



PRO - REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA PÚBLICO DE
ABASTECIMENTO E DAS FONTES ALTERNATIVAS DA CIDADE DE
CABACEIRAS-PB

TIAGO ALBUQUERQUE PEREIRA

CAMPINA GRANDE-PB

2015

TIAGO ALBUQUERQUE PEREIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA PÚBLICO DE
ABASTECIMENTO E DAS FONTES ALTERNATIVAS DA CIDADE DE
CABACEIRAS-PB**

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE

2015

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

P436a Pereira, Tiago Albuquerque.
Análise da qualidade da água do sistema público de abastecimento e das fontes alternativas da cidade de Cabaceiras-PB [manuscrito] / Tiago Albuquerque Pereira. - 2015.
88 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.
"Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Qualidade da água. 2. Abastecimento de água. 3. Gestão de recursos hídricos. I. Título.

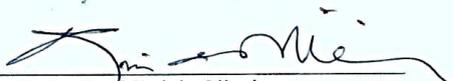
21. ed. CDD 628.1

TIAGO ALBUQUERQUE PEREIRA

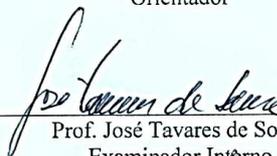
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA PÚBLICO DE
ABASTECIMENTO E DAS FONTES ALTERNATIVAS DA CIDADE DE
CABACEIRAS-PB

Dissertação aprovada em 27 de fevereiro de 2015

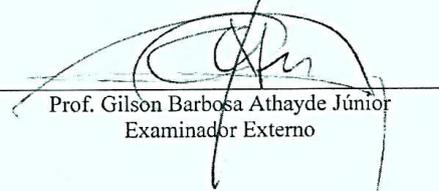
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Rui de Oliveira
Orientador



Prof. José Tavares de Sousa
Examinador Interno



Prof. Gilson Barbosa Athayde Júnior
Examinador Externo

*Aos meus pais, que sempre me
apoiam e me ajudam.*

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal do Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande, na pessoa da Profa. Mônica de Amorim Coura, também a Valmária e Savana que, por boa vontade, me ajudaram bastante na rotina do laboratório.

À minha família, que sempre me apoia e ajuda em tudo que preciso. Em especial à minha mãe, que não mede esforços para me proporcionar condições para que eu alcance meus objetivos e sonhos.

Ao meu primo Messias que ajudou muito durante todo o trabalho.

Ao meu amigo Danilo Lira, por me apoiar e revisar meu trabalho.

À minha namorada Nathália, que me apoia e me ajuda a nunca desistir.

Ao pessoal do Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Estadual da Paraíba, que sempre estenderam a mão quando precisei.

Ao meu orientador Rui de Oliveira, por ter aceitado o desafio de me ajudar a tornar-me um mestre e contribuiu decisivamente para meu crescimento intelectual e pessoal.

Aos meus colegas de curso que me ajudaram durante os dois anos de convívio.

RESUMO/ PALAVRAS CHAVE

A água é um recurso natural indispensável para o desenvolvimento econômico e social, assim, é fundamental conhecer a quantidade disponível e a qualidade em cada região. A cidade de Cabaceiras possui pouco mais de dois mil habitantes, está situada na microrregião do cariri oriental paraibano e a média de chuva no município é uma das mais baixas do país (350 mm/ano). A cidade possui um sistema de abastecimento público de água derivada de manancial superficial (Açude Epitácio Pessoa) e também um sistema de fontes alternativas coletivas abastecidas por poços artesianos. Este estudo caracterizou, através de indicadores físicos, químicos e microbiológicos, a qualidade das águas dessas duas formas de abastecimento, e as relacionou com os riscos associados ao seu consumo. Foram analisados dez pontos distribuídos na cidade, quatro do sistema público de abastecimento e seis do sistema de fontes alternativas. Os indicadores turbidez e cloro residual livre apresentam maior frequência de não conformidade nos pontos do sistema público de abastecimento. As águas derivadas do sistema de fontes alternativas apresentaram elevadas concentrações de nitrato e de bactérias heterotróficas, no entanto, o poço dotado de um sistema dessalinizador apresentou valores reduzidos destes indicadores além da redução da condutividade, indicando boa eficiência de tratamento. Formulários aplicados relataram a intermitência do serviço de abastecimento de água, 82% das residências da cidade são abastecidas apenas três dias na semana. Além da avaliação da qualidade e disponibilidade das águas, também foram gerados mapas com o auxílio de um sistema de informações geográficas, para associar a qualidade das águas com variáveis espaciais. Verificou-se que as águas subterrâneas estão vulneráveis a contaminação derivada de esgotos sanitários.

PALAVRAS CHAVE: Vigilância da qualidade das águas. Formas de abastecimento. Sistema de informações geográficas. Gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT/ KEYWORDS

Water is a natural resource essential for economic and social development, so, it is fundamental to know the available quantity and quality in each region. the Cabaceiras city has just over two thousand inhabitants, is situated in the micro region Paraíba eastern cariri and the average rainfall in the city is one of the lowest in the country (350 mm / year). The city has a public water supply system derived from surface source (Acude Epitácio Pessoa) and also a system of collective alternative sources supplied by artesian wells. This study has characterized, through physical, chemical and microbiological indicators, the water quality of these two forms of supply, and related to the risks associated with its consumption. Ten points distributed in the city were analyzed , four on public supply system and six on alternative sources system. The indicators Turbidity and free chlorine showed higher frequency of non-compliance on points of the public supply system. The waters derived from alternative sources system showed high concentrations of nitrate and heterotrophic bacteria, however, the well with a desalination system showed reduced values of these indicators as well as reducing conductivity, indicating good treatment efficiency. Applied forms reported intermittent water supply service, 82% of the city's residences are supplied only three days a week. In addition to assessing the quality and availability of water, were also generated maps with the aid of a geographic information system, to link water quality with spatial variables. It was found that the groundwater is vulnerable to contamination derived from wastewater.

KEYWORDS: Water quality surveillance. Supply forms. Geographical information system. Water resources management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Atuação da vigilância da água.....	25
Figura 2	Objetivos do PSA.....	37
Figura 3	Vias de acesso à Cabaceiras.....	40
Figura 4	Curvas de nível da cidade de Cabaceiras.....	41
Figura 5	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P1).....	42
Figura 6	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P3).....	43
Figura 7	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P4).....	43
Figura 8	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P6).....	44
Figura 9	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P7).....	44
Figura 10	Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P8).....	45
Figura 11	Cópia digitalizada da planta do sistema público de abastecimento.....	46
Figura 12	Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P2).....	47
Figura 13	Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P5).....	47
Figura 14	Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P9).....	47
Figura 15	Reservatório de rede (P10).....	48
Figura 16	Operação de desinfecção com cloro gasoso.....	48
Figura 17	Representação dos pontos de coleta.....	50
Figura 18	Equipamento utilizado no método de filtração em membranas.....	55
Figura 19	Dispersão dos valores de CRL nos pontos de monitoração do sistema público de abastecimento.....	57
Figura 20	Resultados do teste GT-2 para o indicador CRL.....	58
Figura 21	Dispersão dos valores de turbidez medidos na rede geral de distribuição.....	60
Figura 22	Resultados do teste GT-2 para turbidez.....	61
Figura 23	Resultados do teste GT-2 para nitrato.....	64
Figura 24	Ilustrações sobre o estado de conservação dos chafarizes.....	67
Figura 25	Frequência do serviço de abastecimento.....	69
Figura 26	Utilização do sistema de fontes alternativas.....	69
Figura 27	Formas de tratamento domiciliar das águas de beber coletadas no chafariz do dessalinizador.....	70
Figura 28	Localização dos pontos de despejos de esgotos sanitários.....	71
Figura 29	Mapa de densidade kernel dos pontos de contaminação.....	71
Figura 30	Distâncias entre os pontos de contaminação e os poços.....	72
Figura 31	Cotas dos pontos de coleta no sistema de fontes alternativas.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparativo entre parâmetros das Portarias 56/77 e 36/90.....	20
Tabela 2	Evolução do número de indicadores adotados no Padrão de potabilidade	22
Tabela 3	Padrão de turbidez pós- filtração.....	30
Tabela 4	Elementos descritivos do sistema de fontes alternativas.....	42
Tabela 5	Resumo estatístico para o indicador CRL.....	58
Tabela 6	Resumo estatístico dos valores de pH.....	59
Tabela 7	Resumo estatístico dos valores de turbidez.....	60
Tabela 8	Resumo estatístico dos valores de temperatura.....	62
Tabela 9	Resumo estatístico dos valores de condutividade (25°C).....	63
Tabela 10	Resumo estatístico dos valores de nitrato nos poços.....	63
Tabela 11	Resumo estatístico dos valores de nitrito nos poços.....	65
Tabela 12	Resumo estatístico dos valores de bactérias heterotróficas.....	66
Tabela 13	Frequências de ausências de coliformes termotolerantes.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA - Agência Nacional de Águas
APHA - American Public Health Association
AWWA - American Water Works Association
CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CENEPI - Centro Nacional de Epidemiologia
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
CRC - Cloro Residual Combinado
CRL - Cloro Residual Livre
DNSP - Departamento Nacional de Saúde Pública
ETA - Estação de Tratamento de Água
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET - Índice de Estado Trófico
IQA - Índice de Qualidade das Águas
MS - Ministério da Saúde
NBR - Norma Brasileira
OMS - Organização Mundial de Saúde
OPAS - Organização Pan-Americana de Saúde
PNRH - Política Nacional dos Recursos Hídricos
PSA - Plano de Segurança da Água
RPE - Reserva Potencial Explorável
SES - Secretaria Estadual de Saúde
SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SISAGUA - Sistema Nacional de Informação Sobre Qualidade de Água
SNVS - Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária
SUS - Sistema Único de Saúde
SVS - Secretaria de Vigilância em Saúde
USEPA - United States Environmental Protection Agency
VMP - Valor Máximo Permitido
WEF - Water Environment Federation
WHO - World Health Organization

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	12
2.0	OBJETIVOS	14
	2.1 Geral	14
	2.2 Específicos	14
3.0	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
	3.1 Panorama dos recursos hídricos no Brasil	15
	3.1.1 Disponibilidade hídrica superficial	15
	3.1.2 Disponibilidade hídrica subterrânea	16
	3.1.3 Qualidade das águas brasileiras	17
	3.2 Sistema de abastecimento de águas	17
	3.3 Marco regulatório do padrão de potabilidade das águas destinadas ao abastecimento público	19
	3.5 Vigilância da qualidade da água	22
	3.5.1 Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano	22
	3.5.2 Plano de segurança da água	25
	3.5.2.1 <i>Etapas preliminares</i>	26
	3.5.2.2 <i>Avaliação do sistema</i>	27
	3.5.2.3 <i>Monitoramento operacional</i>	27
	3.5.2.4 <i>Planos de gestão</i>	28
	3.5.2.5 <i>Revisão dos Planos</i>	28
	3.5.2.6 <i>Verificação dos Planos</i>	28
	3.6 Indicadores de qualidade da água	29
	3.6.1 Turbidez	29
	3.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	30
	3.6.3 Cloro residual	31
	3.6.4 Temperatura	32
	3.6.5 Condutividade	32
	3.6.6 Nitrato	32
	3.6.7 Bactérias heterotróficas	33
	3.7 Geoprocessamento aplicado aos sistemas ambientais	34
	3.7.1 Mapeamento temático	35
	3.7.2 Diagnóstico ambiental	35
	3.7.3 Avaliação de impacto ambiental	35
	3.7.4 Ordenamento territorial	35
	3.7.5 Geoprocessamento aplicado à vigilância da qualidade da água	36
	3.8 Análise de risco aplicada à qualidade da água	36
	3.9 Estimativa de densidade Kernel	38
4.0	MATERIAL E MÉTODOS	40
	4.1 Descrição da área de estudo	40
	4.2 Caracterização do sistema de fontes alternativas de abastecimento	41
	4.3 Caracterização do sistema público de abastecimento	45
	4.4 Definição dos pontos de amostragem	49
	4.5 Procedimentos da coleta	50
	4.6 Métodos analíticos	51
	4.6.1 Cloro residual	51
	4.6.2 Turbidez	52
	4.6.3 pH	52

4.6.4	Condutividade	52
4.6.6	Nitrito	52
4.6.7	Nitrato	53
4.6.8	Bactérias heterotróficas	53
4.6.9	Coliformes termotolerantes	54
4.7	Georreferenciamento	55
4.7.1	Montagem do banco de dados	55
4.7.2	Escolha do software	55
4.7.3	Análises com o SIG	56
4.8	Tratamento estatístico dos dados	56
5.0	RESULTADOS	57
5.1	Indicadores de qualidade das águas	57
5.1.1	Cloro residual livre	57
5.1.2	Potencial hidrogeniônico (pH)	59
5.1.3	Turbidez	59
5.1.4	Temperatura	61
5.1.5	Condutividade	63
5.1.6	Nitrato (NO ₃ ⁻)	65
5.1.7	Nitrito (NO ₂ ⁻)	66
5.1.8	Bactérias heterotróficas	67
5.1.9	Coliformes termotolerantes	67
5.2	Resultados dos formulários aplicados	68
5.3	Georreferenciamento	70
6.0	DISCUSSÃO	74
6.1	Viabilidade do uso de águas subterrâneas em Cabaceiras	74
6.2	Manutenção e proteção dos chafarizes	75
6.3	Utilização do SIG como ferramenta do estudo da relação entre as variáveis espaciais e os indicadores de qualidade das águas	76
6.4	Contribuição do trabalho para a elaboração de um Plano de Segurança da Água e do PMSB	76
7.0	CONCLUSÕES	77
8.0	SUGESTÕES	78
9.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	Apêndice 1	84
	Apêndice 2	85
	Apêndice 3	86
	Apêndice 4	87
	Apêndice 5	88

1.0 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a manutenção e qualidade da vida na Terra. Muitos países como a Kuwait, Namíbia e Arábia Saudita sofrem, assim como a região Nordeste do Brasil, com problemas relacionados à falta deste recurso, como longas distâncias percorridas até a fonte mais próxima, ausência de fontes de água potável, ou a falta de estruturas de captação, tratamento e distribuição. Tais problemas geram reflexos sociais e econômicos (UNESCO, 2006).

O semiárido nordestino tem baixos índices pluviométricos, geralmente abaixo de 400 mm anuais, também possui limitações relacionadas à gestão dos recursos hídricos, a exemplo da falta de estruturas de drenagem urbana e ausência de tratamento das águas residuárias na maior parcela dos municípios. Este cenário caracteriza a vulnerabilidade dos recursos hídricos regionais à escassez e contaminação (ANA, 2013).

Tomando por base o cenário atual dos recursos hídricos na região do semiárido, torna-se evidente a necessidade do monitoramento da qualidade das águas oferecidas à população pelas formas de abastecimento derivadas de fontes superficiais e subterrâneas.

O monitoramento da qualidade da água de abastecimento para consumo humano é um instrumento de identificação de falhas no sistema de abastecimento e fontes alternativas, que se reflete diretamente no grau de risco a que está exposta a população abastecida. O princípio de múltiplas barreiras, que constitui-se de etapas adotadas na coleta, tratamento e distribuição de águas, é adotado no controle de qualidade da água com o intuito de reduzir os riscos potenciais existentes para a população atendida pelos sistemas de distribuição e formas alternativas de abastecimento (BRASIL, 2012).

Para a execução do monitoramento são utilizados indicadores de qualidade da água, que, de forma conjunta, propiciam uma análise de conformidade destas águas com o Padrão de Potabilidade, atualmente estabelecido pela Portaria nº2.914/2011 do Ministério da Saúde. A partir desta análise é possível estabelecer medidas de controle para as ações de gestão de recursos hídricos, direcionadas à proteção da saúde da população e preservação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Varma e Michael (2012) citam que as águas subterrâneas são utilizadas como fonte alternativa de abastecimento em todo o mundo. No entanto, o uso dessas águas sem controle quali-quantitativo pode gerar efeitos adversos à população, já que os aquíferos estão sujeitos à contaminação por atividades antrópicas como agricultura (RUY e REIS, 2012) ou descarga de águas residuárias (LOPES *et al.*, 2010). Há também o risco da

redução nos níveis dos aquíferos, nos casos em que a vazão retirada é superior à capacidade de recarga (EISSA *et al.*, 2013).

As cidades situadas no Cariri Oriental paraibano sofrem com intermitência frequente do abastecimento público de água. Por este motivo, as prefeituras oferecem um serviço suplementar de abastecimento, que são os chafarizes públicos que, maioria das vezes, são abastecidos por poços tubulares. Tipicamente, essas cidades não possuem sistemas de coleta e tratamento de águas residuárias, o que indica a possibilidade de poluição nos aquíferos subterrâneos situados nas proximidades dos pontos de descarga de esgotos (AESAs, 2011).

Este trabalho é um estudo pioneiro sobre a conformidade da água do sistema público de abastecimento e das fontes alternativas coletivas da cidade de Cabaceiras com o padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 2.914/2011 e relaciona, a partir desta análise de conformidade, a qualidade das águas com o grau de risco associado ao seu consumo. Também verifica e georreferencia as possíveis fontes de contaminação por águas residuárias a que estão sujeitas as águas subterrâneas locais.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a qualidade da água do sistema público de abastecimento e das fontes alternativas da cidade de Cabaceiras-PB, enfatizando os riscos associados aos usos dessas águas.

2.2 Específicos

- Analisar a qualidade da água do sistema público de abastecimento;
- Analisar a qualidade da água do sistema de fontes alternativas coletivas;
- Verificar para quais usos se destinam as águas fornecidas à população nos poços públicos, e quais as formas domésticas de tratamento adotadas;
- Integrar os resultados obtidos nas análises dos indicadores de qualidade das águas com variáveis espaciais por meio de um Sistema de Informações Geográficas.

3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Panorama dos recursos hídricos no Brasil

3.1.1 Disponibilidade hídrica superficial

O Brasil possui, em termos globais, uma quantidade significativa de águas doces disponíveis para consumo humano. No entanto, a distribuição deste recurso no território nacional é heterogênea. Aproximadamente 80% das águas disponíveis para consumo estão localizadas na Região Hidrográfica Amazônica, o restante se distribui nas demais regiões, sendo observado que a Região Nordeste possui menos de 3% do total (ANA, 2013).

O comportamento das vazões escoadas nas bacias hidrográficas varia sazonalmente, de forma que se pode comparar dados recentes com as médias dessas vazões. Entre 2010 e 2012, a vazão do rio São Francisco apresentou valores inferiores às médias durante todo o ano. Já as vazões registradas no rio Parnaíba em 2009 ultrapassaram as médias, sendo que, nos anos seguintes, as secas que assolaram a região reduziram significativamente as vazões. As demais bacias hidrográficas no Nordeste apresentaram dados semelhantes entre o período de 2009 e 2012 (ANA, 2013).

A disponibilidade superficial compreende também as águas represadas ou estocadas, como açudes e barragens. Através da divisão entre volume de água armazenado e o número total de habitantes da região obtém-se o volume armazenado *per capita*, que é um indicador de vulnerabilidade hídrica (relação entre quantidade de água disponível e demandada). O Brasil possui 3.607 m³ de volume máximo armazenado em reservatórios artificiais por habitante (ANA, 2013).

A região hidrográfica com maior volume armazenado *per capita* é a do Tocantins-Araguaia, com 13.508,00 m³/hab., este fato decorre da presença de reservatórios de grande volume, utilizados na geração de energia elétrica. A região com menor capacidade de armazenamento é a do Atlântico Sudeste, com 372,00 m³/hab (ANA, 2013).

A região Nordeste, que tem uma disponibilidade hídrica superficial reduzida devido aos baixos níveis de precipitação e intermitências dos cursos de água, apresenta também valores de evapotranspiração potencial superiores à precipitação. Neste contexto, a construção de açudes é uma das soluções propostas para o equilíbrio entre oferta e demanda de recursos hídricos. O monitoramento desses açudes é feito mensalmente pela

Agência Nacional de Águas (ANA), em articulação com os órgãos estaduais responsáveis, nos reservatórios com capacidade mínima de 10 hm³. No ano de 2012 foi registrado um volume armazenado total na Região Nordeste de 22.881,72 hm³ em janeiro e 16.271,94 hm³ em dezembro, de uma capacidade total de 34.895,67 hm³, ou seja, houve um decréscimo superior a 20% no volume armazenado (ANA, 2013).

3.1.2 Disponibilidade hídrica subterrânea

No relatório ‘Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil’ de 2013, a ANA, classificou os sistemas de aquíferos em três domínios:

- Fraturado: a água é armazenada em fendas nas rochas, denominada porosidade secundária;
- Poroso: a água é armazenada e circula através de poros das rochas, denominada porosidade primária;
- Cárstico: a água é armazenada em rupturas de rochas carbonáceas, condicionadas por dissolução.

As diferentes características hidrogeológicas das regiões do Brasil geram uma quantidade de 181 aquíferos e sistemas de aquíferos aflorantes, dentre os quais está o Sistema Fraturado do Semiárido, que ocorre em regiões de rochas cristalinas delimitada pela região do semiárido nordestino, onde a precipitação anual média é inferior a 800 mm, o índice de aridez é de 0,5 (precipitação dividida pela evapotranspiração potencial) e o risco de seca superior a 60% (no período de 1970 a 1990). A maior parte da área do estado da Paraíba está inserida nesse sistema.

Considerando os dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) dos últimos cinco anos, calculados por uma estimativa da quantidade de poços tubulares, tendo com base o número de 10.800 poços em 2008 e crescimento linear (adotado pela ANA, 2013), o Brasil possui 225.868 poços tubulares perfurados, dos quais 15.994 estão situados na Paraíba.

Com relação às reservas de água subterrânea, a região hidrográfica Amazônica possui a maior Reserva Potencial Explorável (RPE), com um valor de 7.078 m³/s, sendo o maior aquífero o Içá, que possui uma RPE de 1.772,00 m³/s. A região hidrográfica do Parnaíba possui uma RPE de 227 m³/s, e o sistema Fraturado Semiárido apenas 5 m³/s. A região com menor RPE é a do Atlântico Leste (85 m³/s).

3.1.3 Qualidade das águas brasileiras

Com relação à qualidade das águas brutas, um dos parâmetros utilizados para caracterização é o Índice de Estado Trófico (IET), que exprime a disponibilidade de nutrientes em um corpo aquático. Nas análises feitas pela ANA em 2011, foram considerados 2019 pontos de coleta em ambientes lóticos e 295 em lênticos. Dentre os ambientes lóticos, 72% encontravam-se em condições de ultraoligotróficas a mesotróficas, na parcela complementar, as condições eram desde eutróficas até hipereutróficas. Nos ambientes lênticos, apenas 42% não estavam eutróficos, enquanto 23% estavam hipereutróficos (ANA, 2013).

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, 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.

Para avaliar a qualidade das águas de abastecimento pós-tratamento utiliza-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, que foi adaptado pela CETESB para utilização no Brasil. A ANA (2013) utilizou um IQA único para todos os estados brasileiros, com o intuito de permitir a comparação entre os valores obtidos no ano de 2011.

Os resultados das avaliações feitas em 2013 evidenciaram que no Brasil 93% das águas apresentaram condições satisfatórias para consumo humano, dentre as quais, 6% estão classificadas como ótimas e 76% como boas, enquanto 11% estavam em condição regular, 6% ruins e 1% péssimas (ANA, 2013).

As áreas urbanas apresentam um quadro diferente com relação à qualidade das águas para consumo humano. Os dados apontaram que apenas 56% estão em condições satisfatórias para o consumo, sendo que 32% encontram-se em condições ruins e 12% em péssimas (ANA 2013).

3.2 Sistema de abastecimento de águas

O sistema de abastecimento de água para consumo humano é definido como: “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” (BRASIL, 2011). Esse sistema é constituído do manancial, captação, adutoras, estações elevatórias, estação de tratamento, sistema de distribuição e reservatórios de rede.

A concepção desse sistema é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira (NBR) nº 12.211/1992 ‘Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água’ que está integrada com a NBR nº 12.116/1992 ‘Projeto de sistema de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento’ e a NBR nº 12.212/2006 ‘Poço Tubular – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea’. Segundo essas normas, o sistema deve ser projetado ponderando a topografia, o tipo de manancial a ser utilizado para captação, o crescimento populacional da região e possibilitar expansão das tubulações quando necessário para abranger a totalidade da demanda de água, assim como atender às variações diárias no consumo.

Segundo Baggio (1998), a qualidade da água que chega à população, bem como as perdas no sistema que, na Paraíba, chegam, a 37% do total da água tratada, estão diretamente ligadas às atividades de manutenção do sistema. Carrijo (2004) afirma que, além da garantia de melhor qualidade da água de abastecimento e da redução das perdas, as práticas de manutenção da rede prolongam a vida útil dos projetos e evitam prejuízos econômicos.

Tomando por base a quantidade de cloro residual livre na rede de abastecimento, Bastos *et al.* (2008), mostram, através de uma metodologia de análise de risco que, pelo fato da concentração dos agentes desinfetantes decair ao longo do sistema de distribuição de água devido à reação com substâncias orgânicas e inorgânicas, ou interação com os agentes físicos, o risco potencial associado ao consumo da água nos trechos mais longos da rede aumenta. Assim, uma análise de qualidade de águas deve se basear, dentre outros fatores, na estrutura física dos sistemas de distribuição.

A redução dos riscos associados ao consumo da água é objetivo das boas práticas no abastecimento de água (BRASIL, 2006). Essa relação entre o consumo da água e sua necessária qualidade é expressa por meio dos padrões de potabilidade, que estabelecem valores mínimos e máximos permitidos e recomendados.

3.3 Marco regulatório do padrão de potabilidade das águas destinadas ao abastecimento público

O Decreto Federal nº 79.367 de 1977 atribuiu ao Ministério da Saúde (MS) a responsabilidade de elaboração do padrão de potabilidade brasileiro. Este padrão deveria ser estabelecido por uma Portaria e conter definições, características da água potável, método de amostragem e método de análise da água. Assim, no mesmo ano foi divulgada a primeira portaria brasileira de qualidade das águas para consumo humano (Portaria Bsb nº 56), que continha 36 indicadores de qualidade.

Dentre as definições trazidas estava a de água potável: “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde” (BRASIL, 1977).

Nessa Portaria as informações a respeito da qualidade da água não eram disponibilizadas obrigatoriamente ao público, estavam restritas ao Ministério da Saúde e Secretarias Estaduais de Saúde (SES). Os registros eram mantidos pelas SES que acionavam o MS através de notificações sobre os fatos epidemiológicos ou eventos de contaminação quando surgissem.

O modelo de amostragem era baseado no indicador analisado, no tipo de manancial utilizado para o abastecimento e na quantidade de habitantes atendida pelo sistema. Assim era quantificado o número mínimo de amostras e as frequências necessárias. Este modelo de amostragem e frequência não sofreu grandes alterações ao longo da evolução das Portarias de padrão de qualidade de águas.

Os métodos de coleta e análise sugerido eram os descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water", última edição, da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF); ou outras metodologias propostas pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e pela Organização Mundial de Saúde.

Em 1990 a Portaria Bsb nº 56 foi revogada e entrou em vigor a Portaria MS nº 36. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre alguns indicadores de qualidade da água previstos nas Portarias Bsb nº 56/77 e MS nº 36/90.

A Portaria MS nº 36/90 introduziu também a contagem de bactérias heterotróficas como indicador de integridade do sistema, ou seja, as contagens desses organismos deveriam ser feitas nos reservatórios e na rede de abastecimento, com Valor Máximo Permitido (VMP) de 500 células/ml.

Tabela 1 – Comparativo entre parâmetros das Portarias 56/77 e 36/90

Parâmetro	Portaria 56/77	Portaria 36/90
Turbidez (uT)	5	1
Cor aparente (uH)	20	15
Cloreto (mg/L)	250	250
Ferro total (mg/L)	1	0,3
Manganês (mg/L)	0,5	0,1
Arsênio (mg/L)	0,1	0,05
Alumínio (mg/L)	0,1	0,2
pH	-	6,0 - 8,5
Dureza total (mg/L)	-	500
Microbiológico (coliformes termotolerantes)	-	Ausência em 100 ml

Fonte: Portarias Bsb n° 56/77 e MS n° 36/90

As informações sobre a qualidade das águas ainda estavam limitadas às SES e ao MS, assim como as ações de vigilância e controle, que foram definidas nessa Portaria.

Vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a esta Portaria, considerados os aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana;

Controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição (BRASIL, 1990).

No ano 2000 foi publicada a Portaria MS n° 1.469, que substituiu a Portaria MS n° 36/90. Uma das inovações foi a inserção do controle e vigilância da qualidade da água para sistemas de abastecimento alternativos, as competências e responsabilidade de controle, e o método de definição de amostragem e frequência para esses sistemas. A definição de frequência e amostragem também se baseia no indicador, tipo de manancial e população abastecida pelo sistema.

No Capítulo III, Seção III, essa portaria transferiu responsabilidades aos municípios referentes ao padrão de qualidade de águas, dentre as quais estão: promover a vigilância da qualidade da água em articulação com os órgãos estaduais e federais, definir diretrizes para o estabelecimento dos planos de amostragens e estabelecer referências laboratoriais para suporte às ações de vigilância da qualidade da água.

As informações acerca da qualidade da água deveriam, segundo a Portaria 1.469/2000, ser repassadas ao Conselho de Defesa do Consumidor anualmente e às autoridades de saúde pública mensalmente.

Determinou, através do Capítulo III, Seção III, Parágrafo IV, que a avaliação de risco à saúde humana, dos sistemas de solução alternativa deve ser feita com base, entre outros aspectos, na ocupação da bacia hidrográfica e seu histórico de característica das águas.

Fez a primeira abordagem referente à necessidade de controle de novos constituintes como as cianotoxinas e protozoários (cistos de giárdia e oocistos de cryptosporidium), e estabelece um VMP para microcistinas.

No capítulo IV, Artigo 12, fez associação da qualidade microbiológica da água com a turbidez, estabelecendo como valor ideal 0,5 UT em unidades de filtração rápida para assegurar a remoção de enterovírus, cistos de giárdia e oocistos de cryptosporidium.

Em junho de 2001 foi instituída a Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), que recebeu as atribuições do Centro Nacional de Epidemiologia da (CENEPI), que fazia parte da estrutura da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Devido a essa alteração na estrutura do MS, a Portaria 1.469/2000 foi revogada pela Portaria 518/2004, que transferiu as competências da FUNASA para a SVS. Houve prorrogação dos prazos de adequação ao padrão, porém, os parâmetros de qualidade da água não foram alterados (SOUZA, 2010).

O atual Padrão de Potabilidade da água para consumo humano está normatizado pela Portaria MS nº 2.924/2011, que adicionou uma série de mudanças ao antigo padrão da Portaria 518:

- A análise de bactérias heterotróficas passou a ser obrigatória em 20% das amostras coletadas, com VMP de 500 cel/ml;
- Foi estabelecido um VMP (3 µg/L) para Saxitoxina;
- Redução do VMP para turbidez pós-filtração rápida para 0,5 UT;

- Mudanças no número de indicadores de agrotóxicos, substâncias orgânicas e inorgânicas e subprodutos da desinfecção.
- Alteração do VMP para algumas substâncias como tetracloreto de carbono e tricloroetano;
- Substituição dos indicadores de radiações alfa e beta totais para radiação pelo indicador Radio 226 e Radio 228;

A Tabela 2 discrimina, por número de indicadores adotados, a evolução do padrão de potabilidade brasileiro.

Tabela 2 – 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
Inorgânicos	10	11	13	15
Orgânicos	0	7	13	15
Agrotóxicos	12	13	22	27
Subprodutos	0	2	6	7
Organolépticos	14	17	18	21

Fonte: adaptado de Souza (2010).

3.5 Vigilância da qualidade da água

3.5.1 Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano

Este programa foi implementado em 2005 para atender à necessidade do setor de vigilância em saúde de exercer suas atribuições previstas na legislação no âmbito da vigilância da qualidade da água para consumo humano. Seus objetivos são reduzir a morbimortalidade por doenças e agravos de transmissão hídrica, melhorar as condições sanitárias para o abastecimento humano, avaliar e gerenciar os riscos associados às formas de abastecimento de água, monitorar a qualidade da água fornecida à população, promover o acesso as informações referentes à qualidade das águas, apoiar ações de

educação em saúde e coordenar o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA).

O modelo de vigilância da qualidade da água é fundamentado nos princípios do Sistema Único de Saúde (SUS), estabelecidos na Constituição de 1988, entre os quais se destacam:

- Respeito à descentralização político-administrativa, para que sejam ponderadas as individualidades locais nas ações dos serviços de saúde, melhorando sua efetividade;
- Integralidade das ações, estendendo-se a qualquer forma de abastecimento de água com foco nas ações preventivas e abrangendo desde o manancial até o ponto de consumo.
- Integração das ações de vigilância de qualidade da água com outros setores, a exemplo do meio ambiente;
- Articulação com as demais esferas do governo para evitar duplicidade nas ações;
- Livre acesso às informações sobre a qualidade da água;
- Participação da comunidade por meio de representação nos fóruns e audiências.

Estende-se, além desses princípios, o da essencialidade, pelo fato do acesso à água, em quantidade suficiente e qualidade adequada, ser fundamental à vida humana.

A atuação da vigilância da qualidade da água se dá, a partir do princípio de integralidade, a todas as formas de abastecimento, sejam elas individuais ou coletivas, incluindo instalações intradomiciliares.

Os tipos de sistemas em que se aplica a vigilância da qualidade de água foram definidos desde a Portaria 1.469/2000:

- Sistema de abastecimento de água para consumo humano: conjunto de instalações, obras e equipamentos destinados à captação, tratamento e distribuição de água;

- Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano: qualquer modalidade de abastecimento diferente do sistema de abastecimento de água.

A forma de atuação da vigilância da qualidade da água baseia-se na análise de risco ambiental e epidemiológico, devendo então ser articulada com a vigilância epidemiológica para somar esforços na minimização das situações de risco.

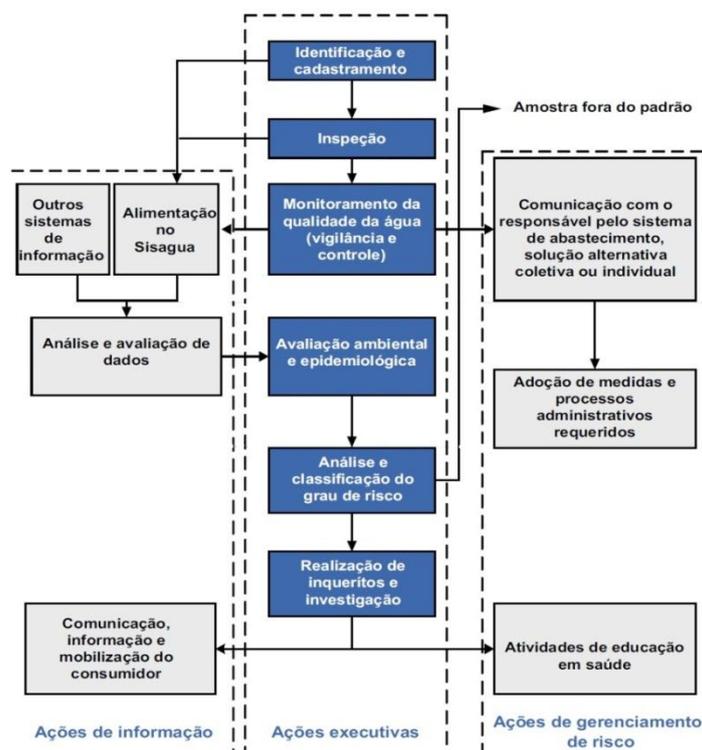
Com base no princípio da descentralização (subsidiariedade), as ações de vigilância serão feitas estrategicamente considerando as particularidades locais. Entre as ações estratégicas estão a coordenação da vigilância da qualidade da água para consumo humano, estruturação da rede laboratorial e desenvolvimento de estudos e pesquisas.

Entre as ações básicas estão: identificação de todas as formas de abastecimento existentes, monitoramento da qualidade da água para consumo humano, análise e classificação de grau de risco à saúde humana das formas de abastecimento e disponibilização de informações.

Na atuação da vigilância da qualidade da água, atuam de forma integrada as ações executivas, comunicativas e gerenciais. Este estudo está inserido as ações executivas de monitoramento, a qual deve ser seguida por uma etapa de comunicação e alimentação dos sistemas de informações. A Figura 1 mostra um organograma das ações básicas de vigilância da qualidade da água.

As análises que apresentem valores fora do padrão, no âmbito da atuação da vigilância da qualidade das águas, devem obrigatoriamente, ser reportadas aos responsáveis pelo sistema de abastecimento, no intuito de promover a elaboração de medidas de controle.

Figura 1 – Atuação da vigilância da água



Fonte: Brasil (2006)

3.5.2 Plano de segurança da água

Devido às limitações até então existentes no atual sistema de controle de qualidade de águas para consumo humano, como métodos onerosos de análises e a não capacidade de alerta em eventos de contaminação num curto período de tempo, foi conceituado o Plano de Segurança da Água (PSA), que é um instrumento de identificação de falhas no sistema de abastecimento de águas e de fontes alternativas, objetivando a minimização da chance de ocorrência de incidentes (BRASIL, 2012).

Um dos princípios em que se baseia o PSA é o de múltiplas barreiras, onde se estabelecem procedimentos para prevenir, reduzir, eliminar ou minimizar contaminações. O monitoramento da qualidade da água do manancial é uma primeira barreira, em seguida, tem-se o tratamento das águas destinadas ao abastecimento humano, o controle na saída do tratamento, e a vigilância da qualidade das águas nos reservatórios e pontos de coleta da rede. Falhas em quaisquer dessas barreiras significam perigos que, quantificados, servem de base à avaliação de risco do sistema de abastecimento de água. Para que um evento de contaminação ocorra é necessário que todos estes procedimentos tenham falhado simultaneamente.

Visto que a responsabilidade pelo PSA é o setor de saúde, as suas metas devem traduzir-se em objetivos de saúde a serem alcançados. Tais metas podem ser estabelecidas de acordo com diferentes critérios: evidências epidemiológicas, avaliação de risco químico e microbiológico, carga de doença aceitável ou desempenho do tratamento de água. O Quadro 1 apresenta os critérios utilizados na definição, aplicação e avaliação das metas de saúde.

Quadro 1 – Critérios relacionados às metas de saúde

Critério	Características das metas	Aplicação	Instrumentos de avaliação
Base epidemiológica	Redução da incidência ou prevalência das doenças relacionadas com a água	Perigos químicos e microbiológicos associados a doenças relacionadas com águas	Vigilância em saúde e epidemiologia analítica
Qualidade da água	Padrão de potabilidade	Microrganismos ou substâncias químicas	Monitoramento dos indicadores de qualidade da água
	Valores de referência aplicados a procedimentos de análises de materiais e produtos químicos	Aditivos químicos e subprodutos	Procedimentos de análises aplicados a materiais e produtos químicos
Eficiência do tratamento	Definição de metas de desempenho dos processos de tratamento para remoção de determinados contaminantes	Microrganismos ou substâncias químicas	Verificação da eficiência do tratamento.

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

De maneira geral, as etapas para elaboração do PSA são:

3.5.2.1 Etapas preliminares

Envolvem a constituição de uma equipe multidisciplinar, formada pelo coordenador da equipe, técnicos na área de saneamento, com conhecimentos específicos na área de captação, tratamento e distribuição; gestores com autoridade para implementar as alterações necessárias para garantia da qualidade da água e técnicos envolvidos no controle de qualidade da água. Pode contar ainda com engenheiros e especialistas em saúde e meio ambiente.

A equipe formada deve realizar o gerenciamento do sistema de distribuição de águas, de posse da descrição detalhada do sistema, compreender os perigos e riscos existentes.

3.5.2.2 Avaliação do sistema

A partir do diagnóstico detalhado do sistema, desde a captação até os reservatórios e rede, é feita a análise da capacidade do sistema de garantir o tratamento efetivo à água, de acordo com as metas de saúde estabelecidas.

A primeira fase da avaliação do sistema é a descrição do sistema a concepção de um diagrama de fluxo e em seguida, a identificação e análise de perigos potenciais existentes e, por fim, o estabelecimento medidas de controle em pontos críticos.

A descrição do sistema deve considerar o uso e ocupação do solo, medidas de proteção das bacias hidrográficas, informações acerca da qualidade da água do manancial utilizado na captação, tratamento e distribuição de água.

O diagrama de fluxo proporciona uma sequência lógica para as etapas do plano e deve incluir todos os elementos de infraestrutura do sistema. É necessário que os técnicos responsáveis pela elaboração do diagrama façam visitas ao campo para verificação dos dados. É recomendado também fazer reavaliações periódicas do fluxograma.

3.5.2.3 Monitoramento operacional

Objetiva a garantia do cumprimento das metas de saúde estabelecidas através de programas de avaliação individuais referentes a cada uma dessas metas. Para tanto, as medidas de controle e os parâmetros de monitoramento, bem como limites críticos e ações corretivas devem ser estabelecidos.

As medidas de controle são ações identificadas na avaliação do sistema e priorizam a eliminação de possíveis contaminações. Incluem as etapas de captação, filtração e desinfecção, mas também são aceitáveis à rede de distribuição.

Os parâmetros comumente utilizados no monitoramento operacional são ocorrência de cianobactérias no manancial de captação, concentração de desinfetante residual na rede, turbidez nos pontos de coleta e pressão positiva na tubulação.

Apesar dos indicadores microbiológicos como coliformes termotolerantes serem bons indicadores de qualidade das águas para o monitoramento operacional, o custo e o tempo gasto nas análises laboratoriais tendem a inviabilizar seu uso.

Os limites críticos visam manter os perigos existentes sob controle, assim como estabelecer medidas corretivas caso os limites sejam ultrapassados (incidente). Na maior parte dos casos, estes limites são determinados pela Portaria MS nº2.914/2011.

3.5.2.4 Planos de gestão

Visam a verificação constante do PSA, estabelecendo procedimentos de rotina de análises, assim como as ações emergenciais em eventos de contaminação. Também estabelecem procedimentos para comunicação de risco. Todas as ações devem ser documentadas e relatadas às autoridades de saúde e ao serviço de defesa do consumidor, conforme estabelecido na Portaria MS nº2.914/2011.

3.5.2.5 Revisão dos Planos

O PSA não é estático ou imutável, sua revisão é fundamental para garantia da eficácia de suas ações. Essa revisão é feita com base em alguns tópicos: dados coletados, alterações no manancial de captação ou na bacia hidrográfica, alterações de demanda ou formas de tratamento de água, procedimentos de operação revistos e riscos ou perigos emergentes.

Outro fator determinante para revisão imediata do PSA são os eventos de contaminação, tais eventos determinam que o PSA deve ser revisado de imediato, devendo ser levados em conta os impactos derivados desse evento.

3.5.2.6 Verificação dos Planos

Com vistas ao alcance das metas estabelecidas, os planos devem basear-se no perfil socioeconômico e epidemiológico da população. Neste sentido, a verificação dos planos é sua última etapa.

Tais verificações são feitas por meio de auditorias internas ou externas, assim os resultados são registrados e documentados como prova. Deve-se, portanto avaliar:

- Se todos os perigos foram identificados;
- Se as medidas de controle estão sendo implementadas;
- Se o monitoramento operacional está sendo levado a efeito;
- Se os limites críticos estão sendo cumpridos;
- Se as ações corretivas estão sendo identificadas;
- Se os procedimentos de gerenciamento têm sido estabelecidos.

3.6 Indicadores de qualidade da água

3.6.1 Turbidez

A turbidez caracteriza-se pela expressão da propriedade ótica de dispersão de luz, que impede sua passagem em linha reta através da água. Reflete-se, portanto, na transparência da água (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

Na água, a turbidez deriva da presença de partículas em suspensão como argila e material orgânico, com tamanhos que variam de 1 a mais de 1000 nm. Tais partículas estão presentes nas águas devido à erosão das rochas em contato com as águas, carreamento de solos para os corpos hídricos durante chuvas e enxurradas, despejos de efluentes domésticos e industriais e crescimento de microrganismos.

A turbidez assume papel de limitador em ambientes aquáticos em que predominam os processos dependentes da presença de luz, de maneira que, quando o valor da turbidez é elevado, as camadas inferiores dos corpos aquáticos não recebem quantidades significativas de luz, impossibilitando o processo de fotossíntese ou reação da luz com substâncias químicas.

Este indicador está enquadrado no grupo dos organolépticos, ou seja, características que comunicam estímulos sensoriais, como cor, odor e sabor e que, por este motivo, refletem na aceitação para consumo humano, mas não necessariamente implicam em risco à saúde.

A filtração é influenciada diretamente pelo valor da turbidez, na medida em que seu valor aumenta, o processo de filtração torna-se mais oneroso, muitas vezes tornando inviável a utilização de filtros lentos em pequenas comunidades.

Existe relação entre o valor da turbidez na água e a possível presença de microrganismos. A Portaria MS nº 2.914/2011 faz menção a esta relação estabelecendo, em seu Art. 30 que, para garantia da qualidade microbiológica da água, o padrão de turbidez deverá ser atendido. Em qualquer ponto da rede de abastecimento, é aceitável um VMP de 5,0 uT. A Tabela 3 apresenta o atual padrão de turbidez pós-filtração, estabelecido na referida Portaria.

Tabela 3 – Padrão de turbidez pós-filtração

Tratamento de água	VMP
Desinfecção (águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Fonte: Portaria MS nº2.914/2011

3.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

A sigla pH é utilizada para descrever o potencial hidrogeniônico, que em termos práticos, significa concentração ativa dos íons H⁺. Esta medida expressa a intensidade da condição ácida ou básica, e é estimada pela Equação 1:

Equação 1 – Cálculo do potencial hidrogeniônico

$$\text{pH} = - \log \text{H}_a^+$$

O valor do pH influencia nos processos de tratamento da água, como a coagulação, abrandamento e em especial na desinfecção, pois tem relação com a formação de ácido hipocloroso (HClO), principal agente responsável pela desinfecção. Também tem importância particular na corrosão das tubulações (SILVA E OLIVEIRA, 2001). Dessa forma, a Portaria 2.914/2011 recomenda que o valor do pH na água distribuída deve estar entre 6,0 e 9,5.

3.6.3 Cloro residual

O cloro é o agente desinfetante mais utilizado nas estações de tratamento de água no Brasil, que tem por objetivo a eliminação ou desativação dos organismos patogênicos. A utilização do cloro se dá, entre outros fatores, pelo seu alto poder de desinfecção e seu potencial de desinfecção remanescente, evitando recontaminação na rede (BASTOS *et al.*, 2008).

Não sendo o cloro um reagente conservativo, sua concentração decai ao longo da rede, necessitando de monitoramento contínuo e recloração nos reservatórios ou em outros pontos estratégicos, quando sua concentração decai abaixo do recomendado (0,2 mg/L) pela Portaria 2.914/2011. A reação do cloro com a água pura forma ácido hipocloroso, o chamado cloro residual livre (CRL) e ocorre segundo a reação: da seguinte forma:

Equação 2 – Formação do CRL



A partir da equação é possível estabelecer uma relação entre pH e a concentração de ácido hipocloroso (HClO), em valores de pH baixo (abaixo de 4), a concentração do ácido tende a ser predominante, aumentando a eficiência da desinfecção. De maneira inversa, quando o pH for elevado a concentração do íon hipoclorito ClO^- aumenta em relação à do ácido, reduzindo o poder de desinfecção.

O nitrogênio amoniacal pode estar presente na água de abastecimento, devido à mineralização de compostos orgânicos, e sua reação com o cloro residual na rede de abastecimento provoca a redução do poder de desinfecção pela formação de compostos nitrogenados chamados de cloraminas ou cloro residual combinado (CRC). Os fatores que influenciam na formação do CRC são: concentração de nitrogênio amoniacal na rede, pH, temperatura e tempo de reação (GUIMARÃES, 2010).

A Portaria MS 2.914/2011, estabelece que deve ser garantida a manutenção de, no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre na rede e no máximo 2 mg/L.

3.6.4 Temperatura

Libânio (2008) afirma que temperatura é uma característica física da água que influencia o tempo de reação das substâncias nela presentes, sendo um fator limitante em algumas etapas do tratamento de água, como na desinfecção.

A Portaria 2.914/2011 não estabelece VMP para a temperatura, mas recomenda que seja analisada em conjunto com os demais indicadores, pela influência que a temperatura pode exercer sobre estes (SANTOS, 2011).

3.6.5 Condutividade

Para Silva e Oliveira (2001), a condutividade é a medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica e depende diretamente da concentração das espécies iônicas presentes, suas valências, e da temperatura. Pode-se associar a condutividade à concentração de sólidos dissolvidos ou sais.

As características geológicas da bacia hidrográfica influenciam diretamente na concentração de sólidos dissolvidos e sais que serão carregados para o corpo aquático, conseqüentemente exercem forte influência no valor da condutividade. Os tipos de rochas em que se situam os aquíferos freáticos e confinados também influenciam na condutividade (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2003).

As características hidrogeológicas do semiárido paraibano propiciam a ocorrência de águas salobras, em consequência disso, o valor da condutividade elétrica é geralmente alto, e o uso dessas águas na agricultura pode acarretar problemas como a salinização do solo.

3.6.6 Nitrato

O nitrato está presente nas águas naturais em baixas concentrações (geralmente inferiores a 10 mgN/L), no entanto esta concentração pode ser elevada a partir da contaminação por fertilizantes agrícolas ou por esgotos urbanos (MELO, 1995).

Os microrganismos presentes no esgoto sanitário promovem, a partir da decomposição da matéria orgânica, a produção de nitrogênio amoniacal, que pode ser usado por bactérias permitindo formação de nitrito e posteriormente nitrato, como descrevem as equações:

Equações 3 a 5 – Oxidação da matéria orgânica nitrogenada a nitrato



O consumo de águas contaminadas por nitrato pode ser prejudicial à saúde humana, cianose infantil, metahemoglobinemia e câncer de estômago são doenças relacionadas à ingestão de altas concentrações de nitrato.

Crianças de até três meses são mais susceptíveis aos efeitos dos íons nitrato por consumirem relativamente mais água que os adultos considerando seu peso corporal. Além disso, o pH do estômago de crianças é favorável ao desenvolvimento de bactérias que agem reduzindo íons de nitrato a íons de nitrito. (FENÍCOLA E AZEVEDO, 1981).

A Portaria 2.914/2011 estabelece um VMP de 10 mgN/L e 1 mgN/L para nitrito. A Resolução CONAMA 357/2005, que trata da classificação e enquadramento das águas naturais define que, para as águas doces classe: especial, classe 1, classe 2 e classe 3, que podem ser destinadas ao consumo humano, os valores para nitrito e nitrato são os mesmos dos estabelecidos na Portaria 2.914/2011.

3.6.7 Bactérias heterotróficas

Os indicadores microbiológicos fornecem informações tanto a respeito da eficiência do tratamento dado às águas destinadas ao abastecimento público, no caso dos coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, quando informações a respeito da integridade do sistema como as bactérias heterotróficas. (BRASIL, 2011).

As bactérias heterotróficas podem estar presentes na canalização e nos reservatórios devido a vazamentos, perda de pressão, estagnação do fluxo hidráulico, ausência de desinfetante residual, altas temperaturas e altas concentrações de carbono orgânico assimilável. Tais fatores promovem formação de biofilmes e conseqüentemente, aumentam a chance de contaminação da rede (BARTRAM *et al.*, 2003).

Segundo Bartram *et al.* (2003) não há confirmação que as bactérias heterotróficas causem, isoladamente, doenças em indivíduos saudáveis que consomem águas contendo-as, porém, a presença destes organismos indica também uma possível contaminação fecal. Indivíduos com imunidade comprometida como pacientes de unidades de terapia intensiva, de clínicas de hemodiálise, crianças menores de dois anos e idosos, estão

sujeitos a efeitos danosos advindos da ingestão das bactérias heterotróficas. Desta forma fica evidente que a vigilância da qualidade da água, do ponto de vista microbiológico, deve priorizar as localidades onde se encontram os indivíduos susceptíveis.

A análise de bactérias heterotróficas passou a ser obrigatória na Portaria 1.469/2000 e continua na 2.914/2011, em 20% das amostras coletadas no sistema de distribuição (reservatórios e rede), com VMP de 500 UFC/ml.

3.7 Geoprocessamento aplicado aos sistemas ambientais

Alguns fenômenos como urbanização, desmatamento e industrialização pressionam o meio ambiente natural e conseqüentemente aumentam a probabilidade de degradação dos corpos aquáticos. A construção de cenários, com auxílio do georreferenciamento, deve fazer parte do planejamento estratégico das ações ambientais e de saúde pública relacionadas com a qualidade das águas.

Câmara *et al.* (2001) afirmam que o geoprocessamento utiliza ferramentas como o sistema de informação geográfica (SIG) para tratar a informação geográfica e, a partir desta, gerar um banco georreferenciado de dados.

A utilização dos SIGs é justificada pela sua capacidade de integrar informações espaciais em uma única base de dados, sejam estes censitários, cadastro urbano ou rural, imagens de satélite, e modelos numéricos dos terrenos. Os SIGs também oferecem mecanismos de combinar várias informações através de algoritmos, consultar, modificar e plotar dados que foram armazenados na base.

Quando aplicado em projetos ambientais, o geoprocessamento deve ter como base três componentes:

- Metodologia de interação de dados para que cada variável seja analisada conforme sua contribuição para o resultado do trabalho;
- Roteiro de trabalho ou sequência das etapas a serem seguidas, desde o início como levantamento de dados até a síntese;
- Operações executáveis de um SIG, através de esforços computacionais, para gerar resultados conforme planejado no componente anterior.

Os projetos ambientais são multitemáticos e têm muitos critérios a serem analisados, por este motivo deve haver, por parte do projetista, uma noção

multidisciplinar dos aspectos analisados. Primeiramente, deve-se analisar os aspectos ambientais selecionados, em seguida os fatores socioeconômicos da região para que, posteriormente, sejam integrados.

O geoprocessamento, nesta vertente ambiental, possui quatro principais dimensões:

3.7.1 Mapeamento temático

Visa entender e caracterizar o espaço para o estabelecimento de bases para estudos futuros. Pode-se citar como exemplo: geologia, solo e cobertura vegetal. Câmara *et al.* (2001) relatam que este mapeamento ainda é muito escasso no Brasil

3.7.2 Diagnóstico ambiental

Estabelece estudos específicos para regiões de interesse, para elaboração de projeto de preservação ou ocupação. Os Estudos de Impactos Ambientais e Relatórios de Impactos Ambientais, que são pré-requisitos fundamentais na implantação de qualquer empreendimento, necessitam de um diagnóstico ambiental.

3.7.3 Avaliação de impacto ambiental

Essa dimensão abrange o monitoramento dos resultados da ação humana sobre o meio ambiente, como desmatamento, ou análise de qualidade da água em corpos que recebem despejos urbanos.

3.7.4 Ordenamento territorial

Objetiva normatização e ocupação do espaço de forma racional, com foco no desenvolvimento sustentável. Zoneamento urbano, rural e até cultural se enquadram nesta dimensão.

Como o objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas para integração de dados geográficos com variáveis pré-definidas, pode-se utilizá-lo para relacionar a qualidade da água de abastecimento público de uma cidade, com o grau de risco associado ao consumo destas por grupos de risco.

3.7.5 Geoprocessamento aplicado à vigilância da qualidade da água

As atividades de vigilância da qualidade da água, a exemplo da definição dos pontos de monitoramento, necessitam de uma fundamentação estratégica, que pode apoiar-se no geoprocessamento. Segundo a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (2006), esses pontos devem levar em conta a distribuição geográfica da população e os grupos de risco.

Nesta perspectiva, os sistemas de informação geográficas podem ser de grande valia, levando em consideração também a necessidade do uso de um banco de dados sólido e de fácil consulta, para verificação das variações sazonais referentes à qualidade das águas e caracterização efetiva de áreas sujeitas a contaminações.

Esta ferramenta mostrou-se eficiente em estudos como o de Santos (2011), que verificou a distribuição espacial de bactérias heterotróficas na rede de abastecimento público da cidade de Campina Grande-PB.

As informações adquiridas por meio dos SIGs devem ser analisadas e sintetizadas para reduzir o esforço computacional e humano nas suas operações. Não se deve fazer uso de variáveis que não tenham significância no resultado final do trabalho, e que podem, caso sejam analisadas em conjunto com as demais, onerar o estudo.

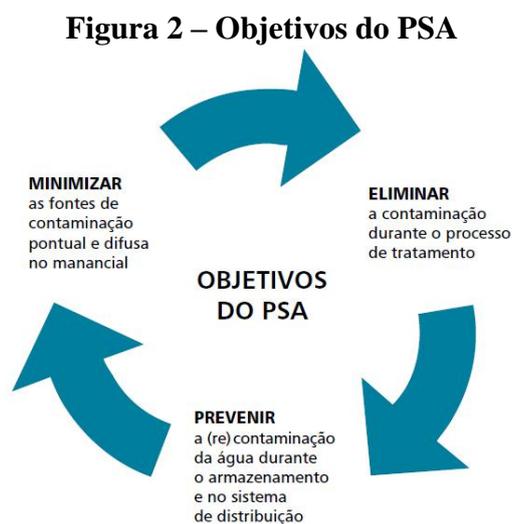
3.8 Análise de risco aplicada à qualidade da água

A análise de risco pode ser descrita como uma ferramenta metodológica de apoio a tomada de decisão baseada na comparação entre parâmetros selecionados e é constituída por avaliação, gerenciamento e comunicação de risco.

A etapa da avaliação de risco constitui-se basicamente da caracterização/estimativa, seja de forma qualitativa ou quantitativa dos riscos e suas consequências potenciais à saúde humana ou ao meio ambiente. Deve-se, portanto, dar seguimento à avaliação de risco através do gerenciamento, que é uma etapa de elaboração de planos de controle e minimização dos riscos existentes. A última etapa da análise de risco é a comunicação, pois a partir desta, torna-se possível estabelecer medidas de proteção individuais e coletivas (BRASIL, 2006b).

Para a preservação da qualidade das águas de abastecimento, as ações de controle e vigilância descritas no PSA, são baseadas em metodologias de análise de risco, que

visam a prevenção ou minimização da contaminação dos mananciais utilizados para captação, eliminação da contaminação existente através do tratamento da água captada e prevenir a recontaminação, no sistema de distribuição, da água tratada (BRASIL, 2012). A Figura 2 ilustra esquematicamente os objetivos das ações de controle e vigilância de qualidade da água para consumo humano.



Fonte: Brasil (2012).

No aspecto da vigilância da qualidade das águas, a avaliação de risco propõe inicialmente a identificação das formas de abastecimento utilizadas, para tornar possível a caracterização e quantificação dos riscos existentes, baseando-se nos indicadores de qualidade das águas. Tendo sido realizada a avaliação de risco, é necessário traçar planos e medidas de ação e controle dos pontos críticos, que podem ser os locais de maior prevalência de doenças de veiculação hídrica, ou localidades de maior concentração de pessoas consideradas de grupos de risco.

Visto que esses planos necessitam do apoio e participação da população, torna-se evidente a necessidade da comunicação de risco. Com isso, o foco das ações de vigilância da qualidade da água é a prevenção dos riscos, que é mais eficiente do ponto de vista social e financeiro, que o tratamento posterior dos efeitos à saúde da população abastecida pelo sistema de abastecimento de águas ou fontes alternativas coletivas.

3.9 Estimativa de densidade kernel

A estimativa de densidade kernel pode ser definida como uma interpolação exploratória de uma amostra de dados para identificação dos chamados “pontos quentes” (hotspots), que são localidades onde ocorrem maiores concentrações de eventos (JONES *et al.*, 1996).

Esta técnica permite a elaboração de mapas que apresentam uma distribuição espacial de um evento medido através de amostragens pontuais. Dessa forma, as áreas que necessitam de atenção imediata são rapidamente identificadas (CAMARA *et al.*, 2004).

Para aplicar o estimador kernel é necessário, primeiramente, definir o raio de influência (τ), que determina a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla o alisamento da superfície gerada, ou seja, o raio em que os pontos distribuídos nele irão contribuir para a estimativa da função de densidade (MEDEIROS, 2013).

A próxima etapa para a aplicação desse estimador é a aplicação de uma função de estimação K para suavização do fenômeno. A Equação 6 apresenta uma função bivariada de estimação.

Equação 6 – Estimador de intensidade kernel

$$\lambda(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k \left[\frac{(S - Si)}{\tau} \right]$$

n: número de dados;

τ : raio de influência

S: localização em um ponto qualquer

Si: localização dos pontos observados

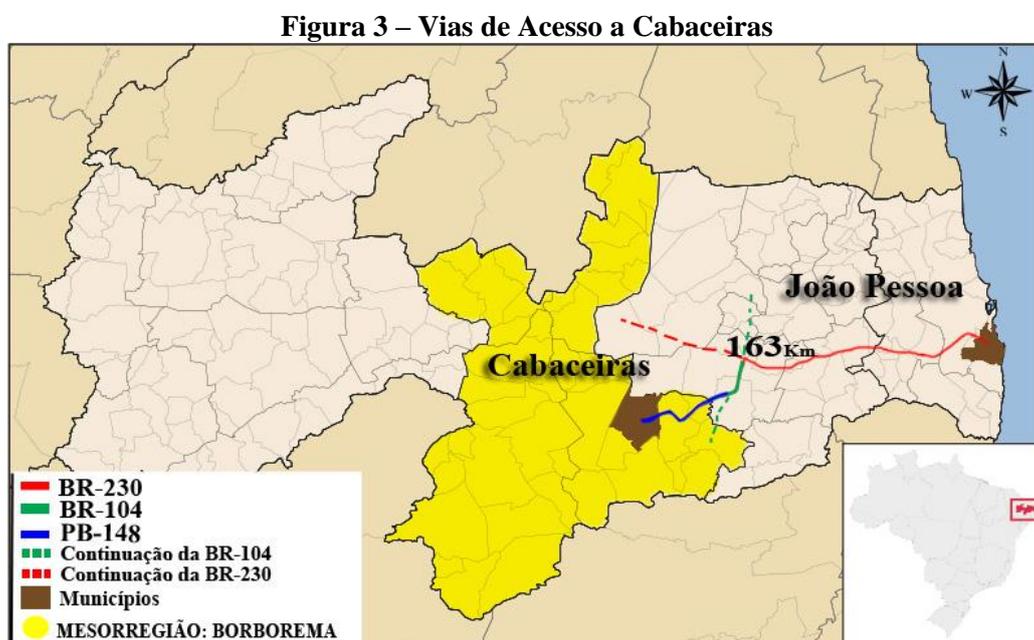
Esta técnica de estimação vem sendo utilizada desde a década de 60, quando Parzen (1962) generalizou e aplicou as teorias anteriormente propostas para estimação de intensidade de probabilidade. A aplicação dessa estimação tornou-se mais viável com a modernização dos SIG, contribuindo decisivamente para o avanço dos estudos na área da saúde pública.

Alguns exemplos da utilidade desse estimador são os trabalhos de Medeiros (2012), que fez uso do estimador kernel para mapear a contaminação por tuberculose nos bairros de Campina Grande – PB e Barbosa *et al.* (2012), que analisaram a distribuição espacial dos casos de esquistossomose e geohelmintoses em áreas rurais em Pernambuco. Neste estudo, a utilização do estimador kernel teve como propósito analisar a distribuição espacial dos pontos de contaminação do lençol freático por esgotos sanitários na cidade de Cabaceiras-PB.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na sede do município de Cabaceiras, situado na mesorregião da Borborema, tem como localização geográfica: 7° 29' 20" Sul e 36° 17' 14" Oeste, distante 163 km da capital João Pessoa, possuindo uma área de cerca de 452 km². A Figura 3 apresenta um mapa das vias de acesso ao município.



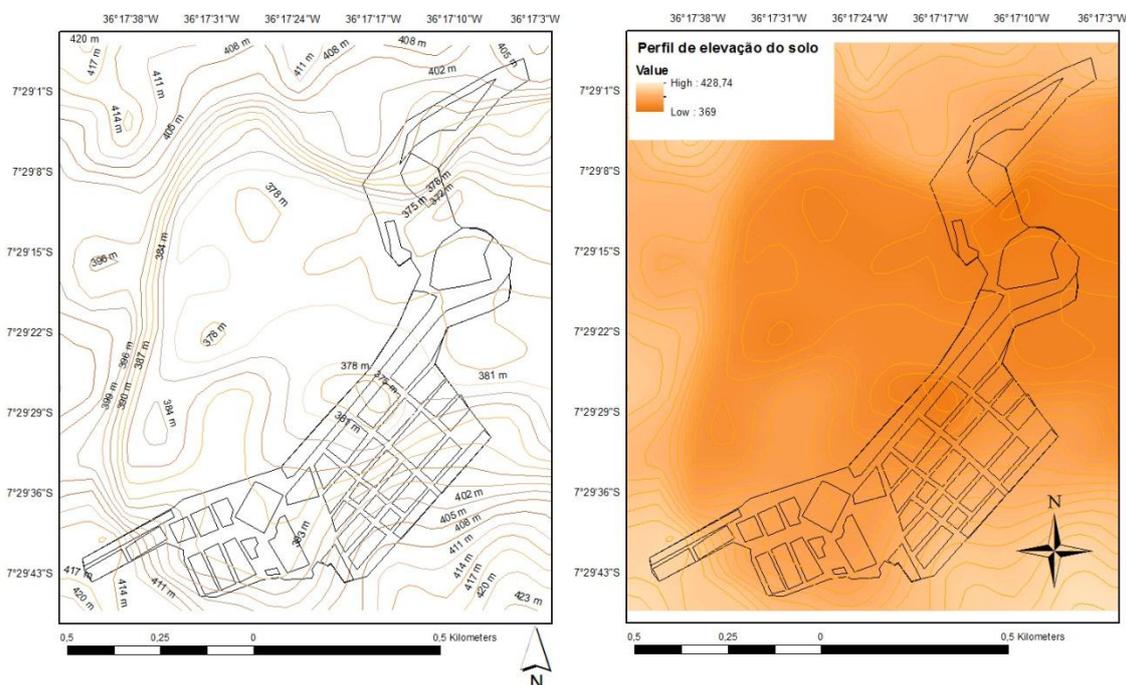
Fonte: Monteiro (2011).

Com base na classificação de Köppen, o clima do município é considerado ‘As’ (quente e seco), tem uma das menores médias de precipitação do país (350 mm/ano), sua temperatura anual média é de 24°C, a umidade relativa do ar é 63,8% e a evapotranspiração real média anual é de 338,4mm (MEDEIROS *et al.*, 2012).

A cidade está inserida na sub-bacia do Taperoá, que é parte da Bacia Hidrográfica do Paraíba. O rio Taperoá tem regime intermitente, nasce na Serra do Teixeira e deságua no rio Paraíba, no Açude Epitácio Pessoa, e recebe contribuições dos seguintes cursos da água: São José dos Cordeiros, Floriano, Soledade e Boa Vista e dos riachos Carneiro, Mucuí e da Serra. (AESAs, 2011).

Na mesorregião da Borborema predominam rochas cristalinas, ou seja, gnaisses, xistos, migmatitos, granitos, quartzitos entre outras, apresentando, em geral, um potencial hidrogeológico muito fraco, pois os aquíferos estão restritos às zonas fraturadas, com exceção das proximidades das margens do rio Taperoá, onde os lençóis subterrâneos são rasos (CPRM, 2005). A Figura 4 é uma representação das curvas de nível do terreno onde se localiza a cidade, obtidas por meio do software de sistema de informações geográficas ArcGIS.

Figura 4 – Curvas de nível da cidade de Cabaceiras



Não ocorrem excedentes hídricos e as deficiências hídricas estão presentes em todos os meses do ano, salvo aqueles em que os índices pluviométricos ocorreram acima da normalidade, sendo 1964 o ano mais chuvoso (775,5 mm), seguido dos anos de 2004 com 755,8 mm e 2008 com 736,8 mm (MEDEIROS *et al.*, 2012).

4.2 Caracterização do sistema de fontes alternativas de abastecimento

A cidade de Cabaceiras está situada em um território de rochas cristalinas, sendo os aquíferos limitados às zonas fraturadas. Os aquíferos são do tipo confinado e as perfurações de poços na região têm em média 60m de profundidade (AESA, 2011).

Existem seis poços tubulares que são utilizados para captação de água a ser distribuída para a população da cidade através de chafarizes, sendo um destes, dotado de um sistema dessalinizador. A Tabela 4 descreve o sistema de fontes alternativas da cidade; a numeração dos poços foi atribuída de acordo a sua cota, do mais baixo para o mais alto. As Figuras 5 a 10 ilustram os pontos de coleta no sistema de fontes alternativas.

Tabela 4 – Elementos descritivos do sistema de fontes alternativas

Identificação do poço	Ponto de referência	Ano de implantação	Vazão de projeto (l/h)	Profundidade (m)	Coordenadas
P1	Entrada da cidade	1965	3800	56	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O
P3	Fórum	1994	4500	46	7°29'17.14"S 36°17'6.28"O
P4	Feira	1994	3000	56	7°29'24.95"S 36°17'12.75"O
P6	Dessalinizador	1965	3600	74	7°29'35.12"S 36°17'23.58"O
P7	Campo de futebol	2012	1800	40	7°29'39.78"S 36°17'26.28"O
P8	Bairro novo	2012	1600	56	7°29'39.09"S 36°17'34.92"O

Fonte: Secretaria de obras e serviços urbanos de Cabaceiras (2014)

Funcionários da prefeitura acionam as bombas diariamente para abastecimento dos chafarizes. Não existe controle das vazões retiradas dos poços.

Figura 5 – Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P1)



Figura 6 – Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P3)



Figura 7 – Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P4)



Figura 8– Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P6)



Figura 9 – Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P7)



Figura 10 – Ponto de coleta no sistema de fontes alternativas (P8)



4.3 Caracterização do sistema público de abastecimento

A rede pública de abastecimento de água de Cabaceiras funciona há 35 anos. Até o ano de 1997, a adução era feita por sistema de bombas que levava a água de um poço escavado às margens do rio Taperoá, até o reservatório da CAGEPA, cuja capacidade de armazenamento é de 50 m³ e, a partir deste, era distribuída para a cidade. Entre 1997 e 2002 a região sofreu com um longo período de estiagem e o volume de água nesse poço foi reduzido ao ponto de inviabilizar a adução, assim a população deixou de receber água por meio da rede pública naquele período. Nesse intervalo de cinco anos foi construída a adutora do Cariri, que utiliza água do açude Epitácio Pessoa para o abastecimento a qual a água é tratada em uma estação de tratamento compacta. Atualmente, 35% da população do município são atendidas pela rede e, em algumas residências, situadas nos locais mais elevados, o abastecimento funciona apenas algumas horas por dia, geralmente à noite, dificultando a execução das tarefas básicas da população. Nas residências situadas na parte menos elevada da cidade o abastecimento de água é menos intermitente. A Figura 11 é uma cópia digitalizada da planta do sistema público de abastecimento, editada para indicar os pontos de coletas. As Figuras 12 a 15 apresentam os pontos de coleta de amostras da rede pública de abastecimento.

Figura 11 – Cópia digitalizada da planta do sistema público de abastecimento



Fonte – CAGEPA (2015)

Figura 12 – Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P2)



Figura 13 – Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P5)



Figura 14 – Ponto de amostragem do sistema público de abastecimento (P9)



A água, vinda da adutora, chega a uma estação de tratamento, que se encontra parcialmente desativada, situada próxima à cidade, onde se efetua apenas a cloração com aplicação do gás cloro. A Figura 16 mostra o local onde é feita esta operação.

Figura 15 – Reservatório de rede (P10)



Após a adição de cloro, a água vai para o reservatório de rede, que tem capacidade para 50 m³; quando o reservatório completa seu volume máximo, os funcionários acionam a distribuição dela para a cidade.

Figura 16 – Operação de desinfecção com cloro gasoso



4.4 Definição dos pontos de amostragem

Segundo a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água em Saúde Ambiental, a metodologia de coleta deve seguir os seguintes critérios:

- Distribuição uniforme das amostragens no período analisado;
- Representatividade dos pontos de coleta e distribuição, considerando a abrangência espacial, pontos estratégicos como os que abrigam grande circulação de pessoas ou grupos de risco, locais onde sejam notificados com frequência agravos à saúde por veiculação hídrica e pontos de estagnação na rede (BRASIL, 2006).

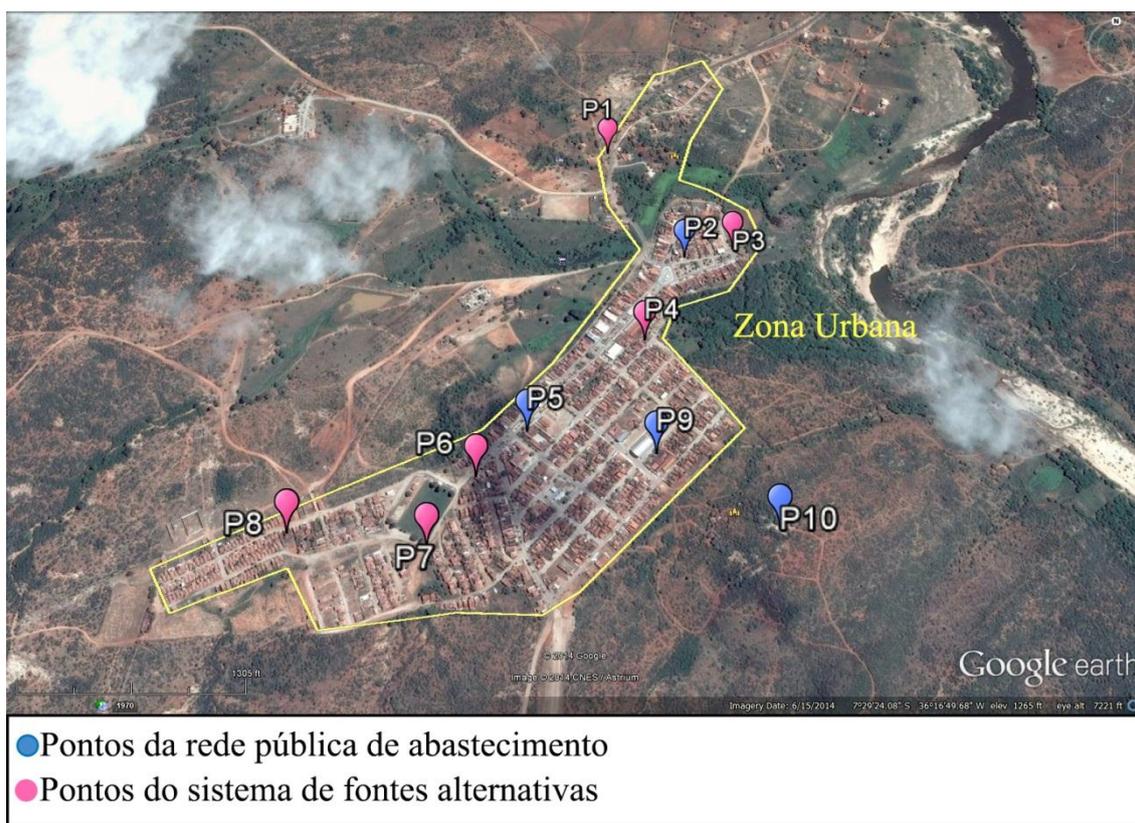
Com base nesses critérios, os pontos de coleta foram definidos e georreferenciados com um receptor GPS, que proporcionou a análise da distribuição espacial dos pontos de coleta. A Figura 17 é uma representação da localização dos pontos de coleta na cidade. O Quadro 2 expõe as localizações geográficas dos pontos de coleta selecionados.

Chafarizes públicos, que são abastecidos por poços tubulares, constituem uma forma alternativa coletiva de abastecimento de água da cidade. As águas destes poços são destinadas para uso doméstico, porém, apenas as águas distribuídas à população no ponto “P6”, que possui um sistema dessalinizador, são utilizadas para beber e cozinhar.

Quadro 2 – Descrição dos pontos de coleta na rede

Ponto de coleta	Coordenadas	Ponto de coleta	Coordenadas
P1	7°29'8.50"S 36°17'15.31"O	P6	7°29'35.12"S 36°17'23.58"O
P2	7°29'17.90"S 36°17'9.78"O	P7	7°29'39.78"S 36°17'26.28"O
P3	7°29'17.14"S 36°17'6.28"O	P8	7°29'39.09"S 36°17'34.92"O
P4	7°29'24.95"S 36°17'12.75"O	P9	7°29'33.42"S 36°17'12.15"O
P5	7°29'31.89"S 36°17'20.47"O	P10	7°29'38.34"S 36°17'4.73"O

Figura 17 – Representação dos pontos de coleta



Fonte: adaptado do Google Earth. Acesso: 01/08/2014

Para análise da qualidade da água das fontes alternativas coletivas, foram analisados os seis poços localizados na cidade de Cabaceiras-PB. Os pontos da rede pública de abastecimento selecionados foram a E.E.E.F.M. Alcides Bezerra (P2), E.M.E.F.M. Abdias Aires de Queiroz (P5), E.E.E.F. Maria Neuly Dourado (P9) e o reservatório de rede (P10).

4.5 Procedimentos da coleta

No procedimento adotado para coleta e análise das amostras buscou-se minimizar a chance de contaminação ou perda de amostras. O modelo de protocolo adotado está descrito no Apêndice 1.

As amostras destinadas às análises dos indicadores cloro residual livre, pH, turbidez e temperatura foram coletadas e analisadas diariamente por um período suficiente para 30 análises, garantindo a uniformidade das análises durante o estudo. As

demais análises foram realizadas semanalmente no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande.

As coletas nos pontos da rede pública de abastecimento foram feitas em torneiras diretamente ligadas à rede de distribuição, enquanto as amostras das fontes alternativas coletivas foram coletadas na torneira de saída acoplada aos chafarizes. Além disso, o reservatório da rede pública também foi analisado, com amostragens feitas diretamente na saída.

As torneiras eram abertas e aguardava-se o período de dois minutos para escoamento da água estagnada na rede, em seguida se fazia a amostragem, com o auxílio de garrafas de PET de 500 ml dotadas de uma camada isolante de luz, posteriormente, as amostras eram levadas ao local de análise.

Para a coleta de amostras destinadas às análises microbiológicas, foram utilizados frascos estéreis com tampa rosqueada de 250 ml de capacidade. A esterilização desses frascos era feita por meio da autoclavagem a 121 °C por um período entre 15 e 20 minutos.

No procedimento de coleta, as torneiras eram previamente esterilizadas com álcool a 70%, em seguida as amostras eram coletadas e acondicionadas em um recipiente térmico com gelo para preservá-las durante o transporte ao laboratório.

4.6 Métodos analíticos

Os métodos para análise de água utilizados no estudo foram os procedimentos padrões, estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

4.6.1 Cloro residual

O método utilizado para análise de cloro residual foi o DPD colorimétrico, que se baseia na intensidade de cor gerada pela reação das frações de cloro presentes na água com o indicador DPD, sendo a intensidade de cor medida através de um colorímetro microprocessado de leitura direta modelo Aquacolor Clor.

4.6.2 Turbidez

O método utilizado foi o nefelométrico, que se baseia na medida da dispersão de feixes de luz produzida pela presença de partículas na água. O equipamento utilizado será o turbidímetro de bancada TECNOPON modelo TB-1000.

4.6.3 pH

O método selecionado para medir o pH foi o potenciométrico, que se baseia no potencial gerado pela concentração de íons ativos (H^+) presentes na água, pelo uso de um eletrodo padrão de hidrogênio. O equipamento utilizado para tal medida será o pH-metro portátil TECNOPON modelo PA210 P. Este equipamento, além de fornecer o valor do pH, também contém um termômetro acoplado, que permite a medida da temperatura.

4.6.4 Condutividade

O método para medida da condutividade utilizado foi o potenciométrico, que baseia-se na capacidade da água conduzir corrente elétrica, derivada da concentração de íons presentes. O equipamento utilizado foi um condutivímetro de bancada TECNOPON modelo MCE - 105.

4.6.5 Nitrito

O método utilizado para análise de nitrito foi o da diazotização, que se baseia na intensidade de cor púrpura avermelhada produzida pela diazotização da sulfanilamida com N(1-naftil)- dihidroclorato de etilenodiamida (NED dihidroclorato). Essa coloração ocorre em pH fortemente ácido (entre 2,0 e 2,5). A leitura da absorbância era feita em um espectrofotômetro UV da Femto, modelo 600 Plus, em um comprimento de onda de 543 nm. A observância da lei de Beer ocorre entre as concentrações de 10 a 1000 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{l}$.

O volume da amostra utilizado no método era de 50 ml, sendo então adicionados 2ml do reagente colorimétrico. A leitura era realizada entre 10 minutos e duas horas após a adição do reagente.

4.6.6 Nitrato

Para a análise de nitrato foi utilizado método da redução de cádmio, que consistia inicialmente da filtração da amostra. Após a filtração, uma alíquota de 20ml da amostra era retirada e transferida para um béquer, que recebia 5 ml de solução tampão (HCl 0,24 mol/L e NH₄OH 0,75mol/L) e 2 ml de EDTA 50 g/L. Após a preparação da amostra, ocorria a percolação pela coluna de cádmio e o recolhimento para um balão volumétrico de 100 ml. Em seguida, seguia-se o método de diazotização para quantificação do nitrito presente. Fazia-se em seguida a diferença entre o valor encontrado após a redução do nitrato pela coluna e o da concentração de nitrito inicialmente presente na amostra.

4.6.7 Bactérias heterotróficas

O método de *pour plate* foi selecionado para a quantificação das bactérias heterotróficas. Como meio de cultura foi utilizado o *Plate Count Agar*.

A primeira etapa para execução do método era a preparação dos meios de cultura. O meio era pesado e dissolvido em água destilada, em seguida, com auxílio de um frasco *erlenmeyer* tampado, era aquecido. Porções de 10 ml eram postas em tubos de ensaio e levados para autoclave a 121°C por 15 minutos. Por fim, os tubos eram conservados em uma geladeira.

Na etapa seguinte, os tubos de ensaio eram postos em banho-maria objetivando a manutenção da temperatura de 37°C para evitar a solidificação precoce do meio de cultura.

Volumes de 1 ml das amostras coletadas nos poços eram então postas em placas de petri próximo ao bico de *Bunsen*, em seguida o meio de cultura era vertido na placa de petri e espalhado em forma de ∞ até a solidificação. As placas eram então invertidas e levadas para a incubadora a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Após 48 horas as amostras eram retiradas da incubadora e efetuava-se a contagem com auxílio de um contador de colônias.

4.6.8 Coliformes termotolerantes

Antes das análises era preparado o meio de cultura Agar Eosina Azul de Metileno (EMB), que era diluído inicialmente em água destilada. Posteriormente esse meio era vertido em placas de petri e acondicionado em geladeira até a hora da análise.

O método utilizado para análise de coliformes foi o de filtração em membrana, que consistia na filtração de um volume conhecido da amostra ou de uma diluição através de uma membrana de porosidade entre 0,45µm, que pode reter os microrganismos de tamanho entre 1 e 2 µm, como os coliformes. Na filtração, pelo menos uma bactéria fica presa em um poro e pode crescer apenas localmente, se multiplica nesse local e forma uma colônia que pode ser vista a olho nu em 24 horas. Supõe-se que os poros contêm apenas uma bactéria, embora possam ficar presas duas ou mais em um único poro.

A filtração era realizada com um funil de filtração de plástico, que era esterilizado após a passagem de cada amostra, em água destilada fervente.

O sistema de filtração era acoplado a uma bomba de sucção ligada com três filtros em série com uma única bomba. Este sistema permitia filtrar várias amostras simultaneamente. A Figura 18 apresenta a série de filtros e equipamentos utilizados na análise.

Após da filtração, as membranas eram transferidas assepticamente para a placa com meio de cultura e levado à incubação. A temperatura de incubação era de 44,5°C e o período de incubação de 24 horas.

As colônias eram então contadas com o auxílio de um contador de colônias sendo aplicada a Equação 7 para o cálculo do número de unidades formadoras de colônias.

Equação 7 – Cálculo do número de unidades formadoras de colônias

$$N = C * V * D$$

N: Número de unidades formadoras de colônias por 100 ml; C: Número de colônias V: Volume da amostra; D: Diluição utilizada.

Figura 18 – Equipamento utilizado no método de filtração em membranas



Fonte: Autor (2014)

4.7 Georreferenciamento

4.7.1 Montagem do banco de dados

Os dados coletados foram inicialmente registrados manualmente em uma tabela contendo a identificação do ponto de coleta, dia e hora da análise. Após o fim das análises diárias, os dados eram dispostos em planilhas Excel, e, posteriormente, importados para o software de sistemas de informação geográfica.

4.7.2 Escolha do software

O software utilizado no trabalho foi o ArcGIS, pelo fato deste ser um software com capacidade de importação de planilhas do Excel de maneira direta, e por permitir, assim como os demais programas de georreferenciamento a interação dos resultados das análises de qualidade das águas com as informações espaciais.

4.7.3 Análises com o SIG

As análises realizadas com o auxílio do arcGIS foram as de distribuição espacial dos pontos de contaminação por esgotos sanitários, densidade kernel dos pontos de contaminação e análise das distâncias entre os pontos de contaminação.

Além destas análises, também foi verificada a topografia do terreno, para entender a distribuição espacial dos indicadores de qualidade de montante a jusante.

4.8 Tratamento estatístico dos dados

Após a montagem das planilhas no Excel, foi realizado um resumo da estatística descritiva para os indicadores de qualidade das águas em cada ponto. Posteriormente, foi levado a efeito o teste de normalidade de kolmogorov-smirnov e as análises de variância de fator único para cada indicador, com o objetivo de verificar se havia diferenças significativas entre as médias dos grupos de dados. Foi também aplicado o teste GT-2 para diferenciar individualmente os grupos de dados que eram estatisticamente semelhantes a um nível de significância de 0,05.

Por fim, foi levado a efeito teste de correlação de Pearson para verificar a possível existência de uma correlação entre as distâncias entre os pontos de contaminação, profundidade dos poços e a concentração de nitrato em suas águas.

5.0 RESULTADOS

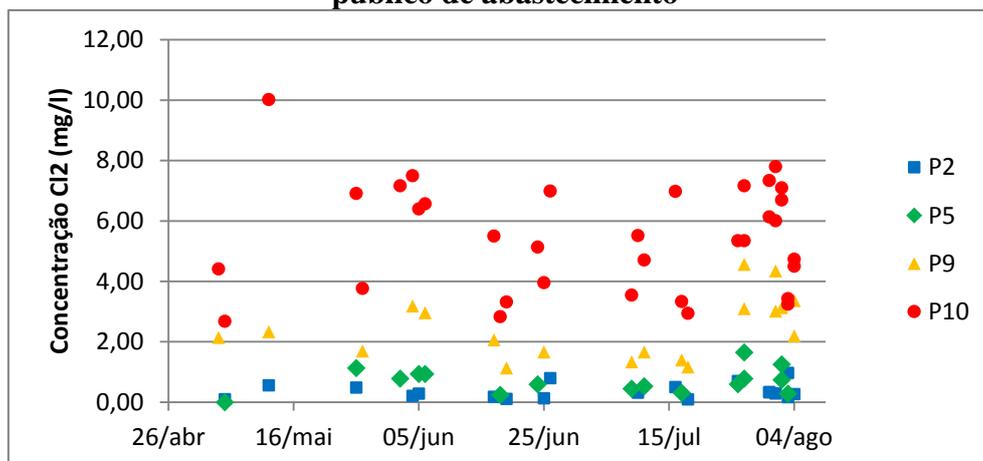
5.1 Indicadores de qualidade das águas

Os resultados obtidos nas análises foram descritos ponto a ponto, seguidos do resumo da estatística descritiva, realizada para todos os dados dos indicadores de qualidade de água.

5.1.1 Cloro residual livre

O cloro é um agente de desinfecção que deve estar presente em toda a rede de abastecimento. A Figura 19 ilustra a dispersão dos valores obtidos para este indicador. A Tabela 5 apresenta o resumo estatístico dos dados.

Figura 19 – Dispersão dos valores de CRL nos pontos de monitoração do sistema público de abastecimento



Através dos resultados de concentração obtidos é possível observar a concordância da dinâmica das concentrações de cloro residual livre com a descrita, dentre outros autores, por Bastos *et al.* (2008), na qual a concentração de CRL decai ao longo da tubulação. A dinâmica supracitada é decorrente das reações do CRL com espécies redutoras presentes na rede, especialmente em sistemas intermitentes, nos quais as canalizações, por períodos prolongados, são expostas a entrada de ar e contaminantes. O ponto “P10”, que se localiza no reservatório da rede, é o que apresenta maior concentração média de cloro residual livre, enquanto o ponto “P2”, que é o ponto mais a

jusante, apresenta concentrações baixas, inclusive com uma frequência de não conformidade de 26,3% e média de 0,35 mg/l, valor aproximado da concentração mínima recomendada pela Portaria MS 2914/2011, de 0,2 mg/l.

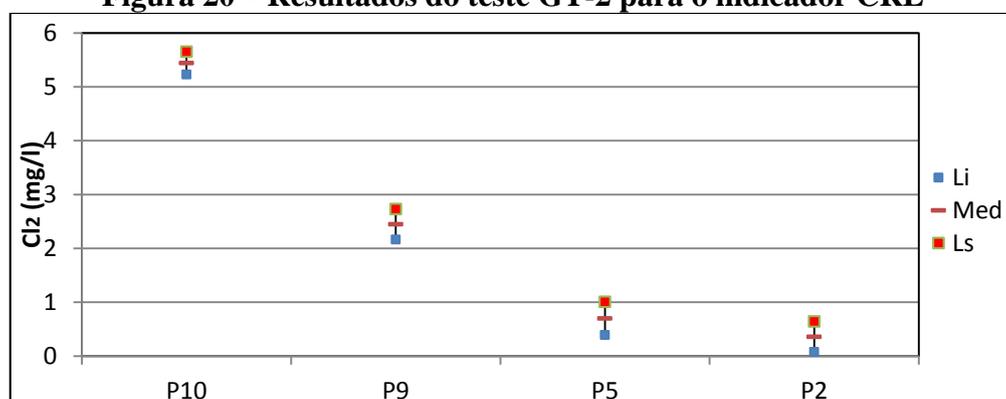
O ponto “P9” apresentou uma média acima do Padrão de potabilidade (2,4 mgCl₂/l e frequência de não conformidade de 63,1%, o que gera riscos, como a possibilidade de formação de trihalometanos (RODRIGUEZ *et al.*, 2012; FREIRE *et al.*, 2008). A Figura 20 apresenta os resultados do teste GT-2 para o indicador cloro residual livre.

Tabela 5 – Resumo estatístico para o indicador CRL

Pontos	P2	P5	P9	P10
Média (mgCl ₂ /l)	0,35	0,7	2,4	5,44
Mediana (mgCl ₂ /l)	0,29	0,66	2,2	5,42
Desvio padrão (mgCl ₂ /l)	0,26	0,42	1,02	1,78
Coef. de variação	0,62	0,6	0,42	0,33
Máximo (mgCl ₂ /l)	0,97	1,65	4,6	10,02
Mínimo (mgCl ₂ /l)	0	0	1,1	2,7
Nº de dados	19	16	19	34
FNC	26,3%	6,2%	63,1%	100%

FNC – Frequência de não conformidade

Figura 20 – Resultados do teste GT-2 para o indicador CRL



A análise de variância apontou que as médias dos pontos de coleta são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 0,05. O teste GT-2 apontou que, com exceção dos pontos P5 e P2, todos os pontos apresentam diferenças estatísticas significativas.

Autores como Souza (2010) e Guimarães (2010), que estudaram a qualidade da água do sistema público de abastecimento em Campina Grande, também encontraram

concentrações variáveis, indicando que esse indicador é suscetível a variações advindas do clima da região e também da frequência do abastecimento de água.

5.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH medidos mostram que este indicador se apresenta próximo à neutralidade e, de acordo com o estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, ou seja, entre 6,5 e 9. Não foi registrado nenhum dado fora desta faixa, portanto este indicador não oferece perigo à população. A Tabela 6 apresenta os valores de pH em cada ponto.

Tabela 6 – Resumo estatístico dos valores de pH

Pontos	Média	Mediana	DP	CV	Máximo	Mínimo	N
P1	7,28	7,36	0,16	0,02	7,49	7,00	34
P2	7,37	7,35	0,10	0,01	7,57	7,12	20
P3	7,37	7,42	0,15	0,02	7,53	7,08	34
P4	7,45	7,46	0,09	0,01	7,54	7,28	33
P5	7,21	7,20	0,09	0,01	7,79	7,1	16
P6	7,46	7,48	0,10	0,01	7,72	7,28	34
P7	7,34	7,33	0,11	0,01	7,54	7,18	34
P8	7,39	7,38	0,11	0,01	7,54	7,17	26
P9	7,41	7,41	0,20	0,03	7,71	7,00	19
P10	7,25	7,26	0,24	0,03	7,57	6,60	34

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; N – Número de dados

5.1.3 Turbidez

A turbidez, que é um indicador sentinela, oferece, entre outras informações, uma relação com a vulnerabilidade a contaminação por microrganismos (BRASIL, 2011). Os pontos do sistema público de abastecimento apresentaram turbidez superior aos do sistema de fontes alternativas, chegando, em algumas análises, a ultrapassar o valor máximo de 5 UT, estabelecido pela Portaria MS 2914/2011. A Figura 21 ilustra a dispersão dos valores da turbidez para os pontos P2, P5 P9 e P10. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para o indicador turbidez em todos os pontos.

Através do gráfico de dispersão dos dados, é possível observar que o ponto de coleta situado na Escola Alcides Bezerra, que é o ponto analisado mais a jusante da rede de abastecimento, apresentou valores de turbidez maiores e, em 25% das análises,

ultrapassaram o valor de 5 UT. A Escola Abdias Aires é o segundo local na ordem de jusante para montante na rede pública de abastecimento, e apresentou uma frequência de não conformidade de 6,5%. Esses resultados reforçam a preocupação com a contaminação por microrganismos, visto que nesses pontos também há uma baixa concentração de cloro residual livre. A Figura 22 ilustra a comparação gráfica do teste GT-2 para o indicador turbidez em todos os pontos de coleta.

Figura 21 – Dispersão dos valores de turbidez medidos na rede geral de distribuição

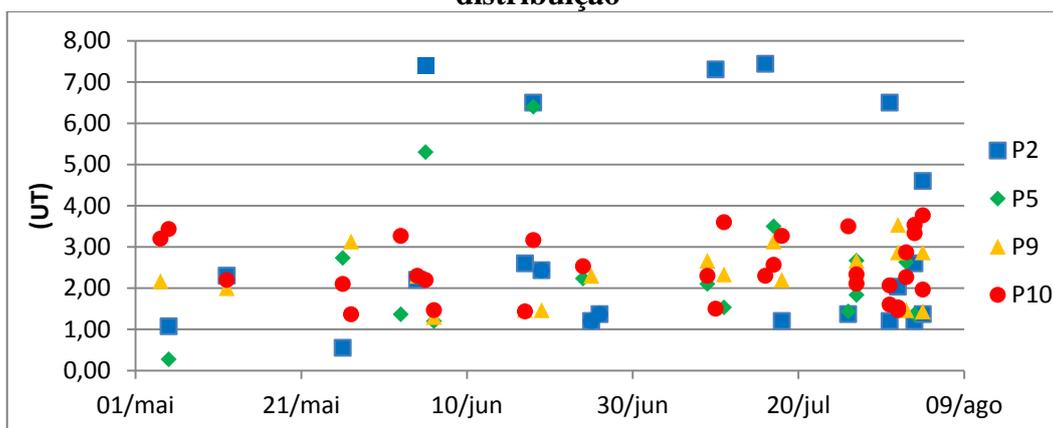


Tabela 7- Resumo estatístico dos valores de Turbidez

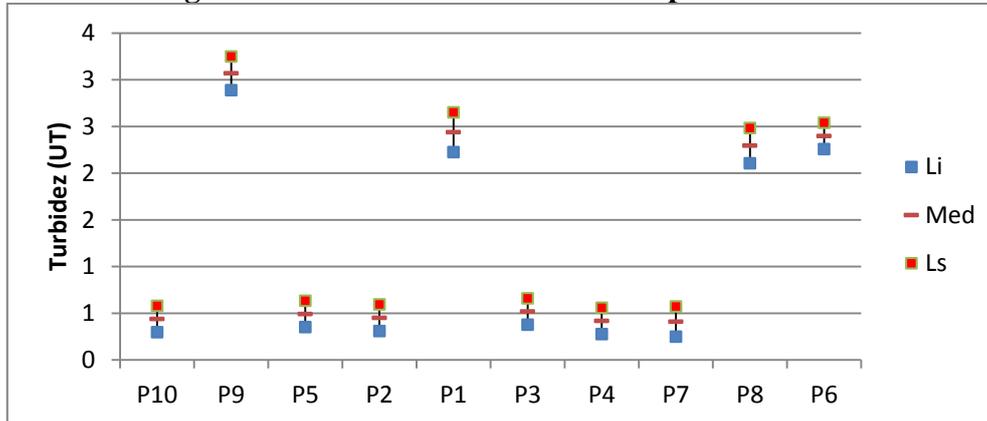
Pontos	Média (UT)	Mediana (UT)	DP (UT)	CV	Máximo (UT)	Mínimo (UT)	N	FNC
P1	0,43	0,40	0,15	0,34	0,77	0,2	34	0%
P2	3,07	2,2	2,43	0,79	7,44	0,55	20	25%
P3	0,49	0,46	0,17	0,35	0,83	0,23	34	0%
P4	0,45	0,43	0,14	0,32	0,76	0,23	33	0%
P5	2,43	2,1	1,60	0,66	6,40	0,27	15	6,2%
P6	0,51	0,50	0,15	0,29	0,76	0,2	34	0%
P7	0,41	0,37	0,16	0,38	0,83	0,2	34	0%
P8	0,41	0,4	0,15	0,29	0,77	0,2	26	0%
P9	2,29	2,3	0,65	0,28	3,53	1,3	19	0%
P10	2,39	2,30	0,77	0,32	3,77	1,2	34	0%

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; N – Número de dados; FNC – Frequência de não conformidade.

Os dados mostram que a turbidez das águas dos poços é baixa, menor que 1 UT em média, já o sistema público de abastecimento apresenta valores elevados nos pontos P2 e P5, embora a média tenha ficado abaixo de 5 UT em todos os pontos.

A análise de variância apontou diferenças significativas dentro do grupo de dados, enquanto o teste GT-2 evidenciou que os pontos do sistema público de abastecimento e do sistema de fontes alternativas possuem valores de turbidez estatisticamente diferentes entre si, e que o ponto P9 possui, dentre todos, os maiores valores observados.

Figura 22 - Resultados do teste GT-2 para turbidez



5.1.4 Temperatura

As temperaturas observadas nas análises situaram-se entre 21°C e 31°C. Embora não exista um valor máximo para a temperatura estabelecido na Portaria MS 2914/2011, sabe-se que temperaturas elevadas, principalmente superiores a 25°C, favorecem a proliferação de microrganismos mesófilos, que tem como faixa de temperatura ideal de crescimento entre 25°C a 40°C. Na rede de distribuição a intermitência do abastecimento, associada a uma temperatura elevada, promove aeração nas tubulações e oferece um tempo para fixação dos microrganismos nos canos (USEPA, 1992). A Tabela 8 apresenta os valores de temperatura medidos nas análises

Tabela 8 – Resumo estatístico dos valores de temperatura

Pontos	Média (°C)	Mediana (°C)	DP (°C)	CV	Máximo (°C)	Mínimo (°C)	N
P1	28,4	29,6	2,4	0,08	30,7	23,3	34
P2	28,1	28,3	2,2	0,08	30,7	21,4	20
P3	28,4	29,6	2,1	0,07	31,3	23,7	34
P4	27,8	28,1	1,7	0,06	29,8	23,3	33
P5	28,3	28,9	2,02	0,07	30,6	23,4	15
P6	28,5	29,6	1,95	0,68	30,6	26,6	34
P7	27,8	28,1	1,60	0,57	29,8	23,3	34
P8	27,7	27,8	1,7	0,06	30,0	23,3	26
P9	28,4	28,5	1,2	0,04	29,5	25,5	19
P10	28,0	28,3	2,03	0,07	30,1	23,4	34

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; N – Número de dados.

5.1.5 Condutividade

A condutividade foi analisada nas águas do sistema de fontes alternativas no intuito de associá-la como a concentração de sais e, também, verificar possíveis restrições quanto à sua aplicação no abastecimento público. A Tabela 9 apresenta os valores de condutividade obtidos.

De acordo com o critério de condutividade elétrica (CE), adotado pela (Embrapa, 2001), as águas analisadas estão enquadradas como sendo de média condutividade (entre 2,5 e 7,5 dS/cm), com exceção do ponto P6, que é enquadrado como sendo de condutividade baixa. A baixa condutividade do ponto P6 (94,8% abaixo da média dos demais pontos) ocorre devido à ação do dessalinizador, que reduz a quantidade de sais na água tratada e, conseqüentemente, a sua condutividade.

Embora não haja um VMP para a condutividade elétrica nas águas de abastecimento, este indicador possui grande importância pelo fato de estar associado à presença de íons que, a exemplo dos cloretos e sulfatos, podem ser danoso a saúde humana, além da já citada relação com a salinidade. Outra vantagem desse indicador é a fácil metodologia de análise e o baixo custo.

Tabela 9 – Resumo estatístico dos valores de condutividade (25°C)

Pontos	P1	P3	P4	P6	P7	P8
Média (dS/cm)	2,94	2,66	2,33	0,14	2,96	2,58
Mediana (dS/cm)	3,05	2,64	2,34	0,15	2,97	2,57
Desvio padrão (dS/cm)	0,26	0,09	0,1	0,01	0,26	0,1
Coef. de variação	0,08	0,03	0,04	0,12	0,09	0,03
Máximo (dS/cm)	3,26	2,85	2,52	0,19	3,7	2,79
Mínimo (dS/cm)	2,02	2,48	2,14	0,10	2,43	2,43
Nº de dados	32	32	32	32	32	29

5.1.6 Nitrato (NO_3^-)

A presença de compostos nitrogenados nas águas brutas pode estar associada à contaminação por fertilizantes agrícolas, assim como por águas residuárias, particularmente esgotos sanitários (RUY e REIS, 2012; LOPES *et al.*, 2010). Esses compostos oferecem risco direto à saúde da população, principalmente em indivíduos imunodeficientes como idosos e crianças. A Tabela 10 apresenta as concentrações verificadas para este indicador nas fontes alternativas.

Tabela 10 – Resumo estatístico dos valores de nitrato nos poços

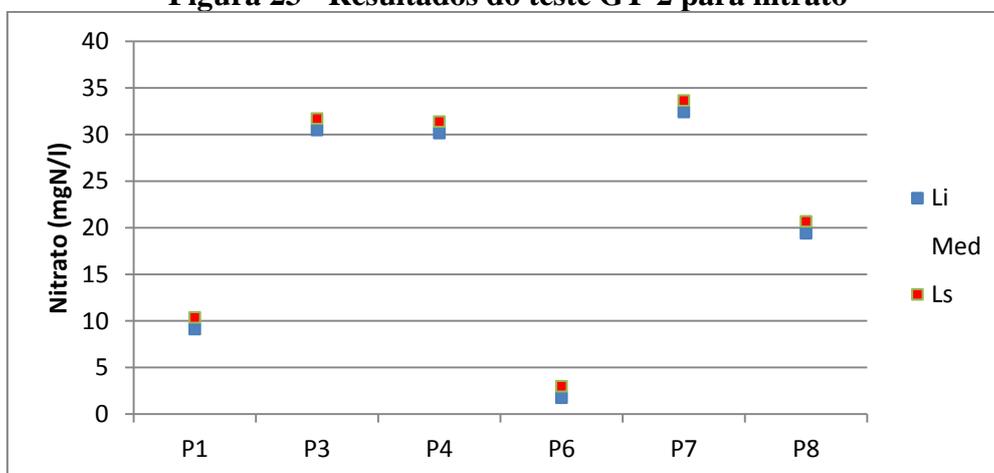
Pontos	P1	P3	P4	P6	P6	P7
Média (mgN/l)	9,78	31,10	30,78	2,37	33,03	20,07
Mediana (mgN/l)	9,85	30,58	30,58	2,37	32,78	19,07
DP (mgN/l)	1,15	4,08	0,10	0,28	3,94	4,40
Coef. de variação	0,12	0,13	3,49	0,12	0,12	0,22
Máximo (mgN/l)	8,21	38,70	28,24	2,90	39,80	36,51
Mínimo (mgN/l)	12,78	24,64	25,01	2,00	27,02	10,95
Nº de dados	32	28	28	32	28	27
FNC	34,3%	100%	100%	0%	100%	100%

DP – Desvio padrão; FNC – Frequência de não conformidade.

O nitrato é um dos íons mais encontrados em águas naturais, em geral ocorrendo em baixos teores nas águas superficiais. O seu consumo através das águas de abastecimento está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. O desenvolvimento da metemoglobinemia a partir do nitrato nas águas potáveis depende da sua conversão bacteriana para nitrito durante a digestão. Crianças, principalmente menores de 3 meses de idade, são mais susceptíveis ao desenvolvimento desta doença devido às condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal, porém isso pode ocorrer também em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e mulheres grávidas (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

A presença de elevadas concentrações nitrato mostra que, pelo fato da cidade de Cabaceiras não ter uma agricultura intensiva nas áreas próximas à cidade, existe uma contaminação por esgotos domésticos. As concentrações encontradas superam 10 mgN/l, valor máximo permitido pela Portaria 2914/2011. Autores como Lopes *et al.* (2010), que estudaram a sazonalidade de contaminantes na cidade de Jaboticabal, estado de São Paulo, e Silva (2008), que estudou a presença de contaminantes em lençóis freáticos em Ji Paraná, estado de Roraima, encontraram concentrações consideráveis de nitrato (superando 60 mgN/l), relacionando-as com as ações antrópicas desenvolvidas nas áreas próximas aos aquíferos. A Figura 23 apresenta os resultados do teste GT-2 aplicado para o indicador nitrato.

Figura 23 - Resultados do teste GT-2 para nitrato



Tendo a análise de variância indicado que havia diferenças significativas dentro do grupo de dados, o teste GT-2 apontou que os pontos P3 P4 e P7 apresentaram resultados semelhantes entre si e diferentes dos demais pontos a um nível de significância de 0,05.

Os pontos que apresentaram maior concentração de nitrato (P3, P4 P7) e, no intuito de estabelecer a origem da contaminação dessas águas por nitrato, foram mapeadas as fossas sépticas residenciais e os fossões coletivos situados na cidade de Cabaceiras.

5.1.7 Nitrito (NO_2^-)

O indicador nitrito foi usado como complemento para estudo da contaminação das águas subterrâneas por esgotos domésticos. A Tabela 11 mostra os valores obtidos nas análises.

Tabela 11 – Resumo estatístico dos valores de nitrito nos poços

Pontos	Média ($\mu\text{gN/l}$)	Coef. de variação	Máximo ($\mu\text{gN/l}$)	Mínimo ($\mu\text{gN/l}$)	Nº de dados
P1	0,67	1,61	5,25	0	29
P3	14,90	0,23	19,65	5,65	29
P4	5,08	0,16	6,66	3,85	29
P7	4,65	0,18	6,65	3,15	29
P8	0,004	1,99	0,35	0	29

O nitrito presente na água de consumo humano pode rapidamente promover efeitos adversos à saúde. Se o nitrito for ingerido diretamente, pode causar a metemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor (ALABURDA e NISHIHARA, 1998). As nitrosaminas e nitrosamidas são formadas da reação entre o nitrito ingerido ou formado na redução bacteriana do nitrato, com as amins secundárias ou terciárias e amidas presentes nos alimentos. O pH ótimo para a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos.

5.1.8 Bactérias heterotróficas

O indicador bactérias heterotróficas está associado à manutenção e limpeza dos equipamentos e estruturas e permite uma avaliação do estado de conservação dos mesmos. A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos nas análises.

Os valores verificados indicam que as estruturas de captação e distribuição de águas pelos chafarizes requerem medidas mais efetivas de manutenção e proteção, já que a concentração de bactérias nesses pontos chega a ultrapassar 500 UFC/ml que é o limite estabelecido pela Portaria 2914/2011. A Figura 24 ilustra o estado de conservação das estruturas.

Tabela 12 – Resumo estatístico dos valores de bactérias heterotróficas

Pontos	Média (UFC/ml)	Mediana (UFC/ml)	CV	Máximo (UFC/ml)	Mínimo (UFC/ml)	N	FNC
P1	260	266	0,34	466	20	32	0%
P2	20	0	3,70	369	0	24	0%
P3	312	268	0,56	2860	70	32	12,5%
P4	637	268	0,57	806	166	32	43,8%
P5	2	0	2,08	19	0	21	0%
P6	18	18	0,34	34	9	32	0%
P7	496	464	0,39	980	180	32	43,8%
P8	481	453	0,36	877	234	29	41,3%
P9	1	0	2,25	6	0	20	0%
P10	0	0	3,3	5	0	32	0%

CV – Coeficiente de Variação; N – Número de dados; FNC – Frequência de não conformidade.

As variações bruscas nos resultados do indicador bactérias heterotróficas estão associadas a variações do clima e da operação dos chafarizes, já que alguns são abastecidos diariamente e outros não, sem que haja uma rotina definida. Não há qualquer tipo de perímetro de proteção dos poços, nem controle de entrada de animais ou pessoas, e muitas estruturas estão depredadas.

A presença de bactérias no sistema público de abastecimento cresce ao longo da rede, visto que a concentração de cloro residual livre diminui. Esta presença também está ligada à intermitência do abastecimento, que proporciona situações favoráveis ao aparecimento de biofilmes (USEPA, 1992).

Figura 24 – Ilustrações sobre o estado de conservação dos chafarizes

5.1.9 Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes, por serem indicadores de contaminação fecal, devem estar ausentes nas águas de abastecimento. A Tabela 13 apresenta os valores obtidos para esse indicador.

Tabela 13 – Frequências de ausências de coliformes termotolerantes

Pontos	Resultados
P1	Ausentes em 78,1% das amostras
P2	Ausentes em 100% das amostras
P3	Ausentes em 81,3% das amostras
P4	Ausentes em 94% das amostras
P5	Ausentes em 100% das amostras
P6	Ausentes em 100% das amostras
P7	Ausentes em 81,3% das amostras
P8	Ausentes em 83,3% das amostras
P9	Ausentes em 100% das amostras
P10	Ausentes em 100% das amostras

Os resultados nas análises de coliformes termotolerantes apontam que a água do sistema público não apresenta contaminação fecal. Já as águas subterrâneas estão sujeitas à contaminação, embora não tenha sido possível identificar se esta contaminação acontece no subsolo ou quando as águas são armazenadas nos chafarizes.

A Portaria MS nº 2914/2011 estabelece a *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal, porém, esta bactéria está inserida no grupo dos coliformes termotolerantes.

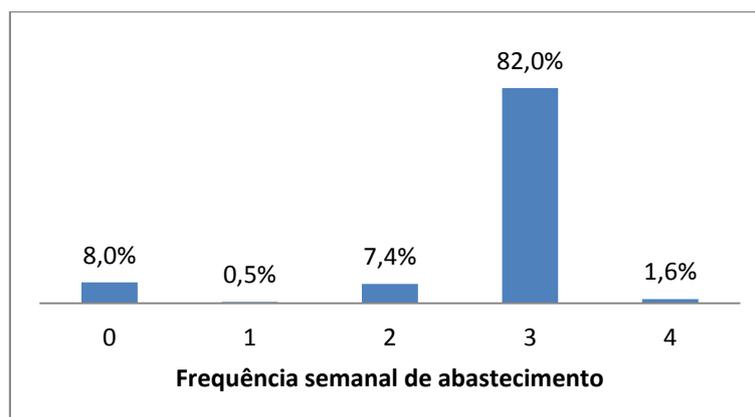
Através dos resultados obtidos é possível observar que os poços públicos estão sujeitos à contaminação de origem fecal. Esta contaminação pode ser oriunda de fossas situadas nas proximidades, bem como da presença de fezes de animais próximas aos chafarizes, o que ocorre devido à falta de perímetros de proteção segurança para os chafarizes.

Não há legislações nacionais sobre o estabelecimento de Perímetros de Proteção de Poços (PPP). A Resolução CONAMA nº 396/2008 afirma que devem ser implementadas Áreas de Proteção de Aquíferos e PPP, objetivando a proteção da qualidade das águas subterrâneas, porém, não expõe as metodologias que devem ser aplicadas.

Autores como (WAHNFRIED e HIRATA, 2005) estudaram e expuseram algumas metodologias para o estabelecimento dos PPP como a raio arbitrário, que usa um valor de raio de proteção fixo ou calculado com base na taxa de bombeamento, porosidade do solo e espessura da zona saturada. Há ainda metodologias mais complexas, como a utilização de modelos matemáticos gerados a partir dos dados hidrogeológicos e com as formas de ocupação do solo.

5.2 Resultados dos formulários aplicados

Foram aplicados 350 formulários nas residências da cidade de Cabaceiras, com o objetivo de avaliar a opinião da população a respeito da frequência de fornecimento e qualidade das águas fornecidas pelo sistema público de abastecimento e das fontes alternativas. O Apêndice 5 apresenta o modelo de formulário adotado nesse estudo. A Figura 25 mostra os resultados obtidos sobre a frequência do fornecimento semanal de água por parte do sistema público de abastecimento.

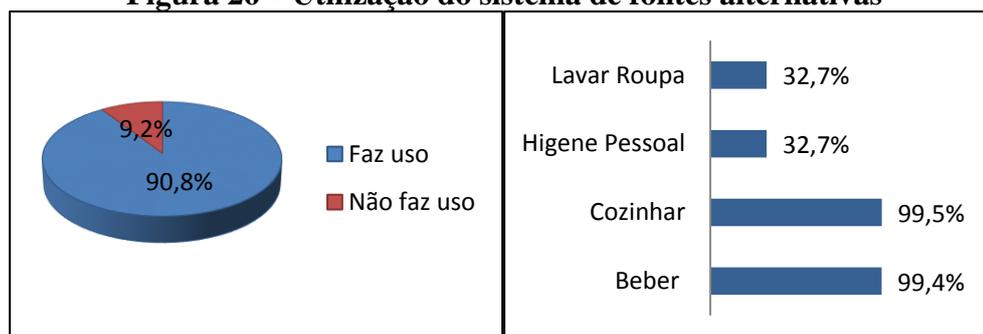
Figura 25 – Frequência do serviço de abastecimento

Através dos resultados é possível observar que 8% das residências estão sem abastecimento por parte do sistema público, a região da cidade onde estas residências estão localizadas é a área mais elevada, onde a carga hidráulica é insuficiente para abastecê-las. É possível observar que, em 82% das residências da cidade, o fornecimento de água ocorre apenas durante três dias. Esses resultados evidenciam a intermitência nos serviços de abastecimento, que gera reflexos negativos na qualidade dessas águas como aumento dos valores de turbidez e possível formação de biofilmes.

Além da intermitência identificada, outro fator avaliado foi a aceitação da água de abastecimento por parte da população.

Os resultados apontaram que 59.7% da população consideram a qualidade da água do sistema público de abastecimento como boa. No entanto, o índice de desaprovação é elevado, chegando a 40,3%, tendo como reclamações mais frequentes a afirmação de que não sabem a origem das águas fornecidas, altos níveis de cloro e turbidez.

Outro fator relevante para o estudo foi sobre o uso do sistema de fontes alternativas por parte da população. A Figura 26 mostra as percentagens da população que fazem uso das águas do sistema de fontes alternativas e quais os usos dessas águas.

Figura 26 – Utilização do sistema de fontes alternativas

A Figura 27 mostra que 90,8% da população fazem uso das águas dos poços públicos, sendo que, os principais usos são cozinhar e beber. As águas que têm esses destinos são coletadas no chafariz dotado de um dessalinizador, que, assim como as análises físico-químicas e microbiológicas apontaram, melhora consideravelmente a qualidade dessas águas.

As formas como essas águas são tratadas antes do consumo também foram analisadas, visto que toda água, mesmo aquelas derivadas de fontes enquadradas na classe especial, deve ser no mínimo desinfetada antes do consumo. A Figura 27 apresenta as formas de tratamento domiciliar das águas de beber adotadas pela população.

De acordo com os resultados, apenas 25,4% das águas coletadas nas fontes alternativas, para beber, são tratadas pela população após a captação, o próprio sistema dessalinizador é uma forma de tratamento de água, porém, os baldes utilizados para coletar e armazenar as águas antes do consumo podem ensejar contaminação, caso não sejam lavados ou higienizados com agentes desinfetantes regularmente.

Figura 27 – Formas de tratamento domiciliar das águas de beber coletadas no chafariz do dessalinizador

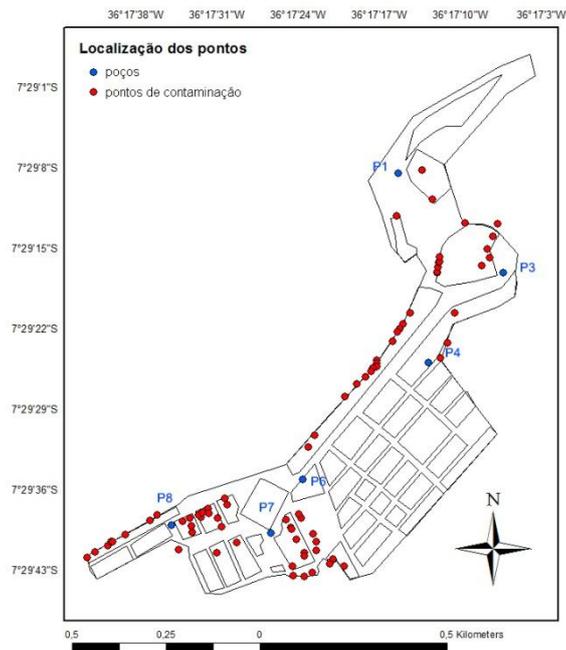


5.3 Georreferenciamento

Os formulários aplicados indicaram a presença de 84 fossas, que foram mapeadas, além dos dois “fossões”, que recebem 76% dos esgotos gerados na cidade.

Através da análise da Figura 28 torna-se visível a vulnerabilidade dos poços à contaminação por esgotos sanitários. Para entender este risco foi gerado um mapa de densidade Kernel que apresenta, em uma superfície contínua, a densidade de pontos de contaminação. A Figura 29 apresenta o mapa de densidade Kernel dos pontos de contaminação.

Figura 28 – Localização dos pontos de despejos de esgotos sanitários



Além da densidade do número de pontos de contaminação, outro fator avaliado no estudo foi a distância entre os pontos de contaminação e os poços mais próximos. A Figura 30 mostra as distâncias entre os pontos de contaminação e os poços.

Figura 29 – Mapa de densidade kernel dos pontos de contaminação

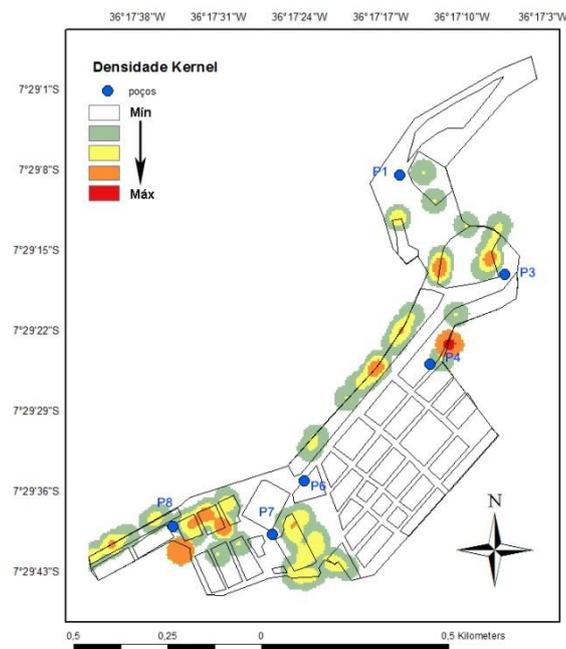
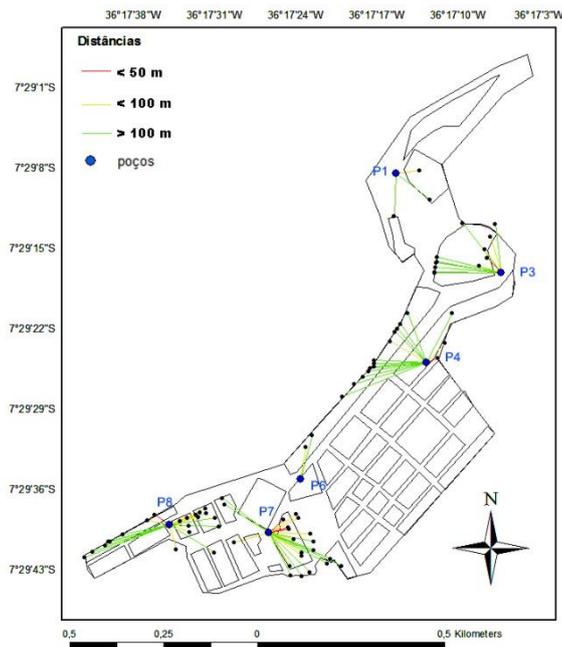


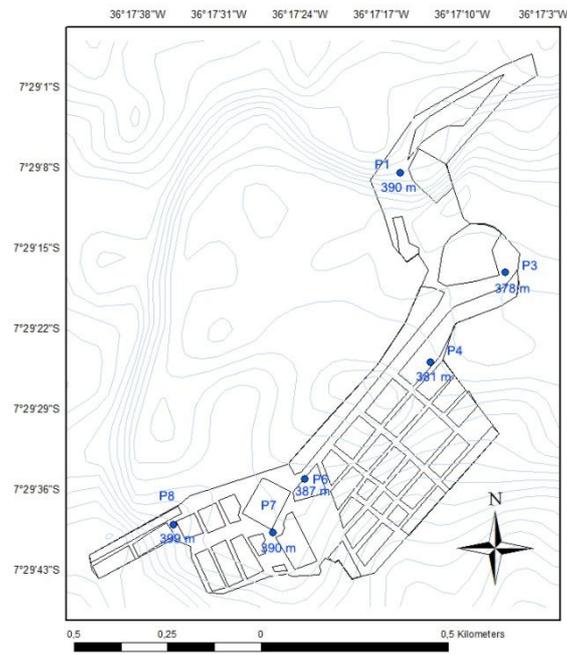
Figura 30 – Distâncias entre os pontos de contaminação e os poços



Os resultados obtidos mostraram que não há uma relação direta entre o número de pontos de contaminação próximos ou as distâncias médias entre os pontos de contaminação e os poços, visto que não se observa uma concentração de nitrato no ponto P8 semelhante às dos pontos P7, P4 e P3. Essa concentração seria esperada pelo fato do ponto P8 estar situado em uma área com grande densidade de pontos de contaminação e porque as distâncias entre os pontos de contaminação e o poço são pequenas. Esses fatores favoreceriam, teoricamente, o aumento da concentração de nitrato neste ponto, porém os resultados obtidos contrariaram esse pressuposto.

No entanto, as cotas em que estão localizados esses poços podem estar associadas às concentrações de nitrato, o ponto P8, situado em uma cota de 399 m, apresentou valores de nitrato estatisticamente menores que os pontos P3, P4 e P7.

A concentração reduzida de nitrato no ponto P1, quando comparada aos pontos P3, P4 e P7 pode ser associada a sua distância entre o poço e a área mais povoada da cidade e, conseqüentemente, dos pontos de contaminação. A Figura 31 mostra o mapa dos poços e suas respectivas cotas.

Figura 31 – Cotas dos pontos de coleta no sistema de fontes alternativas

6.0 DISCUSSÃO

6.1 Viabilidade do uso de águas subterrâneas em Cabaceiras

Na cidade de Cabaceiras ocorre, assim como nas demais cidades da microrregião do Cariri Oriental paraibano, o problema da contínua falta de água. Para minimizar tal problema uma das alternativas adotadas é o sistema de fontes alternativas coletivas, que distribui água para a população por meio de chafarizes abastecidos por poços artesianos. Essa alternativa é complementar, visto que a maior parte dos habitantes prefere utilizar a água do sistema público de abastecimento. No entanto, as águas analisadas nos poços apresentaram problemas de qualidade nos parâmetros químicos e microbiológicos. Os indicadores bactérias heterotróficas e nitrato foram os que apresentaram maior frequência de não conformidade com os padrões.

As bactérias heterotróficas, por serem indicadoras da integridade dos sistemas de abastecimento, evidenciam que os chafarizes estão sem manutenção e limpeza adequados, gerando degradação na qualidade das águas disponibilizadas à população.

O nitrato é um indicador químico que pode ser associado à contaminações por esgotos sanitários ou fertilizantes agrícolas. Sendo a atividade agrícola incipiente na zona urbana do município, como em suas redondezas, sua presença, em concentrações elevadas, evidencia uma contaminação dos aquíferos por esgotos sanitários. Esses fatos remetem ao paradigma segundo o qual, ao mesmo tempo em que a demanda de água é crescente na cidade, os recursos hídricos locais são expostos a contaminações oriundas de atividades antrópicas que as tornam inviáveis para o uso.

Os corpos hídricos situados nas zonas urbana e periurbana de Cabaceiras estão, assim como a maioria corpos hídricos nacionais situados próximos a áreas urbanas, contaminados, e suas águas, só podem ser destinadas ao abastecimento humano após tratamento, que, em casos como a remoção de nitrato, exigem técnicas não convencionais e conseqüentemente onerosas para uma cidade com poucos recursos financeiros.

Outro fator verificado neste estudo é a eficiência do sistema de dessalinização como forma de tratamento das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano para beber e cozinhar. De todos os pontos de coleta analisados, o P6, localizado na saída do sistema dessalinizador, apresentou os melhores resultados, inclusive reduzindo a concentração de nitrato a níveis que atendem ao padrão de potabilidade (concentração máxima de 2,9 mgN-NO₃⁻/l). Isso contrasta com os demais pontos do sistema de fontes

alternativas que apresentaram valores superiores a 10 mgN-NO₃⁻/l. Esse sistema também proporcionou redução nos valores de bactérias heterotróficas e condutividade elétrica.

6.2 Manutenção e proteção dos chafarizes

O estudo evidenciou a necessidade da adoção de medidas de proteção aos chafarizes utilizados para abastecimento à população, por parte da gestão municipal, com o intuito de prevenir a entrada de animais e controlar o acesso das pessoas. Uma dessas medidas pode ser o estabelecimento de áreas de restrição em torno dos chafarizes através da construção de muros ou cercas. Outra medida útil à proteção dos recursos hídricos locais é o estabelecimento de Perímetro de Proteção de Poços, que limitaria as ações poluidoras em raios de tamanhos estratégicos ao redor das zonas de recarga dos aquíferos.

6.4 Estudo da relação entre as variáveis espaciais e os indicadores de qualidade das águas

O software de sistema de informações geográficas agregou singularidade ao trabalho ao proporcionar análises de relações entre as variáveis espaciais com as concentrações de nitrato, como as distâncias médias entre os pontos de contaminação e os poços. Também foi possível associar o grau de risco de contaminação das águas subterrâneas por esgotos sanitários por meio do mapa de densidade kernel. Os mapas gerados por meio do SIG podem oferecer suporte às políticas de proteção dos recursos hídricos locais, com enfoque na proteção das águas subterrâneas, visto que foram mapeados os pontos de contaminação por esgotos sanitários.

6.3 Contribuição do trabalho para a elaboração de um Plano de Segurança da Água e do PMSB

As águas do sistema público de abastecimento apresentaram valores fora do padrão para os indicadores de cloro residual livre e turbidez. As concentrações de cloro decaem ao longo da tubulação, no entanto, esses valores chegaram a ser inferiores ao mínimo estabelecido na Portaria MS 2914/2011, que é de 0,2 mgCl₂/l. Essas concentrações geram risco de contaminação nas tubulações por microrganismos, que podem ser potencialmente danosos à saúde humana.

Concentrações de cloro superiores a 2,0 mgCl₂/l, valor máximo permitido, foram verificadas nos pontos mais a montante da rede de abastecimento (P9 e P10), com valores máximos superando 10,0 mgCl₂/l. Sabe-se que concentrações elevadas de cloro, associadas à presença de matéria orgânica na rede, podem promover a formação de trihalometanos, que oferecem riscos à saúde da população, especialmente câncer.

Os valores máximos de turbidez verificados foram superiores a 5,0 UT, que é o VMP pela Portaria MS 2914/2011. A intermitência do abastecimento de água pode estar associada ao aumento dos valores da turbidez, e, conseqüentemente, geram reflexos na população, principalmente do ponto de vista de aceitação a essas águas.

Sendo a avaliação do sistema de abastecimento a segunda etapa do Plano de Segurança da Água, este trabalho oferece um subsídio técnico para a sua elaboração, visto que foram analisados quatro pontos na rede, que permitiram verificar quais são os principais problemas relacionados à qualidade do sistema de abastecimento e os pontos que necessitam de medidas corretivas de operação para garantia da qualidade das águas.

Diante das diretrizes estabelecidas na Lei 11.445/2007, Lei do Saneamento Básico, os municípios devem elaborar os Planos Municipais de Saneamento Básico, com prazo máximo até dezembro de 2015, nos quais devem ser levados em consideração os aspectos de abastecimento de água, coleta e tratamento dos resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgotos e drenagem urbana.

Este trabalho oferece suporte à elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Cabaceiras, pois caracterizou os indicadores de qualidade das águas de ambas as formas de abastecimento da cidade e as relacionou com as formas de destinação final dos esgotos sanitários, sendo esta caracterização fundamental na etapa de diagnóstico do PMSB.

7.0 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados deste estudo foram obtidas as seguintes conclusões:

- A água fornecida pelo sistema público de abastecimento apresenta problemas de não conformidade dos indicadores cloro residual livre e turbidez com os padrões de potabilidade, indicando risco de contaminação da água;
- As águas do sistema de fontes alternativas coletivas estão contaminadas por nitrato. Também apresentam valores elevados de bactérias heterotróficas e condutividade elétrica, portanto, não são seguras para consumo humano direto;
- A intermitência do abastecimento por parte do sistema público faz com que a população utilize frequentemente as águas captadas no sistema de fontes alternativas, expondo-a a riscos associados ao consumo dessas águas de má qualidade;
- Os mapas gerados com auxílio do SIG evidenciaram a exposição dos recursos hídricos subterrâneos a águas residuárias, oferecendo auxílio à tomada de medidas de proteção a esses recursos hídricos.

8.0 SUGESTÕES

Os resultados deste estudo constituem subsídio fundamental para a elaboração do Plano Municipal de Recursos Hídricos de Cabaceiras, que deve ser integrado ao Plano Municipal de Saneamento Básico. O objetivo da elaboração desse plano é estabelecer as ações prioritárias para preservação da qualidade das águas.

Deve ser integrada ao Plano Municipal de Saneamento Básico uma proposta de reforma do sistema de coleta e tratamento das águas residuárias, pois foi comprovado que, atualmente, essas águas representam fonte de contaminação do aquífero da região.

É necessário repensar a rotina de operação e manutenção das estruturas dos chafarizes para preservar a qualidade das águas nelas armazenadas e reduzir os riscos associados ao consumo dessas águas.

Como complemento a essas medidas, devem ser estabelecidos Perímetros de Proteção dos Poços, para reduzir ao máximo a exposição das águas subterrâneas aos efeitos das ações antrópicas na cidade.

É recomendada a criação de áreas de restrição nos chafarizes, para evitar a entrada de animais e controlar a entrada de pessoas nas proximidades, assim as estruturas serão conservadas por mais tempo.

Diante do cenário atual de escassez de água na região fica difícil, por parte da CAGEPA, eliminar a intermitência do serviço de abastecimento de água, porém, os indicadores de cloro residual e turbidez devem ser observados com maior atenção, e, se possível, reformulada a rotina de aplicação de cloro para evitar valores extremos.

9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218 - **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 - **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento**, Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12212 - Poço tubular - **Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea**, Rio de Janeiro, 2006

AESA. (2011). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados Pluviais**. Disponível em:< w.aesa.pb.gov.br/index.php>. Acesso em: 02 janeiro de 2014.

ALABURDA, J. e NISHIHARA, L. **Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços**. *In Rev. Saúde Pública* [online]. 1998, V.32(2), pp. 160-165.

ANA - Agencia nacional de águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília, 2013.

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

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

BARBOSA, V. S.; ARAÚJO, K. C.; NETO, O. B. L.; BARBOSA, C. S. **Distribuição espacial dos casos de esquistossomose e geohelmintoses em áreas rurais de Pernambuco, Brasil**. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 2012, Vol.45(5), p.633

BARTRAM, J.; COTRUVO, J.; EXNER, M.; FRICKER C.; GLASMACHER, A. **Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety: The significance of HPCs for water quality and the human health**, 2003. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/HPCFull.pdf>. Acesso janeiro de 2014.

BASTOS R. K. X., PASSOS, R. G., COMINI, U. B., ROCHA, V. C. **Dinâmica do cloro na rede de distribuição: contribuição para identificação de perigos em planos de segurança da água.** In 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Pernambuco, 2008.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y. **Nitrate contamination of ground water: sources and potential health effects.** J. Am., 1992. Water Works Ass., 84: 85-90.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 56, de 13 de março de 1977. **Aprova as normas e o padrão de potabilidade da água a serem observados em todo território nacional.** Brasília, 1977.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 36, de 19 de janeiro de 1990. **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, 1990.

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, 2000.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Qualidade das águas para fins de irrigação (conceitos básicos e práticos).** Embrapa: Pernambuco, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Brasília, 2004.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 2ªed. Brasília: Funasa/MS, 2006.b

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2011.

BRASIL. **Plano de segurança da água.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília : Ministério da Saúde, 2012.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Definições de Geoprocessamento.** In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001. Livro on-line, Divisão de Processamento de imagens do INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em dezembro de 2013.

CÂMARA, G.; DUREK, S.; CARVALHO, M. S.; MONTEIRO, A. M. V. Análise espacial de dados geográficos. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CARRIJO, I.B. **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2004.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cabaceiras, estado da Paraíba.** Recife, 2005.

EISSA, M. A., THOMAS, J. M., POHLL, G., HERSHEY, R. L., DAHAB, K. A., DAWOUD, M. I., ELSHIEKH, A., GOMAA, M. A. **Groundwater resource sustainability in the Wadi Watir delta, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt.** In *Hydrogeology Journal* [1431-2174] 2013, Vol. 21, p.1833.

FERNICOLA, N. G. G. e AZEVEDO, F. A.. **Metemoglobinemia e nitrato nas águas.***Rev. Saúde Pública*[online]. 1981, vol.15(2), pp. 242-248. ISSN 0034-8910.

FREIRE, C. ; SOLER, R. ; FERNÁNDEZ, M.F. ; VILLANUEVA, C.M. ; GRIMALT, J.O. ; OLEA, N. **Trihalomethane levels in drinking water in the province of Granada [Spain].** In *Gaceta Sanitaria*, December 2008, Vol.22(6), pp.520-526.

GUIMARÃES, Riveka Monteiro. **Ocorrência de cloro residual combinado no sistema de distribuição de água em Campina Grande – (PB)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

JONES, M. C.; MARRON, J. S.; SHEATHER, S. J. **A Brief Survey of Bandwidth Selection for Density Estimation**. Journal of the American Statistical Association. 1996, V.91(433), pp. 401-407.

LIBANIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ª ed. São Paulo: Átomo, 2008. 444p.

LOPES, L. G. H. A., PINTO, R. A., PINTO, F. R. A., LUIZ A., FERRAUDO, A. S. **Sazonalidade de indicadores de qualidade de água em poços do município de Jaboicabal - SP**. In *Nucleus* [1678-6602] 2010. Vol.7, iss.1, p:155.

MEDEIROS, R. M.; BRITO, J. I. B.; BORGES. C. K. **Análise hidroclimático do município de Cabaceiras, PB**. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol.05 N°05. Recife, 2012.

MEDEIROS, Heloisy Alves. **Análise de acessibilidade geográfica dos doentes de tuberculose ao serviço de saúde em Campina Grande/PB, 2004-2009**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

MELO, J.G. **Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal, RN**. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MENESES, Ronaldo Amâncio. **Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande. Campina Grande – PB**: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2006, v.10, pp.30-37.

PARZEN, M. **Remark on some nonparametric estimate of a density function**. Annals of Mathematical Statistics, 33, 1065-1076. 1962.

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 en procesos**

convencionales de potabilización de agua. In *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2012, V.11(20), p.57.

RUY, R., REIS, T. E. S. **Risco de contaminação por agrotóxicos das águas subterrâneas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.** Pesticidas: in *Revista de ecotoxicologia e meio ambiente*, 2012. V.22, pp.77-84.

SANTOS, Sarah Golzio. **Distribuição espacial de bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água de Campina Grande-PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

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

SILVA, Arivelton Cosme da. **Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná-RO.** 2008. 136 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.

SOUZA, J. N. **Conformidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB) com o padrão de aceitação para consumo humano.** Campina Grande – PB: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

UNESCO. **Water, a shared responsibility.** UN-WATER/WWAP/2006/3. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf>>. Acesso em

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems.** OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT WASHINGTON, DC 20460. Washington, 1992.

VARMA, S., MICHAEL, K. **Impact of multi-purpose aquifer utilisation on a variable-density groundwater flow system in the Gippsland Basin, Australia.** In *Hydrogeology Journal* [1431-2174] 2012, Vol:20(1), pp.119 -134.

WAHNFRIED, I., HIRATA, R. **Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos.** In *II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste*. São Paulo, 2005.

Apêndice 1 – Protocolo utilizado para a coleta de amostras em campo

1. Desinfetar a torneira com álcool a 70%;
2. Abrir a torneira e esperar o escoamento da água durante 2 minutos;
3. Realizar a coleta manual, com proteção de luvas de proteção, utilizando garrafa revestida de camada isolante de luz solar;
4. Tampar a amostra e destinar ao laboratório em campo para análises físico-químicas;
5. Coletar as amostras destinadas às análises microbiológicas em frascos autoclavados com volume de 250 ml. Acondicionar essas amostras, em uma caixa isolante com temperatura interna de aproximadamente 4°C, até a chegada ao laboratório de análises na Universidade Federal de Campina Grande.

Apêndice 2 – Ficha de análise de amostras das fontes alternativas coletivas

Analista:						
Hora:						
Data:						
Pontos de coleta	Indicadores					
	Temperatura (°C)			pH		
Poço 1						
Poço 2						
Poço 3						
Poço 4						
Poço 5						
Poço 6						
Pontos de coleta	Indicadores					
	Turbidez (UT)			Condutividade		
Poço 1						
Poço 2						
Poço 3						
Poço 4						
Poço 5						
Poço 6						

Apêndice 3 – Ficha de análise de amostras do sistema público de abastecimento

Analista:						
Hora						
Data						
Pontos de coleta	Indicadores					
	Temperatura (°C)			pH		
Maria Neuly						
Abdias Aires						
Alcides Bezerra						
Reservatório						
Pontos de coleta	Indicadores					
	Cloro residual livre (mg/L)			Cloro residual Combinado (mg/L)		
Maria Neuly						
Abdias Aires						
Alcides Bezerra						
Reservatório						
Pontos de coleta	Indicadores					
	Turbidez (UT)					
Maria Neuly						
Abdias Aires						
Alcides Bezerra						
Reservatório						

Apêndice 4 - Ficha de análise dos indicadores microbiológicos

Analista:						
Hora:						
Data:						
Indicador						
Pontos de coleta	Coliformes totais (UFC/100ml)			Coliformes Termotolerantes(UFC/100ml)		
Maria Neuly						
Abdias Aires						
Alcides Bezerra						
Reservatório						
Poço 1						
Poço 2						
Poço 3						
Poço 4						
Poço 5						
Poço 6						
Indicador						
Pontos de coleta	Bactérias heterotróficas (UFC/ml)					
Maria Neuly						
Abdias Aires						
Alcides Bezerra						
Reservatório						
Poço 1						
Poço 2						
Poço 3						
Poço 4						
Poço 5						
Poço 6						

Apêndice 5 – Modelo de formulário aplicado
UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
PESQUISA SOBRE ASPECTOS DO SANEAMENTO BÁSICO DE RESIDÊNCIAS NA CIDADE
DE CABACEIRAS-PB

Nº da residência	
Data	Hora

1.0 Identificação do entrevistado

1.1 Gênero

1 () Masculino 2 () Feminino

1.2 Idade: _____

2.0 Condições de abastecimento de água e coleta de esgotos

2.1 Qual a frequência semanal do fornecimento de água?

2.2 Na sua opinião, a qualidade da água fornecida pelo sistema público de abastecimento é boa ?

1 () Não 2 () Sim

2.3 Na sua casa se faz uso das águas dos poços públicos?

1 () Não 2 () Sim

2.4 Para quais fins você utiliza as águas dos poços?

1 () Beber

2 () Cozinhar

3 () Higiene Pessoal

4 () Lavar roupa

5 () Dessedentar animais

6 () Outro _____

2.5 Você realiza algum tratamento nas águas dos poços antes de consumi-las?

1 () Não 2 () Sim. Qual? _____

2.6 Quais as formas de armazenamento das águas coletadas nos poços?

2.7 Sua rua possui rede de esgoto?

1 () Não 2 () Sim

2.8 Sua casa possui fossa séptica?

1 () Não 2 () Sim

Latitude _____

Longitude _____

Observações: