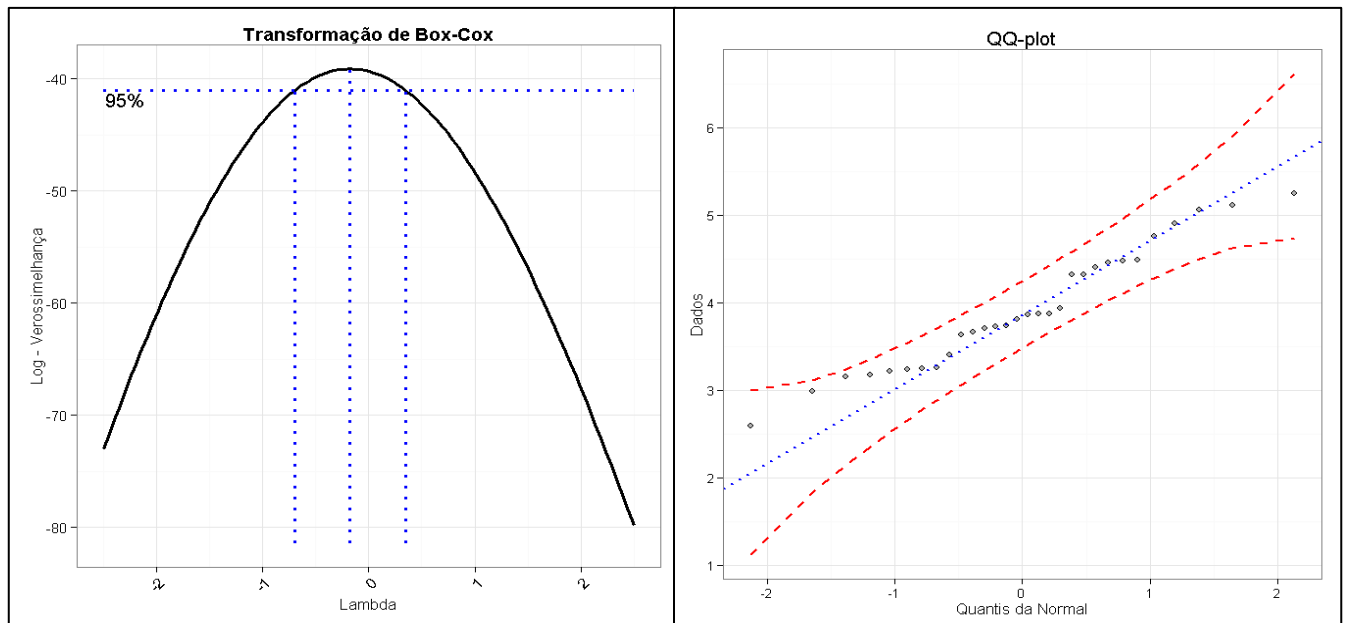
Figura 3.10 – Exemplo dos gráficos obtidos com os resultados da distribuição normal do cloro residual livre em Caminhões-pipa.



Fonte: O autor (2018).

Os dados que não apresentaram essa distribuição foram transformados pelo método Box-Cox com um nível de significância de 0,05. Para os dados que apresentaram valor de $X=0$, foi utilizada a função $f(x) = x + 1$, a fim de que fosse possível realizar a normalização, visto que, o Box-Cox só transforma valores positivos e com $x \neq 0$ (Figura 3.11).

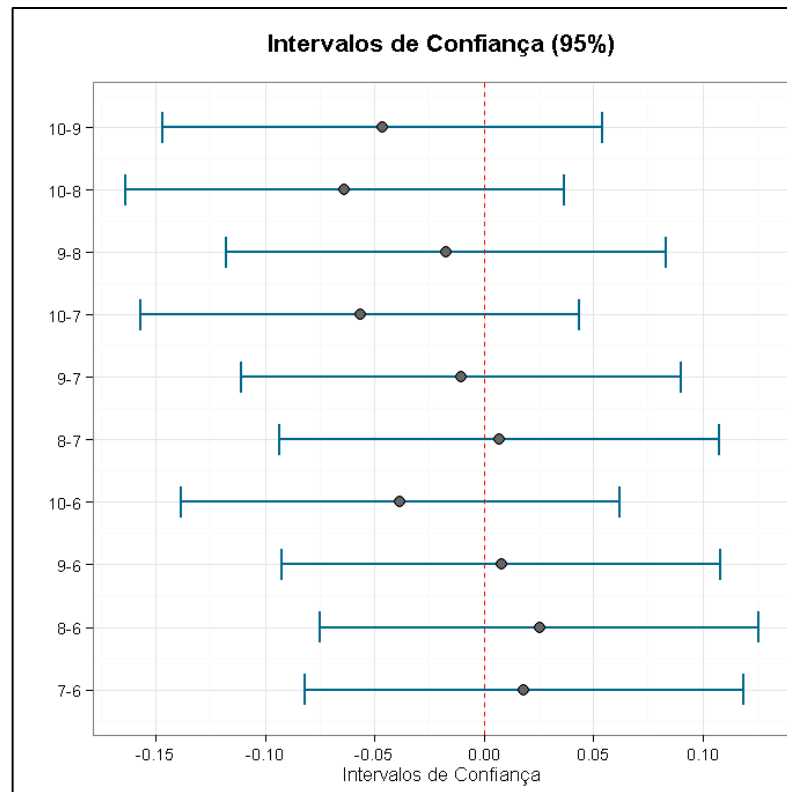
Figura 3.11 – Exemplo de normalização de conjunto de dados obtida através da transformação Box-Cox.



Fonte: O autor (2018).

Finalmente, foi realizada, para todos os conjuntos de dados de mesma variável, a análise de variância de fator único (ANOVA), com o nível de significância de 0,05 visando a checagem do resultado do P-valor, com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre os mesmos, sendo confirmada quando o $P < 0,05$ e negada com o $P > 0,05$. Com a detecção de diferenças significativas pelo teste anterior, foi aplicado o teste Tukey no qual foi possível diferenciar individualmente os grupos de dados estatisticamente semelhantes através da intercessão entre os respectivos intervalos de comparação de pares de valores médios, com um nível de significância de 0,05, exemplo na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Exemplo de gráficos Tukey gerados do em pipas.



Fonte: O autor (2018).

3.4 Avaliação de Risco

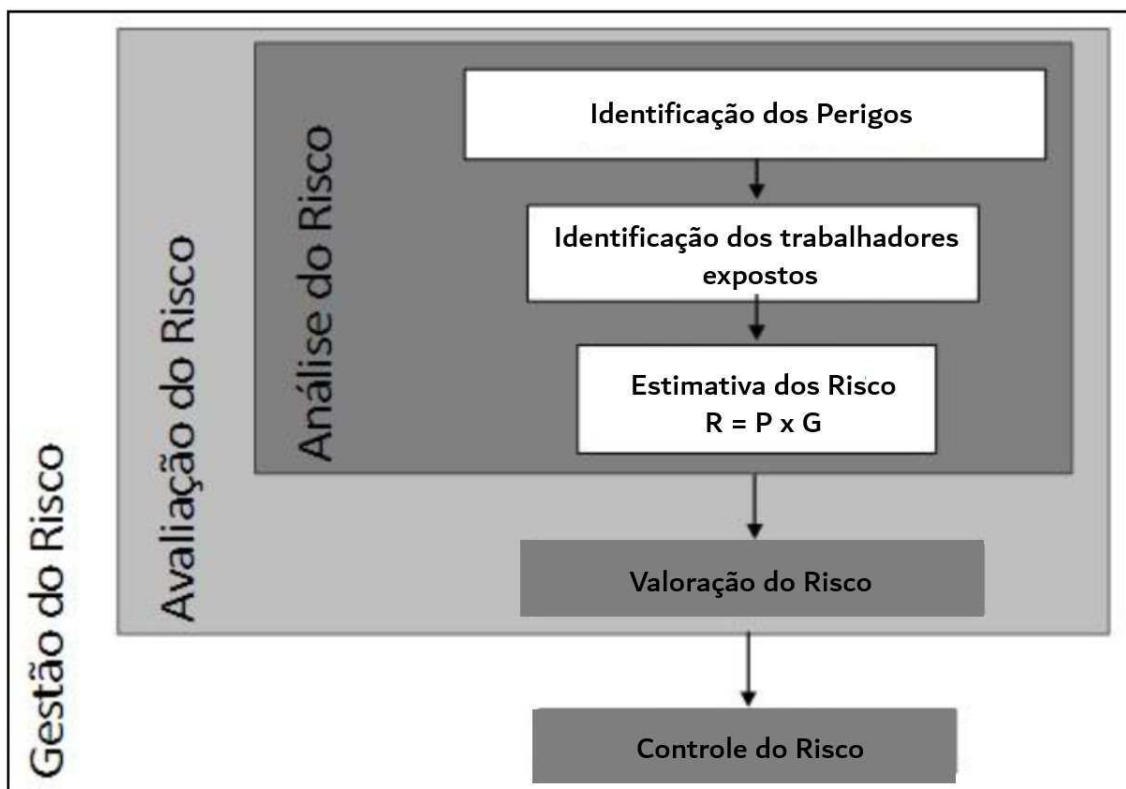
O método FMEA, produto e processo, foi utilizado para a avaliação de risco por ser uma ferramenta flexível e confiável, e que é utilizada com o objetivo de mapear os potenciais modos de falha possíveis de ocorrer no sistema, novos ou em operação. Este método também é empregado para propor medidas mitigadoras para sanar ou reduzir os possíveis riscos, trazendo confiabilidade ao processo (EBRAHIMIPOUR et al., 2010; LIMA et al., 2013).

Vale a pena ressaltar que com relação à implementação do método, há uma ampla variedade de *layouts* de formulários de FMEA acessíveis na literatura, possíveis de serem utilizados nas mais diferentes áreas. Não existindo uma padronização obrigatória a ser seguida, fica a critério do aplicador juntamente com sua equipe de avaliação a escolha de aspectos fundamentais tais como: índices de classificação e escalas numéricas, para a realização da análise.

A gestão de risco pode ser dividida em duas fases, a análise do risco, que visa determinar a magnitude e a avaliação do risco, que avalia o significado que o risco assume. A

Figura 3.13, detalha as fases do processo, bem como a sua relação no processo de gestão do risco.

Figura 3.13 – Fases do processo de gestão de risco.



Fonte: Adaptada de Roxo (2006).

3.4.1 Planejamento do FMEA

Para a realização da análise de risco foi definida a utilização do FMEA de processo e de produto. O primeiro foi responsável por avaliar as falhas no planejamento e na execução do processo de transporte e manuseio da água em soluções alternativas de abastecimento, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto, e o segundo para avaliar os riscos considerando as falhas, que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações normativas relacionados a deteriorações dos parâmetros da qualidade da água, tanto no armazenamento quanto no transporte.

O grupo de trabalho foi formado com a colaboração de quatro consultores, sendo todos graduados em engenharia sanitária e ambiental, dois mestres, um mestrando e um alocado no setor privado da construção civil. Cada um com diferentes experiências em diversas áreas, qualidade, desenvolvimento, produção e acadêmica.

A reunião foi marcada com antecedência e consentimento de todos os envolvidos, tendo sido programada de modo que não houvesse interrupções para o máximo de

aproveitamento do estudo. Toda documentação necessária como: tabela de dados tratados, gráficos *boxplot*, informações operacionais das soluções alternativas de abastecimento e diário de coleta, foi organizada previamente para a viabilização da atividade com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão dos envolvidos.

O grupo de especialistas foi orientado para que cada tópico fosse discutido amplamente até que todos os integrantes conseguissem entrar em um consenso sobre o resultado encontrado. Para tanto, foi imprescindível um conhecimento prévio sobre a área de estudo e o fornecimento de subsídios informativos sobre as condições das soluções alternativas de abastecimento do município de Campina Grande – PB.

3.4.2 Análises de falhas em potencial

Nessa fase foi realizada a construção do formulário FMEA e das tabelas de escores, essas escolhas foram feitas juntamente com o auxílio da equipe de especialistas. A análise das falhas potenciais visa o preenchimento dos formulários nos requisitos necessários, levando em consideração o tipo do perigo, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco.

O FMEA de processo levou em consideração a resolução de diretoria colegiada RDC Nº 91, de 30 de junho de 2016 da ANVISA, sobre boas práticas para o sistema de abastecimento de água ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, como também pelas condições sanitárias observadas a partir das análises realizadas em campo. Foram relacionados 10 perigos potenciais que poderiam interferir diretamente na qualidade da água, citados a seguir:

- Ausência do selo de inspeção da GEVISA (Gerência de vigilância sanitária de Campina Grande -PB) no transporte;
- Ausência de condições sanitárias do reservatório (parte estrutural e de estanqueidade);
- Utilização de recipientes inadequados para retirada da água (baldes, latas, panelas e cordas contaminados, ou compartilhados);
- Ausência de limpeza periódica no reservatório (cisterna);
- Tampa de inspeção do reservatório (cisterna) não estar devidamente selada, ou não existir;
- Tubulação de captação da água rente ao fundo do reservatório (carreamento de material sedimentado);

- Utilização do veículo transportador de água sem a autorização do órgão de saúde pública para o fornecimento de água potável, o qual deve ter uso exclusivo para o transporte de água de consumo humano;
- Ausência de recloração, mantendo residual adequado no reservatório (cisterna)
- Falta de manutenção dos dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas);
- Existência de focos de contaminação (esgoto sanitário, atividades agropecuárias, fossas, entre outras) próximas às cisternas.

Já o FMEA de produto foi baseado nos parâmetros mínimos de qualidade da água para soluções alternativas de abastecimento segundo a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do MS. Foram relacionados 9 pontos principais citados a seguir:

- Alta concentração de CRL;
- Baixa concentração de CRL;
- Alta turbidez;
- Alta concentração de CRC;
- Alto pH;
- Baixo pH;
- Alta cor aparente;
- Presença de Coliformes totais;
- Presença de *Escherichia coli*.

O formulário elaborado foi baseado na estrutura de Ogata (2011) e Rodrigues (2014), além dos perigos relacionados acima os fatores utilizados na montagem das colunas foram, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco. Os efeitos são os principais problemas gerados pela falha ou perigo, as causas os principais motivos que levaram à ocorrência da falha e as medidas mitigadoras tudo aquilo que pode ser adotado para compensar, reparar, evitar e mitigar cada falha específica e seus efeitos.

3.4.3 Análise de risco

Nesta fase foram definidos pelo grupo especialistas os aspectos de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos. A definição deles foi uma questão de suma importância, tendo em vista, que todo o

debate do grupo de consultores gira em torno desses valores, os quais foram escolhidos baseados em Ogata (2011). Posteriormente são calculados os níveis de prioridade de risco (NPR), por meio da multiplicação dos outros três aspectos.

A severidade deve ser entendida como a magnitude e quão danoso pode ser o risco caso ele ocorra. A ocorrência significa a probabilidade com que o evento perigoso ocorre atualmente no processo. Portanto, a ocorrência já é uma classificação do risco, se há ocorrência o risco é real, ao contrário de apenas um risco potencial, o qual pode vir a ocorrer. A detecção mostra qual o grau de facilidade de percepção do perigo, antes que ele ocorra, pelos instrumentos e métodos de controle do sistema. Ao final, o resultado, ou NPR, é calculado pelo produto dos escores atribuídos aos aspectos supracitados.

Os escores atribuídos aos aspectos (severidade, ocorrência e detecção) variam de 1 a 3, sendo 1 para as melhores situações encontradas, 2 para situações intermediárias, e o 3 para situações mais críticas. Pode-se exemplificar uma situação em que uma substância encontrada na água ao ser ingerida pela população cause graves problemas de saúde, os efeitos são severos e persistem por um longo prazo, portanto o seu grau de severidade atribuído será 3, entretanto se esses danos forem moderados a leves o valor adequado é 2, e se não causar efeitos negativos a saúde humana o peso é 1.

Os Formulários FMEA aplicados encontram-se nas Tabelas 4.14 e 4.15 nos resultados no trabalho, já a tabela de escores utilizada está no Anexo A, tendo sido desenvolvida por Rodrigues (2014).

A tabela utilizada conseguiu se adequar as características da área de estudo, sendo mantidos os escores na severidade de níveis 3 (alta), 2 (moderada) e 1 (baixa). Ou seja, o nível 3 é relacionado as características de efeitos severos e/ou agudos à saúde humana, o nível 2 as de efeitos leves, moderados e/ou crônicos e o nível 1 as que não causam efeitos negativos a saúde humana.

Na ocorrência o universo amostral adotado para este estudo foram 30 análises para os indicadores físico-químicos e 30 para os microbiológicos. Sendo assim, foi considerada a ocorrência de nível 3 (alta) quando ocorre de 5% a 100% de não conformidades, nível 2 (moderado) quando ocorre não-conformidade em até 5% das amostras analisadas e nível 1 (baixa) quando não existem não-conformidades, esses percentuais foram baseados no atendimento à Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017.

Após todas as definições citadas anteriormente, foi realizada uma reunião com os especialistas para o preenchimento dos escores de cada índice selecionado, levando em consideração todos os subsídios disponíveis, como dados tratados, gráficos *boxplot*, as causas,

os efeitos e as medidas mitigadoras. Com base na tabela de escores (Anexo A), os formulários de processo e produto foram avaliados e preenchidos, para obtenção do NPR de cada perigo.

3.4.4 Soma ponderada dos riscos

Para obtenção do nível de prioridade de risco de cada perigo foi necessário finalizar o preenchimento de todos os escores de severidade, ocorrência e detecção. A partir daí, através de um cálculo simples de soma ponderada, onde se soma o valor de cada risco e depois divide o risco individual por esta soma, utilizando a Equação 3, pode-se descobrir o percentual de cada risco em relação ao total das soluções alternativas de abastecimento. Para tornar possível a realização do cálculo, foi necessário adotar uma simplificação de que todos os perigos listados nos formulários FMEA são o total de riscos possíveis no sistema, assim, se obtém qual a importância de cada risco em relação aos demais, dessa forma, pode-se organizá-los em níveis de prioridade.

$$P = \frac{R_I}{(\sum_1^n R)} \quad (3)$$

P = Ponderação;

R_I = Risco Individual;

n = Quantidade de Risco;

∑ R = Soma de Todos os Riscos.

3.4.5 Plano de gestão dos riscos

Nesta fase o grupo utilizou-se dos resultados obtidos com a classificação dos NPR para priorizar e desenvolver soluções para sanar ou reduzir os maiores perigos. Para tanto foi imprescindível a utilização da criatividade, do conhecimento, e até mesmo outras técnicas como a tempestade de ideias.

Algumas ações podem ser tomadas para a redução dos riscos, elas são:

- Medidas de prevenção total ao tipo de falha;
- Medidas de prevenção total de uma causa de falha;
- Medidas que dificultam a ocorrência de falhas;
- Medidas que limitem o efeito do tipo de falha;
- Medidas que aumentam a probabilidade de detecção do tipo ou da causa de falha.

O produto dessa análise foi utilizado como base para as diretrizes de segurança da água, as quais foram parte dos resultados do trabalho. Para a adoção das medidas propostas, foi necessário levar em consideração a viabilidade de aplicação das ações, devendo ser estudado para a real comprovação da sua eficácia.

3.5 Plano de Segurança da Água

As etapas preliminares do PSA foram realizadas nas soluções alternativas de abastecimento, na zona rural do município de Campina Grande, monitoradas na pesquisa. A primeira delas foi o planejamento estratégico, no qual foram definidas as atividades a serem cumpridas, para que se pudesse ter um maior direcionamento na execução das etapas do plano, em seguida foi realizado o levantamento de informações essenciais para o conhecimento mais detalhado da área de trabalho (Seção 3.1.1 e 3.2.1), e por último, foi constituída a equipe técnica para auxiliar nas decisões fundamentais da pesquisa. Foi utilizada o mesmo grupo da avaliação de risco por já ser conhecedor das peculiaridades envolvidas no trabalho (Seção do trabalho 3.4.1 Planejamento do FMEA).

O PSA seguiu as etapas descritas na Figura 2.6, e foi norteado a partir do esquema conceitual presente na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Esquema conceitual para a estruturação da informação necessária à elaboração de um Plano de Segurança da Água.

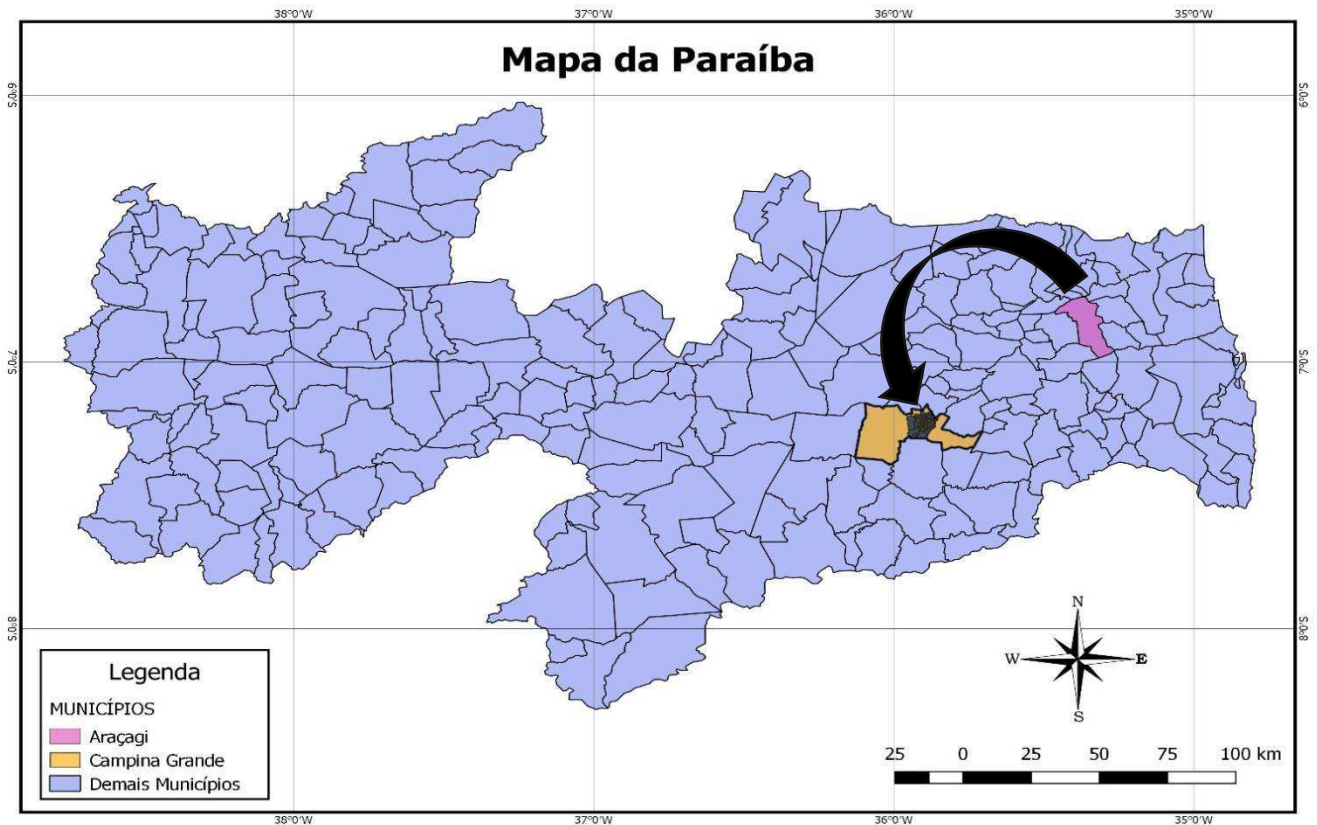
ETAPA	OBJETIVO	INFORMAÇÃO
1- Avaliação do sistema	Assegurar que o sistema de abastecimento de água, como um todo, forneça água com qualidade garantindo os objetivos de saúde estabelecidos	Identificação de perigo, caracterização de risco, identificação e avaliação de medidas de controle
2- Monitoramento operacional	Garantir o controle dos riscos detectados e assegurar que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água	Estabelecimento de limites críticos, estabelecimento de procedimentos de monitoração e ações corretivas
3- Planos de gestão	Assegurar que descrevam as ações a serem tomadas, documentos de avaliação e monitoramento do sistema	Estabelecimento de procedimentos de rotina para a gestão, estabelecimento de procedimentos para a gestão de condições excepcionais, estabelecimento de documentos e protocolos de comunicação

Fonte: Vieira e Morais (2005).

1º Etapa: Avaliação do sistema – A solução do processo de análise e avaliação de riscos, compreende todo o sistema de abastecimento, desde a fonte até à torneira do consumidor:

- **Descrição e avaliação do sistema de abastecimento:** A adução da água era realizada no açude de Araçagi, situado no município de Araçagi à 120 quilômetros da cidade de Campina Grande – PB (Figura 3.14). A água era transportada em caminhão-pipa até a zona rural e armazenada em cisternas e o único tratamento recebido era a adição de pastilha de cloro no momento do abastecimento do veículo. Os reservatórios de armazenamento (cisternas) não tinham procedimentos de manutenção das condições sanitárias. Para identificação das informações foram realizadas visitas (*in loco*), utilizados diário de coleta (Apêndice B), para as condições sanitárias, e sistema de informação geografia (SIG) com a utilização do QGIS versão 2.18.14 e Google Earth, para a visualização da bacia hidrográfica.

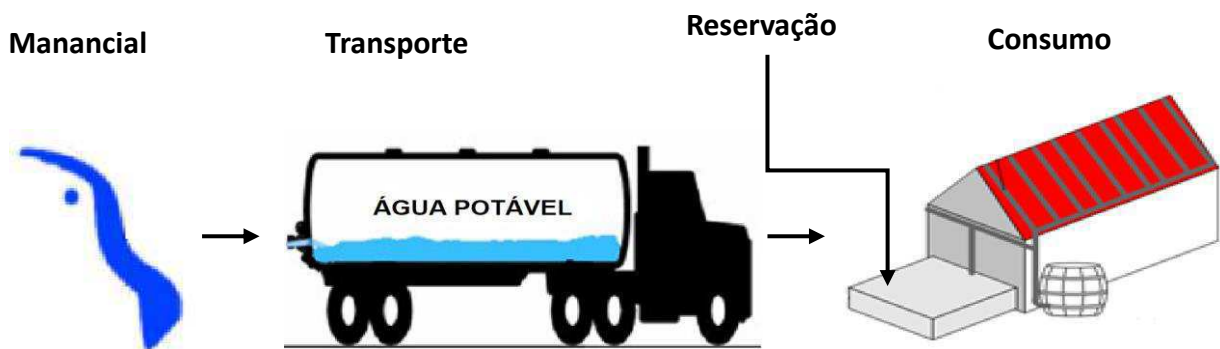
Figura 3.14 – Localização dos Municípios de Araçagi e Campina Grande – PB.



Fonte: Adaptado do IBGE (2010), utilizando QGIS 2.18.14.

- **Construção e validação do diagrama de fluxo:** A construção do diagrama de fluxo é uma descrição simples e clara de todas as etapas relacionadas do sistema de abastecimento de água, desde a bacia hidrográfica (matéria-prima) até a reservação da água (Figura 3.15).

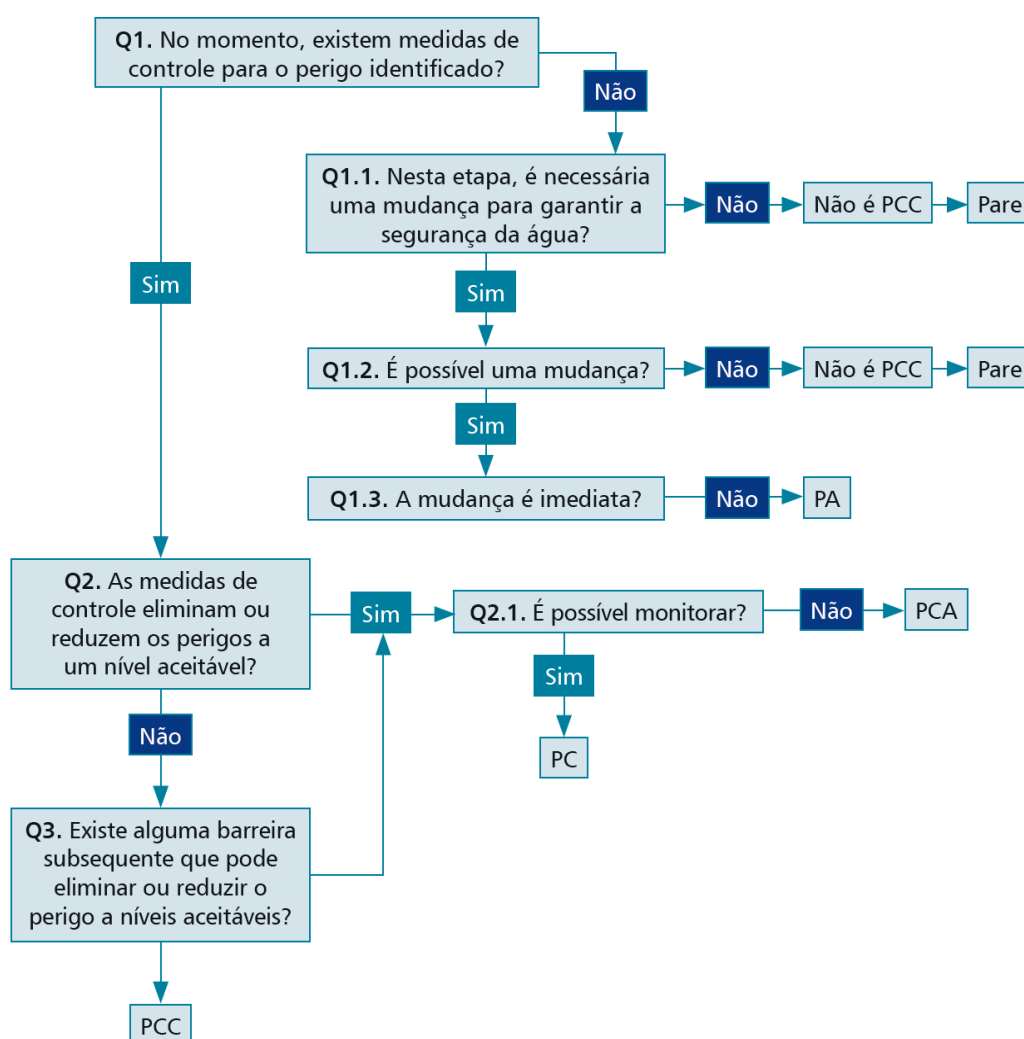
Figura 3.15 – Diagrama de fluxo das soluções alternativas.



Fonte: O autor (2018).

- **Identificação de perigos e caracterização dos riscos:** Os eventos perigosos foram identificados no processo de transporte e no produto, com a equipe avaliadora. Para tal, utilizou-se o banco de dados fornecido pelos órgãos competentes (3.1.1 Levantamento de dados), como também os produzidos pelo presente estudo. Deve-se identificar as possíveis causas de contaminação, onde e quando, e como isso pode acontecer e associar as medidas de controle para cada perigo identificado (3.5.1 Análises de falhas em potencial).
- **Identificação dos pontos críticos de controle:** Para identificação dos pontos críticos foi utilizado o fluxograma (Figura 3.16).

Figura 3.16 – Fluxograma para identificação de pontos críticos de controle.



Fonte: Adaptado de Who (2011).

- **Identificação e avaliação de medidas de controle:** Essa etapa foi realizada juntamente com a equipe técnica, onde cada perigo foi discutido individualmente e as medidas mitigadoras para reduzir esses riscos foram propostas, todas essas medidas estão no formulário FMEA utilizado no estudo (Tabelas 4.14 e 4.15).

2º Etapa: Monitorização operacional – Identificação e monitorização dos pontos de controle críticos, de modo a reduzir os riscos identificados:

- **Estabelecimento de limites críticos:** O estabelecimento dos limites críticos para o produto “água” foi a partir da Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017, que estabelece o padrão de potabilidade da água para o consumo da população. Foram utilizados os parâmetros mínimos recomendáveis pela norma, para garantir a segurança em soluções alternativas de abastecimento, Cloro residual livre, Turbidez, Cor, pH, Coliformes totais e *Escherichia coli*, e alguns auxiliares, Cloro residual combinado e condutividade. Já para o processo de transporte, reservação e manuseio da água, foram seguidas as recomendações da RDC Nº 91, de 30 de junho de 2016 da ANVISA, sobre boas práticas para o sistema de abastecimento de água ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, e as condições sanitárias observadas a partir das análises realizadas em campo (3.4.2 Análise de falhas em potencial).
- **Estabelecimento de procedimentos de monitoramento:** Os procedimentos de monitoramento do transporte, reservação, manuseio e qualidade da água seguiram a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017, sendo assim, foram realizados semanalmente como previsto para soluções alternativas de abastecimento.
- **Estabelecimento de ações corretivas:** Foram estudadas ações que possam ser utilizadas para remover ou diminuir os riscos encontrados, também é refletido se essas medidas vão ser eficientes para a resolução dos problemas e se não geraram efeitos colaterais.

3º Etapa: Planos de gestão – Desenvolvimento de esquemas efetivos para a gestão do controle dos sistemas, assim como de planos operacionais para atenderem a condições de operação de rotina e excepcionais. Esta etapa será detalhada mais adiante, por ser parte integrante dos resultados e discussões do trabalho.

Esses resultados podem ser atribuídos a alguns fatores principais como, a falta de condições sanitárias e de manutenção dos reservatórios com ausência de recloração e mistura de águas provenientes de fontes diversas.

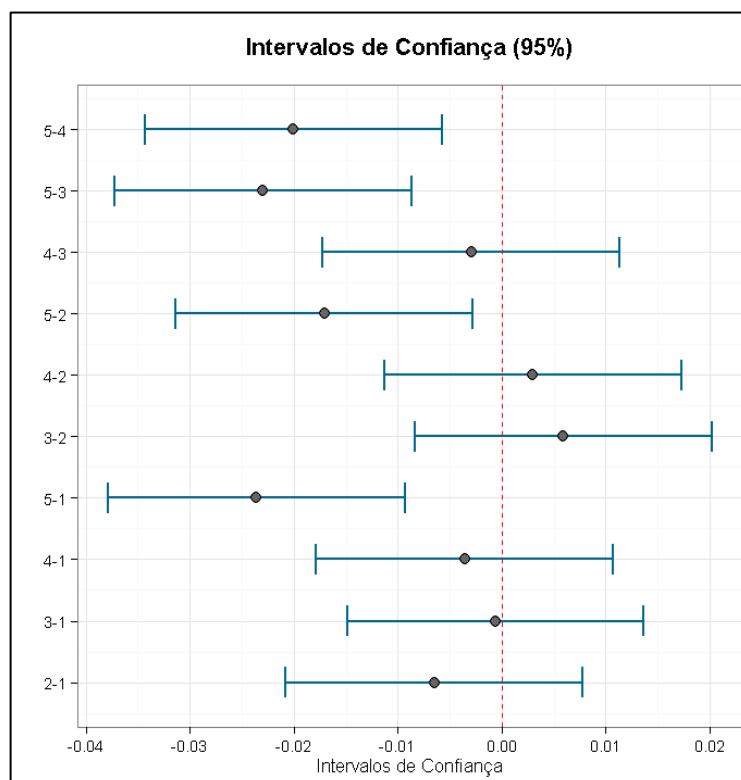
A análise de variância para o cloro residual livre em cisternas (Tabela 4.1) verificou a existência de diferença estatística significativa entre os pontos analisados, apresentando um $p < 0,05$ a um nível de significância de 0,05, Na Figura 4.2, o gráfico de Tukey ilustra as diferenças entre os conjuntos de dados, sendo notável a diferença entre o ponto 5 e os pontos 1,2, 3 e 4.

Tabela 4.1 – Resultado da ANOVA para CRL em cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p.valor
Fator	4	0,011327	0,002831	7,071678	3,1411E-05
Resíduos	145	0,058064	0,000400		

Fonte: O autor (2018).

Figura 4.2 – Gráfico de Tukey para CRL em cisternas.



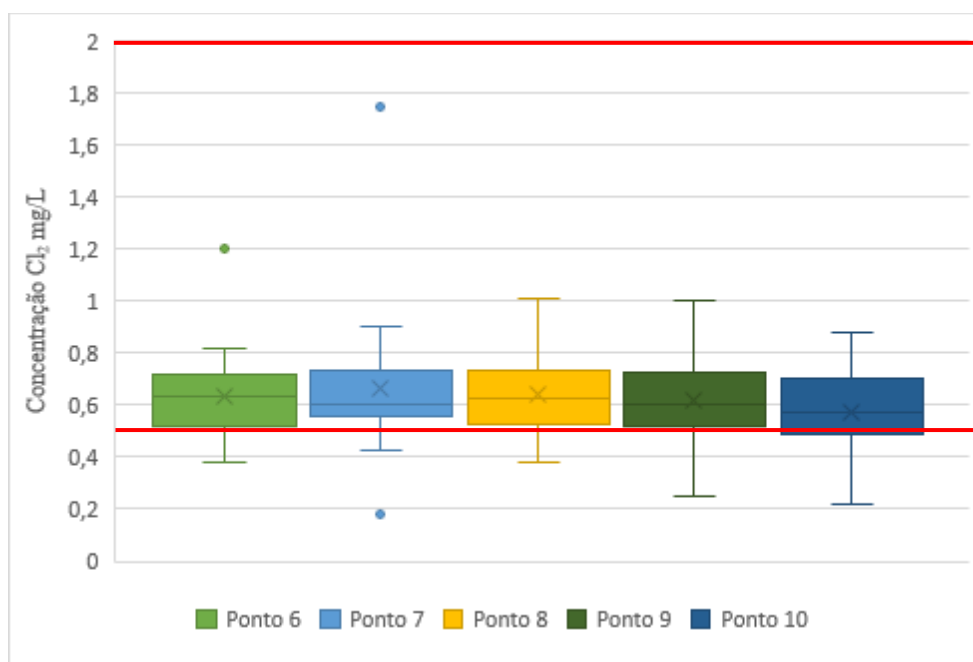
Fonte: O autor (2018).

Os caminhões-pipas mostraram melhores resultados no cloro residual livre (ácido hipocloroso e ion hipoclorito), tendo todos os pontos alcançado 90% de conformidade nas análises. A Exceção foi observada apenas no ponto 8 que apresentou 93% das amostras dentro

do padrão de portabilidade, mesmo assim, não conseguiram seguir o recomendável pela normativa vigente, já que cerca de 10% das amostras ainda ficaram em não conformidade, para essa modalidade de abastecimento.

Um dos motivos possíveis para o ocorrido, deve-se ao fato que os responsáveis pela adição das pastilhas de cloro nos carros-pipas não tinham conhecimento sobre as concentrações recomendáveis pela norma vigente, pois, para essa modalidade de transporte de água, a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde exige um mínimo de $0,5\text{mgCl}_2/\text{l}$ e no máximo $2,0\text{mgCl}_2/\text{l}$, ou seja, é requerido um aumento na quantidade mínima de Cl_2 para esse tipo de distribuição de água. Os resultados estão ilustrados em gráfico *boxplot* na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Gráfico *boxplot* do Cloro Residual Livre (caminhões-pipas).



Fonte: O autor (2018).

Essa situação de desacordo da concentração mínima de cloro, principalmente nos reservatórios, tem um potencial risco à saúde da população que é atendida por esse tipo de abastecimento, levando em consideração que o problema se torna ainda mais grave, por se tratar de pessoas, na sua maioria, de baixa renda e com dificuldade de acesso ao serviço de saúde.

Aplicando a análise de variância (Tabela 4.2) foi verificado que as médias para o cloro residual livre em caminhões-pipas são estatisticamente iguais, apresentando um $p > 0,05$ a um nível de significância de 0,05, sendo assim, não foi necessária a realização do teste de Tukey.

Tabela 4.2 – Resultado da análise de variância para CRL em caminhões-pipas.

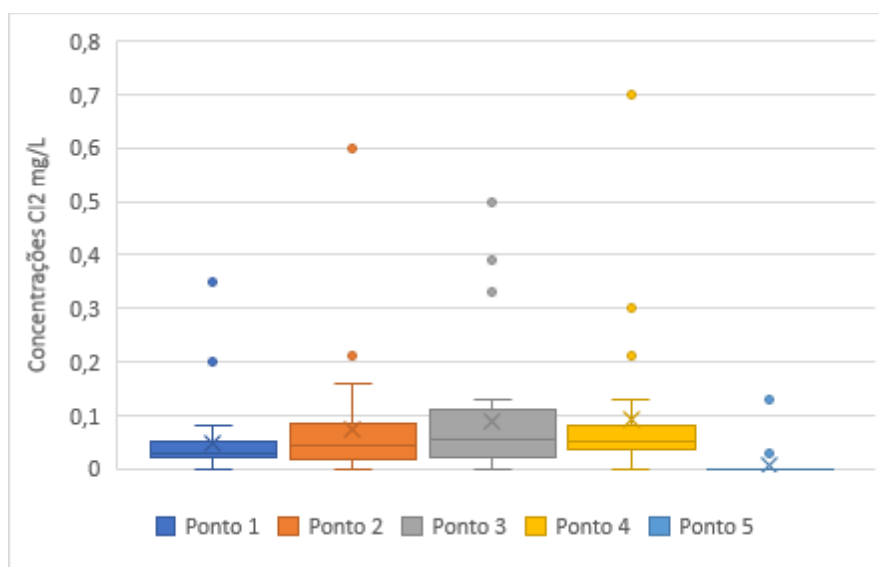
Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p.valor
Fator	4	0,074273	0,018568	0,938690	0,443431
Resíduos	145	2,86826	0,019781		

Fonte: O autor (2018).

4.1.2 Cloro residual combinado em cisternas e caminhões-pipas

Os resultados do cloro residual combinado em cisternas foram distantes do padrão de potabilidade, pois o ponto 5 continuou fora da conformidade em 93% das análises, e os demais pontos apresentaram uma melhora nos resultados, mas não o suficiente para ficarem em conformidade com o regulamentado, sendo as conformidades dos pontos 1, 2, 3 e 4 de, respectivamente, 20%, 27%, 23% e 10%. É importante salientar que o cloro residual combinado também é um desinfetante, mas com um poder de oxidação 200 vezes menor que o do cloro residual livre. Os resultados podem ser vistos na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Gráfico *boxplot* do cloro residual combinada (cisternas).



Fonte: O autor (2018).

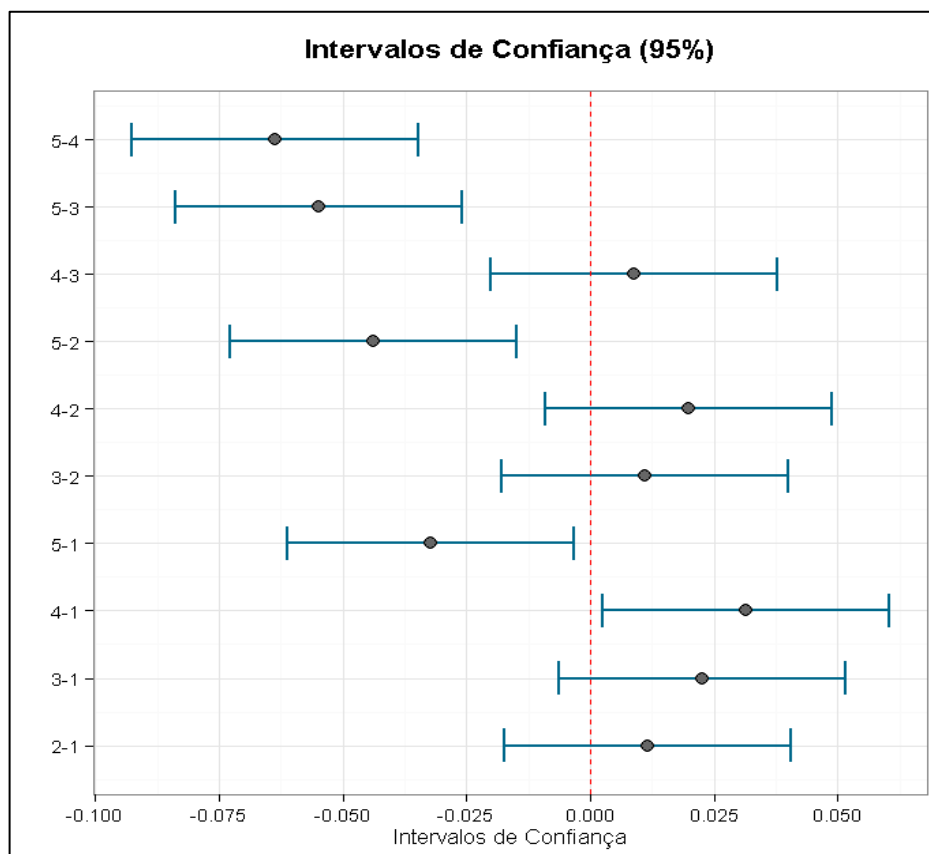
Para os dados de cloro residual combinado a ANOVA (Tabela 4.3) mostrou que houve diferenças significativas entre o ponto 5 e os demais pontos, provavelmente devido à ausência de cloro naquele reservatório, causado pela mistura de águas de diversas fontes no mesmo local, como também, pela falta de condições sanitárias. Em seguida foi gerado o gráfico de Tukey para os dados analisados na Figura 4.5.

Tabela 4.3 – Resultado da ANOVA para CRC em cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	0,073719	0,018429	11,19856	6,04787E-08
Resíduos	145	0,238632	0,001645		

Fonte: O autor (2018).

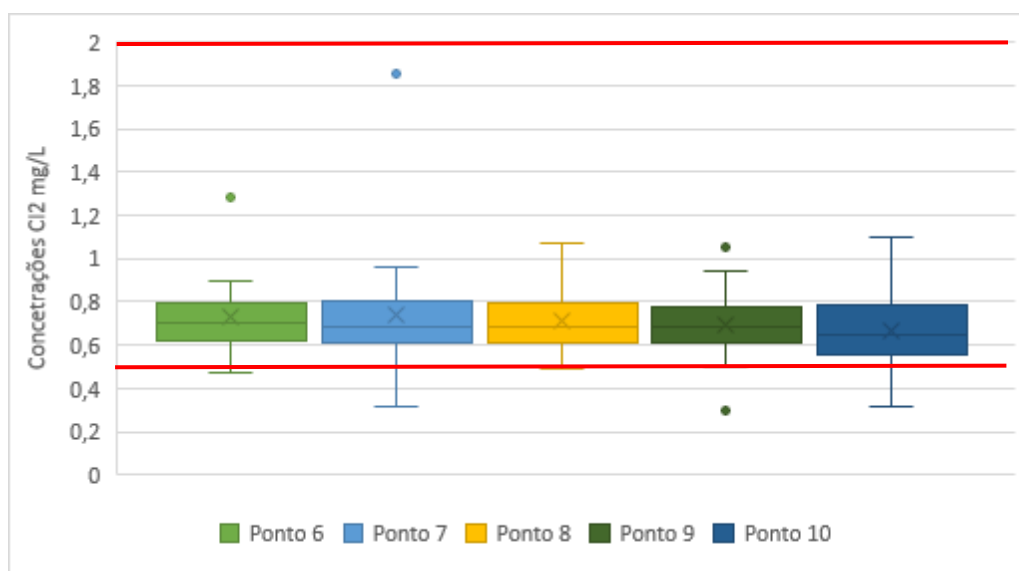
Figura 4.5 – Gráfico de Tukey para CRC em cisternas.



Fonte: O autor (2018).

As concentrações de cloro residual combinado de amostras dos caminhões-pipas foram superiores às concentrações de cloro residual livre, indicando demanda deste para a oxidação de nitrogênio amoniacal, mas somente 3% das análises não apresentaram conformidade com o padrão de potabilidade. A proximidade dos valores resultantes deve-se ao fato que as análises dos parâmetros eram realizadas cerca de 4 horas após a colocação das pastinhas de cloro, tempo necessário para o deslocamento do veículo do manancial até os locais de distribuição Figura 4.6.

Figura 4.6 – Gráfico *boxplot* do cloro residual combinado (caminhões-pipas).



Fonte: O autor (2018).

A análise de variância para cloro residual combinado em carros-pipas apontou que as médias dos pontos de coleta são estatisticamente iguais a um nível de significância de 0,05, com o $p > 0,05$, como pode ser observado na Tabela 4.4, não sendo necessária a realização do teste de Tukey.

Tabela 4.4 – Resultado da ANOVA para CRC em caminhões-pipas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	0,007009	0,001752	0,212191	0,931329
Resíduos	145	1,197446	0,008258		

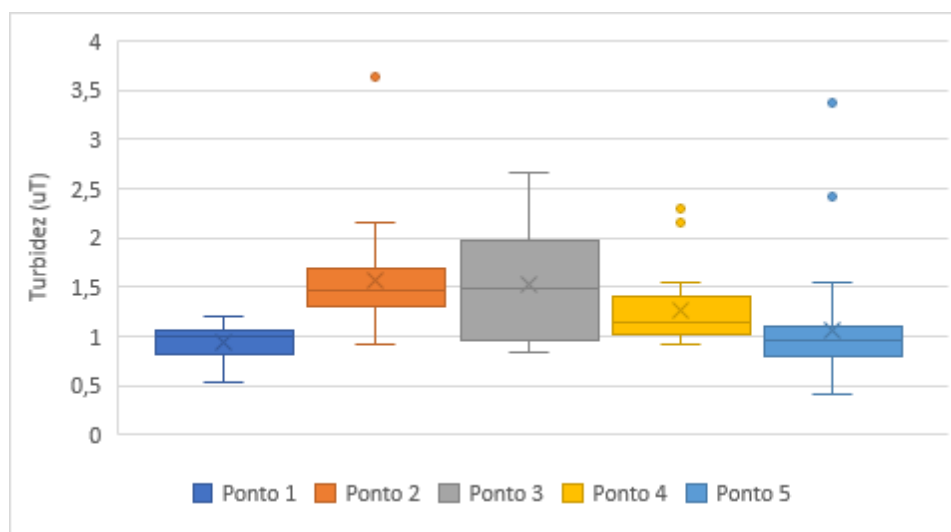
Fonte: O autor (2018).

4.1.3 Turbidez em cisternas e caminhões-pipas

A turbidez em águas de abastecimento se configura, ao lado do cloro residual livre, como indicador sentinela de sua qualidade, pois o mesmo demonstra, entre outras informações, uma relação com a vulnerabilidade à contaminação por microrganismos. A turbidez em cisternas atendeu, em 100% dos casos, a Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde, não ultrapassando o valor máximo permitido de 5UT (unidades de turbidez), mesmo assim, pode-se notar, na análise ponto a ponto (Figura 4.7), que os valores

desse indicador, nos pontos 2 e 3, apresentaram tendência de serem maiores que os dos outros pontos, podendo ser justificada pelas condições sanitárias encontradas nos reservatórios.

Figura 4.7 – Gráfico *boxplot* da turbidez (cisternas).



Fonte: O autor (2018).

A análise de variância para os pontos de turbidez em cisternas mostrou diferenças significativas entres os conjuntos de dados, apresentando $p < 0,05$ como pode ser observado na Tabela 4.5. Foi gerado o gráfico de Tukey (Figura 4.8) o qual ilustra as diferenças entre os conjuntos de dados.

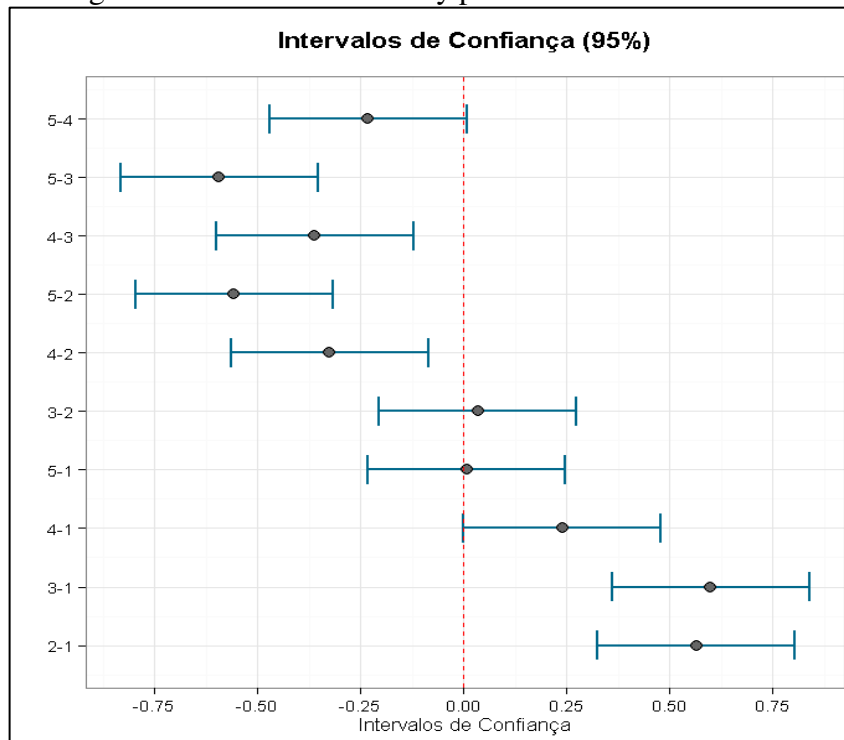
Em contraponto ao resultado citado anteriormente, a avaliação da turbidez em caminhões-pipas atingiu um percentual de 93% de não conformidade, atingindo o ponto 8 o maior valor, com 97% das análises fora do padrão recomendado (Figura 4.9). O resultado pode ser atribuído principalmente à falta de tratamento dessas águas, as quais eram oriundas de chuvas e/ou da retirada em manancial *in natura*, sendo distribuídas e armazenadas sem qualquer tratamento para redução das partículas em suspensão.

Tabela 4.5 – Resultado da ANOVA para turbidez em cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	10,12316	2,530792	22,48049	1,84446E-14
Resíduos	145	16,3237	0,112577		

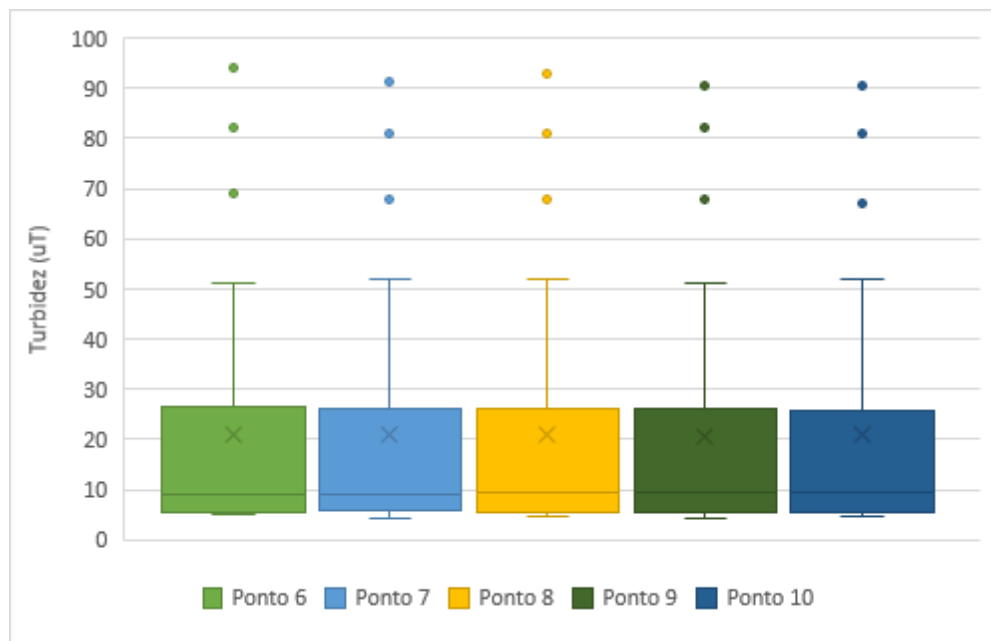
Fonte: O autor (2018).

Figura 4.8 – Gráfico de Tukey para turbidez em cisternas.



Fonte: O autor (2018).

Figura 4.9 – Gráfico *boxplot* da turbidez (caminhões-pipas).



Fonte: O autor (2018).

Segundo Brasil (2014) a turbidez pode reduzir a eficiência da cloração pela proteção física conferida aos microrganismos no contato direto com os desinfetantes. Além disso, as partículas de turbidez transportam matéria orgânica dissolvida que pode conferir sabor e odor, sendo isso mais frequente em águas correntes. A alta turbidez encontrada nas águas oriundas

de caminhões-pipas (Figura 4.9), provavelmente é resultado da falta de tratamento dessas águas, também é possível observar uma homogeneidade dos dados, a qual pode ser explicada devido a fonte de retirada dessas águas ser a mesma.

O resultado da análise de variância para turbidez em caminhões-pipas não mostrou diferenças significativas dentro do conjunto de dados, para o nível de significância 0,05 (Tabela 4.6). Sendo assim, não foi necessário realizar o teste de Tukey.

Tabela 4.6 – Resultado da ANOVA para turbidez em caminhões-pipas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	0,475522	0,118880	0,000798	0,999998
Resíduos	145	21576,76	148,8052		

Fonte: O autor (2018).

4.1.4 Condutividade em cisternas e caminhões-pipas

A condutividade elétrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é sua capacidade de conduzir corrente elétrica. Embora não se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, diante da complexidade da composição das águas naturais (BRASIL, 2014a). Diante do exposto a condutividade elétrica é um indicador usual, por ser de rápida e fácil medição, para a avaliação das condições da água. A Tabela 4.7 mostra uma estimativa das faixas de condutividade elétrica de diversos tipos de águas.

Tabela 4.7 – Faixas de condutividade elétrica de águas.

Tipo de água	Condutividade elétrica (uS / cm)
Água deionizada	0,5-3
Pura água da chuva	<15
Rios de água doce	0-800
Água marginal de rio	800-1600
Água salobra	1600-4800
Água salina	> 4.800
Água do mar	51.500
Águas industriais	100-10.000

Fonte: Adaptada de McCleskey et al., (2012).

Analisando, com o apoio da Figura 4.11, os resultados de condutividade obtidos, podemos perceber que as águas de cisternas têm uma ampla faixa de classificação possível, desde água de chuva, passando por água marginal de rio, chegando a ser água salobra em um considerável número de análises. As águas oriundas de caminhões-pipas permaneceram durante todo o estudo na classificação de “Água marginal de rio”, sendo um resultado totalmente aceitável, visto que, as águas oriundas desses veículos eram retiradas do Açude de Araçagi que recebia contribuição do Rio Mamanguape.

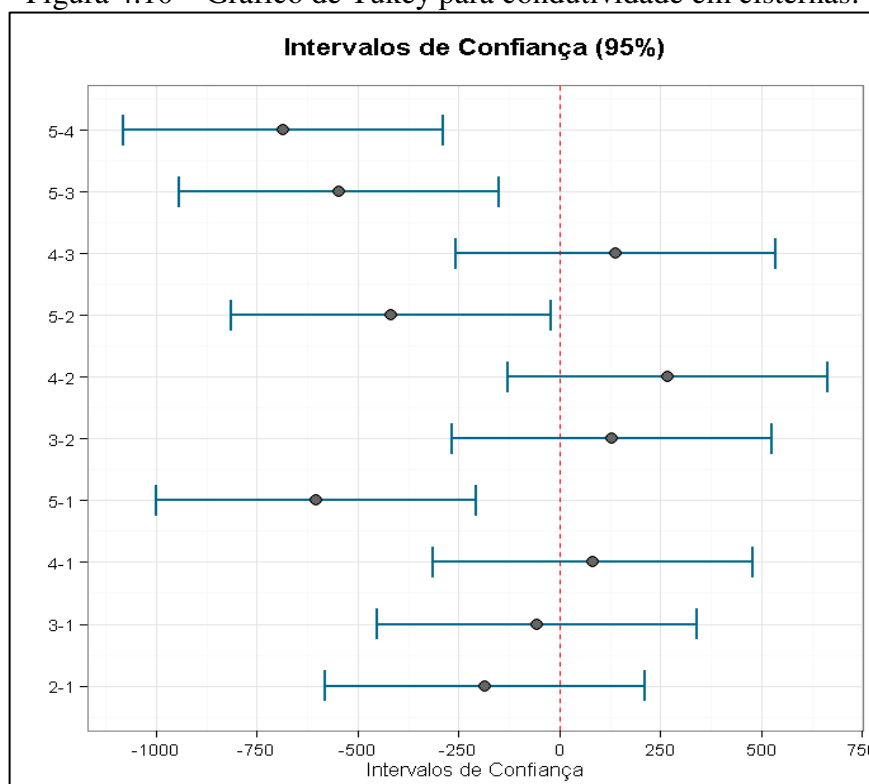
Ao realizar a análise de variância da condutividade em cisternas pode-se perceber que houve diferença significativa entre as médias dos conjuntos de dados, representado pelo $p < 0,05$ (Tabela 4.8). Foi gerado o gráfico de Tukey (Figura 4.10) onde é possível observar as diferenças entre o ponto 5 e os demais.

Tabela 4.8 – Resultado da ANOVA para condutividade em cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	8766110,373	2191527,593	7,098730	3,01096E-05
Resíduos	145	44764550,4	308721,0372		

Fonte: O autor (2018).

Figura 4.10 – Gráfico de Tukey para condutividade em cisternas.



Fonte: O autor (2018).

Via de regra, as águas das cisternas apresentaram valores de condutividade mais elevados que as de caminhões-pipas, por aquelas águas passarem grandes períodos de tempo armazenadas em regiões com altas temperaturas, propiciando assim, a evaporação e a concentração de íons. É importante salientar que a condutividade não é um indicador de potabilidade da água previsto na Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, mas pode ser utilizada como auxiliar, para a estimativa da concentração de sais.

A análise ANOVA para condutividade em caminhões-pipas (Tabela 4.9) mostrou não existirem diferenças significativas entre os conjuntos de dados, no nível de significância de 0,05, conforme indicado pelo valor $p > 0,05$.

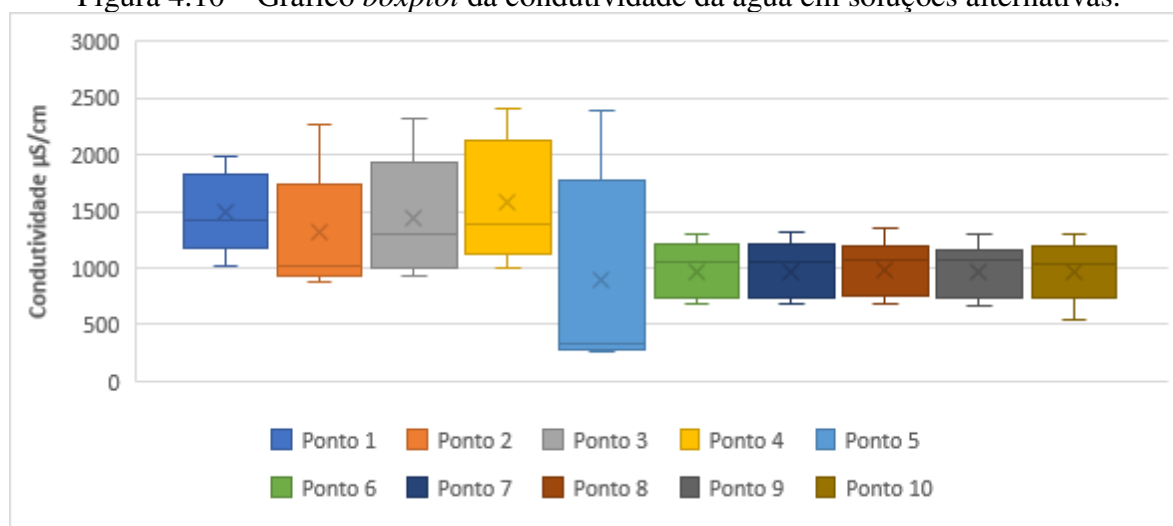
Tabela 4.9 – Resultado da ANOVA para condutividade em caminhões-pipas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	3895,6	973,9	0,016714	0,999446
Resíduos	145	8448601,733	58266,21885		

Fonte: O autor (2018).

A análise espaço-temporal dos dados mostrou uma grande diminuição dos valores ao longo do tempo, o que pode ser explicado pelo aumento na disponibilidade de água na região com a chegada do período chuvoso, fazendo com que houvesse uma diluição das substâncias presentes nas águas.

Figura 4.10 – Gráfico *boxplot* da condutividade da água em soluções alternativas.

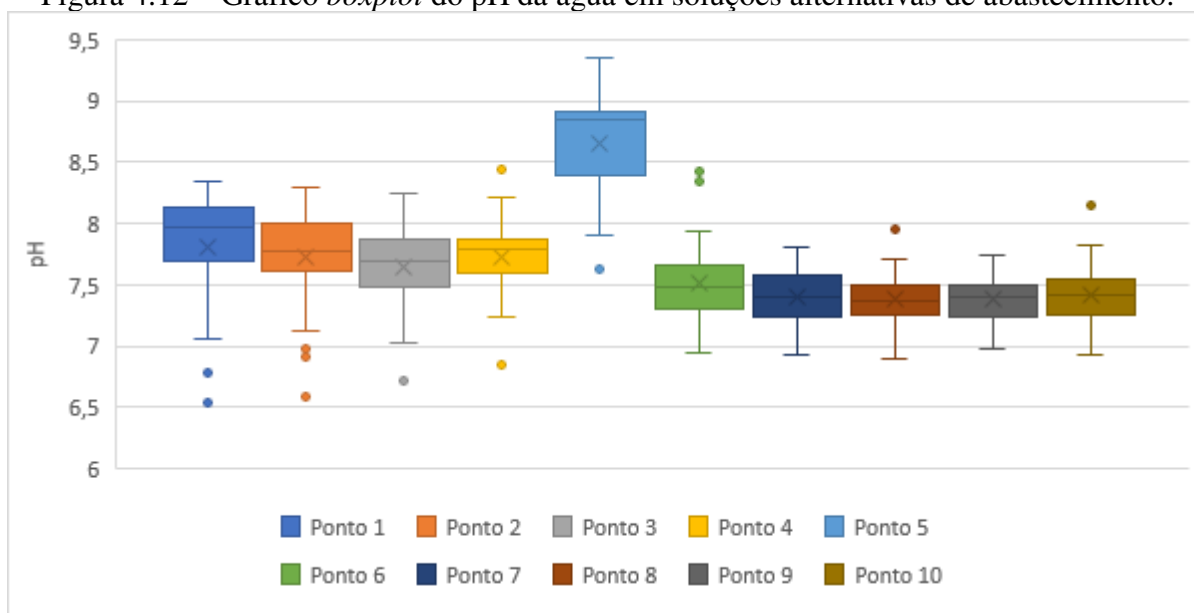


Fonte: O autor (2018).

4.1.5 pH em cisternas e caminhões-pipas

O resultado das análises laboratoriais para as águas de soluções alternativas de abastecimento, mostra que em todos os pontos estudados o pH se manteve dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde, que são de 6,0 a 9,5. Tal constatação pode ser observada no gráfico *boxplot* da Figura 4.12.

Figura 4.12 – Gráfico *boxplot* do pH da água em soluções alternativas de abastecimento.



Fonte: O autor (2018).

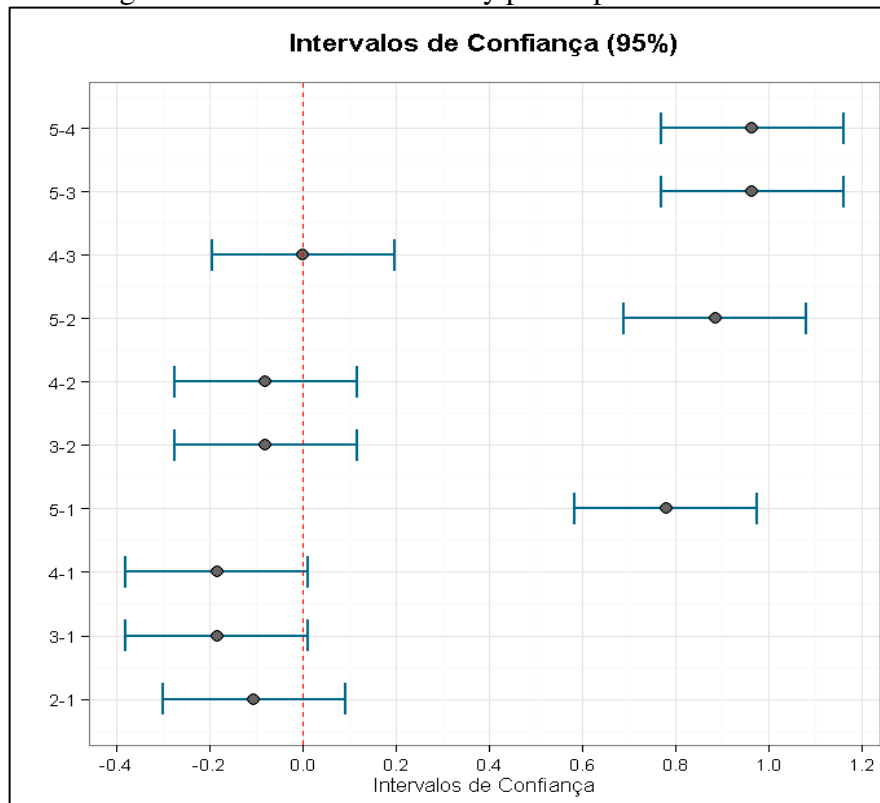
Com a realização da análise de variância para o pH das cisternas nota-se que houve uma diferença estatisticamente significativa entre o ponto 5 e os demais conjuntos de dados (Tabela 4.10), sendo essa diferença ilustrada no gráfico de Tukey (Figura 4.13).

Tabela 4.10 – Resultado da ANOVA para pH das cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	20,025156	5,006289	66,390272	8,12043E-32
Resíduos	145	10,93401	0,075406		

Fonte: O autor (2018).

Figura 4.13 – Gráfico de Tukey para o pH em cisternas.



Fonte: O autor (2018).

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou básicas do meio líquido, por meio da medição da atividade de íons hidrogênio H^+ . O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos (BRASIL, 2014a).

Pode-se observar que o ponto 5 é caracterizado por ter os maiores valores de pH da água, sendo essa constatação justificada pelo fato que essa cisterna em particular tinha menos de 1 ano de construção, ou seja, era relativamente nova. Segundo Alves et al. (2013) o aumento da basicidade pode ser relacionado à dissolução da superfície de cimento das paredes da cisterna, removendo o carbonato de cálcio presente na composição do cimento, sendo assim, águas oriundas de reservação em cisternas costumam apresentar maiores valores de pH.

Este parâmetro não apresenta riscos sanitários e tem o objetivo de minimizar os problemas de incrustação e corrosão que podem ocorrer nos tranques de transporte da água, como também nos reservatórios do tipo cisterna.

Na análise de variância realizada para o conjunto de dados de pH em caminhões-pipas não foram demonstradas diferenças significativas estatisticamente, para um nível de significância de 0,05 (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 – Resultado da ANOVA para pH dos caminhões-pipas.

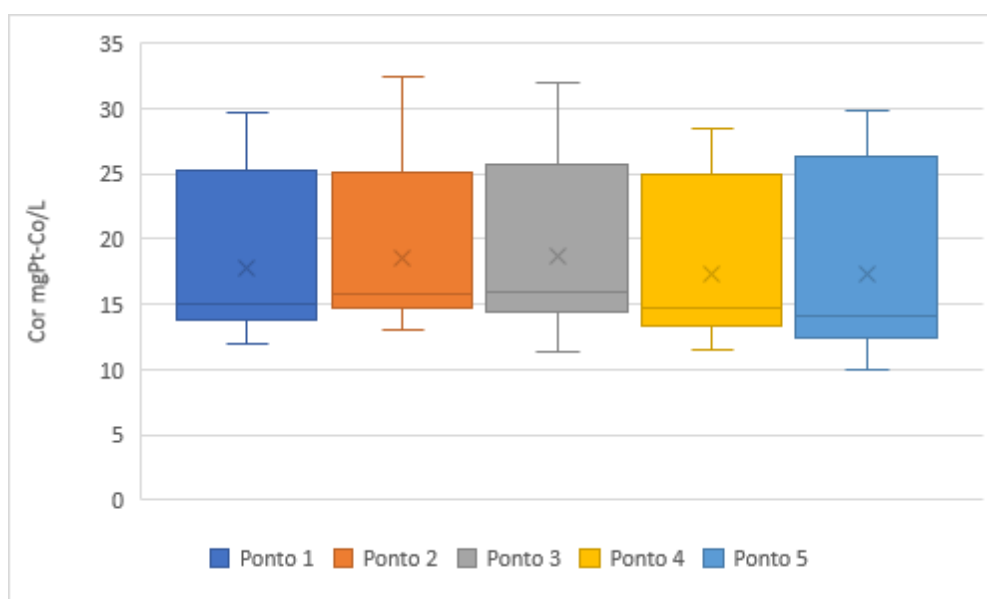
Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	0,120177	0,030044	0,719665	0,579807
Resíduos	145	6,05341	0,041747		

Fonte: O autor (2018).

4.1.6 Cor aparente em cisternas e caminhões-pipas

A Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 estabelece para cor aparente o valor máximo permitido de 15 unidades Hazen (uH) como padrão organoléptico para consumo humano. Os resultados obtidos para as cisternas mostram que nenhum ponto conseguiu ficar em conformidade com padrão de potabilidade recomendado. O ponto 5 teve a maior discrepância estando não conforme em 93% das análises, já os pontos 1, 2, 3 e 4 ficaram com 20%, 27%, 23% e 10%, respectivamente, fora do padrão (Figura 4.14).

Figura 4.14 – Gráfico *boxplot* da cor aparente em cisternas.



Fonte: O autor (2018).

A cor aparente da água é proveniente da matéria orgânica em suspensão como, por exemplo, resíduos de origem mineral ou vegetal, substâncias como ferro ou manganês,

matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas e protozoários, resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústria, produtos de mineração, polpa, papel, entre outros. A cor aparente em sistemas de abastecimento para o consumo humano é um fator esteticamente indesejado, pois sua presença em altos níveis causa objeção do consumidor, criando dúvidas sobre a qualidade da água (BRASIL, 2016).

A análise de variância para a cor aparente em cisternas não mostrou diferenças significativas entre os pontos avaliados (Tabela 4.12).

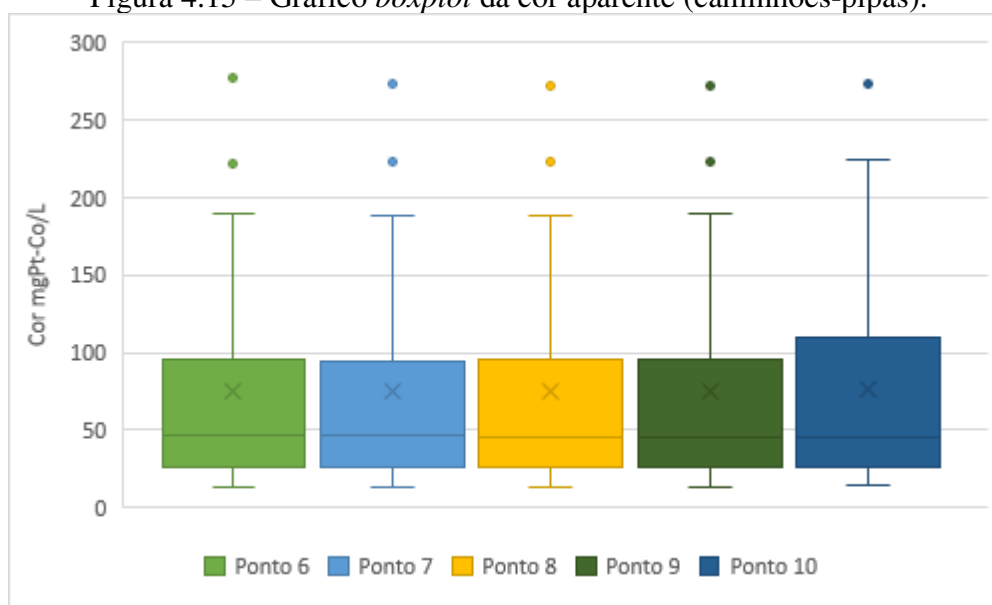
Tabela 4.12 – Resultado da ANOVA para a cor aparente das cisternas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	57,082289	14,27057233	0,387981	0,816985
Resíduos	145	5333,3319	36,78159931		

Fonte: O autor (2018).

Da mesma maneira que os resultados encontrados para as cisternas, os valores obtidos na análise de cor nos caminhões-pipas apresentaram níveis elevados quando comparados ao estabelecido pela normativa vigente, de maneira que apenas 3% dos resultados estavam em conformidade com o parâmetro. Isso deve-se ao fato da água analisada ser bruta, ou seja, não passava por qualquer tratamento para a remoção da cor. Além disso, analisando o gráfico, os pontos 6, 7, 8, 9 e 10 obtiveram resultados muito semelhantes, apresentando *outliers* que podem ser explicados pela ocorrência de elevada taxa pluviométrica na área a montante do manancial que era utilizado para o abastecimento desses veículos (Figura 4.15).

Segundo Rodriguez et al. (2012), a utilização de desinfecção, como por exemplo a cloração de águas com altos valores de cor para o abastecimento humano, pode gerar produtos (trihalometanos), derivados da complexação do cloro com matéria orgânica, potencialmente carcinogênicos.

Figura 4.15 – Gráfico *boxplot* da cor aparente (caminhões-pipas).

Fonte: O autor (2018).

A ANOVA dos dados de cor aparente em caminhões-pipas mostrou que não houve diferenças significativas entre as médias dos conjuntos de dados, para um nível de significância de 0,05 (Tabela 4.13). Assim, não foi necessária a realização do teste de Tukey.

Tabela 4.13 – Resultado da ANOVA para a cor aparente em caminhões-pipas.

Anova	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Estatística F	p.valor
Fator	4	6,0637	1,515925	0,000697	0,999999
Resíduos	145	315021,8666	2172,564597		

Fonte: O autor (2018).

4.1.7 Coliformes totais

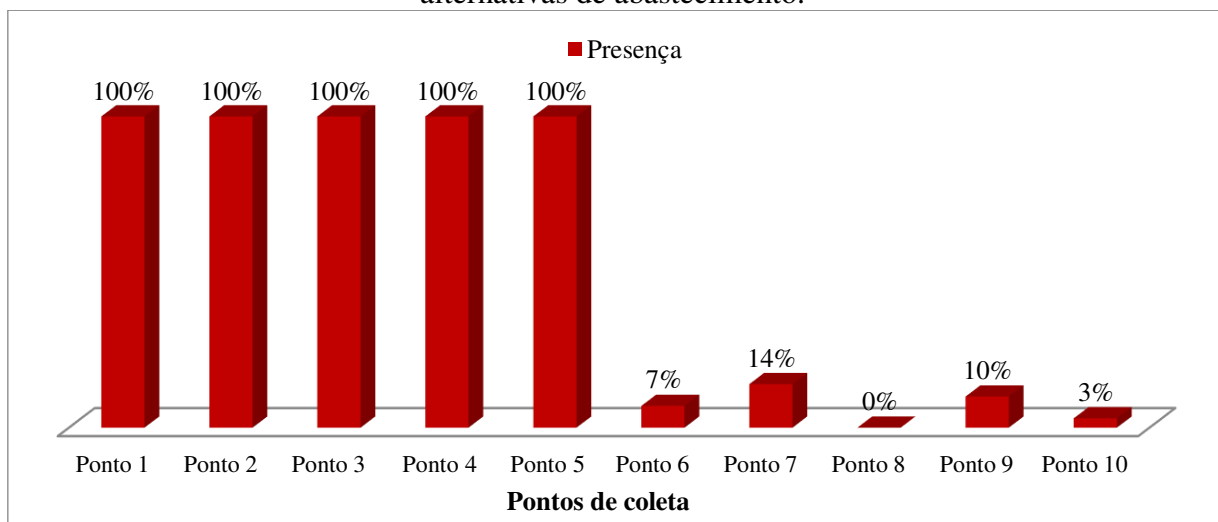
Dentre os principais indicadores de contaminação microbiana, a análise de coliformes totais se torna importante para a investigação da qualidade das águas, pois bactérias do grupo coliforme podem estar presentes no intestino humano e de animais de sangue quente, sendo eliminadas nas fezes em números elevados. Entretanto, o grupo dos coliformes inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Além disso, principalmente em climas tropicais, os coliformes apresentam capacidade de se multiplicar na água, o que pode ser o caso encontrado nos resultados desta pesquisa (BRASIL, 2014a).

Os resultados obtidos para o indicador coliformes totais, nas águas oriundas de cisternas, foram de 100% de presença em todos os pontos analisados, podendo estar

relacionados com alguns fatores, como, por exemplo, a falta de condições sanitárias nos reservatórios, os baixos valores de concentração de cloro nesses locais, como também a mistura de águas brutas e tratadas.

Já nos resultados das análises em caminhões-pipas pode-se perceber uma grande diferença, pois os pontos 8 e 10 apresentaram respectivamente 0% e 3% de presença de coliformes totais, ficando, assim, em conformidade com a norma vigente, enquanto os pontos 6, 7 e 9 apresentaram 7%, 14%, 10%, respectivamente, de positividade para coliformes totais, ficando assim, em não conformidade (Figura 4.16). A Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 do Ministério da Saúde, preconiza que, no máximo, 5% das amostras sejam positivas para coliformes totais.

Figura 4.16 – Gráfico *boxplot* da presença de coliformes totais na água em soluções alternativas de abastecimento.



Fonte: O autor (2018).

4.1.8 *Escherichia coli*

A origem fecal da *Escherichia coli* é inquestionável e sua distribuição ubíqua pouco provável, o que valida seu papel de organismo indicador de contaminação fecal tanto em águas naturais quanto tratadas (BRASIL, 2014a).

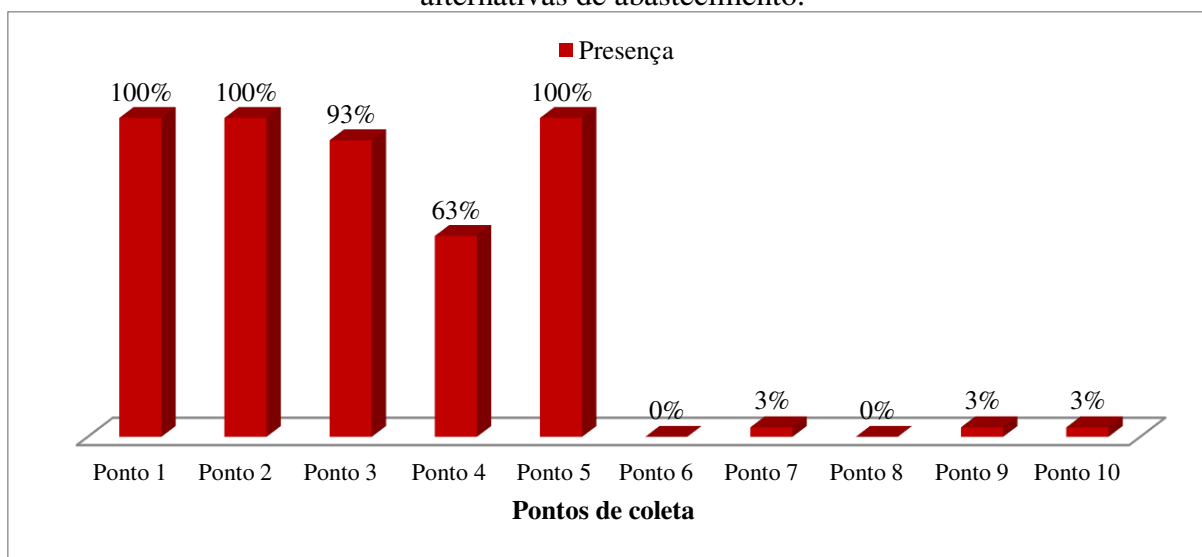
A análise dos resultados mostrou que os pontos 1, 2, 3, 4 e 5, que são de cisternas, seguem a tendência dos coliformes totais e apresentam presença de *E.coli* em 100%, 100%, 93%, 63%, 100% das amostras, respectivamente, estando, assim, fora do padrão (Figura 4.16).

Já ao avaliar os resultados obtidos para as análises nos caminhões-pipas pode-se notar na Figura 4.16 que os pontos 6 e 8 apresentaram 0% de presença de *E.coli*, assim ficando em

conformidade com a normativa. Segundo a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 não deve haver presença de *Escherichia coli* em nenhuma das amostras, o que torna os pontos 7, 9 e 10 fora do padrão de potabilidade, por apresentarem presença do indicador em 3% das amostras analisadas (Figura 4.17).

Realizando uma análise comparativa dos percentuais de presença de *E.coli* entre as cisternas e os caminhões-pipas, pode-se notar uma diferença significativa, provavelmente devido à maior presença de cloro residual livre nas águas transportadas por esses veículos, interferindo diretamente na presença de microrganismos.

Figura 4.17 – Gráfico *boxplot* da presença de *Escherichia coli* na água em soluções alternativas de abastecimento.



Fonte: O autor (2018).

4.2 Análise de risco

Foi realizada a reunião com o grupo de especialista da área para o preenchimento dos formulários FMEA de produto e de processo, sendo os resultados obtidos apresentados nas Tabelas 4.14 e 4.15. Foram analisados os riscos do “produto” no caso a água e do processo que trata do transporte e manejo da água.

Para o formulário FMEA de produto (Tabela 4.14), o escore de severidade atribuído ao perigo da alta concentração de CRL foi 2, uma vez que a ocorrência desse perigo resulta no aumento da probabilidade de intoxicação, diarreia, bronquite, entre outros, que podem vir a causar efeitos moderados à saúde humana, podendo persistir durante um período médio. Ao escore da ocorrência foi atribuído o valor 1, pois de um total de 30 amostras, nenhuma delas estava fora do padrão estabelecido pela Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do MS. A

detecção teve um peso 2, pois a forma de medição é simples, com a utilização de equipamentos usuais para técnicos que trabalham nessa área. O NPR resultante do produto entre os escores foi de 4.

O perigo de baixa concentração de CRL recebeu escore de severidade igual a 3, já que pode causar efeitos severos a saúde com o aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos na água. À ocorrência, por se tratar de situação recorrente, principalmente nas análises de cisternas, foi atribuído o escore 3. Já a detecção obteve escore 2, por apresentar situação similar à da alta concentração de CRL. Ao final foi calculado o NPR para a baixa concentração de CRL e foi obtido valor 18.

Seguindo na análise de risco de produto para o perigo de alta turbidez na água a severidade obteve o escore 3, pois além de interferir na desinfecção é um indicador de probabilidade de ocorrência de oocistos e cistos de protozoários, podendo vir a causar efeitos severos e/ou agudos à saúde humana. À ocorrência foi atribuído o valor 2, pois nos caminhões-pipas foi detectada falta de conformidade das águas transportadas, mas já nas cisternas que são mais imediatamente relacionadas ao consumo de água os valores estavam dentro do padrão normativo, isso para o universo amostral de 30 análises. A detecção foi considerada 2, uma vez que a faixa de regulamentação da portaria é possível ser analisada com o auxílio de equipamento simples. O nível prioritário de risco foi estimado em 12.

Para a alta concentração de CRC foi atribuída severidade 2, porque mesmo causando problemas à saúde humana, estes são leves ou moderados e não persistem com o tempo, pois o CRC possui um poder oxidativo bem menor do que o CRL. Para a ocorrência foi atribuído o escore 1, já que não houve ocorrência deste evento dentro das 30 amostras analisadas. À detecção foi atribuído escore 2, uma vez que o método de determinação do CRC é similar ao do CRL, sendo necessária a utilização de aparelhagem simples. A multiplicação dos escores resultou em um NPR de 4.

Ainda para a análise de risco de produto, o alto pH foi mais um perigo avaliado, sendo atribuído à sua severidade valor 2, sabendo que, o pH tem influência nos processos unitários e pode favorecer a formação de incrustação no tanque dos caminhões-pipas, como também nos reservatórios (cisternas). Ele ainda auxilia na inibição de formação de CRC, mantendo o maior poder desinfetante da água. A ocorrência obteve escore 1, visto que todas as 30 amostras analisadas estavam em conformidade com a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017. À detecção foi atribuído o escore 2, pois para a sua medição é necessário um equipamento de simples utilização. As considerações sobre os escores levaram ao NPR de 4.

Para o perigo de baixo pH, o valor atribuído à severidade foi 2, mesmo considerando o favorecimento de corrosão ao tanque do veículo transportador, bem como ao reservatório (cisterna), contribuindo assim, para redução do tempo de vida útil dos mesmos, no entanto o pH baixo ajuda do processo de desinfecção da água. O escore da ocorrência foi 1, visto que nenhum dos 30 pontos ficou fora do padrão normativo e a detecção obteve escore 2, uma vez que a forma de determinação é igual ao do alto pH. Sendo assim, o resultado do NPR foi 4.

Outro perigo analisado foi a alta cor aparente, sendo escore atribuído para severidade de 3, visto que ela é determinada com interferência da turbidez e indica a elevada concentração de material particulada em suspensão, pode levar a formação de compostos cancerígenos após a desinfecção, bem como a rejeição do consumidor pela sua aparência objetável. Para a ocorrência foi atribuído o valor de 3, devido ao seu alto índice de falta de conformidade segundo a legislação vigente, principalmente nas águas transportadas por caminhões-pipas. A detecção obteve o escore de 2, pois a cor pode ser determinada com a utilização de um simples equipamento o colorímetro, para as faixas preconizadas pela Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017. Por fim, obteve-se o produto da multiplicação dos escores que foi 18.

Para o perigo de presença de coliformes totais, o escore de severidade foi 3, pois, mesmo não sendo compostos em sua totalidade por organismos patogênicos, são um bom indicador das condições sanitárias da água e, particularmente, da integridade do sistema de abastecimento. A ocorrência obteve escore 3, pela falta de conformidade das águas nas 30 amostras analisadas, principalmente nas águas de cisternas, as quais estavam disponíveis para o consumo imediato. Para a detecção foi atribuído o escore 3, pois sua determinação requer um maior cuidado com relação à preservação e contaminação das amostras, sendo necessária a utilização de mão de obra com maior qualificação e investimento em material de alto valor econômico. O NPR resultante foi de 27.

Ao final, foi analisado o perigo da presença de *Escherichia coli* na água, sendo atribuído o escore 3 para severidade, por ser um indicador que confirma a presença de microrganismos associados à contaminação fecal, conseqüentemente, podendo trazer agravos significativos à saúde dos consumidores. À ocorrência foi atribuído o escore 3, pela falta de conformidade principalmente nas cisternas em mais de 95% das análises, como previsto pela Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017. A detecção obteve escore 3, por motivos análogos aos atribuídos na análise do indicador coliformes totais, visto que, ambos têm o mesmo processo de determinação. O NPR foi 27.

Tabela 4.14 – Tabela resumo da FMEA de produto.

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Medidas mitigadoras
Alta concentração de CRL	Intoxicação (diarreia), bronquite, asma, irritação das membranas mucosas, eczemas	Falha na desinfecção	2	1	2	4	Utilização de dosagens recomendadas de desinfetante
Baixa concentração de CRL	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Deficiência no sistema de cloração, falta de manutenção dos tanques e reservatórios, presença de substâncias redutoras	3	3	2	18	Manutenção dos tanques (pipas) e reservatórios, utilização de dosagens recomendadas de desinfetante
Alta turbidez	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falta do processo de clarificação	3	2	2	12	Implementação das operações unitárias de clarificação
Alta concentração de CRC	Odor e sabor característicos, irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta (OMS, 2012).	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção nos tanques (pipas) e/ou	2	1	2	4	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção dos tanques (pipas) ou reservatórios.

		reservatórios					
Alto pH	Influência nos processos unitários, incrustação no tanque (pipas) e reservatório, compromete o processo de desinfecção	Ausência de processo para correção do pH	2	1	2	4	Utilização de substância ácida para diminuição do pH
Baixo pH	Agressividade da água no tanque (pipas) e reservatório, influência nos processos unitários, irritação nos olhos, na pele e nas mucosas	Ausência de processo para correção do pH	2	1	2	4	Utilização de substâncias básicas (cal)
Alta cor aparente	Elevada concentração de material particulada e coloidal em suspensão, aparência desagradável	Falta de processo de tratamento unitário para sua remoção	3	3	2	18	Utilização de filtração com carvão ativado
Presença de coliformes totais	Menor integridade do sistema por solução alternativa, Aumento da probabilidade de	Falha na desinfecção, falta de manutenção no tanque e reservatório,	3	3	2	18	Manutenção dos tanques (pipas) e reservatórios, recloração nos reservatórios

	presença de organismos patogênicos	grande quantidade de matéria orgânica na água, estagnação da água					
Presença de <i>Escherichia coli</i>	Indicador de contaminação fecal na água	Falha na desinfecção, falta de manutenção no tanque (pipa) e reservatório, grande quantidade de matéria orgânica na água, estagnação da água	3	3	3	27	Manutenção da integridade dos tanques (pipas) e reservatórios, recloração nos reservatórios

Fonte: O autor (2018).

Em seguida foi realizada a análise de risco para o processo de transporte e manejo da água em soluções alternativas de abastecimento (Tabela 4.15). O primeiro perigo avaliado foi a ausência do selo de inspeção da GEVISA (Gerência de vigilância sanitária de Campina Grande -PB) no veículo transportador de água, sendo atribuído escore 3 à sua severidade, visto que, sem essa inspeção não há como garantir as condições do veículo transportador, podendo a água transportada causar efeitos graves à saúde humana. A ocorrência foi ponderada com escore 1, pois os carros avaliados na pesquisa, a serviço da “operação carro-pipa”, deveriam obrigatoriamente portar o selo. A detecção teve valor atribuído 1, uma vez que os selos devem ficar fixados nos tanques dos caminhões-pipas, sendo assim de fácil visualização. O produto dos escores foi 3.

Para o perigo ausência de condições sanitárias do reservatório (parte estrutural e de estanqueidade) foi atribuída severidade 3, pois a falta de estanqueidade na cisterna deixa a água sujeita a contaminações externas. O escore atribuído à ocorrência foi 3, pois, por diversas vezes, foram observados vazamentos de água por fissuras ou por canos de saídas de água. A detecção foi ponderada com o escore 1, porque a identificação dessa falha era simples, sendo percebida a olho nu. O NPR resultante foi 9.

A utilização de recipientes inadequados para retirada da água (baldes, latas, panelas e cordas contaminados ou compartilhados) teve severidade atribuída 3, visto que, é uma das principais formas de contaminação da água nos tanques de reservação (cisternas), podendo causar efeitos severos e/ou agudos à saúde dos consumidores. Para a ocorrência o escore foi 3, pela grande quantidade de casos em que essas situações eram presenciadas. A detecção foi ponderada com 1, pois pode ser percebida de forma simples. O resultado do produto dos escores foi 9.

A severidade atribuída ao perigo da ausência de limpeza periódica no reservatório (cisterna) foi 3, pois a falta desse procedimento leva à depreciação da qualidade da água reservada nesse local, como também o aumento da probabilidade de contaminação. O escore da ocorrência foi 3, porque em nenhum dos locais visitados era realizada a limpeza periódica das cisternas, os proprietários das cisternas não tinham o conhecimento que era necessária a realização desse procedimento. Para a detecção foi estipulado o valor 1, visto que essa informação era obtida com uma simples entrevista com o responsável pelo reservatório. Ao final, o valor do NPR foi 9.

Para o perigo da tampa de inspeção do reservatório (cisterna) não estar devidamente selada, ou ausência da mesma, foi escolhido o escore de severidade 3, visto que essa situação pode causar a contaminação da água reservada trazendo problemas de saúde para o consumidor. O valor ponderado para a ocorrência foi 2, pois essa situação era recorrente de ser vista nas visitas de campo. A detecção foi ponderada com 1, porque era de fácil percepção a visualização desse perigo. O resultado do nível de prioridade de risco foi 6.

Prosseguindo na análise de risco de processo foi ponderado o perigo da tubulação de captação da água rente ao fundo do reservatório (com carreamento de material sedimentado) sendo atribuído para a severidade o valor 2, pois a sucção desse material sólido sedimentado deixa a água com uma aparência objetável para os consumidores, como também pode vir a causar efeitos moderados na saúde humana, como irritações e alergias. O escore da ocorrência foi 3, porque foram detectados mais de 5% dos casos com esse problema. Para a detecção foi

atribuído o valor 1, visto que com uma simples vistoria no reservatório esse perigo poderia ser identificado. O NPR foi 6.

Para a utilização do veículo transportador de água sem a autorização da autoridade de saúde pública para o fornecimento de água potável, tendo uso exclusivo para o transporte de água para consumo humano, o escore para a severidade foi 3, pois o consumo de uma água que não se sabe de onde veio ou se passou por algum tratamento pode causar sérios riscos à saúde. A ocorrência foi ponderada 1, porque os consumidores tinham consciência que a água deveria ser fornecida pelos veículos cadastrados no exército. A detecção foi 1, visto que essa situação não foi presenciada ou relatada no período das análises. O produto dos escores foi 3.

À severidade da ausência de recloração, mantendo residual adequado no reservatório (cisterna), foi atribuído o escore 3, visto que a falta do agente desinfetante causa insegurança pela possibilidade de contaminação microbiana da água. A ocorrência foi ponderada com 3, pois em nenhum dos reservatórios analisados havia esse procedimento. A detecção atribuída foi 2, devido à necessidade de equipamento para a determinação da existência de cloro no reservatório. O NPR encontrado foi 18.

Para o perigo da falta de manutenção dos dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas) foi ponderado o escore 3 para a severidade, pois a falta de cuidados com esses dispositivos pode causar a contaminação da água trazendo riscos à saúde dos consumidores. O valor atribuído à ocorrência foi 1, visto que não houve visualização desse evento durante as análises. A detecção foi ponderada com 1, porque a simples inspeção visual pode detectar a existência de irregularidades.

Por fim, a severidade para a existência de focos de contaminação (esgoto sanitário, atividades agropecuárias, fossas, entre outras, próximas aos reservatórios (cisternas) foi 3, visto que cisternas não devem ser construídas próximas a esses locais por aumentarem os riscos propagação de doenças. À ocorrência foi atribuído o valor 3, uma vez que essa situação era corriqueira nos reservatórios analisados. A detecção proposta foi 1, visto que esse perigo era perceptível a olho nu. O resultado do NPR foi 9.

Tabela 4.15 – FMEA de processo de soluções alternativas de abastecimento.

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Medidas mitigadoras
Ausência do selo de inspeção da GEVISA (Gerência de vigilância sanitária de Campina Grande -PB) no transporte	Ausência de selo de inspeção que garante as boas condições sanitárias do veículo transportador, podendo causar intoxicação, irritação das membranas mucosas, eczemas	Falta de entrada em processo administrativo junto à GEVISA para inspeção do veículo transportador	3	1	1	3	Solicitação junto à GEVISA para a vistoria de regularização do veículo transportador
Ausência de condições sanitárias do reservatório (parte estrutural e de estanqueidade das cisternas)	Aumento da probabilidade da presença de organismos patogênicos e alteração dos indicadores físico-químicos da água (WHO, 2017)	Falta de manutenção do reservatório e deficiência na estanqueidade	3	3	1	9	Manutenção do reservatório a fim de evitar o aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras, e se necessário, realização de reparos estruturais
Utilização de recipientes inadequados para retirada da água (baldes, latas, panelas e cordas contaminados ou compartilhados)	Aumento da probabilidade de contaminação microbiana da água (WHO, 2017)	Falta de instrução para utilização de recipientes limpos e de uso exclusivo para esta finalidade	3	3	1	9	Conscientização da população sobre a importância da utilização de recipientes limpos e de uso exclusivo para água, mantendo assim a segurança sanitária da mesma

Ausência de limpeza periódica no reservatório (cisterna)	Odor e sabor característicos, irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta (ANVISA, 2016)	Falta de instrução para a realização semestral da limpeza do reservatório	3	3	1	9	Implementação da limpeza periódica semestral, ou quando as condições sanitárias indicarem a necessidade da mesma
Tampa de inspeção do reservatório (cisterna) não estar devidamente selada, ou ausência da mesma	Proliferação de vetores (ANVISA, 2016), aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos e alteração dos indicadores físico-químicos da água	Ausência de treinamento sobre a importância da tampa do reservatório para sua vedação, e garantia de não contaminação da água	3	2	1	6	Utilização de tampa devidamente selada
Tubulação de captação da água rente ao fundo do reservatório (carreamento de material sedimentado)	Sucção de material sedimentado, altas concentrações de sólidos	Falta de atendimento da distância mínima entre a tubulação de recalque e o fundo do reservatório (cisterna)	2	3	1	6	Obedecer a distância mínima entre a tubulação de recalque e o fundo do reservatório (cisterna)
Utilização do veículo transportador de água sem a autorização da autoridade de	Utilização de água sem garantias de qualidade, aumento da probabilidade de presença de organismos	Desconhecimento ou desconsideração da importância da procedência da água utilizada	3	1	1	3	Utilização de águas fornecidas somente por veículos transportadores com autorização

saúde pública para o fornecimento de água potável, tendo uso exclusivo para o transporte de água para consumo humano	patogênicos e alteração dos indicadores físico-químicos da água						para a execução dessa atividade
Ausência de recloração, mantendo residual adequado no reservatório (cisterna)	Falta da segurança sanitária promovida pelo residual do agente desinfetante	Desconhecimento da importância da utilização do desinfetante, ou falta do produto para a utilização	3	3	2	18	Utilização do agente desinfetante todas as vezes que o residual ficar inferior a 0,2mgCl ₂ /L
Falta de manutenção dos dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas)	Comprometimento do abastecimento da população pelo mau manuseio do dispositivo de retirada da água, sem o devido cuidado para que este esteja devidamente limpo e isento de contaminação	Falta de manuseio correto dos dispositivos de introdução e retirada de água do tanque do veículo transportador	3	1	1	3	Utilização correta dos dispositivos de introdução e retirada de água do tanque do veículo transportador, tendo o devido cuidado para evitar contaminação
Existência de focos de contaminação (esgoto sanitário, atividades)	Aumento da probabilidade da presença de organismos patogênicos e	Desconhecimento técnico necessário sobre a impossibilidade da construção	3	3	1	9	Maior cuidado na utilização dessa água, e havendo indícios de contaminação não

agropecuárias, fossas, entre outras, próximas às cisternas	alteração dos indicadores físico-químicos da água (WHO, 2017)	desses reservatórios próximos a essas áreas					utilizá-las para fins potáveis
---	---	---	--	--	--	--	--------------------------------

Fonte: O autor (2018).

4.2.1 Ponderação pontual dos níveis de prioridade dos riscos individuais

Seguindo o cálculo detalhado na metodologia do trabalho, foram concebidas as Tabelas 4.16 e 4.17 que elencam, em ordem decrescente, as porcentagens de influência dos riscos individuais de cada falha em relação ao total nas soluções alternativas de abastecimento na zona rural de Campina Grande, tanto para avaliação do produto como para o processo.

Para o FMEA de produto tivemos o risco da presença de *Escherichia coli* com o maior percentual, atingindo 24,77%, valor alto que era de se esperar devido à ligação direta desse perigo com a presença de contaminação fecal nas águas, o que pode levar o consumidor ao desenvolvimento de quadros de debilidade severa na sua saúde. Em segundo lugar ficaram presença de coliformes totais, baixa concentração de CRL e alta cor, que atingiram 16,51% do nível individual de risco, sendo fatores de extrema importância para atestar a qualidade da água, estando ligados à indicação de presença de contaminação microbiana, ausência de segurança para possíveis contaminações e presença de altas concentrações de substâncias dissolvidas na água, respectivamente. Em terceiro lugar, com 12%, ficou a alta turbidez, mesmo sendo um ótimo indicador sentinela para a presença de microrganismos patogênicos, esse resultado se deve ao atendimento de seu parâmetro nas cisternas. Alta concentração de CRL, alta concentração de CRC, alto pH e baixo pH ficaram todos com 3,67%, por representarem baixo risco à saúde em um curto espaço de tempo, ou, até mesmo, sem risco ao consumidor como é o caso do pH (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 – Resultado da hierarquização da prioridade de riscos individuais para o FMEA de produto.

Risco	NPR	Cálculo	Porcentagem
Presença de <i>Escherichia coli</i>	27	$27/109 = 0,2477$	24,77%
Presença de coliformes totais	18	$18/109 = 0,1651$	16,51%
Baixa concentração de CRL	18	$18/109 = 0,1651$	16,51%
Alta cor aparente	18	$18/109 = 0,1651$	16,51%

Alta turbidez	12	$12/109 = 11,00$	11,00%
Alta concentração de CRL	4	$4/109 = 0,0366$	3,67%
Alta concentração de CRC	4	$4/109 = 0,0366$	3,67%
Alto pH	4	$4/109 = 0,0366$	3,67%
Baixo pH	4	$4/109 = 0,0366$	3,67%
NPR total	109	1	100%

Fonte: O autor (2018).

De acordo com Tabela 4.17 o FMEA de processo teve como maior nível de risco individual a ausência de recloração, mantendo residual adequado no reservatório (cisterna), com 24%, devido à grande vulnerabilidade da água à contaminação microbiana sem um agente desinfetante, como pode ser diagnosticado nos resultados das análises. A ausência de condições sanitárias do reservatório (parte estrutural e de estanqueidade), utilização de recipientes inadequados para retirada da água, ausência de limpeza periódica no reservatório (cisterna) e a existência de focos de contaminação (esgoto sanitário, atividades agropecuárias, fossas) próximos aos reservatórios, ficaram em segundo com 12%, devido a todos esses fatores interferirem na segurança da água em relação à contaminação por agentes externos ao reservatório. Em terceiro lugar os riscos individuais foram à tubulação de captação da água rente ao fundo do reservatório (carreamento de material sedimentado) e a tampa de inspeção do reservatório (cisterna) não estar devidamente selada, ou ausência da mesma, com 8%, pelo fato de estarem mais ligados a substâncias dissolvidas na água. Em último lugar, com 4%, a utilização do veículo transportador de água sem a autorização da autoridade de saúde pública para o fornecimento de água potável tendo uso exclusivo para o transporte de água para consumo humano, a ausência do selo de inspeção da GEVISA (Gerência de vigilância sanitária de Campina Grande - PB) no transporte e a falta de manutenção dos dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas), fatores que tiveram menos influência devido à baixa ocorrência durante o período analisado.

Tabela 4.17 – Resultado da hierarquização da prioridade de riscos individuais para o FMEA de processo.

Risco	NPR	Cálculo	Porcentagem
Ausência de recloração, mantendo residual adequado no reservatório (cisterna)	18	$18/75 = 0,24$	24 %
Ausência de condições sanitárias do reservatório (parte estrutural e de estanqueidade)	9	$9/75 = 0,12$	12 %

Utilização de recipientes inadequados para retirada da água (balde, latas, panelas e cordas contaminados ou compartilhados)	9	$9/75 = 0,12$	12 %
Ausência de limpeza periódica no reservatório (cisterna)	9	$9/75 = 0,12$	12 %
Existência de focos de contaminação (esgoto sanitário, atividades agropecuárias, fossas, entre outras, próximas às cisternas)	9	$9/75 = 0,12$	12 %
Tubulação de captação da água rente ao fundo do reservatório (carreamento de material sedimentado)	6	$6/75 = 0,08$	8 %
Tampa de inspeção do reservatório (cisterna) não estar devidamente selada, ou ausência da mesma	6	$6/75 = 0,08$	8 %
Utilização do veículo transportador de água sem a autorização da autoridade de saúde pública para o fornecimento de água potável, tendo uso exclusivo para o transporte de água para consumo humano	3	$3/75 = 0,04$	4 %
Ausência do selo de inspeção da GEVISA (Gerência de vigilância sanitária de Campina Grande -PB) no transporte	3	$3/75 = 0,04$	4 %
Falta de manutenção dos dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas)	3	$3/75 = 0,04$	4 %
NPR total	75	1	100%

Fonte: O autor (2018).

4.3 Plano de Segurança da Água

O PSA desenvolvido deve ser estruturado de uma forma simples e objetiva, de modo a facilitar o entendimento dos aspectos essenciais relacionados com a gestão de pontos de controle e definição dos pontos críticos do sistema. Pontos de controle foram estabelecidos para cada uma das três etapas do sistema (tratamento, distribuição e reservação), escolha que levou em consideração os resultados das análises de risco em soluções alternativas de abastecimento.

A Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde define em seu Anexo XX, Capítulo IV, no Art. 13º, Inciso I a IV:

Art. 13. Compete ao **responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água** para consumo humano:

- I - exercer o controle da qualidade da água;
- II - garantir a operação e a manutenção das instalações destinadas ao abastecimento de água potável em conformidade com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e das demais normas pertinentes;
- III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, nos termos desta Portaria, por meio de:
 - a) controle operacional do (s) ponto (s) de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, quando aplicável;
 - b) exigência, junto aos fornecedores, do laudo de atendimento dos requisitos de saúde estabelecidos em norma técnica da ABNT para o controle de qualidade dos produtos químicos utilizados no tratamento de água;
 - c) exigência, junto aos fornecedores, do laudo de inocuidade dos materiais utilizados na produção e distribuição que tenham contato com a água;
 - d) capacitação e atualização técnica de todos os profissionais que atuam de forma direta no fornecimento e controle da qualidade da água para consumo humano; e
 - e) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes dos sistemas e das soluções alternativas coletivas, conforme plano de amostragem estabelecido nesta Portaria;

IV- manter avaliação sistemática, do sistema ou **solução alternativa coletiva de abastecimento de água**, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base nos seguintes critérios:

- a) Ocupação da bacia contribuinte ao manancial;
- b) Histórico das características das águas;
- c) Características físicas do sistema;
- d) Práticas operacionais;
- e) Na qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos **Planos de Segurança da Água (PSA)**, recomendados pela OMS ou definidos em diretrizes vigentes no País.

Ou seja, todas as atribuições para a implementação do PSA, são de responsabilidade do gestor do sistema de abastecimento e soluções alternativas. Espera-se que a empresa responsável tenha um plano de controle de qualidade para as águas tratadas em sua estação de tratamento, as quais são utilizadas para o abastecimento convencional da zona urbana, assim como integrar essas medidas ao plano de segurança da água para áreas rurais.

O Brasil tem um grande arcabouço de normas, diretrizes e procedimentos, que devem ser tomados para a segurança da qualidade da água. A Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 é um dos mais importantes quando se fala de controle e vigilância de qualidade de água para o consumo humano. Sendo assim, este trabalho recomenda a implementação na íntegra dessa normativa, em especial nas soluções alternativas de abastecimento, pois ao seguir a legislação se estará aplicando o plano de segurança da água em sua plenitude.

Para a implementação do PSA em soluções alternativas de abastecimento, deve-se levar em conta a simplificação de protocolos e procedimentos, para que se possa obter êxito na aplicação do mesmo nas zonas rurais, mas sem abrir mão da qualidade do resultado final.

A primeira ação a ser tomada é a descentralização do serviço, quando não há rede convencional de abastecimento, sendo, para tal fim, imprescindível o envolvimento da comunidade, a qual deve ser incluída como parte integrante do sistema de abastecimento, pois, nesse modelo, ela tem papel fundamental para o bom funcionamento do sistema.

A companhia responsável deve promover ações educativas nessas comunidades com o objetivo de conscientizar a população sobre seu papel fundamental para garantir a qualidade da água consumida, devendo ser capacitados para que fiquem sabendo de ações que podem ser tomadas para garantir a segurança da água, para tanto, é necessária a realização de reuniões nas áreas atendidas para a conscientização da comunidade.

Após a realização da primeira reunião, deve ser montada uma equipe do PSA, devendo essas pessoas ter amplo conhecimento da comunidade e receber apoio técnico da companhia para que possam desempenhar as suas atividades. É recomendável que tenham conhecimento das formas de abastecimento de água da região. Um líder será escolhido para a equipe do PSA que deve supervisionar e orientar o desenvolvimento e a implementação do PSA.

Atribuições e responsabilidades da equipe:

- Pelas operações do dia-a-dia do abastecimento de água nas soluções comunitárias, ajudar durante a construção de novos sistemas e/ou reparos de antigos;
- Tem autoridade para tomar decisões sobre, treinar, recrutar pessoal e/ou fazer mudanças no abastecimento de água;
- Tem o conhecimento e capacidade para identificar e caracterizar riscos potenciais para o abastecimento para o consumidor;
- É responsável por ter a capacidade de ajudar a gerenciar e evitar esses riscos;
- É influente e interessado, tanto ao nível da comunidade como pelo menos no nível administrativo;
- Oferecer periodicamente cursos sobre cuidados e perigos de contaminação das águas, boas práticas de higiene e doenças de veiculação hídrica e seus males.

É de responsabilidade da companhia prestar todo o apoio técnico e financeiro para a realização dessas atividades, visto que, ela tem responsabilidade legal de controle e vigilância da qualidade das águas em seus diversos modelos de abastecimento. Algumas ações foram propostas por este estudo, como medidas auxiliares para implementação do princípio de múltiplas barreiras em reservatórios (cisternas):

- Utilização de tampas vedantes nos reservatórios;
- A retirada da água deve ser feita exclusivamente por bomba hidráulica ou manual;
- Instalação de difusor de cloro nos reservatórios para a manutenção do residual mínimo do agente desinfetante, como também a distribuição de patinhas de cloro a serem utilizadas;
- Utilização de recipiente exclusivo para a retirada e armazenamento de água potável;
- Fazer a limpeza periódica a cada 6 meses do reservatório e dos dispositivos de retirada da água;
- Implementar sistemas de desvio das primeiras águas das chuvas;

- Procurar parcerias para instalação de sistema de vigilância independente (instituições de ensino, ex. Universidades);
- Só receber águas de veículos transportadores cadastrados.

Recomenda que os órgãos responsáveis pelo abastecimento levem em consideração os principais riscos analisados neste estudo, sendo imprescindível a utilização de água tratada para o abastecimento nas soluções alternativas, sendo inviável a utilização de água bruta apenas com a adição de cloro, como foi verificado. A companhia deve implementar procedimentos de segurança para a otimização do processo de tratamento das águas, dentro das suas especificidades, como recomenda WHO (2012):

- Procedimentos operacionais para o monitoramento do manancial;
- Procedimentos operacionais para operação da captação;
- Procedimentos operacionais para operação do filtro;
- Procedimentos operacionais para operação da desinfecção, fluoretação e ajuste de pH;
- Procedimentos operacionais para operação da rede de distribuição;
- Procedimentos para recepção de produtos químicos;
- Procedimentos para manutenção e calibração de equipamentos;
- Procedimentos operacionais para gestão de laboratórios;
- Plano de capacitação de recursos humanos;
- Plano de gestão de qualidade dos equipamentos de medição de rotina;
- Plano de ação para implementação das medidas de controle.

Outro aspecto importante que deve ser estabelecido é a comunicação de risco, para dar à população o acesso às informações pertinentes sobre o abastecimento de água, que vão desde a elaboração de relatórios periódicos, mensal e anual.

O Relatório mensal objetiva acompanhar e monitorar os perigos e deve minimamente conter os seguintes elementos:

- análise dos dados de monitoramento;
- verificação das medidas de controle;
- análise das não-conformidades ocorridas e as suas causas;
- verificação da adequabilidade de ações corretivas,
- implementação das alterações necessárias.

O relatório anual para avaliação geral da implantação e funcionamento do PSA deve conter os seguintes pontos:

- análise dos riscos mais relevantes ao longo do ano;
- reavaliação de riscos associados a cada perigo;
- avaliação da inclusão de novas medidas de controle;
- avaliação crítica do funcionamento do PSA.

Os protocolos de comunicação devem seguir as recomendações da legislação vigente de informação ao consumidor.

O plano de segurança da água é um documento dinâmico, por isso mesmo deve ser atualizado periodicamente, passando por auditorias internas e externas, para que, assim, assegure a sua eficácia.

5. DISCUSSÃO

No mundo a utilização de soluções alternativas de abastecimento vem se tornando cada vez mais comum, sendo aplicada para as necessidades mais básicas, como a dessedentação humana, redução da demanda de água dos sistemas convencionais, como também para amenizar os efeitos de eventos pluviométricos extremos em conglomerados urbanos.

Segundo Andrade Neto (2013) exemplos não faltam no mundo, em países como a China, que tem mais de cinco milhões de cisternas construídas nos últimos anos e, no sul da Austrália, aonde cerca de 80% da população rural e 30% da urbana utilizam a água da chuva como fonte de abastecimento. Essa tendência vem sendo ampliada e incentivada por governos como o do Japão e da Alemanha, que estimulam a população a armazenar águas pluviais em cisternas.

Para compreender a atual crise da água e o impacto potencial das mudanças climáticas é importante evidenciar como a gestão da água era de fato fundamental já para as antigas civilizações. A captação e o manejo de água de chuva têm sido desenvolvidos por diferentes povos em diversas partes do mundo, há milhares de anos, especialmente em regiões áridas e semiáridas (GNADLINGER, 2015).

Esta pesquisa foi motivada pela detecção de casos de contaminação microbiana em soluções alternativas de abastecimento e, para viabilizar a realização do estudo, foi necessária a geração dos próprios dados de qualidade de água nas zonas rurais do município, visto que os dados obtidos pelo SISAGUA se mostraram insuficientes e inseguros, pois o estado da Paraíba e o município de Campina Grande não conseguiram atender o quantitativo mínimo de análises recomendável pela Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 para o monitoramento das águas (Anexo B).

Após uma análise mais global dos dados laboratoriais obtidos, foi percebida uma diferença significativa principalmente no que se diz respeito à qualidade da água em cisternas e de caminhões-pipas, o que pode ser explicado devido a uma série de fatores:

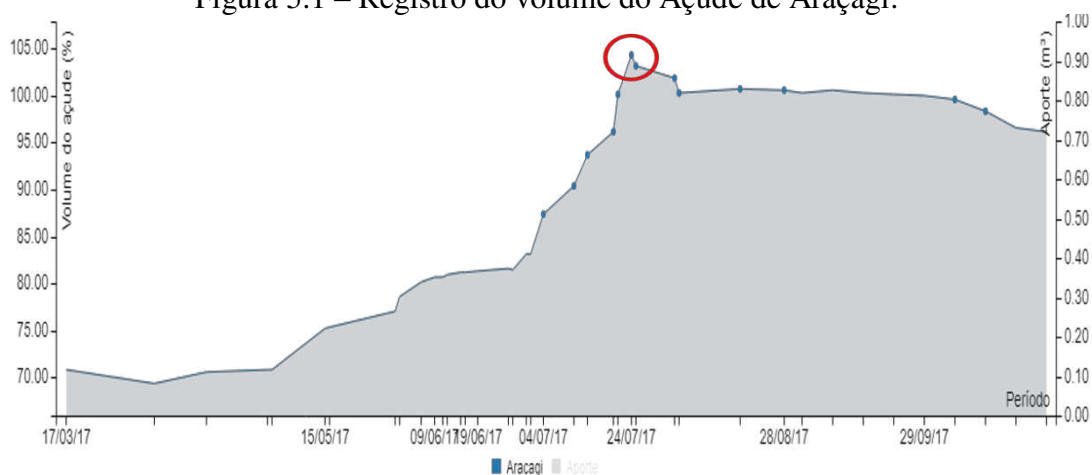
- Após o abastecimento dos reservatórios (cisternas) não há mais o controle da qualidade da água;
- As águas transportadas pelos carros-pipas não são potáveis, segundo os parâmetros mínimos da normativa vigente, pois passavam apenas por uma cloração;
- Misturas de águas de diversas fontes distintas, a exemplo de açudes, poços, chuva e até mesmo do sistema convencional de abastecimento;

- Falta de conhecimentos básicos sobre procedimentos de boas práticas de higiene sanitária pela população;
- Ausência de ações por parte dos órgãos gestores para melhoria das condições desse tipo de abastecimento por soluções alternativas.

Com base nos resultados, foi verificado que o cloro residual livre, tanto em cisternas quanto em veículos transportadores de água, estava fora do padrão, causando grande preocupação, visto que ele é o responsável por garantir a manutenção da qualidade microbiana das águas. Em decorrência da não conformidade do agente desinfetante foram encontrados resultados fora do recomendável para as análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*, para todos os pontos de cisternas e para a maioria dos caminhões-pipas. Esses fatores podem contribuir diretamente com o aumento de doenças gastrointestinais na população dessas áreas, principalmente em crianças e idosos.

Sabendo que a turbidez interfere nos resultados de cor aparente, é de se esperar que os dados desses indicadores tivessem comportamentos semelhantes. Foi verificado que ambos demonstraram não conformidade com os respectivos padrões na maioria das análises, com exceção da turbidez em cisternas que se manteve dentro dos limites recomendáveis. Foi possível observar uma piora desses indicadores da qualidade da água, ao longo do tempo, o que pode estar relacionado aos aportes pluviométricos no Açude de Araçagi, ilustrados na Figura 5.1. A maior depreciação da qualidade da água foi justamente no período de extrapolação do volume máximo do açude, próximo à data 21/07/2017, a partir da qual os resultados foram diminuindo de forma lenta, visto que o manancial continuou sangrando por mais de um mês, contribuindo assim, para a o revolvimento do material sedimentado no fundo.

Figura 5.1 – Registro do volume do Açude de Araçagi.



Fonte: AESA (2018).

A análise de risco mostrou os principais perigos hierarquizando-os para que as ações possam ser tomadas de forma efetiva. Foi verificado que os maiores riscos estão ligados à falta de agente desinfetante e contaminação microbiológica, consequentemente causando a maior vulnerabilidade da água e aumentando seu potencial de causar efeitos nocivos à saúde humana.

A implementação de PSA em soluções alternativas de abastecimento baseada na análise e gestão de riscos, constitui uma abordagem inovadora e eficaz para estabelecer critérios e procedimentos que protejam o sistema. Na pesquisa foi constatado que não são atendidos princípios fundamentais como utilização de água tratada para a distribuição por veículos transportadores, evidenciando que o primeiro passo é a aplicação de forma integral e efetiva da legislação vigente.

No Brasil já há utilização pontual, bem-sucedida do PSA em algumas entidades gestoras de sistemas de abastecimento, que recomendam uma sistemática e estruturada disseminação do mesmo em uma escala nacional. Para isso, são necessárias políticas públicas e legislação, que proponham mecanismos de suporte para a sua implementação. Já há uma recomendação da OMS que o PSA para áreas rurais deve ser o mais simplificado possível, e só deve conter em suas etapas fundamentais para garantir uma maior eficiência e possibilidade de implementação.

Vale salientar que os resultados obtidos no estudo foram gerados no período final de uma longa seca, a qual registrou baixos índices pluviométricos na região, por mais de 7 anos, tendo como consequência segundo Pereira e Curi (2017) a maior redução dos níveis dos açudes já vista em alguns mananciais. Esse ciclo foi interrompido por volta de junho de 2017 com a ocorrência de chuvas significativas.

A seca até hoje, é tratada por muitos como um evento atípico, mas há evidências desses eventos desde o ano de 1583 no semiárido do Brasil, isso há 435 anos atrás. Ora, será então mesmo uma eventualidade, ou apenas uma desculpa usada repetidamente pelos gestores responsáveis para justificar a falta de ações efetivas de mitigação. Esse fenômeno é cíclico e bem conhecido e previsível.

Não se pode conceber que em pleno Século 21, de tantos avanços tecnológicos, só sejam usadas ações corretivas em relação à qualidade e quantidade de águas, sabendo de todos os malefícios que isso pode trazer, faz-se importante manter o foco preventivo, com a utilização de avaliação e gestão de risco, que já são ferramentas amplamente utilizadas

mundialmente para conviver e prosperar em regiões semiáridas, como por exemplo o programa governamental 1 Milhão de Cisternas (P1MC), para as regiões rurais do Brasil.

Outro programa bem difundido é a Operação Carro-pipa que atende cerca de 4 milhões de pessoas no Nordeste, Minas Gerais e Espírito Santo, que recebeu R\$ 192 milhões em recursos só em fevereiro e março de 2017, com expectativa de mais de R\$ 1 bilhão que foram investidos nas ações em 2017, com a participação de aproximadamente 7000 carros-pipas. Só o 31ºBIMtz em Campina Grande – PB atende 26 municípios das regiões circunvizinhas de Campina Grande (BRASIL, 2017).

Para que um município possa receber a operação Carro-pipa é necessário que ele tenha decretado situação de emergência ou estado de calamidade pública, após isso a situação de anormalidade deverá ser reconhecida por seu Governo Estadual e pelo Ministério da Integração Nacional, sendo criada uma comissão que será responsável por indicar as prioridades de atendimento dentro do município, assim como fiscalizar a execução da ação em parceria com o Exército Brasileiro.

Segundo Brasil (2018) só no período de 2013 a 2016, na Paraíba, foram 1749 casos de reconhecimento federal de situação de emergência devido à estiagem, sendo que dos 223 municípios do estado apenas 20 não decretaram situação de emergência nesse período. Esses dados alarmantes nos mostram que o estado tem pouca ou nenhuma eficiência nas ações que desenvolve para mitigação dos efeitos da seca, ficando dependente de ações corretivas do governo federal por vários anos consecutivos, não conseguindo implementar medidas preventivas que apresentem resultados satisfatórios.

6. CONCLUSÃO

O estudo conseguiu avaliar as águas de abastecimento por soluções alternativas, traçando um perfil da qualidade das águas utilizadas na zona rural do município de Campina Grande – PB, desde a captação no manancial e transporte por caminhão-pipa até o armazenamento em cisternas, com base nas diretrizes do Plano de Segurança da Água.

A partir dos resultados do estudo foi possível:

- Diagnosticar a não conformidade das águas de soluções alternativas de abastecimento, na zona rural do município de Campina Grande – PB, com a Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, sendo classificadas como águas impróprias para o consumo humano;
- A análise de risco se mostrou um método muito eficiente para essa modalidade de abastecimento, conseguindo apontar as principais causas de vulnerabilidade dessas águas à contaminação;
- Foram propostas algumas medidas para a segurança das águas de soluções alternativas de abastecimento em comunidades rurais do semiárido como a criação de equipe comunitária do PSA, implementação do princípio de múltiplas barreiras, protocolos de otimização no tratamento das águas e relatórios periódicos.

Observa-se que, ao contrário dos sistemas de abastecimento de águas convencionais, sob a responsabilidade do poder público, esse tipo de solução alternativa carece de apoio financeiro, gerencial e técnico. As possíveis soluções apontadas para a melhoria das condições de segurança sanitária da área constituem-se de alternativas tecnológicas simplificadas e de custo relativamente baixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Gráfico do volume do açude de Araçagi**. Disponível: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=5771. Acesso: janeiro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. Brasília, 2011.

_____. Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013. Cria a rede nacional de monitoramento da qualidade das águas superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes. Brasília, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução de diretoria colegiada - RDC nº 91, de 30 de junho de 2016. Dispõe sobre as Boas Práticas para o Sistema de Abastecimento de Água ou Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água em Portos, Aeroportos e Passagens de Fronteiras**. 2016. 17p.

ALVES, F.; LUZ, J.; FIGUEIRAS, M. L.; MEDEIROS, L. L.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Qualidade de água em cisternas do semiárido pernambucano. In: **8º Simpósio brasileira de captação e manejo de água de cisterna**, Campina Grande, 2012. 6p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA – AWWA–WPCF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd Ed. Washington: APHA, 2012. 1496p.

ANDRADE NETO, C.O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v.1, n.1, p. 073-086, 2013.

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

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Introduction to viral pathogenic agents**. In: Waterborne Pathogens, Denver, 2006. 324p.

BARNES, D.; BLISS, P.J.; GOULD, B.W.; VALLENTINE, H.R. **Water and wastewater engineering systems**. Massachusetts: Pitman Publishing Inc, 1981. 513p.

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. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, Cap. 9, p. 328-362, 2009.

BASTOS, R.K.X. **Roteiro de orientação para implantação de Planos de Segurança da Água – PSA**. 87p. 2010.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLE, L.; OLIVEIRA, A. A.; VIEIRA, M. B. C. M.; BRITO, L. L. A. Densidades de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardiase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancún, 2002. 8p.

BEVILACQUA, P. D.; CARMO, R. F.; DE MELO, C. M.; BASTOS, R. K. X.; OLIVEIRA, D. C.; SOARES, A. C. C.; OLIVEIRA, J. F. Vigilância da qualidade da água para consumo humano no âmbito municipal: contornos, desafios e possibilidades. **Saúde e Sociedade**, v.23, n.2, p.467-483, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. Brasília, 2001.

_____. **Ministério da Saúde. Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. 1ª Ed. Brasília, 2005. 72p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006a. 212p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília, 2007. 86p

_____. Ministério da saúde. **Portaria 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**. 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Secretaria de Recursos hídricos e ambiente urbano. Programa água doce**. Brasília, 2012a.

_____. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde - Um olhar do SUS**. Brasília, 2012b. 60p.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 2014a. 112 p.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela FUNASA**. Brasília, 2014b. 36p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial da Saúde.** Brasília, 2015. 37p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.** Brasília, 2016.

_____. Ministério da saúde. **Consolidação da Portaria nº 5, de 28 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.**

_____. Sistema integrado de informações sobre desastres. **Série Histórica.** Brasília, 2016. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>. Acesso: 10 de agosto de 2018.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Indicadores institucionais do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano.** Brasília, 2017. 58p.

_____. REVISTA VERDE-OLIVA. **Desafio global do conhecimento: Operação Carro-pipa.** Brasília, n. 239, 2017. 83p.

BUSCH, O. M. S. **Qualidade da água e saúde humana: riscos potenciais face ao processo de ocupação urbana no entorno da Represa do Passaúna - Curitiba – PR.** 2009. 277 p. Tese (Doutorado em meio ambiente e desenvolvimento) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologias e gestão.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 832p.

CEBALLOS, B. S. O.; DANIEL, L. A.; BASTOS, R. K. X. Tratamento de água para consumo humano: panorama mundial e ações do Prosab. In: PÁDUA, V. L. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392p.

DANIEL, M. H. B.; CABRAL, A. R. A Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). **Caderno Saúde Coletiva**, v.19, n.4, p.487-492, 2011.

DANTAS, A. K. D.; SOUZA, C.; FERREIRA, M. S.; ANRADE, M. A.; ANDRADE, D.; WATANABE, E. **Qualidade microbiológica da água de bebedouros destinada ao consumo humano**. Revista Biociências UNITAU, Taubaté, v. 16, n. 2, p. 132-138, 2010.

DAVISON, A.; HOWARD, G.; STEVENS, M.; CALLAN, P.; KIRBY, R.; DEERE, D.; BARTRAM, J. **Water safety plans: Protection of the human environment**. Geneva, World Health Organization (WHO), 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2011. 480p.

EBRAHIMIPOUR, V.; REZAIE, K.; SHOKRAVI, S. An Ontology Approach to Support FMEA Studies. **Expert Systems with Applications**, v.37, n.1, p.671-677, 2010.

FREITAS, C. M. Avaliação de riscos como ferramenta para vigilância ambiental em saúde. **Informe Epidemiológico do SUS**, v.11, n.4, p.227-239, 2002.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 993-1004, 2005.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Saneamento rural**. Boletim Informativo, nº10, 2011. 12p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf. Acesso: Fevereiro de 2018.

GADOTTI, M. **Educar para Sustentabilidade: Uma contribuição à Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora e Livraria Instituto Paulo Freire, 2008. 127p.

GALDINO, F. A. **Indicadores sentinelas para a formulação de um plano de amostragem de vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**. Campina Grande, 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

GNADLINGER, J. Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: Aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos. In: **Santos et al. Captação, Manejo e Uso de Água de Chuva**. Campina Grande: ABCMAC/INSA, p. 37-74, 2015.

HAAS, C.N.; ROSE, J.B.; GERBA, C.P. **Quantitative microbial risk assessment**. 2º Ed. USA: Wiley Blackwell, 2014. 427p.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

LEAL, J. T. C. P. **Água para consumo na propriedade rural**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2012. 18 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ªed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494p.

LIMA, A. D.; BACHEGA, S. J.; GODINHO FILHO, M.; CRUZ, V. J. S.; ROSSI, J. M. Proposta de aplicação da abordagem *Quick Response Manufacturing (QRM)* para a redução do *lead time* em operações de escritório. **Produção**, v.23, n.1, p.1-19, 2013.

LINDOSO, D. P.; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S.; NASUTI, S. Harvesting Water for Living with Drought: Insights from the Brazilian Human

Coexistence with Semi-Aridity Approach towards Achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, v. 10, n. 622, p. 1 – 16, 2018.

MCCLESKEY, R. B.; NORDSTROM, D. K.; RYAN, J. N. Comparison of electrical conductivity calculation methods for natural waters. **Limnology and Oceanography Methods**, v.10, p.952–967, 2012.

MELO, A. V. **Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento: estudo de caso de barragens da Cemig GT**. Belo Horizonte, 2014. 244p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia).

MENDONÇA, A. L. P. V. **Métodos de avaliação de riscos – Contributo para a sua aplicabilidade no setor da construção civil**. Faro, 2013. 225p. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente).

MORENO, J.; DUARTE, R. G. Gestão da qualidade da água em uma Empresa de Saneamento Básico. In: PHILIPPI JUNIOR, A.; GALVÃO JUNIOR, A. C. (Org.). **Gestão do Saneamento Básico - Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. 1. ed. Barueri: Manole, 2012. p. 392-435.

NASCIMENTO, R. S. **Modelo conceitual para a gestão da qualidade da água em sistemas de abastecimento de porte médio**. 2016. 191p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais).

NOKES, C.; TAYLOR, M. Towards public health risk management plan implementation in New Zealand. In: SCHMOLL, O.; CHORUS, I. **Water Safety Conference Abstracts**. Berlim, p.119 – 124, 2003.

OGATA, I. S. **Avaliação de risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)**. Campina Grande, 2011. 68p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

OGATA, I. S.; OLIVEIRA, R.; MEIRA, C. M. B. S.; NASCIMENTO, R. S.; HENRIQUE, J. A. Avaliação de risco à saúde associada à qualidade da água para

consumo humano em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.40, p.1-15, 2016.

OLIVEIRA, J. S. C.; MEDEIROS, A. M.; CASTOR, L. G.; CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D. Soluções individuais de abastecimento de água para consumo humano: questões para a vigilância em saúde ambiental. **Cadernos saúde coletiva**, v.25, n.2, p.217-224, 2017.

PEREIRA, T. A. **Análise da qualidade da água do sistema público de abastecimento e das fontes alternativas da cidade de Cabaceiras-PB**. Campina Grande, UFCG, 2015. 88p, Dissertação (Mestrado em recursos hídricos e saneamento).

PEREIRA, S. S.; CURI, R.C. Condições climáticas e recursos hídricos: análise da atual situação hídrica do estado da Paraíba. In: **I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro – PB**, Campina Grande, 2017.5p.

PINHO, L.A.; SAMPAIO, M. S.; GUIMARÃES, I. P.; GOMES, S. M. S.; AZEVEDO, T. C.; PINHO, W. A. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): Uma ferramenta para promoção da qualidade no setor fiscal das empresas de serviços contábeis. In: **V SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT)**, 2008, Resende. Anais eletrônicos... Resende, 2008.

QUEIROZ, A. C. L.; CARDOSO, L. S. M.; SILVA, S. C. F.; HELLER, L.; CAIRNCROSS, S. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. **Saúde e Sociedade**, v.21, n.2, p. 465-478, 2012.

RAZZOLINI, M. T. P.; NARDOCCI, A.C. Avaliação de Risco Microbiológico: Etapas e sua aplicação na análise da qualidade da água. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.1, n.2, 2006.

REGO, F. M. **Qualidade higiênico-sanitária das águas utilizadas em unidades de alimentação e nutrição hospitalares da rede pública do Distrito Federal.** Brasília, 2006. 75p. Dissertação (Pós Graduação em Nutrição Humana).

RIBEIRO, M. C. M. O. Nova portaria de potabilidade de água: Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil. **Revista DAE**, nº 189, p. 8 – 14, 2012.

RICHTER, CARLOS A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento.** 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 352p.

RODRIGUEZ, S. A.; LOZADA, P. T.; VELEZ, C. C.; CADAVID, D. L.; RIVERA, J. E. Efecto del punto de precloración sobre la formación de trihalometanos em procesos convencionales de potabilización de agua. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v.11, n.20, p.57, 2012.

RODRIGUES, A. B. **Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento de um hospital público regional de urgência e emergência.** Campina Grande, 2014. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento).

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 583p.

SANTOS, B. B. M. Segurança hídrica da região metropolitana do rio de janeiro: contribuições para o debate. **Ambiente & Sociedade**, v.XIX, n.1, p.103-120, 2016.

SILVA, P. G. C. **Análise do potencial de aproveitamento de águas pluviais nos setores de aula do campus central da UFRN.** Natal, 2016. 71p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Engenharia Civil).

SOARES, A. C. C. **Abastecimento e consumo de água por soluções individuais em Viçosa-MG: identificação de perigos e percepção da população Consumidora.** Viçosa, 2011. 150p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária).

TAVARES, A. C.; SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, L. A.; SOUTO, R. Q.; NÓBREGA, R. L. B.; CEBALLOS, B. S. O. Captação e manejo de água de chuva em cisternas: uma forma de mitigar os efeitos das secas prolongadas no nordeste semi-árido – Estudo de caso: Assentamento Paus Brancos, Paraíba. In: **6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, Belo Horizonte, 2007. 8p.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA: Análise do tipo e efeito de falha**. 2006. 12p. Disponível em: < <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>> Acesso em: Março de 2018.

TUNDISI, J. G. Governança da Água. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 222 – 235, 2013.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk**. Paris, 2012. 68p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Pesticides: health and safety. Evaluating pesticides for carcinogenic potential**. 2007.

UN WATER. Coordinating the UN'S work on water on water and sanitation. UN-Water Annual Report 2013. Disponível: <http://www.unwater.org/publications/un-water-annual-report-2013/>. Acesso: Janeiro de 2018

VERÇOSA, L. F. M. **Avaliação de risco de reservatórios de distribuição de água de sistema de abastecimento de médio porte**. Campina Grande, 2017. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

VIANNA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão**. Belo Horizonte, 2015. 118p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes).

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Universidade do Minho, Portugal, 2005. 178p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 210**. Geneva, 1999. 210p.

_____. **IPCS risk assessment terminology. Harmonization Project Document n.1**. Geneva, 2004. 122p.

_____. **Guidelines for drinking-water quality**. 4th Ed. Geneva, 2011. 564p.

_____. **Guidelines for drinking-water quality**. 4th edition incorporating the first addendum. Geneva, 2017. 631p.

APÊNDICE A – Exemplo do formulário de coleta

LOCAL: Sítio Marinho -		Cisterna Individual (José Farias Gomes)		Nº da Amostra: 01	
COLETA	Data:	Hora:	Responsável:		
TIPO DO SISTEMA: () Cisterna Individual () Cisterna Coletiva () Carro Pipa () Outro					
TURBIDEZ: 1-		2-	3-	CLORO ATIVO: 1-	
				2-	
				3-	
CONDUTIVIDADE:			CLORO COMBINADO: 1-		
			2-		
			3-		
pH:			COR:		
OBSERVAÇÕES:					

LOCAL: Sítio Marinho -		Cisterna Individual (Vera Lucia Medeiros)		Nº da Amostra: 02	
COLETA	Data:	Hora:	Responsável:		
TIPO DO SISTEMA: () Cisterna Individual () Cisterna Coletiva () Carro Pipa () Outro					
TURBIDEZ: 1-		2-	3-	CLORO ATIVO: 1-	
				2-	
				3-	
CONDUTIVIDADE:			CLORO COMBINADO: 1-		
			2-		
			3-		
pH:			COR:		
OBSERVAÇÕES:					

LOCAL: Sítio Marinho -		Cisterna Coletiva (E.M.E.F Manuel Sabino Farias)		Nº da Amostra: 03	
COLETA	Data:	Hora:	Responsável:		
TIPO DO SISTEMA: () Cisterna Individual () Cisterna Coletiva () Carro Pipa () Outro					
TURBIDEZ: 1-		2-	3-	CLORO ATIVO: 1-	
				2-	
				3-	
CONDUTIVIDADE:			CLORO COMBINADO: 1-		
			2-		
			3-		
pH:			COR:		
OBSERVAÇÕES:					

APÊNDICE B – Protocolo utilizado para a coleta de amostras em reservatório e veículos transportadores

- **Em reservatório com bomba de manual**

1. Utilizar jaleco e luvas de proteção nas coletas;
2. Desinfetar a torneira com o auxílio de algodão e utilizando álcool a 70%;
3. Extrair toda a água acumulada na tubulação, bombeado manualmente;
4. Realizar a coleta manual utilizando garrafa revestida de camada isolante de luz solar para as amostras físico-químicas;
5. Tampar as amostras rapidamente e realizar prontamente as análises de campo;
6. Coletar as amostras destinadas às análises microbiológicas em frascos Scott autoclavados com volume de 100 ml, retirando o papel de alumínio rapidamente e colocando a amostra.
7. Acondicionar essas amostras, em uma caixa isolante refrigerada com o auxílio placas de gel térmico mantendo a temperatura em aproximadamente 4°C, até a chegada ao laboratório de análises na Universidade Federal de Campina Grande.

- **Em reservatório sem bomba de manual ou veículo transportador**

1. Utilizar jaleco e luvas de proteção nas coletas;
2. Subir com cuidado no veículo transportador, e em seguida abra a escotilha;
3. Realize a coleta da amostra em 15 à 30cm de profundidade da superfície do reservatório, tanto as físico-químicas quanto as microbiológicas;
4. Tampar as amostras rapidamente, e fechar a escotilha do veículo transportador;
5. Realizar prontamente as análises de campo;
6. Acondicionar essas amostras, em uma caixa isolante refrigerada com o auxílio placas de gel térmico mantendo a temperatura em aproximadamente 4°C, até a chegada ao laboratório de análises na Universidade Federal de Campina Grande.

APÊNDICE C – Diário de coleta

Data: _____

Horário de saída e chegada: _____

Responsável: _____

Chuva em Campina Grande - PB: _____

Se sim, quantos mm: _____

Chuva no Açude Abastecedor: _____

Se sim, quantos mm: _____

Aparência da água: _____

Números de pastilhas de cloro colocadas: _____

Distância Percorridos: _____

OBS: _____

Tabela 5 - Resumo da estatística descritiva do parâmetro pH em soluções alternativas de abastecimento.

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10
Média	7,81	7,72	7,64	7,72	8,65	7,51	7,41	7,39	7,39	7,42
Moda	7,80	7,78	7,68	7,66	8,87	7,56	7,65	7,30	7,75	7,26
Desvio padrão	0,51	0,47	0,33	0,30	0,41	0,33	0,22	0,21	0,19	0,26
Máximo	8,34	8,30	8,25	8,44	9,35	8,43	7,80	7,95	7,75	8,15
Mínimo	6,38	6,00	6,71	6,85	7,62	6,95	6,92	6,89	6,97	6,93
N° de dados	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Fora do padrão	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabela 6 - Resumo da estatística descritiva do parâmetro cor aparente em soluções alternativas de abastecimento.

Pontos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10
Média (mgPt-Co/L)	17,40	18,36	18,45	16,99	16,99	76,98	77,03	76,83	77,19	77,45
Moda (mgPt-Co/L)	14,50	15,30	15,70	15,90	27,90	26,40	25,80	27,20	41,80	25,80
Desv. pad (mgPt-Co/L)	5,59	5,71	6,12	5,62	6,71	67,40	66,77	66,85	66,80	66,78
Máximo (mgPt-Co/L)	29,70	32,40	31,90	28,40	29,80	277,00	273,00	272,00	272,00	273,00
Mínimo (mgPt-Co/L)	11,90	13,10	11,40	11,50	10,00	13,40	13,20	13,70	12,90	14,80
N° de dados	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Fora do padrão	20%	27%	23%	10%	93%	97%	97%	97%	97%	97%

Tabela 7 – Resultados das análises de Coliformes totais.

Data	Coliformes totais									
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10
03/04/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
10/04/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
17/04/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
27/04/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
04/05/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
11/05/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
18/05/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
23/05/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
31/05/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
07/06/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
13/06/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente
20/06/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
27/06/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
06/07/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente
13/07/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
18/07/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente
27/07/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
03/08/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
10/08/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
16/08/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
22/08/2017	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Continua

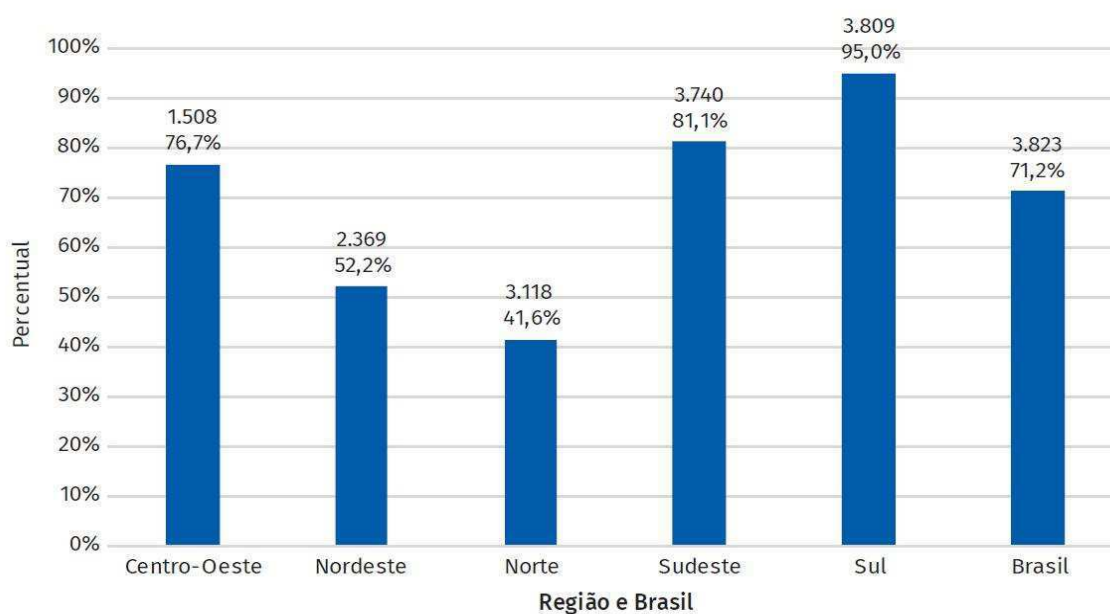
ANEXO A – Tabela de escores

Escore para Severidade		
Severidade do perigo		Classificação
Alta	Substância causa efeitos severos e/ou agudos à saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias causa efeitos leves, moderados e/ou crônicos (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Não causa efeitos negativos a saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
Escore para Ocorrência		
Ocorrência do perigo		Classificação
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
Escore para Detecção		
Detecção do perigo		Classificação
Alta	Para detectar o perigo é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3
Moderada	O perigo é percebido com a utilização de medições simples. (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	O perigo pode ser percebido a olho nu.	1

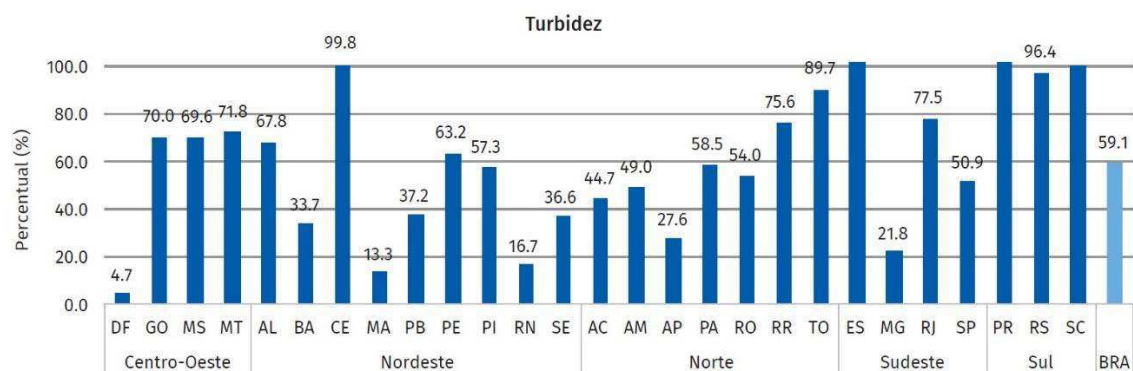
ANEXO B – Dados do SISAGUA para Campina Grande -PB e a Paraíba



Percentual dos municípios com dados de cadastro, controle e vigilância, por região geográfica, ano 2016

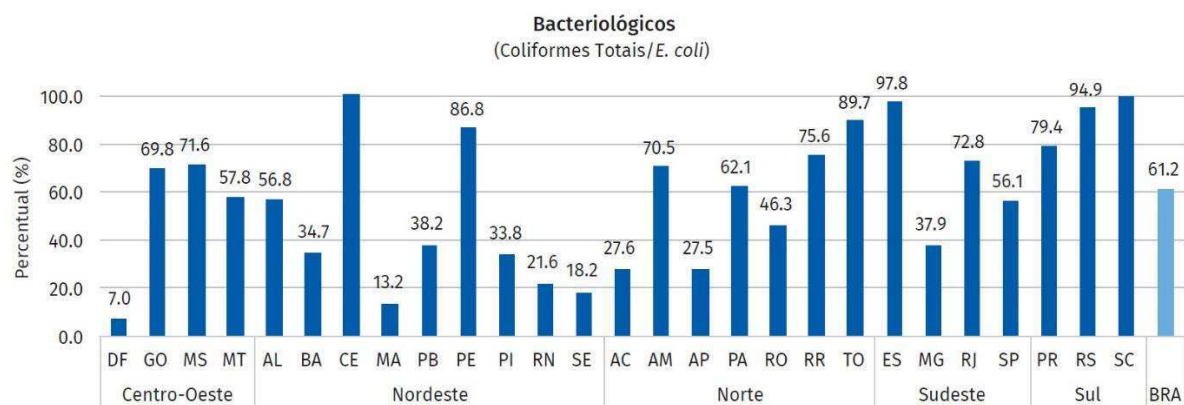


Fonte: Sisagua (maio, 2017).

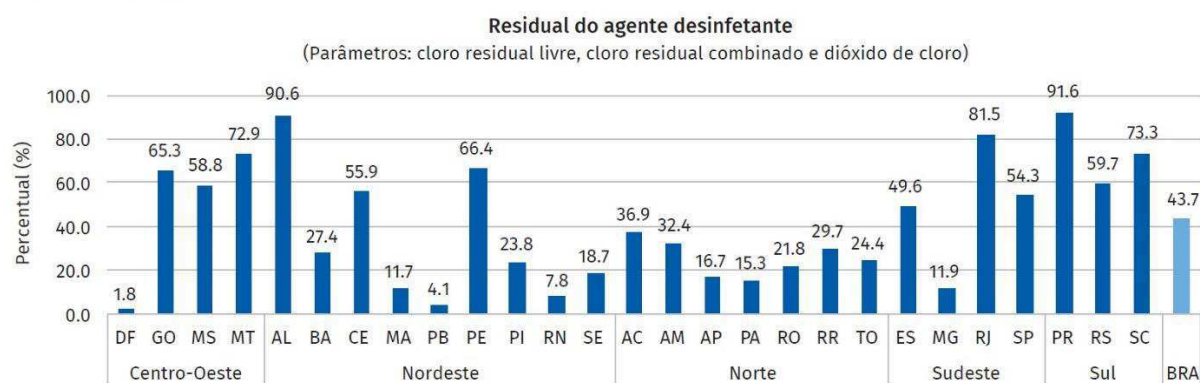


Fonte: Sisagua (maio, 2017).

Fonte: Sisagua (maio, 2017).



Fonte: Sisagua (maio, 2017).



Fonte: Sisagua (maio, 2017).