



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

EWERTON BRÁULLIO NASCIMENTO BEZERRA

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE
ABASTECIMENTO NA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ

CAMPINA GRANDE - PB
2018

EWERTON BRÁULLIO NASCIMENTO BEZERRA

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE
ABASTECIMENTO NA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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 - PB
2018**

É expressamente proibido 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 do trabalho.

B574q Bezerra, Ewerton Braúllio Nascimento.
Qualidade da água subterrânea de soluções alternativas de abastecimento na sub-bacia do Rio Taperoá [manuscrito] : / Ewerton Braúllio Nascimento Bezerra. - 2018.
73 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Rui de Oliveira, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Água subterrânea. 2. Abastecimento de água. 3. Qualidade da água.

21. ed. CDD 628.114

EWERTON BRÁULLIO NASCIMENTO BEZERRA

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE
ABASTECIMENTO NA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ**

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

Aprovado em 26/02/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui de Oliveira

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB – Orientador)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB - Examinador Interno)



Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN - Examinador Externo)

Dedico este trabalho a Jesus Cristo pelo seu tão belo e perfeito amor. A minha querida mãe e meus irmãos, a minha namorada Ana Zélia e família, obrigado pelo apoio incondicional e pelo estímulo em todos os momentos dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado a graça de concretizar mais uma vitória em minha vida e pela proteção durante todos os momentos.

À minha amada mãe, Josefa Maria do Nascimento Bezerra, que na ausência do meu pai (*in memoriam*) soube sempre me dar simples, mas eficazes frases de paz e conforto, mostrando-me sempre a importância dos estudos em minha vida. Aos meus irmãos Eduardo Breno, Gabriella Amanda, Nataly Aparecida, Rafaela Aline e Edinaldo Bruno, pelo estímulo ao estudo, pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldades.

À minha querida namorada Ana Zélia, pelo amor, carinho, compreensão, apoio e ajuda durante todo esse período. Ao professor, orientador doutor Rui de Oliveira, pela oportunidade de compartilhar do seu vasto conhecimento durante esse período e pela orientação precisa e paciente, mesmo em momentos corridos em sua vida acadêmica. À professora Celeide Maria Belmont Sabino Meira, pelo empenho e disposição no progresso deste trabalho. Às amigas Carla Isonide Silva, Rayssa de Lourdes Carvalho Marinho do Rêgo e Cícero Felipe pela colaboração na construção do projeto e de coleta de dados tão necessários a esta pesquisa e pelos momentos divertidos durante as análises.

A todos os que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (professores e alunos), área de concentração Qualidade de Sistemas Ambientais que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho e também aos que fazem parte da Coordenação de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Ao pessoal dos Laboratórios de Eficiência Energética e Conforto Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, que sempre me acolheram quando precisei.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) pela colaboração para o desenvolvimento da pesquisa, em especial ao gerente regional da Borborema Ronaldo Amâncio Menezes, ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UF CG) e seus técnicos Tiquinho Bandeira, Cristina e Valmária pelo apoio na realização das análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

Devido aos longos períodos de estiagem na Paraíba, caracterizando verdadeira situação de seca, a utilização de água subterrânea através de poços vem sendo uma solução alternativa de abastecimento para a população. Diante do exponencial crescimento da utilização das águas subterrâneas, existe o risco de contaminação para o consumo humano, uma vez que essas águas estão suscetíveis à contaminação por lançamento de esgotos ou por atividades agropastoris. Este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade da água subterrânea de soluções alternativas de abastecimento na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Para a realização desta pesquisa foram escolhidos nove poços nessa sub-bacia, localizados em três municípios (Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade), onde encontra-se aproximadamente 30% de todos os poços desta sub-bacia citada. Foram selecionados os indicadores de qualidade da água mínimos exigidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (Sólidos totais dissolvidos, nitrato, coliformes termotolerantes, pH, turbidez condutividade elétrica) assim como outros indicadores cor, temperatura, ferro para o município de Soledade, uma vez que um melhor suporte laboratorial foi disponibilizado. O período de amostra das análises foi maio a outubro de 2014 (Cabaceiras), agosto a dezembro de 2016 (Juazeirinho) e junho a novembro de 2017 (Soledade), totalizando 30, 8 e 20 análises respectivamente. As águas brutas dos poços foram classificadas como salobras, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Os indicadores ferro, turbidez, pH, cor e temperatura apresentaram conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMP), estabelecidos na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, enquanto que o indicador nitrato excedeu seu VMP na maioria dos pontos, e o indicador sólidos dissolvidos totais não apresentou conformidade com seu padrão nos pontos analisados (PS8 e PS9). Foram identificadas fontes antrópicas de contaminação, comprovadas pela presença dos indicadores microbiológicos, evidenciando risco à saúde para o consumo humano dessas águas. As águas dos poços em estudo foram classificadas como de classe 4, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, e que somente podem ser utilizadas, sem tratamento, para fins não potáveis.

Palavras-chave: Água subterrânea. Soluções alternativas de abastecimento de água. Indicadores de qualidade de água.

ABSTRACT

Due to the long periods of drought in Paraíba, characterizing a true drought situation, the use of groundwater through wells has been an alternative supply solution for the population. In view of the exponential growth in the use of groundwater, there is a risk of contamination for human consumption, since these waters are susceptible to contamination by sewage or agropastoral activities. This work aims to evaluate the groundwater quality of alternative supply solutions in the Taperoá River sub-basin. In order to carry out this research, nine wells were chosen in this sub-basin, located in three municipalities (Cabaceiras, Juazeirinho and Soledade), where approximately 30% of all wells in this sub-basin are located. The minimum water quality indicators required by CONAMA Resolution 396/2008 (Total dissolved solids, nitrate, thermotolerant coliforms, pH, electrical conductivity turbidity) were selected as well as other color, temperature and iron indicators for the municipality of Soledade, since better laboratory support was made available. The sample period of the analyzes was May to October 2014 (Cabaceiras), from August to December 2016 (Juazeirinho) and from June to November 2017 (Soledade), totaling 30, 8 and 20 analyzes respectively. The raw waters of the wells were classified as brackish, according to CONAMA Resolution 357/2005. The iron, turbidity, pH, color and temperature indicators were in compliance with the Maximum Permissible Values (MPV) established in Ministry of Health Ordinance 2,914 / 2011, while the nitrate indicator exceeded its MPV in most points, and the solid indicator total samples did not conform to their standard at the points analyzed (PS8 and PS9). Anthropogenic sources of contamination were identified, evidenced by the presence of microbiological indicators, evidencing health risks for the human consumption of these waters. The waters of the wells under study were classified as class 4, according to CONAMA Resolution 396/2008, and that can only be used, without treatment, for non potable purposes.

Keywords: Groundwater. Alternative solutions for water supply. Indicators of water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de aquíferos quanto à porosidade.....	20
Figura 2.2 – Distribuição dos aquíferos brasileiros.....	21
Figura 2.3 – Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do Polígono das Secas.....	22
Figura 2.4 – Representação esquemática de (a) difusão, (b) osmose e (c) osmose inversa.....	27
Figura 2.5 – Equipamento de dessalinização via osmose reversa	28
Figura 2.6 – Apresentação dos componentes do sistema de dessalinização.....	29
Figura 2.7 – Fontes de contaminação por nitrato.....	35
Figura 2.8 – Padrão microbiológico da água para consumo humano.....	37
Figura 3.1 – Localização dos municípios de Soledade, Juazeirinho e Cabaceiras na SBHRT.....	39
Figura 3.2 – Sub-bacia do Rio Taperoá no estado da Paraíba.....	40
Figura 3.3 - Mapa com os poços registrados no SIAGAS nos municípios de Cabaceiras, Soledade e Juazeirinho – PB	42
Figura 3.4 – Município de Cabaceiras – PB e vias de acesso	43
Figura 3.5 – Ilustração dos pontos de amostragem PC1B (a), PC2B (b), PC3B (c) e PC4D (d) no município de Cabaceiras.....	44
Figura 3.6 – Ilustração dos pontos de amostragem PC5B (a) e PC6B (b) de Cabaceiras.....	45
Figura 3.7 – Localização geográfica do município de Juazeirinho – PB.....	46
Figura 3.8 – Pontos de amostragem na comunidade Mendonça.....	47
Figura 3.9 – Localização geográfica do município de Soledade – PB.....	48
Figura 3.10 – Amostragem do poço PS8 (a - ponto de coleta; b - assepsia do local; c - amostra para análises físico-químicas; d- amostra para análises microbiológica) de Soledade.....	50
Figura 3.11 – Amostragem do poço PS9 (a - ponto de coleta de água bruta – PS9B; b - ponto de coleta de água dessalinizada – PS9D; c - ponto de coleta de água filtrada – PS9F; d - ponto de coleta do rejeito – PS9R) de Soledade.....	50
Figura 4.1 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores pH, condutividade elétrica e Nitrato nos poços de Cabaceiras.....	54
Figura 4.2 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores condutividade elétrica e Nitrato nos poços de Juazeirinho.....	57

- Figura 4.3 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores pH, condutividade elétrica turbidez, Nitrato, salinidade e sólidos totais dissolvidos nos poços de Soledade.....61
- Figura 4.4 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns de água bruta de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.....63
- Figura 4.5 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns de água tratada de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Padrão de turbidez pós-filtração.....	33
Tabela 3.1 – Localização regional dos municípios da SBHRT.....	41
Tabela 3.2 – Elementos descritivos dos sistemas de soluções alternativas de Cabaceiras - PB.....	44
Tabela 3.3 – Elementos descritivos dos pontos amostrais em Juazeirinho – PB.....	47
Tabela 3.4 – Elementos descritivos dos poços em Soledade – PB.....	49
Tabela 4.1 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Cabaceiras...	52
Tabela 4.2 – Estatística descritiva de temperatura e turbidez das amostras de Cabaceiras.	52
Tabela 4.3 – Estatística descritiva de pH, condutividade elétrica e nitrato das amostras de Cabaceiras.....	53
Tabela 4.4 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de água coletadas em Juazeirinho.....	56
Tabela 4.5 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Juazeirinho..	56
Tabela 4.6 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Soledade.....	58
Tabela 4.7 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de água bruta coletadas em Soledade.....	59
Tabela 4.8 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de águas bruta, filtrada, dessalinizada e rejeito coletadas em Soledade.....	60
Tabela 4.9 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Soledade.....	60
Tabela 4.10 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns as localidades de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.....	62

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
CPRM- Serviço Geológico do Brasil
ETA- Estação de Tratamento de Água
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS- Ministério da Saúde
NBR- Norma Brasileira
OMS- Organização Mundial de Saúde
PNRH- Política Nacional dos Recursos Hídricos
PSA – Plano de Segurança da Água
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
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.....	13
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	15
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Recursos hídricos no Brasil.....	16
2.1.1 Águas superficiais.....	16
2.1.2 Águas subterrâneas.....	17
2.2 Aquíferos.....	19
2.2.1 <i>Tipos de aquíferos</i>	19
2.2.3 <i>Aquífero cristalino</i>	22
2.2.2 <i>Classificação e enquadramento das águas subterrâneas</i>	23
2.2.3 <i>Poluição da água subterrânea</i>	24
2.3 Ciclo hidrológico.....	25
2.4 Tratamento da água de fontes alternativas de abastecimento.....	25
2.3.1 <i>Osmose reversa</i>	26
2.4.2 <i>Vantagens e desvantagens do processo de dessalinização</i>	30
2.4 Indicadores de qualidade físico-química da água.....	31
2.4.1 <i>pH</i>	32
2.4.2 <i>Turbidez</i>	32
2.4.3 <i>Condutividade elétrica</i>	33
2.4.4 <i>Temperatura</i>	34
2.4.5 <i>Nitrato</i>	34
2.4.6 <i>Sólidos totais dissolvidos</i>	35
2.4.7 <i>Ferro</i>	36

2.5 Indicadores microbiológicos de qualidade da água	37
2.5.1 <i>Bactérias do grupo coliforme</i>	38
3.0 METODOLOGIA.....	39
3.1 Área de estudo	39
3.2 Definição dos pontos de monitoração na sub-bacia do Rio Taperoá.....	41
3.2.1 Pontos de amostragem no município de Cabaceiras - PB.....	42
3.2.2 Pontos de amostragem no município de Juazeirinho - PB.....	45
3.2.3 Pontos de amostragem no município de Soledade – PB.....	48
3.3 Tratamento estatístico dos dados	51
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 Cabaceiras	52
4.2 Juazeirinho	55
4.3 Soledade.....	58
4.4 Avaliação das águas subterrâneas brutas e tratadas das localidades estudadas	62
5.0 CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1.0 INTRODUÇÃO

A água é uma riqueza natural, essencial para a sobrevivência e desenvolvimento humano, fundamental para os ecossistemas e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas. Mas, infelizmente, esse recurso encontra-se, cada vez mais, limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem, degradando a qualidade das fontes de água superficiais e subterrâneas, prejudicando e limitando o acesso aos menos favorecidos com essas fontes de água (PAZ et al., 2000).

O aumento progressivo da demanda de água em todo o mundo, deve-se ao expansivo crescimento populacional somado aos avanços dos processos industriais e crescente produção de alimentos. Em regiões com grande disponibilidade de água, existe o problema da baixa qualidade, tornando-a imprópria para o uso humano. Essa situação é agravada pela existência de fontes poluidoras diversas no entorno dos corpos d'água (SALGADO, 2016).

A exploração de água subterrânea, através de poços, desempenha um papel importante no acesso à água em regiões com estiagem e/ou seca prolongadas, tornando-se na maioria das vezes, a única solução para disponibilizar água para as atividades domésticas e os múltiplos usos da população (TUCCI et al., 2000).

Correspondendo a 97% de toda a água salobra disponível no mundo, as águas subterrâneas destacam-se pela sua importância na disponibilidade hídrica mundial (SHIKLOMANOV e RODDA, 2003). As fontes subterrâneas normalmente são formadas e realimentadas pelas águas precipitadas da atmosfera, que fluem lentamente pelos espaços intersticiais das rochas. Geralmente essas fontes subterrâneas possuem água de boa qualidade para o uso humano, devido ao processo de filtração pelas rochas e as reações químicas e bioquímicas naturais (CIÊNCIA VIVA, 2017).

É muito importante monitorar e avaliar a qualidade da água subterrânea, uma vez que fontes difusas, naturais ou antropogênicas, podem alterar sua qualidade. Essa avaliação deve ser baseada em indicadores físicos, químicos e microbiológicos conforme estabelecido na legislação, particularmente naquela sobre controle e vigilância da qualidade da água. Ao longo dos anos, a cada revisão da legislação, particularmente do padrão de potabilidade, tem ocorrido um aumento do número de indicadores de qualidade para a monitoração da água. Mas, a Resolução CONAMA 396/2008 recomenda um número mínimo de indicadores (sólidos totais dissolvidos, nitrato, coliformes termotolerantes, pH, turbidez e condutividade elétrica) a serem determinados na avaliação da qualidade da água subterrânea (ALVARENGA et al., 2012).

No Brasil, especificamente no semiárido nordestino, há um histórico de baixos índices pluviométricos que, somados às limitações relacionadas à gestão dos recursos hídricos e à carência de ações de saneamento básico contribuem para o agravamento das condições de vida da população, caracterizadas por baixos níveis de desenvolvimento humano na maior parcela dos municípios (ANA, 2013).

Devido a esse histórico dos recursos hídricos no semiárido nordestino, em que muitas localidades, a exemplo daquelas da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, área do estudo, as populações buscam fontes alternativas de abastecimento, frequentemente nos lençóis de água subterrânea (VARMA e MICHAEL, 2012).

Diante disso, torna-se evidente a necessidade do monitoramento da qualidade das águas de soluções alternativas adotadas pela população, uma vez que os aquíferos estão sob perigo de contaminação, na maioria das vezes, por ação antrópica (RUY e REIS, 2012). Também ocorre o risco da diminuição nos níveis dos aquíferos, nos casos em que a vazão retirada seja superior à capacidade de recarga, ação esta que impossibilita tal uso por concentrar ainda mais os sais presentes na água subterrânea (EISSA et al., 2013).

Dessa forma, recomenda-se a utilização dos indicadores mínimos recomendados pela Resolução CONAMA n° 396/2008, os quais estão em conformidade com a Portaria n° 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a fim de estabelecer planos de gerenciamento dos recursos hídricos, visando a proteção da saúde de toda a população beneficiada e a preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Este trabalho é um estudo sobre a qualidade da água de soluções alternativas de abastecimento na região da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, especificamente nos municípios de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade. A relevância deste estudo é decorrente da alta procura pela extração das águas subterrâneas que, em muitos casos, é realizada de forma incorreta, no que diz respeito à capacidade de recarga do aquífero. Muitos poços não disponibilizam água de boa qualidade, devido as águas agregarem as características geológicas do meio, podendo causar danos à saúde de quem consumir tal água sem o devido tratamento.

Diante desse fato, muitos poços estão sendo equipados com sistemas de tratamento por dessalinização, via osmose reversa, tratamento este que retira grande parte do excesso de sais, entre outras espécies presentes na água subterrânea, tornando-a de melhor qualidade dos pontos de vistas, físico-químico, microbiológico e organolético. Vale lembrar que tal processo de tratamento produz, em paralelo, um subproduto altamente salino (concentrado) prejudicial

para o meio ambiente e impróprio para o consumo humano, assim como para diversas outras aplicações.

A pesquisa objeto do presente trabalho faz parte de um projeto de extensão da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), que possui como meta a transferência do saber por parte da UEPB e a disponibilidade da prefeitura de cada município atendido sobre o trabalho a ser realizado, a fim de propor medidas, recomendar ações e minimizar erros existentes relacionados à temática em estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água subterrânea de soluções alternativas de abastecimento na sub-bacia do Rio Taperoá.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar indicadores físico-químicos de qualidade da água subterrânea suprida por soluções alternativas;
- Verificar a presença de indicadores microbiológicos de qualidade da água subterrânea suprida por soluções alternativas;
- Avaliar a adequação dessas águas para consumo humano.
- Correlacionar o comportamento dos indicadores de qualidade com interferências antrópicas

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Recursos hídricos no Brasil

O Brasil situa-se de forma privilegiada com relação à disponibilidade de recursos hídricos. Aproximadamente 12% dos recursos hídricos do planeta estão distribuídos no Brasil, fazendo com que a média do volume de água por pessoa seja bem superior ao mínimo, de 1.700 m³ por habitante por ano, estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) (BRASIL, 2010).

Apesar disso, esse recurso essencial à vida não chega a todos os brasileiros na mesma quantidade, qualidade e regularidade. Doenças simples relacionadas à falta de abastecimento são registradas, ano após ano, em diversas localidades, principalmente aqueles locais mais pobres e menos favorecidos quanto à disponibilidade de água doce.

Torna-se importante abordar com maior ênfase como os recursos hídricos estão sendo utilizados no Brasil e também como devem ser tratados e preservados para o futuro, numa perspectiva de uma melhor relação entre demanda e disponibilidade de recursos hídricos no Brasil.

2.1.1 Águas superficiais

As águas superficiais são aquelas que, ao se acumularem na superfície, são escoadas formando rios, riachos, lagos, lagoas, pântanos, entre outros. Ao não penetrarem no solo, as águas superficiais acabam formando as principais fontes de abastecimento de água doce da Terra (SABINO et al., 2009). O Brasil é o maior detentor mundial de água doce superficial do planeta, dispondo de um potencial de 12%, sendo maior que o do continente Europeu 7% (ANA, 2013).

A questão da seca na região do nordeste do Brasil representa um verdadeiro desafio para os planejadores e para a população em geral. Essa região semiárida brasileira possui uma disponibilidade hídrica superficial reduzida, devido aos baixos níveis de precipitação e intermitências dos cursos de água somados a 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 (ANA, 2013).

Segundo Ribeiro (2010), o nordeste brasileiro é a região semiárida mais açudada do planeta, com aproximadamente 70 mil reservatórios superficiais, em uma distribuição

geográfica de um açude a cada 14 km² por toda a superfície do chamado “polígono das secas”, sendo os principais reservatórios Castanhão 6,7 bilhões m³ e Orós 2,5 bilhões m³ no Ceará e Eptácio pessoa na Paraíba 536 milhões m³.

Além de um recurso imprescindível à vida, a água também é um insumo de desenvolvimento. Associada às políticas públicas viciadas em corrupção, como historicamente praticadas na região, a escassez de água é um dos principais fatores de origem da miséria regional (SOARES et al., 2005).

De acordo com Lima et al. (2014) essa problemática é somada à má qualidade dos poucos recursos hídricos disponíveis, muitas vezes devido ao alto grau de sais neles dissolvidos, como também às ações externas provocadas pelo homem ou mesmo por características naturais (rochas) dos corpos hídricos. A disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os diversos usos, em especial, água para abastecimento humano, é uma preocupação da humanidade e tem sido debatida em diversas regiões, principalmente as semiáridas. Pode-se dizer que existe uma relação entre a qualidade da água e as atividades humanas, sejam elas rurais, industriais ou urbanas.

A ausência de planejamento adequado da ocupação do espaço de uma bacia hidrográfica e do uso múltiplo da água, tende a acarretar consequências negativas aos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Diante disso, grande parte dos recursos hídricos superficiais do Brasil encontra-se com algum tipo de poluição, principalmente nos casos de cursos d'água que atravessam áreas urbanas ou áreas de agricultura intensiva (SANTOS, 2012).

2.1.2 Águas subterrâneas

Água subterrânea é toda aquela que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que, sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade), desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (ABAS, 2016). A Resolução CONAMA nº 396/2008, define água subterrânea de forma mais simplificada, porém correta, como toda aquela que ocorre naturalmente ou artificialmente no subsolo.

Do mesmo modo como a divisão das águas superficiais é muito variável, a das águas subterrâneas também é, uma vez que elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas. Entretanto, as águas subterrâneas no mundo

(10.360.230 km³) são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km³). Embora elas encontrem-se armazenadas nos poros e fissuras milimétricas das rochas, estas ocorrem em grandes extensões, gerando grandes volumes, distribuídos em uma área aproximada de 134,8 milhões de km² (SHIKWMANOV, 1998), constituindo-se em importantes reservas de água doce.

Além do mais, a quantidade de água capaz de ser armazenada pelas rochas e pelos materiais não consolidados, em geral, está relacionada com as características do material rochoso, tamanho e capacidade de retenção dos poros e fraturas existentes.

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km³ (112 trilhões de m³) e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km³/ano (MMA, 2003). Nem todas as formações geológicas possuem características hidrodinâmicas que possibilitem a extração econômica de água subterrânea para atendimento de médias e grandes vazões pontuais.

Águas subterrâneas são fontes de água potável para muitas pessoas no mundo, especialmente em áreas rurais, sendo vastamente utilizadas em abastecimento, irrigação, indústrias, minerações e geração de energia geotérmica (SABINO et al., 2009). Uma ampla variedade de espécies químicas e biológicas encontradas nas águas subterrâneas constitui seus contaminantes: materiais orgânicos, inorgânicos e radioativos, além de bactérias e vírus (ABAS, 2013).

Esses contaminantes podem ser do próprio corpo hidrogeológico como também oriundos do solo, que, infiltram-se no subsolo e depositam-se nas rochas, que possuem grande capacidade de retenção de substâncias (SABINO, 1998). Dentre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana destacam-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação: nitrogênio amoniacal e albuminoide, nitrito e nitrato (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Quando a capacidade de retenção do solo é ultrapassada, poluentes agregam-se às águas, que se infiltram, podendo, após algum tempo, atingir os depósitos de águas subterrâneas (ROMERO, 1991). Uma vez contaminadas as águas subterrâneas podem tornar-se impróprias para os múltiplos usos.

Considerando que os depósitos subterrâneos são reservas de água predominantemente doce e sua proteção é de vital importância no acesso à água (ABAS, 2013), é importante a conscientização de todos sobre a importância desse precioso recurso natural, pois, sem efetivas mudanças comportamentais da sociedade e sem a aplicação concreta da legislação e diretrizes de proteção ambiental, dentro de poucas décadas estaremos

sujeitos a um verdadeiro colapso da disponibilidade de água, colocando em risco o suprimento de água para a humanidade (BRASIL, 2013).

A captação da água através de poços desempenha importante papel no desenvolvimento socioeconômico nacional (SANTOS, 2012). Ela vem sendo utilizada para diversos fins, sendo o abastecimento humano como prioridade. Os municípios do Brasil, são em sua maioria, concedidos por rede geral de abastecimento 77,8%, contudo, existe um crescente uso das águas subterrâneas como solução alternativa de abastecimento, sendo 15,6% dos municípios atendidos exclusivamente por essas águas e, 6,6% mediante outras formas de abastecimento (IBGE, 2010).

Tomando como exemplo o estado de São Paulo, 71,6% dos municípios são abastecidos, total ou parcialmente com água subterrânea, sendo que 47,7% são abastecidos totalmente por esse recurso, ou seja, dos 645 municípios, 308 são totalmente dependentes dos recursos hídricos subterrâneos, com uma média de mais de cinco milhões de pessoas fazendo uso dessa água todos os dias (MONTEIRO, 2003).

2.2 Aquíferos

Os aquíferos são formações ou grupos de formações geológicas que podem armazenar água subterrânea. São compostas por rochas porosas e permeáveis com capacidade de armazenar água e cedê-la em quantidade expressiva e com reais possibilidades de extração a baixo custo (SALGADO, 2017).

Os aquíferos são recarregados através da infiltração e percolação da água precipitada e por meio da interação dos cursos d'água e de aquíferos vizinhos. Outra forma de recarga é por fontes artificiais, tais como: águas residuárias e por vazamento de redes de distribuição, excessos da água de irrigação, entre outras. Os volumes das recargas são dependentes da interação dos diversos fatores hidrogeológicos, das condições climáticas, da existência, ou não, de áreas mais intensamente povoadas e da forma de utilização e ocupação do solo (BRASIL, 2013).

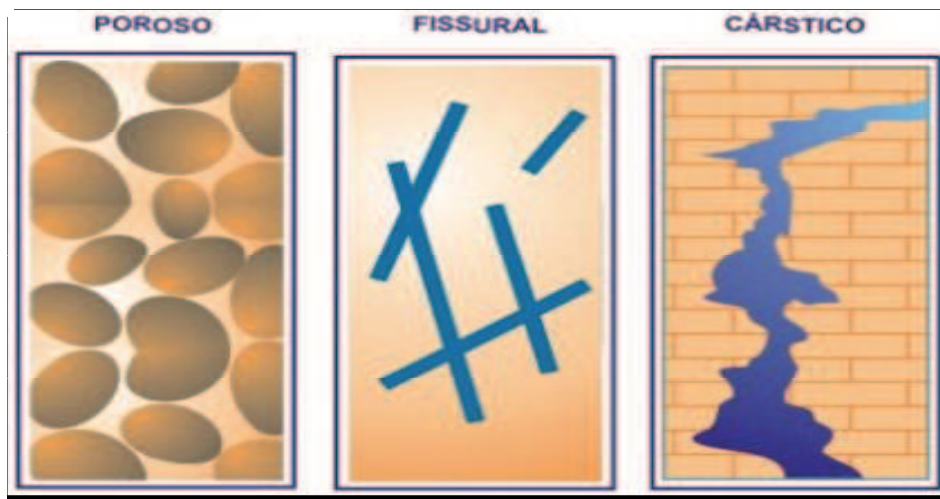
2.2.1 Tipos de aquíferos

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua quantidade no interior do corpo hidrogeológico. Essa litologia é

decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias), determinando os diferentes tipos de aquíferos (ABAS, 2013)

Segundo Tucci et al. (2007), os aquíferos são classificados quanto às suas características hidrodinâmicas (livres ou freáticos) ou geológicas (porosos, fissurais e cársticos). A Agência Nacional das Águas (ANA) classificou, no relatório da “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil” de 2013, os três tipos de aquíferos existentes, conforme ilustrado na Figura 2.1:

Figura 2.1 – Tipos de aquíferos quanto à porosidade



Fonte: ANA, 2013.

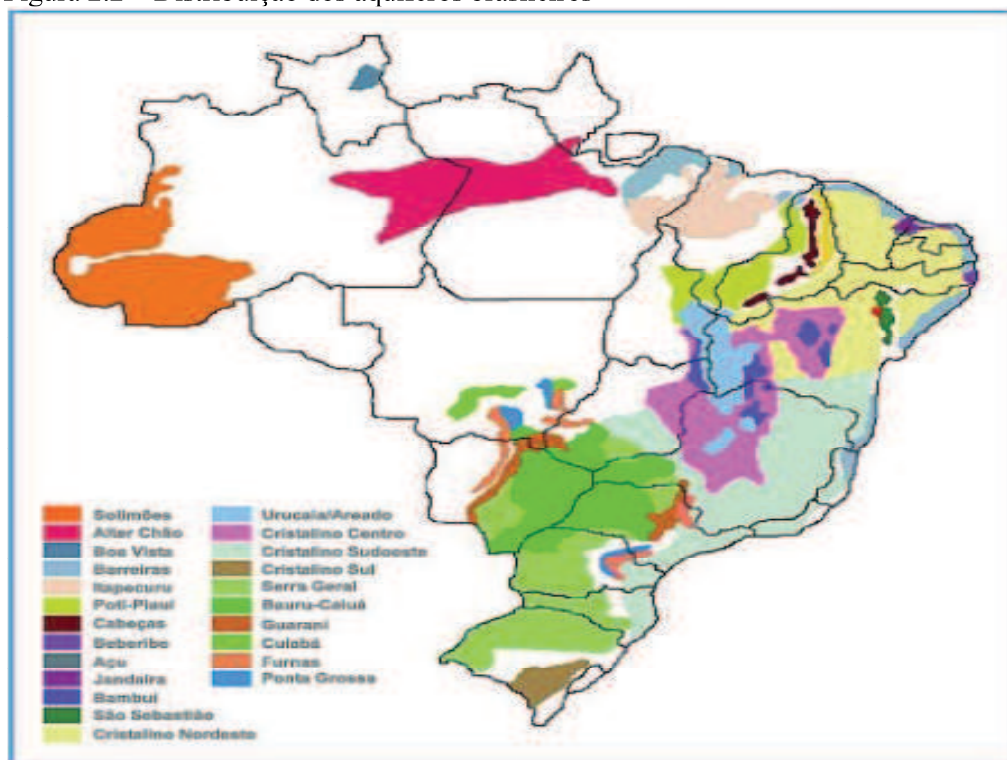
- **Aquíferos porosos ou sedimentares** – São formados por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a movimentação da água se dá através dos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada, constituindo os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam. Esse tipo de aquífero tem sua particularidade por possuir uma porosidade predominantemente homogênea, possibilitando que a água flua em qualquer direção.
- **Aquíferos fraturados ou fissurais** – São constituídos por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. O acúmulo de água se dá em função da quantidade de fraturas e aberturas, permitindo a infiltração e o fluxo da água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, as quais, quase sempre, tendem a determinar cursos característicos.

- **Aquíferos cársticos** – São formados em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a movimentação da água se faz nas fraturas e outras descontinuidades (diáclases) que resultam da solubilização do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas ordinariamente duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

As características hidrogeológicas diferem entre aquíferos e sistemas de aquíferos aflorantes. Como exemplo temos o *sistema aquífero fraturado do semiárido*, constituído por rochas cristalinas/fraturadas, o qual é predominante na região do semiárido nordestino, que apresenta uma precipitação média anual inferior a 800 mm com risco de seca superior a 60% (CPRM, 2005). A Figura 2.2 ilustra a distribuição espacial dos principais aquíferos no território brasileiro.

Os aquíferos e sistemas de aquíferos aflorantes somam aproximadamente 181, devido às diversas características hidrogeológicas que o território brasileiro dispõe. Segundo Vilar (2016), estão distribuídos em 151 aquíferos sedimentares, 26 aquíferos cársticos e 4 aquíferos cristalinos.

Figura 2.2 – Distribuição dos aquíferos brasileiros



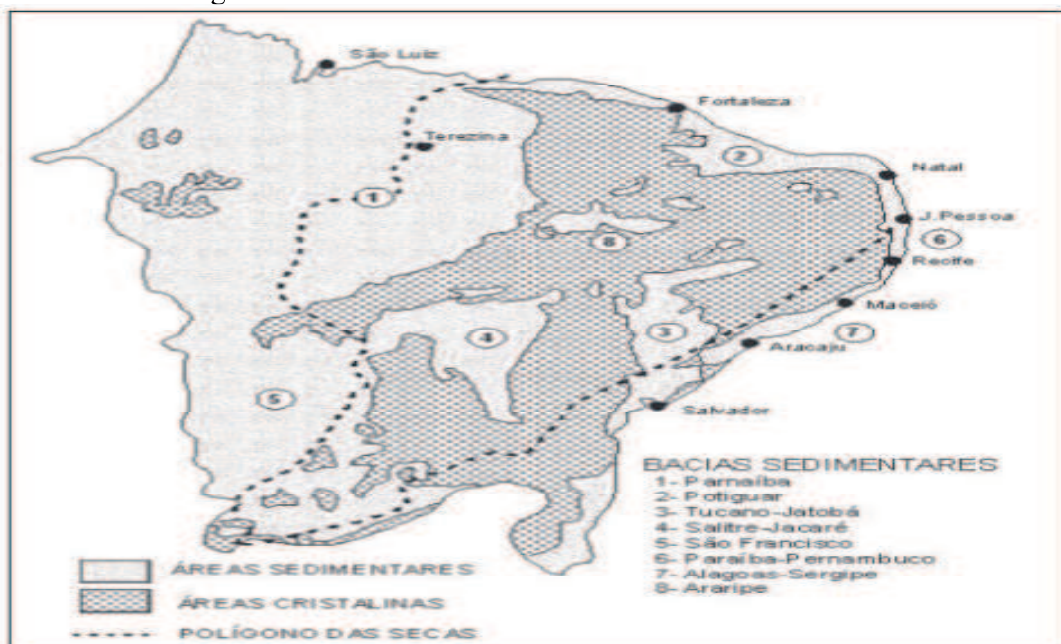
Fonte: MMA, 2003.

2.2.3 Aquífero cristalino

O aquífero cristalino possui uma formação geológica dominada por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. Nas rochas cristalinas as fraturas e/ou fissuras são os condutos através dos quais a água subterrânea se movimenta, uma vez que a matriz da rocha é considerada praticamente impermeável (MANOEL, 2006).

O semiárido nordestino brasileiro apresenta grande predominância de rochas cristalinas, ocupando em torno de 50% do seu subsolo, como pode ser observado na Figura 2.3. O aproveitamento de água subterrânea entre as rochas sempre foi uma escolha bem considerada, em virtude da carência de outros recursos hídricos. Nas estiagens prolongadas, essa é, muitas vezes, a única alternativa para a sobrevivência dos animais e suprimento humano (PEREIRA, 2015).

Figura 2.3 – Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do Polígono das Secas



Fonte: Adaptado de Cirilo, 2008.

Esses aquíferos, geralmente não acumulam grandes volumes de água, os quais ficam limitados em suas fraturas e/ou fissuras por longos períodos de tempo. Esse longo tempo de contato da água com as rochas cristalinas, favorecerá a decomposição das rochas e, conseqüentemente, agregará características físico-químicas àquele corpo d'água subterrâneo.

2.2.2 Classificação e enquadramento das águas subterrâneas

A Resolução CONAMA nº 396/2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, sendo este um dos principais instrumentos da gestão das águas subterrâneas. Nessa resolução é enfatizada a importância de identificar os múltiplos usos dessas águas e sua respectiva qualidade físico-química e microbiológica, com o objetivo de guiar os usos preponderantes mais restritivos de acordo com a qualidade da água, como também o enquadramento das águas subterrâneas.

A classificação das águas indica a situação real e atual do corpo hídrico de acordo com os dados coletados. O Capítulo II da Resolução CONAMA nº 396/2008, no Art. 3, assim estabelece:

Artigo 3º As águas subterrâneas são classificadas em;

- Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
- Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

A aplicação do instrumento do enquadramento a um determinado corpo hídrico, baseia-se em um cenário futuro e ideal a ser buscado para tal manancial. De acordo com o Art. 29 da Resolução CONAMA nº 396/2008, o enquadramento das águas subterrâneas deve atender ao seguinte:

Artigo 29. O enquadramento será realizado por aquífero, conjunto de aquíferos ou porções desses, na profundidade onde estão ocorrendo as captações para os usos preponderantes, devendo ser considerados no mínimo:

- I - a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica;
- II - a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição;
- III - o cadastramento de poços existentes e em operação;
- IV - o uso e a ocupação do solo e seu histórico;
- V - a viabilidade técnica e econômica do enquadramento;
- VI - a localização das fontes potenciais de poluição;
- VII - a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas

2.2.3 Poluição da água subterrânea

Desde o início da humanidade a água tem sido utilizada como meio de disposição, depuração, dispersão e transporte de águas residuárias (domésticas e industriais, águas de drenagem de minas, de drenagem urbana, águas de retorno da irrigação, por exemplo) (GASTAUDINI et al., 2003).

Além dos diversos usos diretos, várias atividades humanas têm efeitos indiretos e indesejáveis sobre os ambientes aquáticos, a saber: desmatamento e urbanização, liberação acidental de substâncias químicas e de águas residuárias, lixiviação de resíduos sólidos e excessivo uso de fertilizantes e agrotóxicos (SANTOS, 2012).

Derivado das atividades humanas citadas, um dos principais problemas ambientais dos ecossistemas aquáticos é o processo de eutrofização (fertilização com nutrientes), que causa grandes impactos negativos ecológicos, econômicos e de saúde, mediante a deterioração da qualidade da água. Segundo Molica et al. (2009) o enriquecimento das águas com nutrientes provenientes de esgotos urbanos, efluentes provenientes de atividades agropastoris e industriais, principalmente nitrogênio e fósforo, é considerado a principal causa da contaminação das águas subterrâneas.

Em geral, as águas subterrâneas são menos poluídas que as águas superficiais, pois não estão sujeitas à contaminação direta da ação antrópica, ou seja, o solo age como barreira protetora, onde só o que infiltra e percola no solo, chegará ao lençol subterrâneo (STRUCKMEIER et al., 2008). De acordo com Tundisi (2003), o crescimento populacional, a industrialização acelerada, a modificação no uso do solo (agricultura), somam-se, com maior risco, à qualidade natural dos reservatórios subterrâneos de água. Contaminada, a água subterrânea demandará operações unitárias complexas para sua remediação, as quais são onerosas e exigem um longo período de tempo para sua reestruturação (SILVA, 2011).

2.3 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é um fenômeno constituído por circulação fechada da água, entre a superfície da Terra e a atmosfera, sendo sempre impulsionado pela energia solar, a gravidade e a rotação da Terra (TUCCI, 2000).

A quantidade de água que entra e sai de uma certa porção nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera em um determinado intervalo de tempo é denominado de balanço hídrico, sendo representado matematicamente (Equação 1), englobando cada etapa desse processo (BRASIL, 2005).

$$\{\Delta S = P - Es - E' - Ev - T\} \quad (1)$$

P: Precipitação
 Es: Escoamento superficial total
 E': Escoamento subterrâneo total
 Ev: Evaporação total
 T: Transpiração
 ΔS: Variação de armazenamento

Os distintos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica dependem das características do local onde ela se insere. Flora, fauna, relevo, uso e ocupação do solo e os fenômenos meteorológicos, interagem e condicionam a resposta hidrológica da bacia. As diferentes ações antrópicas em determinadas áreas transformam as estruturas físico-químicas e biológicas dos ecossistemas naturais e alteram o ciclo hidrológico, reduzindo, desta forma, a oferta de água e, conseqüentemente, a queda da qualidade dos recursos hídricos (MANANDHAR et al., 2011).

2.4 Tratamento da água de fontes alternativas de abastecimento

As constantes estiagens do Nordeste e a atual escassez hídrica vivida no semiárido brasileiro têm incitado a procura por alternativas capazes de reduzir a demanda e elevar a oferta hídrica. Diante disso, a Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJ) aprovou o Projeto de Lei do Senado (PLS) nº 51, de 2015, que quebra a exclusividade no abastecimento de água por parte da concessionária pública (AGÊNCIA SENADO, 2015).

O objetivo é permitir que haja, concomitantemente, o fornecimento de água potável por fontes alternativas de abastecimento, como o reuso da água de chuva e águas residuais. A

intenção da proposta é elevar a disponibilidade hídrica e reduzir o consumo de água potável para fins não potáveis, contudo essa proposta altera vários artigos da Lei Federal do Saneamento Básico nº 11.445/2007, tais como Arts. 3º, 5º, 19 e 45, acrescenta o art. 45-A, e altera o art. 40 da Lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade), para regular o abastecimento de água por fontes alternativas, tais como água de reuso e água de chuva, determinando sua inclusão em planos diretores e planos de saneamento básico, bem como a exceção da exclusividade no abastecimento de água pela rede pública (AGÊNCIA SENADO, 2015).

Uma das principais fontes alternativas de água utilizadas no nordeste brasileiro é obtida por meio da perfuração de poços, uma prática bastante antiga, a qual tomou grandes proporções na década de 1960 e cresce continuamente por meio de novas tecnologias, a fim de atender a demanda por água potável. Conforme os dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), o Brasil possui atualmente 299.389 poços cadastrados, sendo que 19.085 estão situados no estado da Paraíba (SIAGAS, 2018).

Sabendo que a água subterrânea tende a agregar as características do embasamento rochoso ao qual esteja confinada, devido ao tempo de contato, que na maioria dos casos é prolongado por muitos anos, a água comumente não se adequa ao consumo humano por apresentar excesso de sais, nutrientes ou até mesmo bactérias e vírus patogênicos. Com isso, processos de tratamento como destilação, coagulação forçada e dessalinização são utilizados nessas águas com a finalidade de torná-las potáveis para o ser humano (HOWE et al., 2016).

A tecnologia de dessalinização, via osmose reversa (OR), é o tratamento mais utilizado no Nordeste brasileiro para tratar água salobra de poços, por ser fácil de instalar e operar e por sua principal finalidade, que é reduzir a concentração de sais inicialmente presente, sendo considerado excelente para tornar águas salobras em potáveis (HOWE et al., 2016).

A implantação evolutiva dessa tecnologia tem importante participação no processo de melhoria da qualidade de água em regiões que sofrem com longos períodos de estiagem, porém pressupõe avaliações no que se refere ao manejo do subproduto (concentrado) gerado nesse processo, devido aos possíveis impactos ambientais negativos a ele associados, podendo causar danos ao sistema solo-água-plantas e meio-ambiente (LABORDE et al., 2000).

2.3.1 Osmose reversa

Osmose é uma palavra que vem do grego (osmós) e significa "impulso" e passou a ser aplicada em processos industriais na década de 1960. Desde a década de 1980 o emprego

de membranas semipermeáveis sintéticas em aplicações industriais passou a se difundir, ampliando o campo de aplicação desse processo (SATTAMINI, 2009).

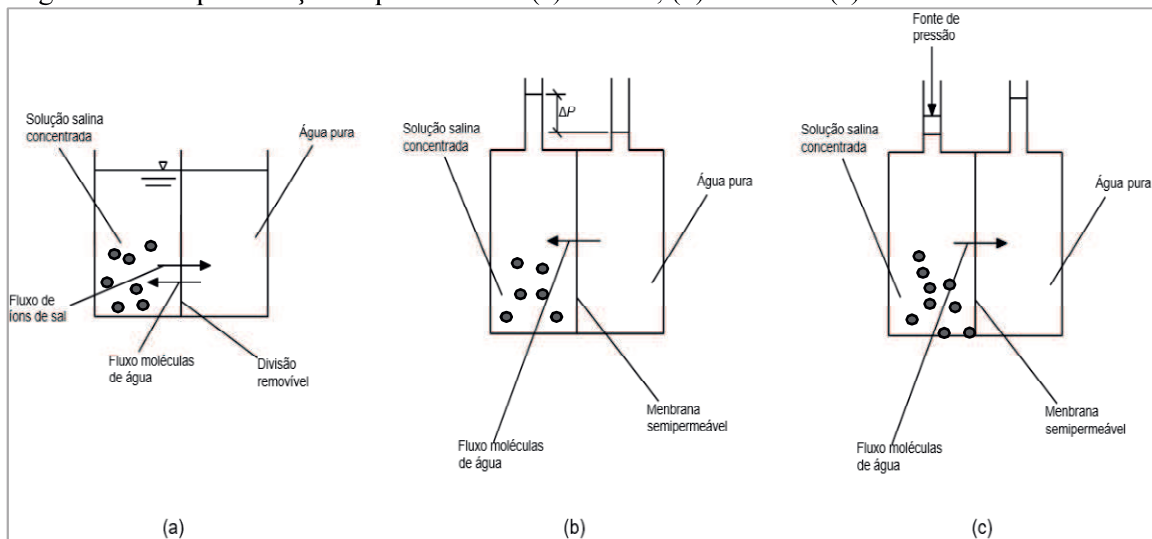
Para compreender a osmose, é necessário ter conhecimento do conceito de difusão, ou seja, quando uma solução diluída é colocada em contato com uma solução concentrada, ocorre a movimentação dos íons em direção à solução diluída e a movimentação de água pura em direção à solução mais concentrada, conforme a Figura 2.4a. A esse fenômeno se dá o nome de difusão (SOARES et al., 2006).

Entender a pressão osmótica é fundamental para compreender a osmose reversa (OR). A osmose é o fluxo de solvente através de uma membrana semipermeável, de uma solução diluída (hipotônica) para uma concentrada (hipertônica). A osmose limita o fluxo por meio de uma membrana de OR, provocando uma força motriz para o fluxo na direção oposta (Figura 2.4b). A membrana semipermeável permite o fluxo de água, mas impede parcialmente o fluxo de sal, o qual deve ser equilibrado pela difusão (HOWE et al., 2016).

Considerando-se que o interesse seja aumentar o volume da água potável, deve-se aplicar uma pressão extra, superior à pressão osmótica, capaz de suplantar o potencial osmótico da solução mais concentrada, extraíndo da solução concentrada a água pura no sentido da solução menos concentrada (Figura 2.4c). Como, neste caso, a água pura estaria se movimentando em sentido contrário ao sentido natural da osmose, chama-se de osmose reversa (LABORDE et al., 2001).

Na Figura 2.4, pode ser observada, com maior clareza, a diferença do comportamento sobre cada fenômeno anteriormente abordado (difusão, osmose e osmose inversa), conforme ilustrado, esquematicamente.

Figura 2.4 – Representação esquemática de (a) difusão, (b) osmose e (c) osmose inversa.



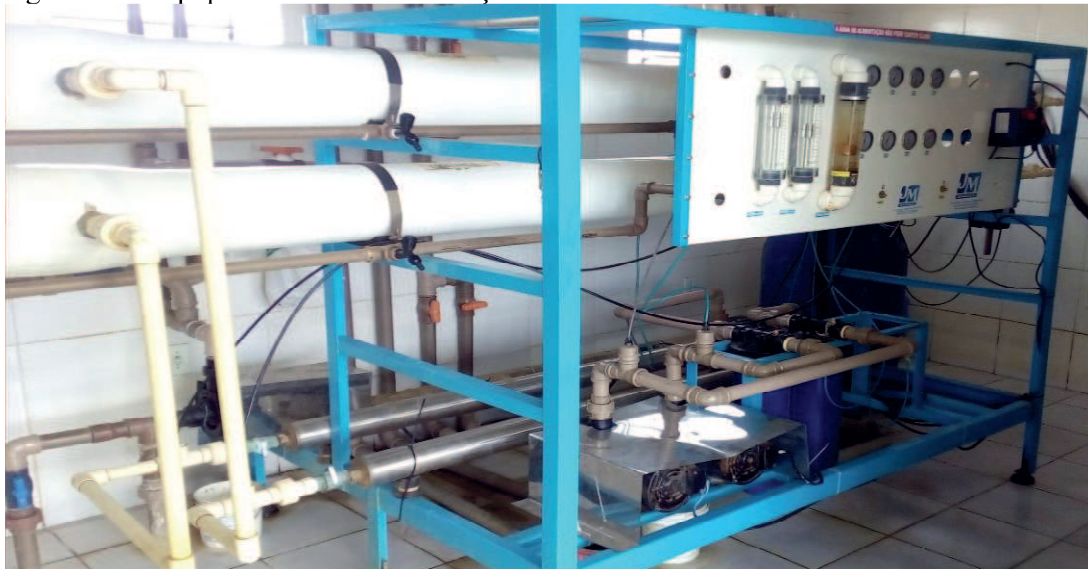
Fonte: Adaptado de HOWE et al., 2016.

Segundo Juan (2000), dois aspectos são primordiais para a dessalinização por osmose reversa: a existência de fonte de energia para vencer o potencial osmótico da água salina, ou seja, para ‘inverter a direção’ que ocorreria na osmose, e a qualidade da membrana semipermeável que irá separar os sais.

O desempenho da membrana é fortemente afetado pelas propriedades físicas e químicas do material. O material de membrana ideal é aquele que pode produzir um fluxo elevado sem sofrer obstrução ou incrustação e é durável fisicamente, quimicamente estável, não biodegradável, quimicamente resistente e de baixo custo (HOWE et al., 2016).

Contudo, independentemente da eficiência da membrana ou da estrutura instalada (Figura 2.5), o sistema de osmose reversa produzirá sempre uma água potável, como também uma água residuária (concentrado). Considerando o poder poluente do concentrado, altamente salino, deve-se almejar a melhor escolha para sua destinação, especialmente porque quase sempre os cursos d’água e o solo são os principais meios para sua disposição (AMORIM, 2010).

Figura 2.5 – Equipamento de dessalinização via osmose reversa



Por meio da Eq. 2, determina-se o percentual de recuperação de água potável (%R), ou seja, quanto de água potável (V_p) se produz a partir de dado volume de água na alimentação do sistema (V_a). Mediante a Eq. 3, por sua vez, avalia-se o percentual de rejeição de sais, isto é, a eficiência da membrana (%E) em separar os sais da água de alimentação.

$$\%R = \frac{V_p}{V_a} \times 100 \quad (2)$$

$$\%E = \left(\frac{C_p}{C_a} - 1 \right) \times 100 \quad (3)$$

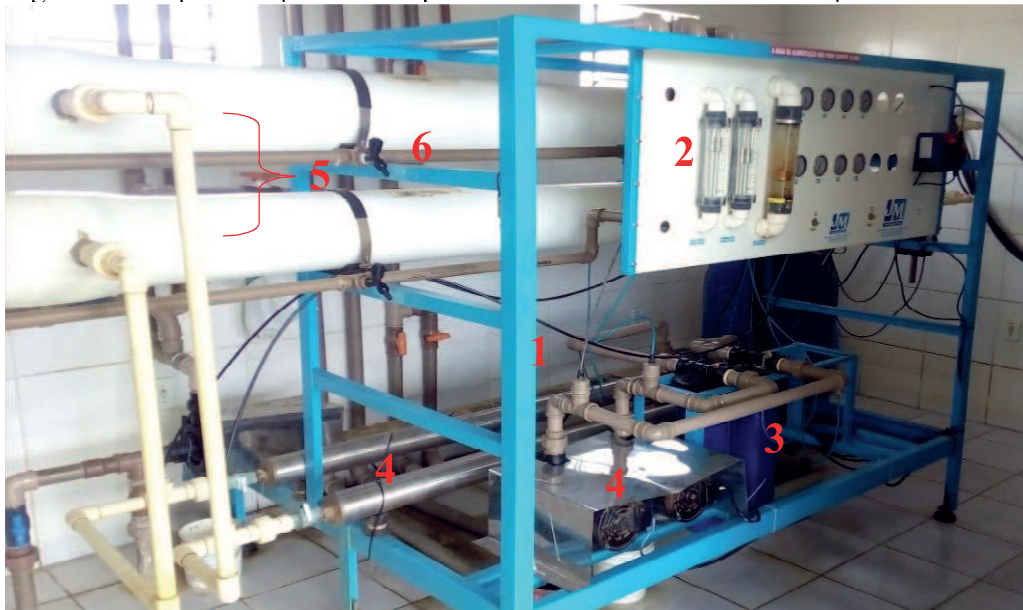
em que:

C_p – concentração de sais na água dessalinizada

C_a – concentração de sais na água a dessalinizar

Segundo Alves (2013), para a construção de um dessalinizador via osmose reversa, são necessários inúmeros equipamentos, conforme ilustrado na Figura 2.6. Todos esses equipamentos, operados de forma correta, possibilitarão um bom rendimento e eficiência no processo de dessalinização, consequentemente, a produção de uma água de boa qualidade.

Figura 2.6 – Apresentação dos componentes do sistema de dessalinização



- 1 - Estrutura metálica: é a parte que sustenta o equipamento;
- 2 - Sistema elétrico: são todos os componentes elétricos da instalação, como o quadro elétrico e motores;
- 3 - Filtros: possuem a capacidade de reter as impurezas através da utilização de elementos filtrantes;
- 4 - Bombas: incluem uma bomba para o poço e outra de alta pressão, conhecida também como “booster”;
- 5 - Permeadores: são os vasos de pressão, onde se encontram as membranas;
- 6 - Acessórios: são as tubulações, registros, válvulas e etc.

2.4.2 Vantagens e desvantagens do processo de dessalinização

A tecnologia da dessalinização é aclamada como uma resposta positiva para a escassez de água em todo o mundo e está sendo desenvolvida e incentivada em áreas que estão perto de oceanos e com falta de abastecimento de água doce (MORAIS, 2006). O clima semiárido, o baixo índice de pluviosidade e solo cristalino fazem com que o nível de salinização de lençóis subterrâneos do Nordeste Brasileiro, seja mais elevado. Boa parte dos lençóis subterrâneos constitui-se de águas salobras, as quais possuem quantidades menores de sais que a água do mar, contudo, não são caracterizadas como potáveis para o ser humano. Diante dos fatores anteriormente abordados, a utilização de processos de dessalinização é largamente empregada para obter água potável (ALVARENGA, 2012).

A remoção do sal da água do mar e de águas salobras, principalmente na região Nordeste do Brasil, é feita atualmente por osmose reversa, processo este que tem como vantagens em relação aos demais sistemas dessalinizadores, destilação por exemplo, menor relação custo-benefício e a praticidade do sistema. Como utiliza um processo de separação por membranas semipermeáveis, a quantidade de energia necessária para extrair os sais é muito menor que a exigida pelo processo de destilação. Além disto, permite também eliminar bactérias, vírus, fungos e outros agentes causadores de doenças (patogênicos), contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população (SCAPINI, 2007).

Em comparação com o processo de troca iônica, a osmose reversa apresenta a vantagem de não ser necessária a etapa de regeneração, método que, além de interromper a produção, também consome uma quantidade considerável de produtos químicos (SCAPINI, 2007). No entanto, a dessalinização não é um processo à prova de falhas e traz consigo muitas repercussões ambientais as quais levam muitos interessados a pensar duas vezes antes de iniciar projetos desse tipo (PESSOA, 2000).

Na maioria dos processos de dessalinização, o qual possui em média 64 instalações no semiárido da Paraíba (pertencendo ao Programa água doce), aproximadamente um terço da água salobra transforma-se em água potável, enquanto os dois terços restantes são descartados como salmoura (rejeito), líquido com alta concentração de sais. Contudo, ambos os volumes (água potável e concentrado) dependerão do tipo de membrana utilizada no processo de OR. O descarte dos resíduos é um dos grandes problemas da dessalinização, causando danos ao meio ambiente. No solo, a salmoura inibe o crescimento das plantas deixando-o inviável para a agricultura, também pode matar a vida aquática sensível ao sal ao entrar em contato com a água doce, como também, contaminar os lençóis de água subterrânea (BRASIL, 2016).

Uma desvantagem acentuada da dessalinização é a elevada demanda por energia, visto que o processo de osmose reversa utiliza membranas semipermeáveis e necessita de altas pressões, conseqüentemente com consumo elevado de energia (SCAPINI, 2007). Diante disso, o aumento da produção de água e a diminuição do volume de concentrado estão em uma área de pesquisa ativa.

Segundo Moura (2009), pesquisas vêm sendo realizadas pelo Laboratório Lawrence Livermore, dos Estados Unidos, desenvolvendo uma membrana a partir da nanotecnologia, feita com nanotubos de carbono e silício que poderá ser uma forma mais barata e eficiente, de dessalinizar águas salobras. No entanto, nenhuma alternativa, por mais vantajosa que seja, para combater a escassez de água, pode prescindir de uma mudança de atitude da população e autoridades competentes. Enquanto cada cidadão não encarar esse problema como seu, qualquer solução será apenas um paliativo.

Contudo, o crescimento em ritmo acelerado da população, a expansão da urbanização nas zonas áridas, semiáridas e costeiras, a escassez de fontes de água doce, o aumento da contaminação das fontes de água doce, a maior dependência dos oceanos e o suprimento de água por fontes alternativas (águas subterrâneas, águas residuárias tratadas) e as melhorias na tecnologia de purificação de água por membranas têm estimulado o crescimento do número de instalações de dessalinização via osmose reversa (HOWE et al., 2016).

2.4 Indicadores de qualidade físico-química da água

A qualidade da água superficial ou subterrânea pode ser avaliada através de indicadores de qualidade determinados com base em análises laboratoriais, ocorrendo a escolha desses indicadores com base na perspectiva do estudo.

De um modo geral, a seleção do rol de indicadores de qualidade da água é baseada em avaliações da literatura específica, constituída por artigos científicos, trabalhos acadêmicos e, particularmente, pelo arcabouço legal que estabelece os padrões a serem atendidos.

Neste trabalho, baseado em pesquisa de campo, foi realizada uma revisão de artigos científicos sobre a qualidade das águas subterrâneas no contexto da demanda de água potável para o abastecimento humano. Conforme os Artigos 12 e 13 da Resolução CONAMA n° 396/2008, os indicadores mínimos de qualidade da água a serem analisados são sólidos totais dissolvidos, nitrato, coliformes termotolerantes, pH, turbidez e condutividade elétrica. Por seu turno a Portaria n° 2.914/2011, do Ministério da Saúde (dispõe sobre os procedimentos de

controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade) cita toda uma gama de padrões de qualidade para água potável e ressalta em seu Art. 33, que os sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água supridos por manancial subterrâneo, com ausência de *Escherichia coli*, devem realizar cloração da água, mantendo um residual mínimo de cloro no sistema de distribuição (reservatório e rede).

2.4.1 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) exprime a concentração dos íons H^+ na água e descreve a intensidade das condições ácidas ou básicas de um determinado meio aquático (LIBÂNIO, 2008). A determinação do pH é um dos testes mais frequentes e importantes na análise da água devido à sua interferência em reações e processos diversos (POHLING, 2009). A relação do pH com a concentração iônica do hidrogênio é representada na Equação 4.

$$\text{pH} = -\log H^+ \quad (4)$$

No contexto da água para abastecimento o pH mostra sua importância na coagulação química, controle de corrosão, abrandamento e desinfecção. No Art. 39 da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, em seu parágrafo 1º recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

2.4.2 Turbidez

A turbidez na água está relacionada com a presença de materiais em suspensão, a exemplo de silte, argila, plâncton, dentre outros. A turbidez é uma expressão da propriedade ótica que causa dispersão e absorção da luz, ao invés de transmiti-la em linha reta pela água, ou seja, expressa a interferência à passagem de luz através do líquido, portanto, a transparência da água (BRASIL, 2006).

Na água filtrada, a turbidez assume uma função mais relacionada ao fato de servir como indicador sanitário, não exprimindo apenas uma questão estética. A remoção de turbidez por meio da filtração indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo cistos de protozoários infecciosos. A turbidez da água tem grande importância, quando no ambiente aquático predominam processos que dependem da penetração da luz, constituindo-se em um

dos principais parâmetros para seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional de processos de tratamento (SILVA, 2001).

Conforme a Portaria MS n° 2.914/2011 o padrão de turbidez a ser atendido em qualquer ponto da rede de abastecimento, é de 5,0 unidades de turbidez (UT). Na Tabela 2.1 pode ser observado o padrão de turbidez pós-filtração, estabelecido na referida portaria.

Tabela 2.1 – 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 n°2.914/2011

Nota: * Valor Máximo Permitido; ** Unidade de Turbidez.

Como mencionado anteriormente, 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. Contudo, este indicador está enquadrado no grupo dos organoléticos, ou seja, indicadores de características que provocam 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.

2.4.3 Condutividade elétrica

Segundo Pohling (2009) a condutividade elétrica ou condutância específica é a medida da capacidade de condução de corrente elétrica, que depende do número e do tipo de espécies iônicas dispersas na amostra em análise. 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. Dessa forma, pode-se associar a condutividade elétrica à concentração de sólidos totais dissolvidos presentes na forma iônica.

Com isso, a condutividade elétrica é fortemente influenciada pelas características geológicas da bacia hidrográfica, dado que, o tempo de contato da água subterrânea com as rochas, faz com que os sais das rochas sejam dispersos na água, ocorrendo, conseqüentemente, uma maior condutividade elétrica (ABAS, 2013). No semiárido paraibano,

essas características geológicas exercem forte influência, levando à predominância de águas salobras, que propiciam altos valores de condutividade. Com isso alguns problemas podem ser apresentados quando do uso desta água salobra, na agricultura por exemplo, ocasionando problemas futuros ao solo (SOARES et al., 2006).

2.4.4 Temperatura

A temperatura é um dos indicadores mais importantes, estando relacionada à eficiência de processos de tratamento de água (SILVA, 2001). A temperatura está relacionada com o aumento do consumo de água, com a fluoretação, com a solubilidade e a ionização das substâncias coagulantes, com a mudança do pH, com a desinfecção, dentre outros (FUNASA, 2009).

A temperatura está diretamente relacionada à velocidade das reações químicas, à solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático. A variação desse fator em águas naturais decorre, na maioria das vezes, da insolação e, quando possui origem antrópica, sua alteração decorre de despejos industriais e águas de refrigeração de máquinas e caldeiras (LIBÂNIO, 2008).

A Portaria nº 2.914/2011 do MS 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 outros indicadores (SANTOS, 2011).

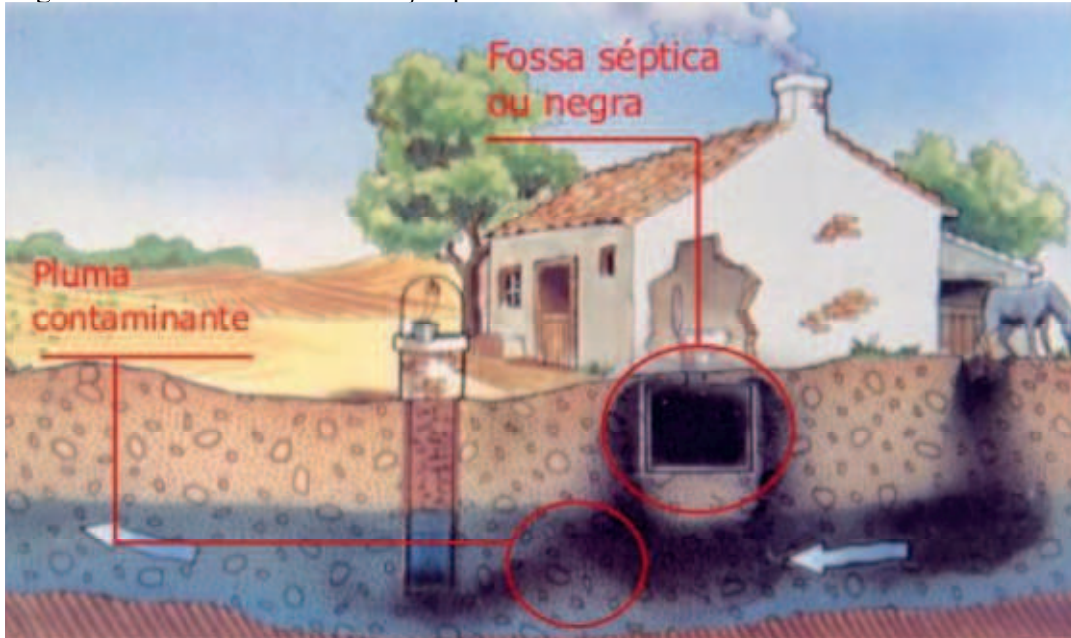
2.4.5 Nitrato

O nitrato é um dos íons mais encontrados em águas naturais, geralmente ocorrendo em baixos teores nas águas superficiais, mas podendo atingir altas concentrações em águas profundas. O seu consumo, através das águas de abastecimento, está associado a dois efeitos adversos à saúde, ou seja, a indução à metahemoglobinemia e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Estudos apontam que as prováveis fontes de nitrato são águas residuárias oriundas, por exemplo, da fuga da rede de esgotos sanitários e dispositivos individuais de tratamento de esgotos, a exemplo de fossas sépticas (AYACH, 2007; RUY E REIS, 2012; LOPES et al., 2010). Em decorrência da maior concentração humana e em razão de um descompasso entre aumento de densidade populacional e a modernização das redes de esgotos, a sobrecarga determina fugas cada vez maiores de águas residuárias, ricas em matéria orgânica nitrogenada

da rede de esgotos, permitindo a produção de nitratos na zona insaturada do terreno (ANDRADE et al., 2008). Sendo solúveis, esses nitratos misturam-se à água subterrânea e, conseqüentemente, são extraídos através da perfuração de poços, como ilustra a Figura 2.7.

Figura 2.7 – Fontes de contaminação por nitrato



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente – SP, 2013.

A determinação de nitrato é relativamente difícil, pois requer métodos complexos, com alta probabilidade de sofrerem influência de interferentes, e os limites de concentração são limitantes de várias técnicas. Métodos de determinação como o da coluna de redução de cádmio e o método colorimétrico do salicilato são mais indicados para pequenas concentrações, garantindo resultados confiáveis em um tempo relativamente pequeno (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

2.4.6 Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) é um indicador de determinação da qualidade da água, onde avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume. As substâncias dissolvidas envolvem o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, cálcio, magnésio, sódio e íons orgânicos, entre outros íons necessários para a vida aquática. Entretanto, quando presentes em excesso, podem ser prejudiciais à saúde (SALGADO, 2017), o que de acordo com a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido para água de consumo humano é de 1000 mg/L.

Os sólidos dissolvidos totais têm uma relação com a condutividade elétrica da água que é uma medida de sua habilidade em conduzir corrente elétrica. Segundo standard methods (2012), a condutividade elétrica pode ser utilizada para estimar a concentração de sólidos totais dissolvidos de uma amostra de água.

2.4.7 Ferro

O ferro é encontrado em águas naturais e principalmente nas águas subterrâneas, como ferro ferroso (Fe^{2+}), por causa da decomposição de materiais orgânicos no solo que gera oxigênio e gás carbônico. Ele é proveniente da dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos. Além disso, o ferro também pode ser proveniente dos despejos industriais nas águas (BRASIL, 2015).

Com funções essenciais para o organismo humano, como o transporte de oxigênio intracelular de elétrons, o ferro (Fe^{2+}) pode ser percebido na água a partir de concentrações de 0,1 mg Fe/L. Essa percepção se dá através da mudança de coloração da mesma, além do gosto desagradável, ou pelo cheiro forte que esta apresenta (POHLING, 2009). De acordo com o padrão estabelecido, a água de uso doméstico não pode exceder a concentração de 0,3 mg Fe/L, pois a presença desse elemento em excesso pode acarretar doenças como cirrose e insuficiência cardíaca.

2.4.8 Cor aparente

A cor aparente é um indicador de qualidade da água que geralmente está associada a presença de metais (Fe, Mn) bem comum em água subterrâneas, matéria orgânica oriunda da degradação de matéria de origem vegetal, como também de plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água (ABAS, 2015).

A determinação de cor da água é feita pela comparação visual com soluções padrões de cloroplatinato de cobalto ou com discos de cor semelhantes à coloração das soluções de cloroplatinato de cobalto. Pode-se determinar a cor verdadeira, amostra sem turbidez, e a cor aparente, amostra com turbidez. Contudo, esse indicador organoléptico, em muitos casos, causa restrição visual ao seu consumo, mas, isso não afirma que a água possa ser imprópria ao consumo humano (ANA, 2013).

2.4.9 Salinidade

A partir da medida de condutividade elétrica podemos estimar a salinidade da água, definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água. Os sais se dissolvem dando origem a íons de carga oposta e, portanto, contribuem para a condutividade elétrica da solução. Usualmente, a salinidade é referida como a massa de sais em uma unidade de massa de água, por isso, é expressada em g/kg (‰).

Essa unidade é definida com base na relação direta entre a condutividade elétrica da água e a sua salinidade, sendo a mais utilizada para armazenar valores de salinidade em bancos de dados. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, as águas classificam-se quanto a salinidade em águas doces, salobras e salinas, apresentando salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ e igual ou superior a 30‰, respectivamente.

2.5 Indicadores microbiológicos de qualidade da água

De acordo com o Artigo 27 da Portaria nº 2.914/2011 do MS, conforme disposto no Anexo I e demais disposições dessa Portaria, a água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico, independente da natureza da água, a qual tenha destino o consumo humano. A Figura 2.8 dispõe o padrão exigido pela Portaria citada, para os indicadores microbiológicos.

Figura 2.8 – Padrão microbiológico da água para consumo humano

Tipo de água		Parâmetro		VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano		Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100 mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽³⁾		Ausência em 100 mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli		Ausência em 100 mL
		Coliformes totais ⁽⁴⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: Brasil, 2011

Nota: (1) Valor máximo permitido; (2) Indicador de contaminação fecal; (3) Indicador de eficiência de tratamento; (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

O objetivo da análise microbiológica da água é fornecer informação a respeito da sua potabilidade, isto é, ausência de risco de ingestão de microrganismos causadores de doenças, geralmente provenientes da contaminação pelas fezes humanas e de outros animais de sangue quente. Vale ressaltar que os microrganismos presentes nas águas naturais são, em sua maioria, inofensivos à saúde humana. Porém, a contaminação por esgoto sanitário enseja a presença de microrganismos que poderão ser prejudiciais à saúde humana, nos quais estão incluídos vírus, bactérias, protozoários e helmintos (FUNASA 2009).

2.5.1 Bactérias do grupo coliforme

Os coliformes constituem um grupo de bactérias indicadoras de contaminação e a maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo (BRASIL, 2011).

Os coliformes totais caracterizam-se por serem um grupo de bactérias gram-negativas, aeróbias ou anaeróbio-facultativas, não formadoras de esporos, oxidase-negativas, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β – galactosidase.

Os coliformes termotolerantes (anteriormente chamados de coliformes “fecais”) reproduzem-se em temperatura de até $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, sendo a bactéria *Escherichia coli* o principal indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos (responsáveis pelo desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar e cólera).

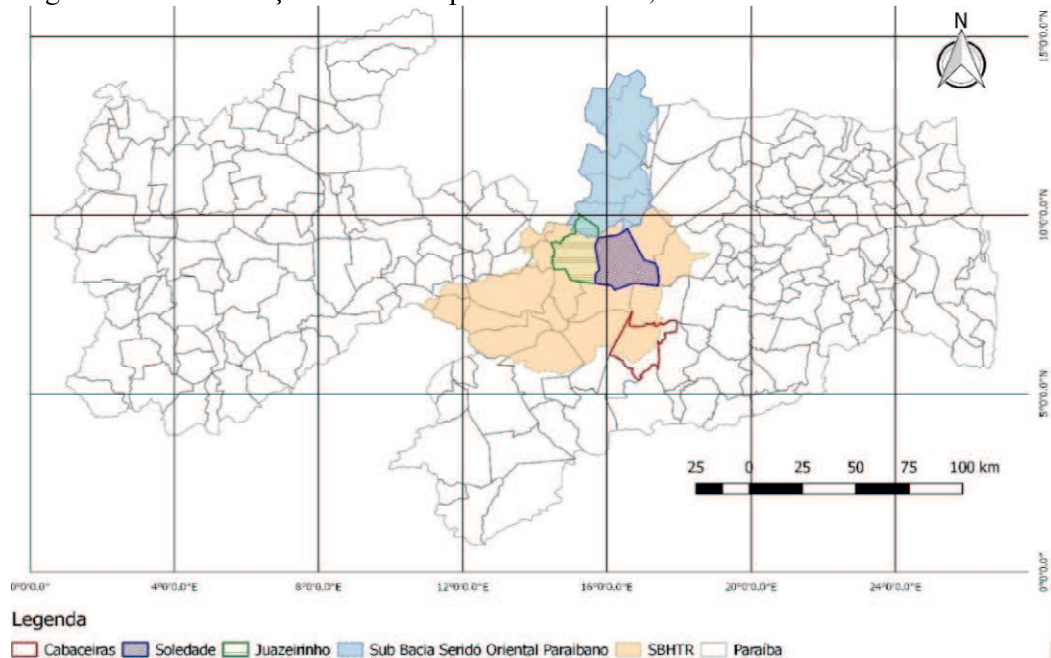
As técnicas mais utilizadas para a determinação de microrganismos (Coliformes totais e termotolerantes) são: Método de fermentação em tubos múltiplos; Método de filtração em membranas e Método do substrato cromogênico (BRASIL, 2011). O método do substrato cromogênico possui uma grande vantagem na determinação de bactérias em relação aos demais, que é o tempo de resposta, ocorrendo de forma simultânea a identificação de coliformes totais e *Escherichia coli*.

3.0 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na área geográfica da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá (SBHRT), nos municípios de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade (Figura 3.1), os quais utilizam água subterrânea como fonte de soluções alternativas de abastecimento. Os 14 pontos analisados são referentes a 9 poços localizados em áreas periurbanas e urbanas das sedes dos municípios citados.

Figura 3.1 – Localização dos municípios de Soledade, Juazeirinho e Cabaceiras na SBHRT

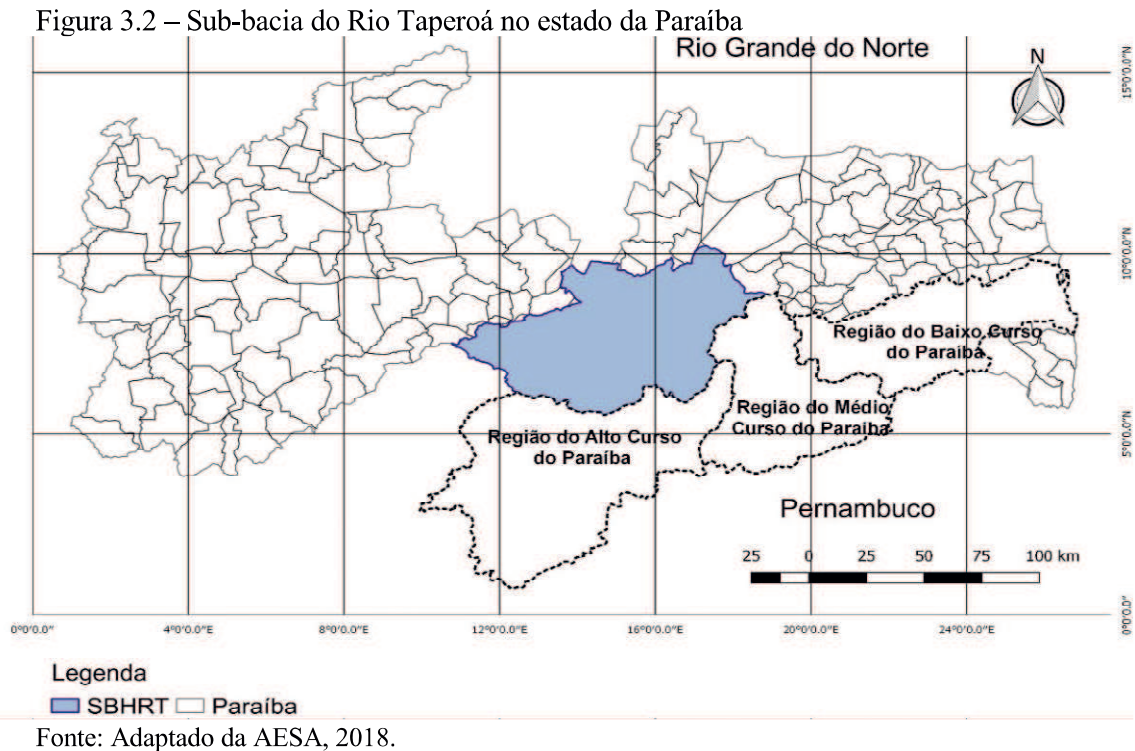


Fonte: Adaptado da AESA, 2018

O rio Taperoá, que dá nome à sub-bacia, tem regime intermitente, nasce na Serra do Teixeira, deságua no rio Paraíba, no Açude Epitácio Pessoa, e recebe contribuições dos seguintes cursos de água: São José dos Cordeiros, Floriano, Soledade e Boa Vista e dos riachos Carneiro, Mucuí e da Serra (ALBUQUERQUE, 2015). Segundo CPRM (2005), na SBHRT há predominância de rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) e existe uma deficiência hídrica em todos os meses do ano, exceto naqueles anos em que os índices pluviométricos ocorreram acima do normal (AESA, 2011).

Essa sub-bacia do Rio Paraíba tem 5.666,38 km² de área, abrange sete microrregiões do estado, apresenta clima semiárido e baixos índices pluviométricos, entre 400 e 600 mm,

concentrados na quadra chuvosa de fevereiro a maio (XAVIER, 2013). A sub-bacia do Taperoá (6°51'47" – 7°34'33" Sul 36°00'10" – 37°14'00" Oeste) localiza-se no Planalto da Borborema (Figura 3.2), com aproximadamente 600m de altitude média, constituindo, em sua maior parte, uma unidade biológica caracterizada predominantemente por caatinga.



O entorno da SBHRT apresenta diversos açudes de pequeno porte que, contudo, não são capazes de satisfazer a demanda por água em períodos prolongados de estiagem. A água subterrânea tem sua qualidade prejudicada pela alta salinidade devido ao embasamento rochoso regional, o que compromete seu uso ao abastecimento humano, industrial e agrícola (OGATA, 2014).

Os municípios da área de estudo têm terras distribuídas entre diferentes bacias hidrográficas. Enquanto os municípios de Juazeirinho e Soledade têm cerca de 90% de suas terras na SBHRT e somente cerca de 10% na bacia do Seridó, o município de Cabaceiras tem sua área distribuída entre a SBHRT e a bacia hidrográfica do Rio Paraíba

Compreendendo um total de 23 municípios (Tabela 3.1), em sua área geográfica (SOUZA et al., 2004), e uma população de aproximadamente 143.000 habitantes, a SBHRT tem um IDH médio de 0,593 com uma densidade demográfica de 63,71 hab/km². No âmbito do saneamento básico, consta que somente 57% das casas possuem rede de abastecimento de

água, 38% realizam esgotamento sanitário por fossas e que 40% não possuem coleta de resíduos sólidos, o que propicia o lançamento desses diretamente em lixões (IBGE, 2010).

Tabela 3.1 – Localização regional dos municípios da SBHRT

Município	Microrregião	Mesorregião	Participação na SBHRT
Assunção	Cariri Ocidental	Borborema	Parcial
Barra de Santa Rosa	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Parcial
Boa Vista	Campina Grande	Agreste Paraibano	Parcial
Cabaceiras	Cariri Oriental	Borborema	Parcial
Cacimbas	Serra de Texeira	Sertão Paraibano	Parcial
Desterro	Serra de Texeira	Sertão Paraibano	Total
Gurjão	Cariri Oriental	Borborema	Total
Juazeirinho	Seridó Oriental	Borborema	Parcial
Junco do Seridó	Seridó Ocidental Paraibano	Borborema	Parcial
Livramento	Cariri Ocidental	Borborema	Total
Olivedos	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Parcial
Parari	Cariri Ocidental	Borborema	Total
Pocinhos	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Parcial
Salgadinho	Seridó Ocidental Paraibano	Borborema	Parcial
Santo André	Cariri Oriental	Borborema	Total
São João do Cariri	Cariri Oriental	Borborema	Parcial
São José dos Cordeiros	Cariri Ocidental	Borborema	Total
Seridó	Seridó Oriental Paraibano	Borborema	Parcial
Serra Branca	Cariri Ocidental	Borborema	Parcial
Soledade	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Parcial
Taperoá	Cariri Ocidental	Borborema	Parcial
Teixeira	Serra de Texeira	Sertão Paraibano	Parcial
Tenório	Seridó Oriental Paraibano	Borborema	Parcial

Fonte: Adaptado de Barreto et al., 2010.

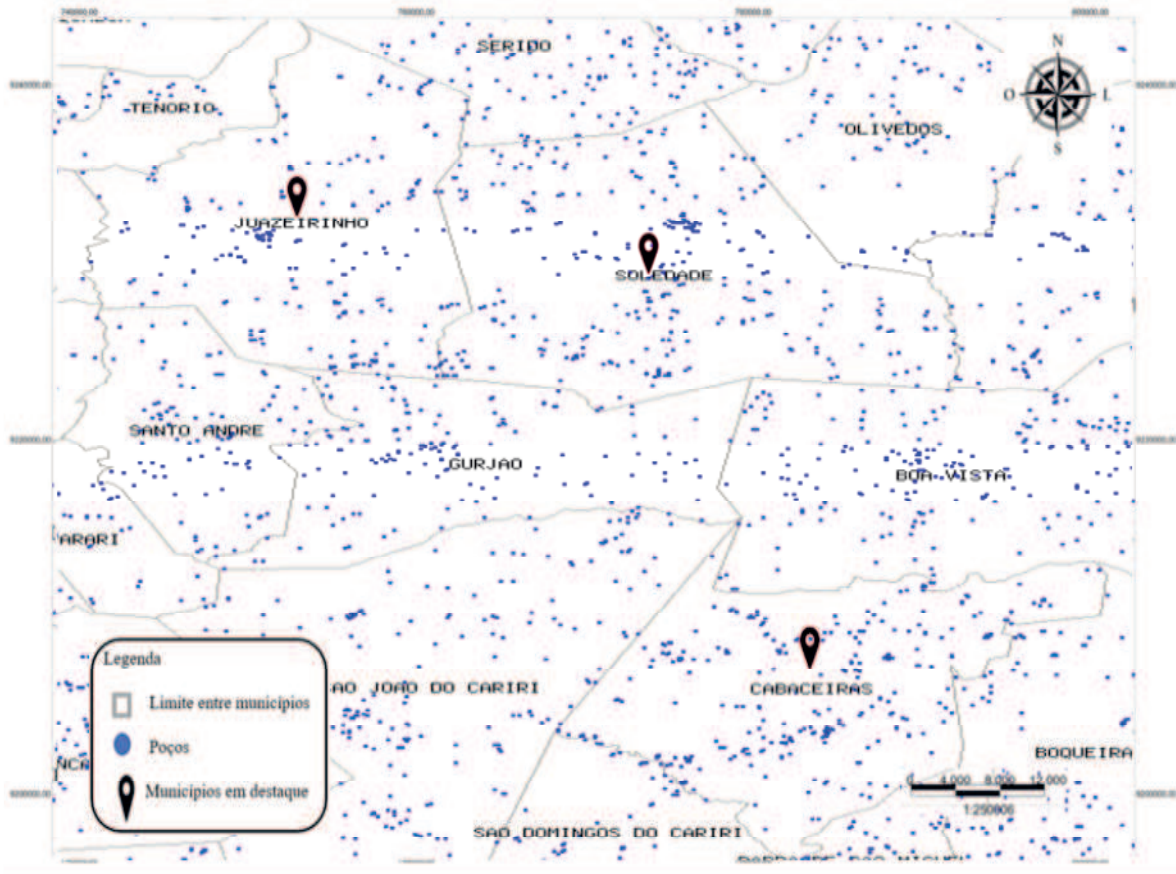
3.2 Definição dos pontos de monitoração na sub-bacia do Rio Taperoá

Os municípios adotados para esta pesquisa foram escolhidos sob o critério de possuírem o maior número de poços profundos na região geográfica estudada, a SBHRT. Segundo o SIAGAS (2017), os municípios de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade, somam aproximadamente 843 poços em um universo de 3.080 (Figura 3.3), evidenciando o quanto essa região semiárida da Paraíba é carente de água doce, e que os reservatórios superficiais não são capazes de suprir a demanda de água existente diante dos períodos de estiagem.

O abastecimento de água, por rede geral, das sedes desses municípios é concedido à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), com água transportada através da

Adutora do Cariri Paraibano, no entanto, as áreas rurais e periurbanas desses municípios são abastecidas por soluções alternativas, por meio de poços e carros-pipa.

Figura 3.3 - Mapa com os poços registrados no SIAGAS nos municípios de Cabaceiras, Soledade e Juazeirinho – PB



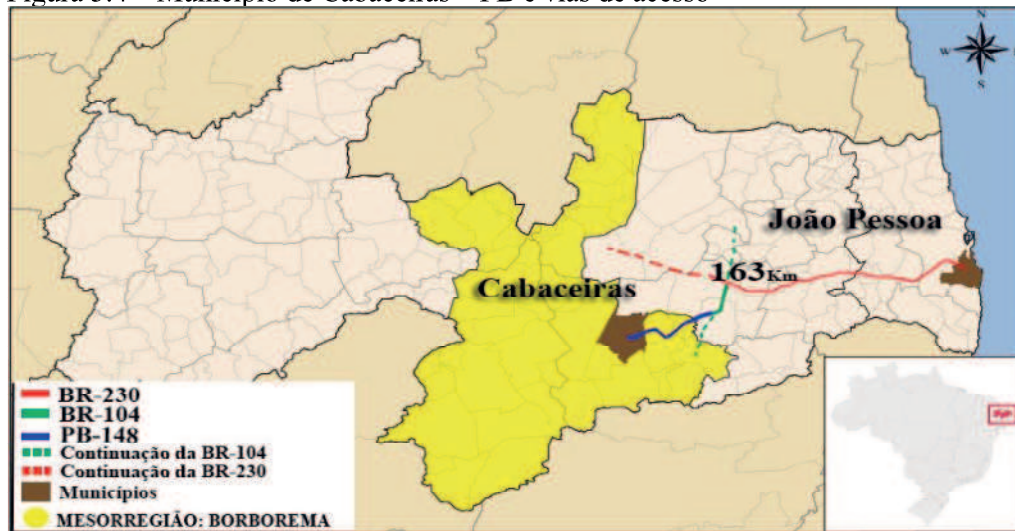
Fonte: Adaptado de SIAGAS, 2017

3.2.1 Pontos de amostragem no município de Cabaceiras - PB

Município do estado da Paraíba, Cabaceiras ($7^{\circ}29'20''$ Sul e $36^{\circ}17'14''$ Oeste) está localizado na mesorregião da Borborema e na microrregião do Cariri Oriental. Possui uma área de cerca de 452 km² e está a 300 metros acima do nível médio do mar, estando sua sede a aproximadamente 180 km da capital do estado, João Pessoa (Figura 3.4).

Segundo a classificação de Köppen, o clima do município é 'As' (quente e seco), com uma das menores médias de precipitação do Brasil (350 mm/ano), temperatura média anual de 24°C, umidade relativa do ar de 63,8% e a evapotranspiração real média anual de 338,4 mm (MEDEIROS et al., 2012), sendo predominante em todo o município uma vegetação do tipo caatinga.

Figura 3.4 – Município de Cabaceiras – PB e vias de acesso



Fonte: Monteiro, 2011.

O município de Cabaceiras, assim como Juazeirinho e Soledade, está situado 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 60 metros de profundidade (AESAs, 2009).

De acordo com o SIAGAS (2017), existem 300 poços no município de Cabaceiras, sendo seis utilizados para captação de água a ser distribuída para a população da sede municipal através de chafarizes. Destes, apenas um é dotado de sistema de dessalinização e todo o funcionamento dos sistemas de soluções alternativas de água é realizado por funcionários da Prefeitura Municipal, não havendo controle de vazão de retirada de água dos poços, tampouco dos chafarizes.

Foram realizadas aproximadamente 30 coletas de amostras, entre maio e outubro de 2014, sendo determinados os indicadores turbidez, pH, condutividade elétrica, temperatura, bactérias (presença de coliformes termotolerantes e contagem de bactéria heterotróficas) e nitrato. Cabe destacar que os dados referentes a essas coletas fazem parte do banco de dados do Grupo de Pesquisa Saúde Ambiental da UEPB e, neste trabalho, foram utilizados como dados secundários para caracterizar a qualidade da água subterrânea da sub-bacia do Rio Taperoá.

A Tabela 3.2 apresenta as características dos pontos amostrados em Cabaceiras, os quais são ilustrados nas Figuras 3.5 e 3.6. Apenas o ponto PC4D (Figura 3.5 d) possui sistema de tratamento (dessalinização). As amostras para análises físico-químicas e microbiológicas foram acondicionadas, sob resfriamento em caixa térmica, e transportadas até o Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Tabela 3.2 – Elementos descritivos dos sistemas de soluções alternativas de Cabaceiras - PB

Identificação do ponto	Ponto de referência	Ano de implantação	Vazão de projeto (l/h)	Profundidade (m)	Coordenadas
PC1B	Xandu	1965	3800	56	7°29'28,6"S 36°17'10,8"W
PC2B	Fórum	1994	4500	46	7°29'11,5"S 36°17'26,7"W
PC3B	Feira	1994	3000	56	7°29'40,3"S 36°17'21,2"W
PC4D	Dessalinizador	1965	3600	74	
PC5B	Campo de futebol	2012	1800	40	7°29'65,3"S 36°17'44,0"W
PC6B	Bairro novo	2012	1600	56	7°29'64,8"S 36°17'59,6"W

Fonte: Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, PMC (2014)

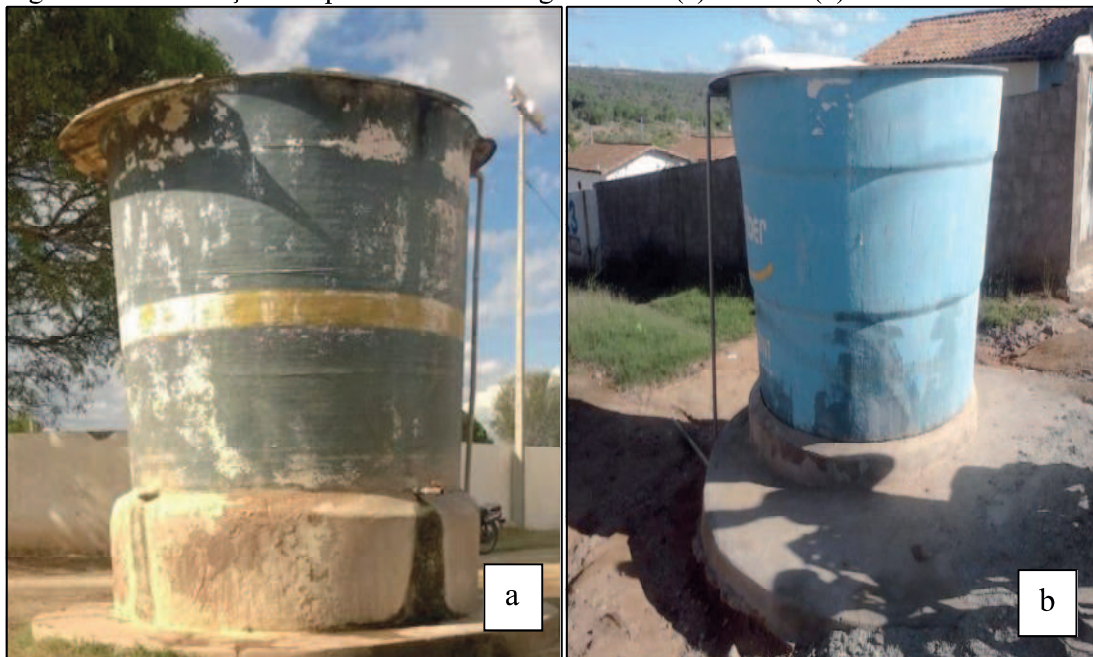
Nota: PC1B - Ponto 1 água bruta, PC2B – Ponto 2 água bruta, PC3B - Ponto 3 água bruta, PC4D - Ponto 4 água dessalinizada, PC5B - Ponto 5 água bruta e PC6B - Ponto 6 água bruta.

Figura 3.5 – Ilustração dos pontos de amostragem PC1B (a), PC2B (b), PC3B (c) e PC4D (d) no município de Cabaceiras.



Nota: PC1B - Ponto 1 água bruta, PC2B - Ponto 2 água bruta, PC3B - Ponto 3 água bruta e PC4D - Ponto 4 água dessalinizada.

Figura 3.6 – Ilustração dos pontos de amostragem PC5B (a) e PC6B (b) de Cabaceiras.



Nota: PC5B - Ponto 5 água bruta e PC6B - Ponto 6 água bruta.

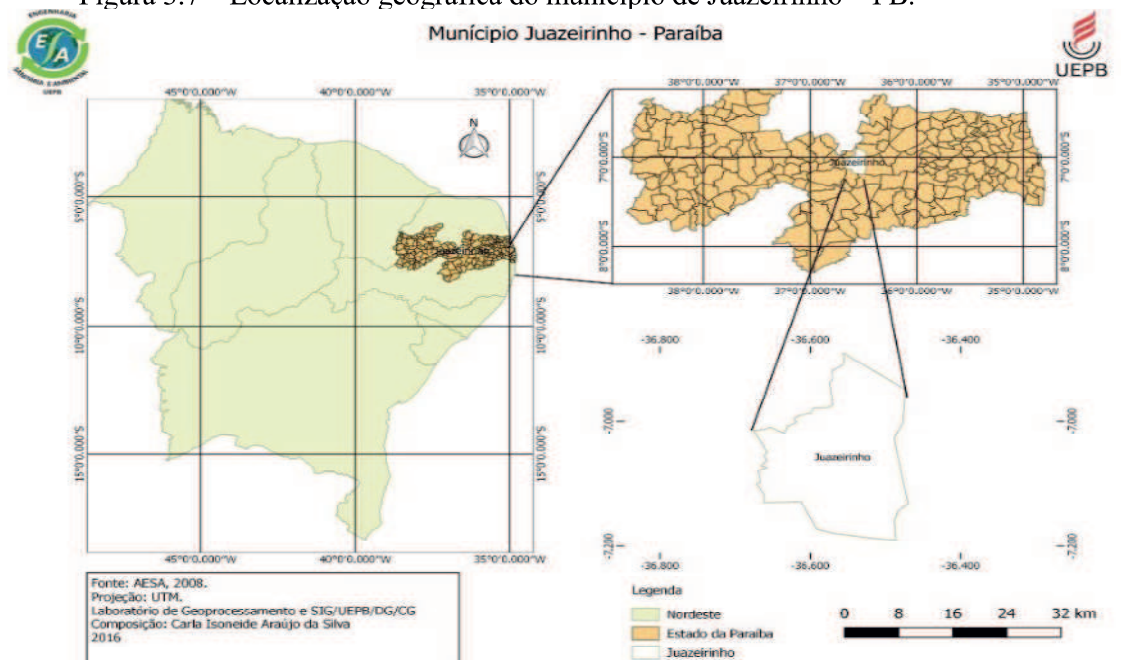
3.2.2 Pontos de amostragem no município de Juazeirinho - PB

Localizado na mesorregião da Borborema e na microrregião do Seridó Oriental (Figura 3.7), o município de Juazeirinho ocupa uma área de 467,5 km², com temperatura média anual de 22°C, limita-se ao norte com os municípios de Parelhas (RN), São Vicente do Seridó e Tenório (PB), a leste com São Vicente do Seridó e Soledade (PB), ao sul com Gurjão e Santo André (PB) e a oeste com Assunção (PB), estando sua sede localizada a aproximadamente 80 km de Campina Grande (PB), segundo maior centro urbano e comercial do estado, e a 212 km de João Pessoa, capital do estado da Paraíba.

De acordo com o IBGE (2010), 54,39% da população Juazeirense residem na zona urbana, o que gera uma alta demanda por água potável, uma vez que a zona urbana necessita de um abastecimento complementar. Em algumas comunidades, na zona rural desse município, há poços que abastecem sistemas de tratamento (dessalinização), com o objetivo de retirar o excesso de sais da água, característica adquirida pela água ao longo do tempo de contato com o embasamento rochoso da região (CPRM, 2009).

Diversas comunidades em Juazeirinho tais como Nicácio, Mendonça, Massapê, Barra e Ipueiras (PMJ, 2015) possuem este sistema de tratamento.

Figura 3.7 – Localização geográfica do município de Juazeirinho – PB.



As comunidades de Mendonça e Massapê fazem parte do Programa Água Doce (PAD), que é uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. O PAD é baseado na implantação de uma política pública permanente de acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, promovendo e disciplinando a implantação, a recuperação e a gestão de sistemas de dessalinização, socialmente sustentáveis, para atender, prioritariamente, as populações de baixa renda em comunidades diversas do semiárido no Brasil (BRASIL, 2016).

O funcionamento de todo o sistema é padrão para os poços inseridos no PAD e é voltado a uma produção sustentável que consiste, primeiramente, na captação da água pelo poço, enviando-a a um dessalinizador, a qual, posteriormente, é armazenada em um reservatório para distribuição (água potável). Em um segundo momento, todo o resíduo (concentrado) produzido pelo dessalinizador é direcionado para um tanque para o cultivo de peixes (tilápia), como também para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummulária*), a qual pode ser utilizada para alimentação de caprinos e equinos da região, finalizando, assim, um ciclo de produção sustentável. A produção de água potável e o aproveitamento econômico do rejeito acrescentam positivamente na melhoria da qualidade de vida da população, causando um forte impacto positivo socioeconômico e minimizando o impacto negativo ambiental. Cada sistema conta com três pontos amostrais, água bruta, água dessalinizada e o rejeito.

O sistema de Mendonça ($7^{\circ}4'010,5''S/36^{\circ}37'010,0''W$), estudado em Juazeirinho, totalizou três pontos amostrais (PJ7B, PJ7D, PJ7R), caracterizados na Tabela 3.3.

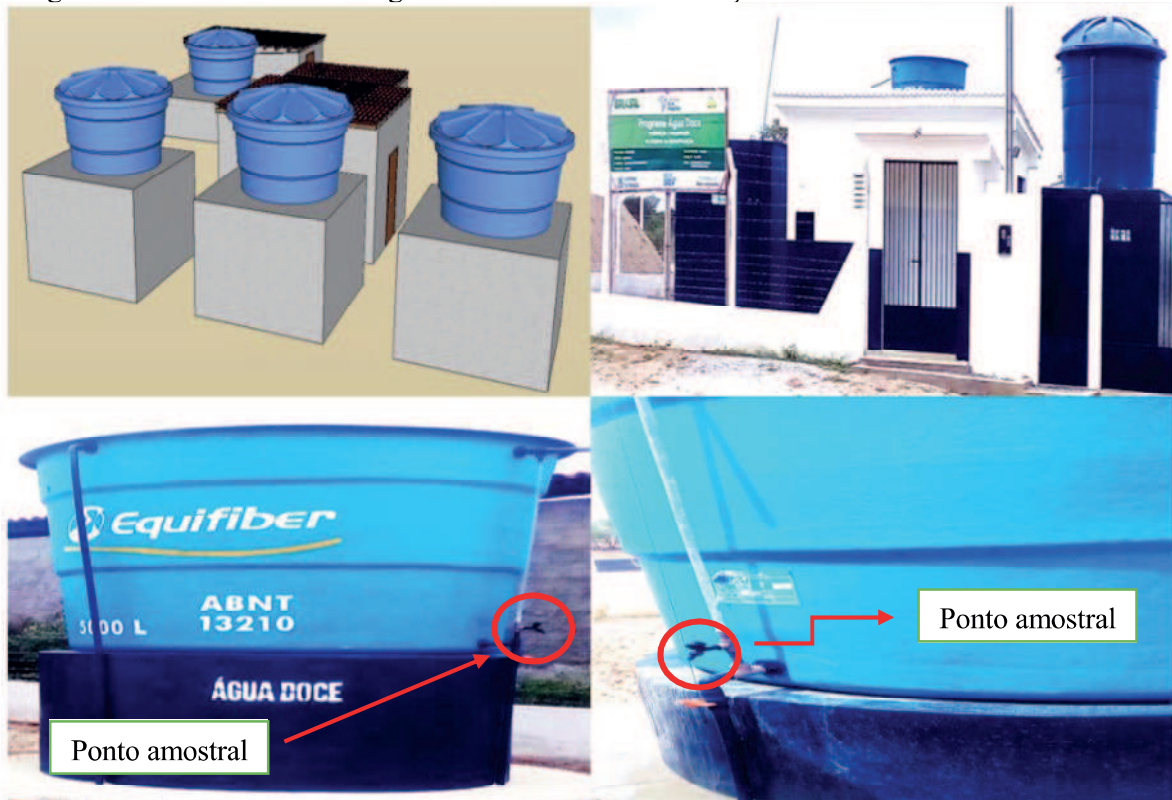
Tabela 3.3 – Elementos descritivos dos pontos amostrais em Juazeirinho – PB

Identificação do ponto	Ponto de referência	Procedência da água	Ano de implantação	Vazão de projeto (l/h)	Profundidade (m)
PJ7B	Comunidade Mendonça	Bruta	1965	4.000	38
PJ7D		dessalinizada			
PJ7R		Rejeito Concentrado			

Nota: PJ7B - Ponto 7 água bruta; PJ7D - Ponto 7 água dessalinizada; PJ7R - Ponto 7 rejeito.

A Figuras 3.8 ilustra as instalações e os pontos amostrais do sistema de Mendonça, sendo as amostras ordinariamente coletadas em torneiras acopladas aos respectivos reservatórios de água.

Figura 3.8 – Pontos de amostragem na comunidade Mendonça



Fonte: PMJ, 2014

As coletas das amostras foram realizadas semanalmente, no período de agosto a dezembro de 2016, totalizando oito coletas para o sistema Mendonça.

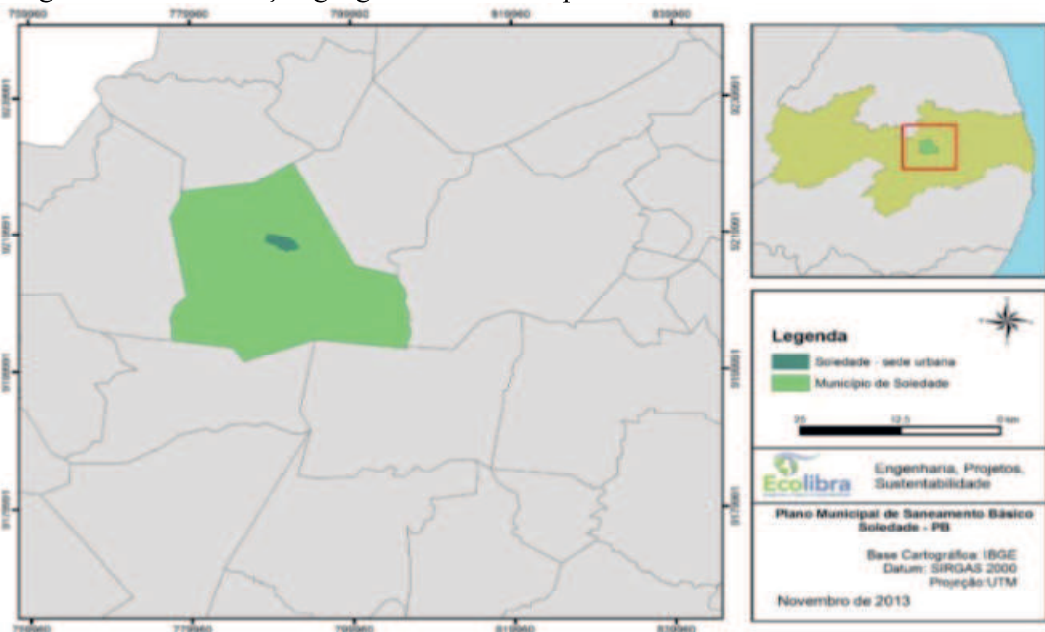
As amostras foram acondicionadas, sob resfriamento, em caixa térmica e transportadas aos laboratórios de análise. As análises microbiológicas, de turbidez e pH foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), da UEPB. As demais análises

(condutividade elétrica, temperatura e nitrato) foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UFCG, na cidade de Campina Grande, PB.

3.2.3 Pontos de amostragem no município de Soledade – PB

O município de Soledade (Figura 3.9) ocupa uma área de 561,5 km², está situado na mesorregião do Agreste Paraibano e na microrregião do Curimataú Ocidental, apresentando temperatura média anual de 22,2°C. Limita-se ao norte com o município de São Vicente do Seridó, ao leste com os municípios de Oivedos e Pocinhos, ao oeste com o município de Juazeirinho e ao sul com os municípios de Gurjão e Boa Vista. A cidade de Soledade está localizada, às margens da BR - 230, a 186 km da capital João Pessoa e a 54 km de Campina Grande, principal centro urbano mais próximo.

Figura 3.9 – Localização geográfica do município de Soledade – PB



Fonte: PMS, 2013.

Dois poços, cujas características são descritas na Tabela 3.4, foram estudados em áreas periurbanas de Soledade - PB, um sem sistema de tratamento (PS8), distribuindo água bruta para a população dos bairros São José e Bairro Novo e outro (PS9) com sistema de tratamento (dessalinização), visando a comercialização de água envasada para todo o município e região.

Tabela 3.4 – Elementos descritivos dos poços em Soledade – PB

Identificação do ponto	Ponto de referência	Procedência da água	Ano de implantação	Vazão de projeto (l/h)	Profundidade (m)
PS8B	Comercial - Gás	Bruta	2014	10.000	45
PS9B	Comercial - distribuidora	Bruta	2014	9.000	72
PS9F		Filtrada			
PS9D		dessalinizada			
PS9R		Rejeito			

Nota: PS8B - Ponto 8 água bruta; PS9B - Ponto 9 água bruta; PS9F - Ponto 9 água filtrada; P9D - Ponto 9 água dessalinizada; PS9R - Ponto 9 rejeito.

O poço PS8 ($7^{\circ}03'31,50''$ Sul $36^{\circ}21'24,93''$ Oeste), sem tratamento, com uma profundidade de 45 metros, foi perfurado no ano de 2014, seu sistema de bombeamento é realizado através de bomba submersa com tubulação de 50 milímetros de diâmetro, vazão de 10.000 L/h e toda a água extraída é armazenada em um reservatório de 10.000 litros de capacidade.

O poço PS9 ($7^{\circ}03'28,97''$ Sul $36^{\circ}21'33,81''$ Oeste), com tratamento, com 72 metros de profundidade, também foi perfurado em 2014. O sistema de bombeamento emprega uma bomba submersa e canalização de 100 mm de diâmetro sendo a vazão média de 9.000 L/h.

O sistema de dessalinização das águas desse poço é de maior complexidade que o de dessalinização convencional, ou seja, por se tratar de um produto com finalidade comercial, alguns critérios de qualidade são mais restritivos por visarem o consumo humano. A diferença do sistema de dessalinização mais complexo para o convencional está na qualidade da membrana filtrante, do tipo *SWC5-LD*, resultando em um produto final com maior nível de pureza, mas requerendo maior potência de bombeamento. O rendimento desse sistema de dessalinização atinge em média 70% em termos de água dessalinizada, bem superior aos 40% do sistema convencional.

As coletas das amostras foram realizadas semanalmente no período de julho a novembro de 2017, totalizando 20 coletas. Os procedimentos de coleta das amostras, bem como para a preparação dos materiais de coleta e análise de amostras, seguiram as recomendações do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2012).

No único ponto de coleta do poço PS8 (Figura 3.10) e nos quatro pontos (água bruta, água filtrada, água dessalinizada e rejeito) definidos no PS9 (Figura 3.11) eram coletadas amostras para análises físico-químicas e microbiológicas.

Figura 3.10 – Amostragem do poço PS8 (a - ponto de coleta; b - assepsia do local; c - amostra para análises físico-químicas; d - amostra para análises microbiológica) de Soledade



Nota: PS8 - Poço 8.

Figura 3.11 – Amostragem do poço PS9 (a - ponto de coleta de água bruta – PS9B; b - ponto de coleta de água dessalinizada – PS9D; c - ponto de coleta de água filtrada – PS9F; d - ponto de coleta do rejeito – PS9R) de Soledade.



Nota: PS9 = Poço 9, PS9B= Ponto 9 água bruta; PS9D= Ponto 9 água dessalinizada; PS9R= Ponto 9 rejeito.

Em todos os casos as amostras eram acondicionadas, sob resfriamento, e encaminhadas aos laboratórios de análise. As análises microbiológicas e de ferro foram

realizadas no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) na Universidade Estadual da Paraíba. As demais análises (turbidez, cor, pH, salinidade, sólidos totais dissolvidos, temperatura e nitrato), foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade da Água da CAGEPA (R1), na cidade de Campina Grande – PB.

3.3 Tratamento estatístico dos dados

Os dados brutos das variáveis analisadas foram inicialmente lançados em planilhas do aplicativo Excel (2016), sendo inspecionados pelo método de Grubbs para verificar a ocorrência de valores extremos (outliers). Foi aplicado o método não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a verificação do ajuste dos conjuntos de dados à distribuição normal, sendo, quando necessário, aplicadas transformações àqueles conjuntos não ajustados visando atingir essa condição. Foram estimados os parâmetros estatísticos descritivos dos diferentes conjuntos de dados e aplicada análise de variância (ANOVA) de um fator, a fim de verificar diferenças significativas entre as médias dos grupos de dados de uma mesma variável e, em seguida, foi aplicado o método gráfico GT-2 para diferenciar individualmente os grupos de dados que eram estatisticamente semelhantes a um nível de significância de 0,05.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cabaceiras

A análise de variância de um fator aplicada aos dados de qualidade da água de Cabaceiras demonstrou inexistência de diferenças significativas entre as médias dos seis pontos de amostragem para as variáveis temperatura e turbidez (Tabela 4.1), correspondendo que houve uma similaridade na característica das águas analisadas quanto a sua qualidade.

Tabela 4.1 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Cabaceiras.

VARIÁVEL	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Temperatura	20,704	5	4,1407	1,0997	0,362	2,2519
pH	0,7261	5	0,1452	9,0325	1E-07	2,2619
Condutividade elétrica	180,65	5	36,129	1487,5	4E-146	2,2635
Turbidez	1,4347	5	0,2869	1,1651	0,3279	2,2619
Nitrato	22856	5	4571	425,7	2E-90	2,271

Nota: SQ = soma dos quadrados, gl = graus de liberdade, MQ = quadrado das médias, F = estatística F, valor-P = probabilidade de significância, F crítico = valor crítico da estatística F.

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam os parâmetros estatísticos descritivos das variáveis determinadas nas amostras de águas subterrâneas coletadas nos pontos de amostragem de Cabaceiras. Considerando o conjunto dos pontos amostrais, a faixa de variação de temperatura foi de 23,3 a 31,3 °C, refletindo a temperatura ambiente da localidade e não representando restrição ao consumo humano.

Tabela 4.2 – Estatística descritiva de temperatura e turbidez das amostras de Cabaceiras.

Variável	Ponto	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	N
Temperatura (°C)	PC1B	28,4	29,6	2,4	5,6	23,3	30,7	34
	PC2B	28,4	29,6	2,1	4,5	23,7	31,3	34
	PC3B	27,9	28,1	1,7	3,0	23,3	29,8	33
	PC4D	28,5	29,3	2,0	3,8	23,3	30,6	34
	PC5B	27,8	28,1	1,6	2,5	23,3	29,8	26
	PC6B	27,7	28,0	1,7	2,8	23,3	30,0	34
Turbidez (uT)	PC1B	0,49	0,46	0,17	0,029	0,23	0,83	34
	PC2B	0,45	0,43	0,14	0,021	0,23	0,76	33
	PC3B	0,41	0,36	0,16	0,025	0,2	0,83	34
	PC4D	0,41	0,40	0,15	0,024	0,2	0,76	26
	PC5B	0,43	0,40	0,15	0,023	0,2	0,76	34
	PC6B	0,51	0,50	0,15	0,022	0,2	0,76	34

Nota: N= Número de dados; PC1B= Ponto 1 água bruta; PC2B= Ponto 2 água bruta; PC3B= Ponto 3 água bruta; PC4D= Ponto 4 água dessalinizada; PC5B= Ponto 5 água bruta; PC6B= Ponto 6 água bruta.

Percebe-se, na Tabela 4.2, que a turbidez variou entre 0,20 e 0,83 uT, indicando conformidade, de todas as amostras coletadas, com o valor máximo permitido de 5,0 uT estabelecido pelo padrão de potabilidade.

Tabela 4.3 – Estatística descritiva de pH, condutividade elétrica e nitrato das amostras de Cabaceiras.

Variável	Ponto	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	N
pH	PC1B	7,37	7,42	0,15	0,020	7,08	7,53	34
	PC2B	7,46	7,45	0,09	0,008	7,28	7,54	33
	PC3B	7,34	7,33	0,11	0,010	7,17	7,54	34
	PC4D	7,39	7,38	0,11	0,012	7,17	7,54	26
	PC5B	7,28	7,36	0,16	0,025	7,00	7,48	34
	PC6B	7,45	7,47	0,11	0,013	7,28	7,72	34
Condutividade elétrica (mS/cm)	PC1B	2,94	3,05	0,26	0,07	2,02	3,27	32
	PC2B	2,66	2,65	0,10	0,01	2,48	2,86	32
	PC3B	2,33	2,34	0,10	0,01	2,14	2,53	32
	PC4D	0,15	0,15	0,02	0,00	0,11	0,19	32
	PC5B	2,58	2,57	0,09	0,01	2,43	2,79	29
	PC6B	2,96	2,97	0,26	0,07	2,42	3,74	32
Nitrato (mg N-NO₃⁻/L)	PC1B	9,7	9,9	1,2	1,3	8,2	12,7	28
	PC2B	31,1	30,6	4,1	16,6	24,6	38,7	28
	PC3B	30,8	30,6	3,5	12,2	25,0	38,3	28
	PC4D	2,4	2,4	0,3	0,1	2,0	2,9	28
	PC5B	20,0	19,2	4,4	19,4	10,9	36,5	26
	PC6B	33,0	32,8	3,9	15,5	27,0	39,8	28

Nota: N= Número de dados; PC1B= Ponto 1 água bruta; PC2B= Ponto 2 água bruta; PC3B= Ponto 3 água bruta; PC4D= Ponto 4 água dessalinizada; PC5B= Ponto 5 água bruta; PC6B= Ponto 6 água bruta.

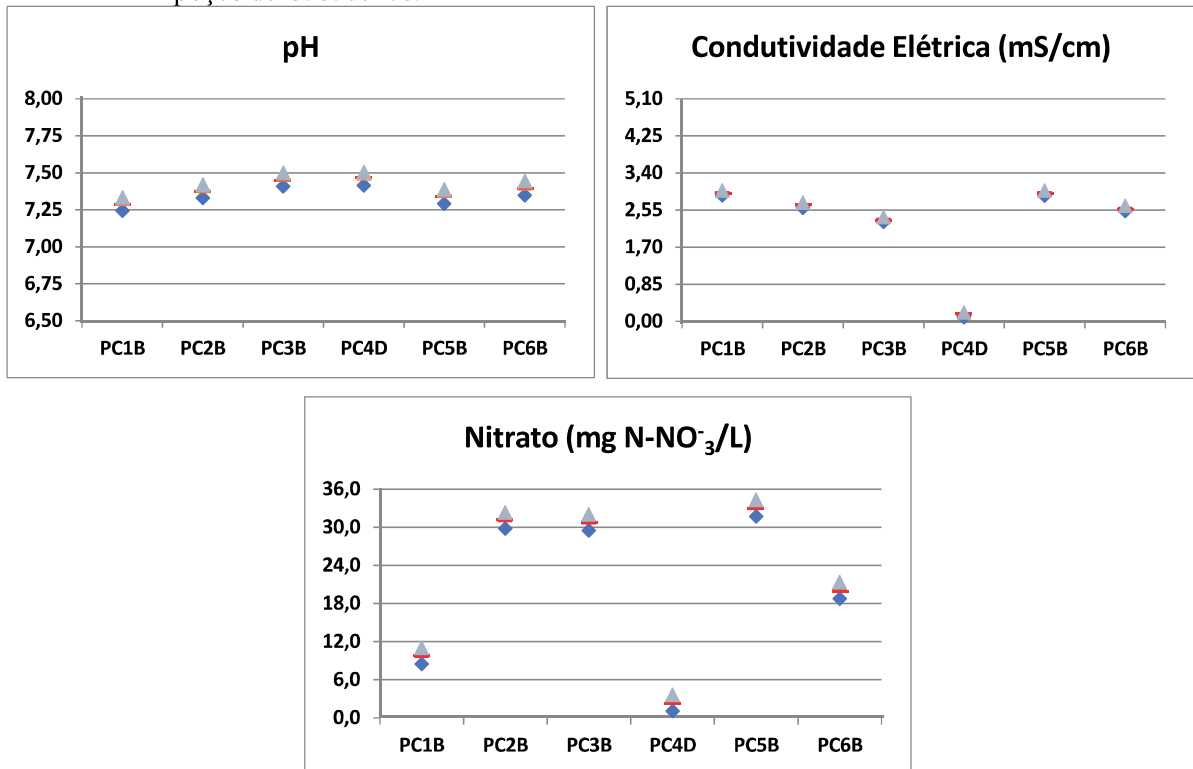
As variáveis pH, condutividade elétrica e nitrato apresentaram diferenças significativas entre médias, em todos os pontos de amostragem, sendo essas diferenças ilustrada na Figura 4.1.

A menor média (7,28) de pH foi estimada para o ponto PC5B (água bruta) e as maiores (7,45 e 7,46) estimadas, respectivamente, para os pontos PC6B (água bruta) e PC2D (água bruta). A faixa de variação (7,00-7,72) do pH medido em todas as amostras coletadas apresentou conformidade com o padrão (6,00-9,50) de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Condutividade elétrica variou entre 0,11 mS/cm, medido na água dessalinizada do ponto PC4D, e 3,74 mS/cm, determinado na água bruta do poço PC6B.

Em termos de valores médios o ponto PC4D foi o menor (0,15 mS/cm), sendo os maiores (2,94 e 2,96 mS/cm) observado nos pontos PC1B e PC6B. O nitrato apresentou conformidade com o padrão de potabilidade (10,0 mgN-NO₃⁻/L) somente na água dessalinizada do ponto PC4D, sendo o valor máximo determinado de 2,9 mgN-NO₃⁻/L. Nas

águas brutas as concentrações variaram entre 8,2 (PC1B) e 39,8 mgN-NO₃⁻/L (PC6B). Os maiores valores médios (Figura 4.1) foram estimados para os pontos PC2B, PC3B, PC5B e PC6B, superando 30 mgN-NO₃⁻/L.

Figura 4.1 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores pH, condutividade elétrica e Nitrato nos poços de Cabaceiras.



Nota: PC1B= Ponto 1 água bruta; PC2B= Ponto 2 água bruta; PC3B= Ponto 3 água bruta; PC4D= Ponto 4 água dessalinizada; PC5B= Ponto 5 água bruta; PC6B= Ponto 6 água bruta.

Com relação aos indicadores microbiológicos (contagem de coliformes termotolerantes e concentração de bactérias facultativas heterotróficas mesófilas) analisados em Cabaceiras, as águas (brutas) dos pontos PC1B, PC2B e PC5B não atenderam ao padrão de aceitação de ausência de bactérias fecais. A água dessalinizada do ponto PC4D atendeu plenamente (100%) o critério de ausência dessas bactérias.

Quanto à contagem de bactérias heterotróficas, determinada para avaliar a integridade do sistema de abastecimento (reservatório e rede de distribuição), as águas dos pontos PC1B, PC2B e, principalmente, PC5B indicaram bom nível de integridade, pois todas as amostras analisadas apresentaram menos de 500 unidades formadoras de colônias (UFC) por mL, recomendada pela Portaria MS 2914/2011. Os pontos PC3B e PC6B, que fornecem água bruta, e o ponto PC4D, o qual fornece água dessalinizada, apresentaram, com muita frequência, concentrações superiores a esse padrão.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas indicaram que o tratamento das águas subterrâneas brutas, por dessalinização, pode levar a uma melhoria significativa da qualidade da água de soluções alternativas coletivas de abastecimento urbano de Cabaceiras. Esse tratamento representa garantia de redução de indicadores fecais, da condutividade elétrica e das elevadas concentrações de nitrato nas águas brutas para níveis compatíveis com o padrão de potabilidade para consumo humano.

As relativamente altas concentrações de bactérias heterotróficas, que têm relação com a integridade das instalações de distribuição indicam a necessidade de medidas de proteção da qualidade da água, especialmente a distribuída pelo chafariz de água tratada.

4.2 Juazeirinho

A Tabela 4.4, apresenta os parâmetros estatísticos descritivos das variáveis físico-químicas determinadas nas amostras de águas associadas ao poço da comunidade de Mendonça. No conjunto de todos os dados dessa localidade, a temperatura variou de 23,3 a 29,8 °C, o pH variou de 6,07 (água dessalinizada) a 7,74 (no rejeito), a condutividade elétrica variou entre 0,19 (água dessalinizada) e 5,25 mS/cm (rejeito), a turbidez variou entre 0,0 (água bruta e água dessalinizada) a 1,9 uT (rejeito) e o nitrato variou de 3,29 (água dessalinizada) a 38,2 mgN-NO₃⁻/L (rejeito).

Com exceção do nitrato, que apresentou conformidade com o padrão potabilidade, todas as amostras de água dessalinizada e, não conformidade em todas as amostras de água bruta e rejeito, as variáveis atenderam aos padrões, com destaque para a turbidez cujas medidas em todas as amostras foram inferiores a 2 uT, com predominância de valores nulos. É importante ressaltar que o rejeito foi avaliado para se ter a dimensão do seu potencial poluente, devido as suas características geradas por meio do processo de dessalinização, em relação a água bruta natural. Diante disso, o rejeito não se adequa em hipótese alguma ao consumo humano mesmo apresentando algum indicador dentro dos parâmetros exigidos pelo padrão de potabilidade, mas, em outros usos podem ser enquadrados, desde que atenda as normas exigidas para a finalidade requerida, como é o caso da dessedentação animal entre outros usos.

Tabela 4.4 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de água coletadas em Juazeirinho.

Variável	Ponto	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	N
Temperatura (°C)	PJ7B	27,0	27,1	1,3	1,7	24,2	28,4	11
	PJ7D	27,2	27,3	1,3	1,6	24,1	29,1	13
	PJ7R	27,5	27,8	1,6	2,6	23,3	29,8	12
pH	PJ7B	6,96	7,09	0,36	0,13	6,07	7,14	13
	PJ7D	7,07	7,24	0,70	0,49	6,48	7,73	13
	PJ7R	7,36	7,39	0,30	0,09	6,67	7,74	13
Condutividade elétrica (mS/cm)	PJ7B	3,46	3,40	0,30	0,09	3,07	4,00	12
	PJ7D	0,27	0,27	0,05	0,003	0,19	0,36	12
	PJ7R	4,61	4,70	0,66	0,44	2,77	5,25	12
Turbidez (uT)	PJ7B	0,19	0,11	0,18	0,03	0,00	0,60	13
	PJ7D	0,13	0,07	0,15	0,02	0,00	0,50	13
	PJ7R	0,42	0,30	0,50	0,25	0,00	1,90	13
Nitrato (mg N-NO ₃ /L)	PJ7B	19,93	24,45	8,73	79,25	10,1	30,4	14
	PJ7D	3,29	3,30	0,38	0,14	2,5	3,8	15
	PJ7R	25,78	31,15	11,57	133,80	10,9	38,2	12

Nota: PJ7B= Ponto 7 água bruta; PJ7D= Ponto 7 água dessalinizada; PJ7R= Ponto 7 rejeito.

A aplicação de ANOVA de um fator aos conjuntos de dados amostrais de água bruta, água dessalinizada e rejeito, obtidos na monitoração do poço da localidade de Mendonça, foi capaz de indicar a inexistência de diferenças significativas entre as médias dos conjuntos amostrais referentes às variáveis temperatura e pH. Por outro lado, demonstrou a existência de diferenças significativas entre as médias de condutividade elétrica, turbidez e nitrato (Tabela 4.5). Assim, pode-se concluir que os indicadores temperatura e pH comportam-se de forma mais contínua não sofrendo interferência direta do meio (subsolo) que se encontra, diferente dos demais indicadores que sofrem uma interferência maior nas concentrações das respectivas variáveis, ou seja, são indicadores que podem representar simultaneamente as características geológicas do ambiente.

Tabela 4.5 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Juazeirinho.

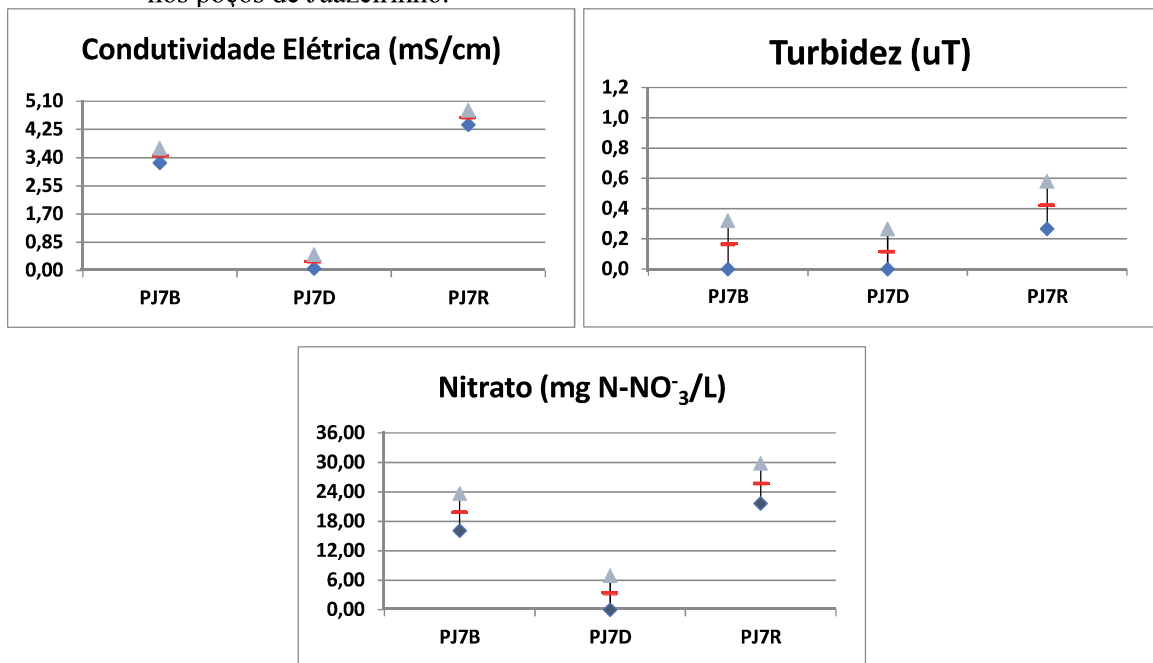
VARIÁVEL	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Temperatura	1,319	2	0,659	0,337	0,716	3,285
pH	0,893	2	0,447	2,925	0,066	3,252
Condutividade elétrica	117,1	2	58,57	338,7	9E-22	3,305
Turbidez	0,73	2	0,365	3,587	0,038	3,252
Nitrato	3776	2	1888	29,11	0,0	3,245

Nota: SQ = soma dos quadrados, gl = graus de liberdade, MQ = quadrado das médias, F = estatística F, valor-P = probabilidade de significância, F crítico = valor crítico da estatística F.

A Figura 4.2 ilustra, através de intervalos de comparação do método GT-2, as diferenças entre as médias de uma mesma variável (condutividade elétrica, turbidez e nitrato)

nos pontos de amostragem. Para todas essas variáveis o rejeito sempre apresentou a média extrema maior em contraste com a água dessalinizada que apresentou a média extrema menor. Com isso, fica claro que o tratamento de dessalinização é satisfatório no tratamento de água subterrâneas salobras e que o subproduto gerado (rejeito) possui um caráter poluente bem significativo, o que exige diversos fatores e critérios para o seu lançamento e/ou utilização.

Figura 4.2 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores condutividade elétrica, turbidez e nitrato nos poços de Juazeirinho.



Nota: PJ7D= Ponto 7 água dessalinizada; PJ7D= Ponto 7 água dessalinizada; PJ7R= Ponto 9 Rejeito

Os indicadores microbiológicos, presença de coliformes totais e de *Escherichia coli*, não apresentaram conformidade com o estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do MS. Os testes para coliformes totais foram positivos em 93% das amostras de água bruta, 100% das amostras de água dessalinizada e 78% das amostras de rejeito, enquanto que as frequências de positivities para os testes de *E. coli* foram de respectivamente 57, 62 e 11 por cento.

Tais resultados indicam a inadequação da água, inclusive a dessalinizada, para o consumo humano e devem estar relacionados à falta de medidas de proteção do sistema de abastecimento, particularmente na reservação da água tratada. Quanto à contagem de bactérias facultativas heterotróficas mesófilas, com exceção de duas amostras (uma de água bruta e outra de água dessalinizada) cujas contagens ultrapassaram 500 UFC/mL, todas as contagens apresentaram conformidade.

4.3 Soledade

A análise de variância de um fator aplicada aos dados amostrais das águas brutas dos dois poços do município de Soledade não foi capaz de detectar diferenças significativas entre as médias das variáveis temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos, cor aparente e condutividade elétrica. Por outro lado, ocorreram diferenças significativas entre as respectivas médias das variáveis turbidez, nitrato e salinidade, conforme a Tabela 4.6. Devido a esse fato, esses indicadores de qualidade da água podem ser, analiticamente, mais sensíveis a mudanças físico-químicas e com isso mais preciso em determinar a qualidade da água em um pequeno tempo amostral.

Tabela 4.6 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Soledade.

VARIÁVEL	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Temperatura	0,132	1	0,132	0,026	0,872	4,098
pH	0,025	1	0,025	0,966	0,332	4,098
Condutividade elétrica	27,39	1	27,39	44,12	0,001	4,10
Turbidez	5,162	1	0,365	13,63	7E-04	4,098
Nitrato	260	1	260	56,56	7E-09	4,113

Nota: SQ = soma dos quadrados, gl = graus de liberdade, MQ = quadrado das médias, F = estatística F, valor-P = probabilidade de significância, F crítico = valor crítico da estatística F.

A Tabela 4.7 mostra os parâmetros estatísticos descritivos dos conjuntos amostrais de todas as variáveis determinadas nas amostras de águas brutas de Soledade. Os resultados de salinidade demonstram que ambos os poços fornecem águas neutras, mas salobras, com concentrações de sólidos dissolvidos totais superiores ao valor máximo permitido de 1000 mg/L na totalidade das amostras analisadas e elevados valores de condutividade elétrica, na faixa de 12,00 (PS8B) a 15,84 mS/cm (PS9B).

A turbidez, entre 0,1 e 3,0 uT, e as concentrações de ferro, entre 0,00 e 0,06 mgFe/L, apresentaram conformidade com os respectivos padrões para consumo humano. Em praticamente todas as amostras analisadas do poço PS8B as concentrações de nitrato superaram o valor máximo permitido, enquanto que para o poço PS9B essa não conformidade ocorreu em 10% das vinte amostras analisadas.

Tabela 4.7 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de água bruta coletadas em Soledade.

Variável	Ponto	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	N
Temperatura (°C)	PS8B	26,1	25,8	2,061	4,248	23,0	30,4	20
	PS9B	25,8	25,9	2,396	5,742	20,4	30,4	20
pH	PS8B	7,56	7,51	0,195	0,038	7,26	8,01	20
	PS9B	7,51	7,49	0,117	0,014	7,35	7,78	20
Condutividade elétrica (mS/cm)	PS8B	12,50	12,40	0,423	0,179	12,00	13,66	20
	PS9B	14,16	14,39	1,031	1,062	12,32	15,84	20
Turbidez (uT)	PS8B	1,09	0,80	0,832	0,693	0,10	3,00	20
	PS9B	0,37	0,30	0,255	0,065	0,10	0,90	20
Nitrato (mgN-NO₃/L)	PS8B	11,56	11,4	2,294	5,263	6,60	16,1	20
	PS9B	6,02	5,55	2,105	4,430	3,10	11,1	20
Salinidade (g/kg)	PS8B	7,10	7,05	0,206	0,043	6,80	7,40	20
	PS9B	8,19	8,35	0,642	0,412	7,10	9,20	20
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	PS8B	6944	6912	189,3	35844	6683	7230	20
	PS9B	7971	8082	628,2	4E+05	6890	8955	20
Cor aparente (uH)	PS8B	14,45	12,97	10,22	104,5	1,27	29,33	20
	PS9B	4,258	2,75	4,109	16,88	0,50	17,87	20
Ferro (mgFe/L)	PS8B	0,018	0,01	0,019	4E-04	0,00	0,06	20
	PS9B	0,013	0,01	0,012	1E-04	0,00	0,04	20

Nota: PS8B= Ponto 8 água bruta; PS9B= Ponto 9 água bruta.

Também, nessas águas brutas os indicadores microbiológicos presença de coliformes totais e de *Escherichia coli* não apresentaram conformidade com o estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do MS, sendo a positividade de 100% para o primeiro e entre 40 e 45% para o segundo indicador.

Para o conjunto dos dados das amostras (Tabelas 4.8) associadas ao poço PS9, cujas águas eram tratadas em um sistema de dessalinização relativamente complexo, uma vez que essa água deste poço é destinada à comercialização, somente as variáveis temperatura e cor aparente não apresentaram diferenças significativas na ANOVA de um fator (Tabela 4.9), o que pode-se dizer que tais indicadores se comportaram de maneira contínua com uma frequência similar nessas análises.

Tabela 4.8 – Estatística descritiva das variáveis de amostras de águas bruta, filtrada, dessalinizada e rejeito coletadas em Soledade.

Variável	Ponto	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	N
Temperatura (°C)	PS9B	25,8	25,9	2,396	5,742	20,4	30,4	20
	PS9F	25,6	25,6	1,956	3,825	20,7	28,7	19
	PS9D	25,8	25,7	2,066	4,266	21,9	29,4	20
	PS9R	25,7	25,7	2,021	4,086	21,2	28,8	18
pH	PS9B	7,51	7,49	0,117	0,014	7,35	7,78	20
	PS9F	7,47	7,49	0,150	0,020	7,28	7,73	19
	PS9D	6,74	6,67	0,300	0,109	6,23	7,43	20
	PS9R	7,69	7,67	0,204	0,042	7,25	8,15	18
Condutividade elétrica (mS/cm)	PS9B	14,16	14,39	1,031	1,062	12,32	15,84	20
	PS9F	11,58	14,68	5,864	34,391	0,73	15,92	19
	PS9D	0,12	0,045	0,138	0,019	0,01	0,37	20
	PS9R	23,13	22,42	4,606	21,22	11,6	32,77	18
Turbidez (uT)	PS9B	0,37	0,30	0,255	0,065	0,10	0,90	20
	PS9F	0,29	0,20	0,239	0,057	0,10	1,10	19
	PS9D	0,24	0,17	0,157	0,025	0,10	0,59	20
	PS9R	0,91	0,66	0,717	0,514	0,10	2,48	18
Nitrato (mgN-NO ₃ /L)	PS9B	6,02	5,55	2,105	4,430	3,10	11,1	20
	PS9F	5,10	5,10	2,964	8,784	1,00	11,1	19
	PS9D	0,92	0,80	0,412	0,170	0,40	2,3	20
	PS9R	11,02	10,05	3,607	13,010	4,60	17,8	18
Salinidade (g/kg)	PS9B	8,19	8,35	0,642	0,412	7,10	9,20	20
	PS9F	6,67	8,50	3,426	11,740	0,40	9,20	19
	PS9D	0,04	0,00	0,069	0,005	0,00	0,20	20
	PS9R	13,97	13,4	3,034	9,203	6,70	20,60	18
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	PS9B	7971	8082	628,2	4E+05	6890	8955	20
	PS9F	6496	8327	3340	1E+07	349	8987	19
	PS9D	61	24	66	4422	5	180	20
	PS9R	13081	12600	2639	7E+06	6470	18605	18
Cor aparente (uH)	PS9B	4,258	2,75	4,109	16,88	0,50	17,87	20
	PS9F	3,903	2,13	4,745	22,51	0,33	18,90	19
	PS9D	1,261	0,56	1,428	2,04	0,10	4,73	20
	PS9R	7,302	6,68	4,245	18,02	2,53	21,90	18
Ferro (mgFe/L)	PS9B	0,013	0,010	0,012	1E-04	0,00	0,04	20
	PS9F	0,020	0,007	0,026	7E-04	0,00	0,08	19
	PS9D	0,020	0,015	0,024	6E-04	0,00	0,09	20
	PS9R	0,017	0,010	0,016	3E-04	0,00	0,05	18

Nota: PS9B= Ponto 9 água bruta; PS9F= Ponto 9 água filtrada; PS9D= Ponto 9 água dessalinizada; PS9R= Ponto 9 rejeito.

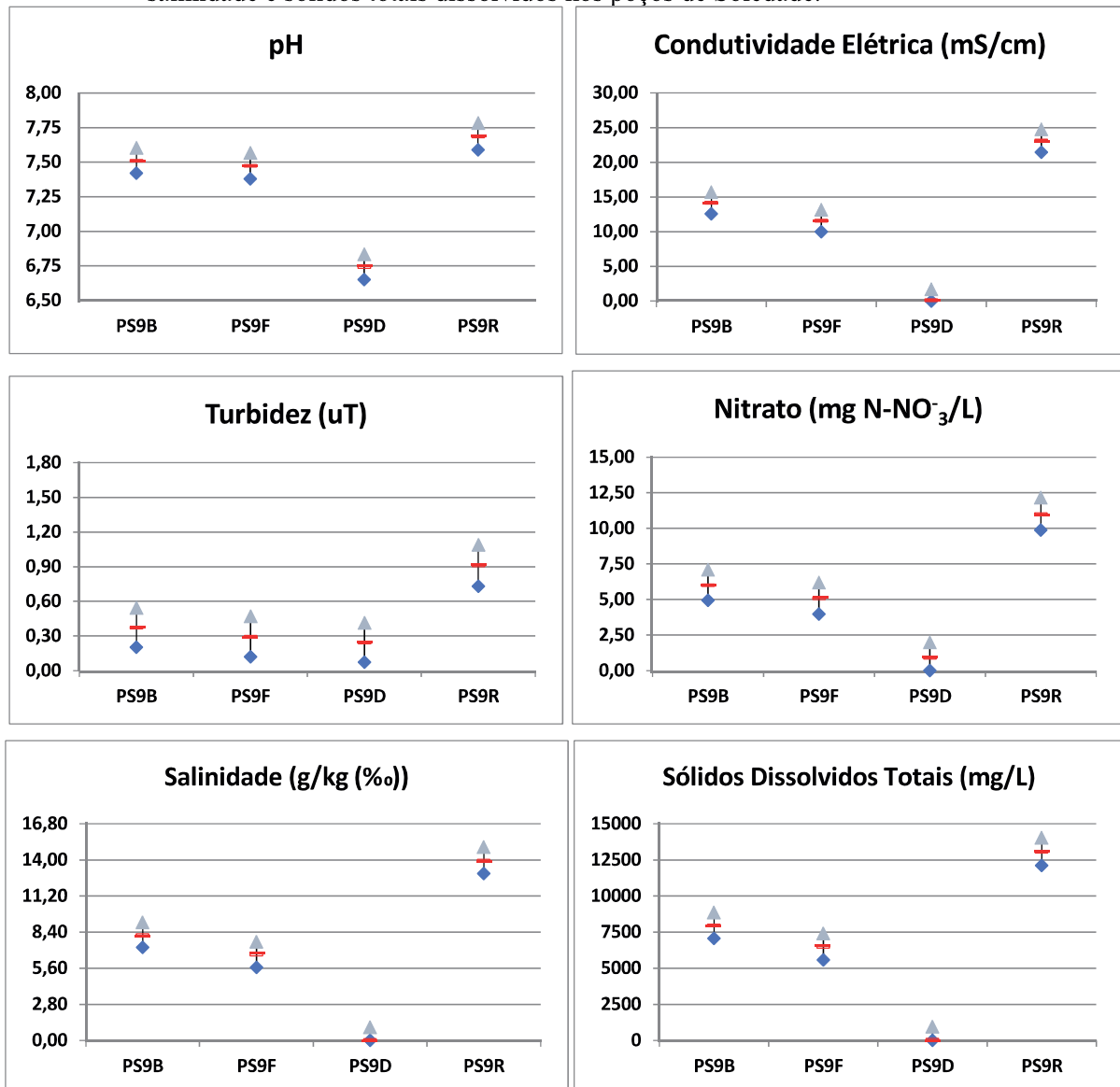
Tabela 4.9 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados de Soledade.

VARIÁVEL	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Temperatura	1,446	3	0,482	0,107	0,956	2,73
pH	10,23	3	3,409	72,44	0,000	2,73
Condutividade elétrica	5146	3	1715	125,2	0,000	2,73
Turbidez	5,221	3	1,740	11,09	4E-05	2,73
Nitrato	22856	3	4571	425,7	2E-09	2,271

Nota: SQ = soma dos quadrados, gl = grau de liberdade, MQ = quadrado das médias, F = estatística F, valor-P = probabilidade de significância, F crítico = valor crítico da estatística F.

As médias dos respectivos conjuntos amostrais das outras variáveis analíticas apresentaram diferenças significativas conforme ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores pH, condutividade elétrica, turbidez, Nitrato, salinidade e sólidos totais dissolvidos nos poços de Soledade.



Nota: PS9B= Ponto 9 água bruta; PS9F= Ponto 9 água filtrada; PS9D= Ponto 9 água dessalinizada; PS9R= Rejeito.

Com relação aos indicadores físico-químicos, as características negativas da água bruta foram praticamente mantidas na água filtrada, bastante reduzidas na água dessalinizada e aumentadas no rejeito.

Na água dessalinizada, foi verificada redução da condutividade elétrica média para 0,12 mS/cm, da concentração média de nitrato para 0,92 mgN-NO₃⁻/L, da salinidade média para 0,05 ‰, dos sólidos dissolvidos totais para 61 mg/L, da cor aparente para 1,26 uH. Com

relação aos indicadores microbiológicos foi observada significativa melhora da qualidade da água, ocorrendo somente 10% de presença de coliformes totais e total ausência de *Escherichia coli*, indicando que os controles exercidos na operação e manutenção do sistema de tratamento podem levar à produção de água com qualidade para o consumo humano.

4.4 Avaliação das águas subterrâneas brutas e tratadas das localidades estudadas

A análise de variância do conjunto de dados das variáveis comuns à monitoração das águas brutas das localidades estudadas demonstrou a ocorrência de diferenças significativas entre as médias dos diversos conjuntos amostrais das respectivas variáveis (Tabela 4.10). A Figura 4.4 ilustra essas diferenças com base nos intervalos de comparação de 95%, estimados pelo método GT-2.

Tabela 4.10 – Análise de variância de um fator das variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns as localidades de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.

VARIÁVEL	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Temperatura	171,7	7	24,53	6,066	2E-06	2,055
pH	3,203	7	0,46	20,34	1E-20	2,054
Condutividade elétrica	3663,0	7	523,29	3617,82	8E-207	2,056
Turbidez	10,17	7	1,453	4,953	3E-05	2,054
Nitrato	14108	7	2015	24,42	4E-24	2,054

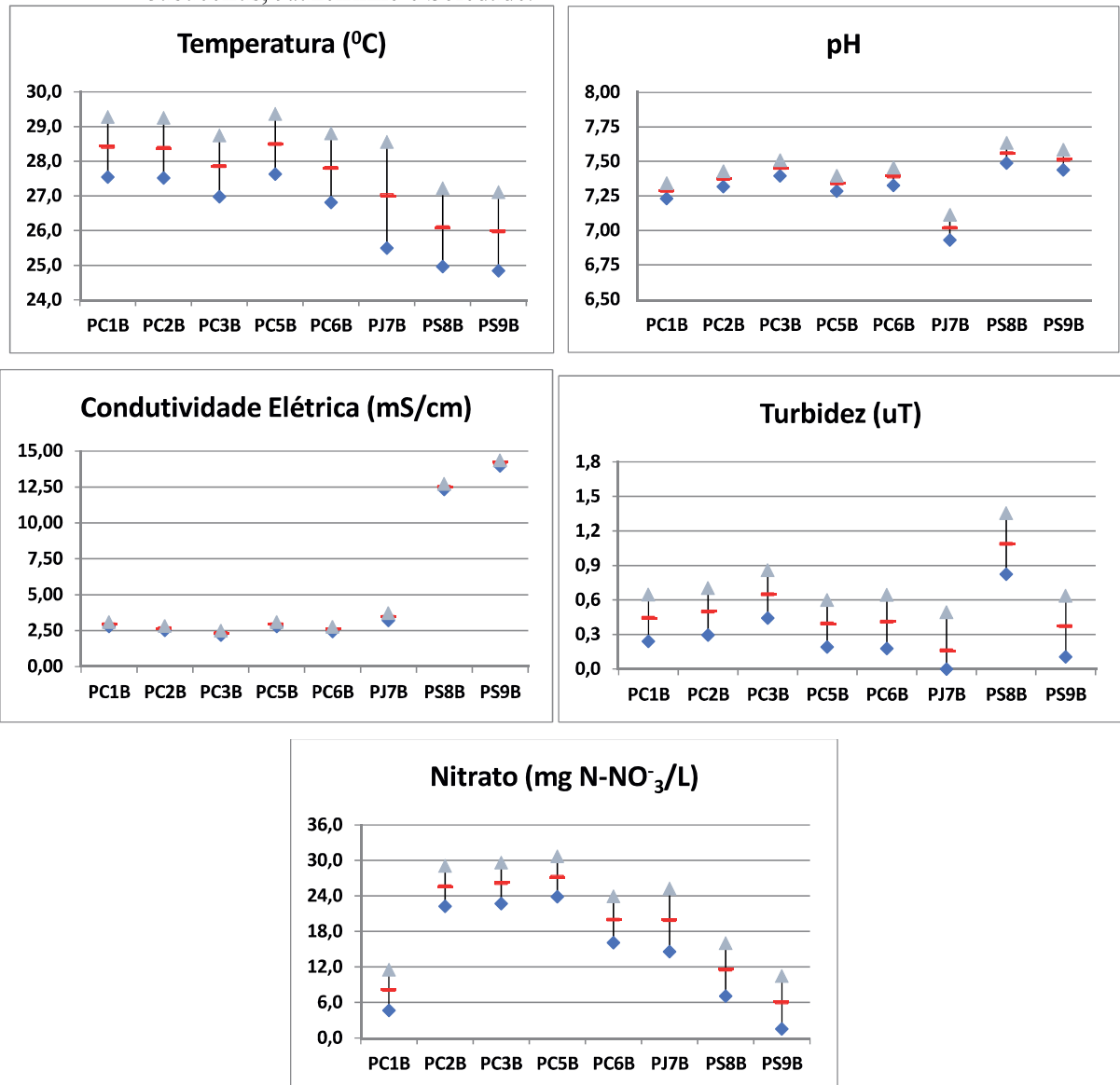
Nota: SQ = soma dos quadrados, gl = grau de liberdade, MQ = quadrado das médias, F = estatística F, valor-P = probabilidade de significância, F crítico = valor crítico da estatística F.

Com relação à temperatura as menores médias, observadas em ambos os poços de Soledade, foram significativamente diferentes das maiores médias, estimadas para alguns poços (PC1, PC3 e PC7) de Cabaceiras, aparentemente refletindo as condições mais rigorosas de temperatura atmosférica desta localidade.

O pH médio das águas brutas, no conjunto dos dados, variou de 7,02 (PJ7B) a 7,56 (PS8B) caracterizando-as como águas neutras, mas com tendência à basicidade, de Juazeirinho para Cabaceiras e Soledade.

As águas brutas de Soledade foram extremamente condutivas (12,50 e 14,16 mS/cm) quando comparadas às de Juazeirinho (3,56 mS/cm) e Cabaceiras (2,33 a 2,94 mS/cm). Isto indica que uma unidade de dessalinização pode ser mais benéfica para a qualidade das águas de Soledade do que das outras localidades.

Figura 4.4 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns de água bruta de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.



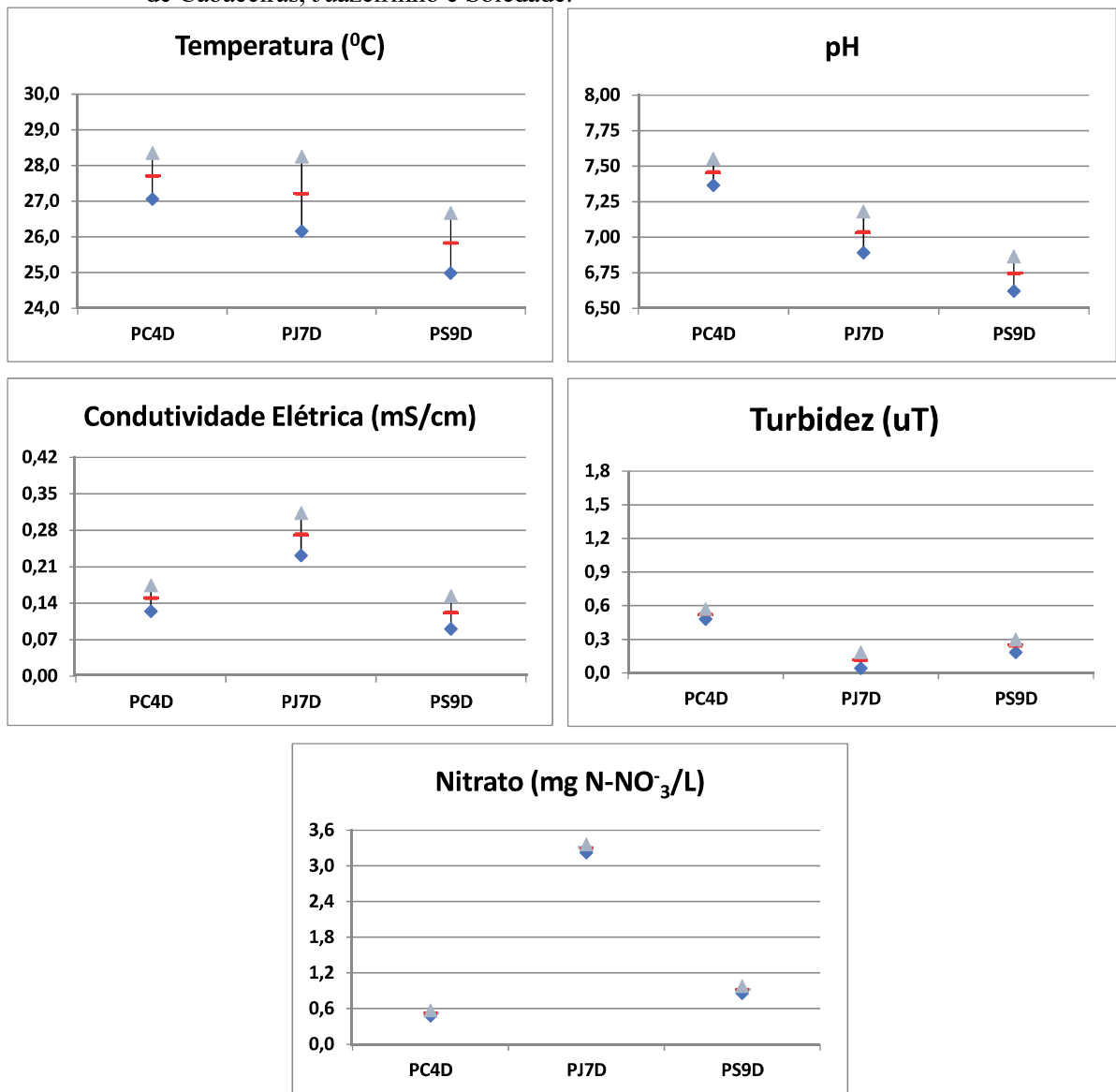
Nota: Cabaceira - PC1B= Ponto 1 água bruta; PC2B= Ponto 2 água bruta; PC3B= Ponto 3 água bruta; PC5B= Ponto 5 água bruta; PC6B= Ponto 6 água bruta. Juazeirinho; PJ7B= Ponto 9 água bruta Soledade; PS8B= Ponto 8 água bruta; PS9B= Ponto 9 água bruta.

A maioria dos poços de Cabaceiras e o poço de Juazeirinho apresentaram as maiores médias de concentração de nitrato, 20,10 - 27,3 mgN-NO₃⁻/L e 19,9 mgN-NO₃⁻/L, respectivamente, refletindo sua proximidade com fontes de poluição tipicamente urbanas, a exemplo de sistemas individuais de esgotamento sanitário, observadas nessas localidades. Mas, em Cabaceiras, o poço PC1B, que apresentou uma das menores concentrações média (8,1 mgN-NO₃⁻/L), está localizado na entrada da área urbana, relativamente distante de fontes poluidoras.

Todas as águas brutas analisadas apresentaram baixa turbidez com valores médios inferiores a 1,2 uT, sendo a maior média, estimada para o poço PS8B, em Soledade, significativamente diferente das demais.

A análise de variância do conjunto de dados das variáveis comuns à monitoração das águas tratadas das localidades estudadas também demonstrou a ocorrência de diferenças significativas entre as médias dos diversos conjuntos amostrais das respectivas variáveis. A Figura 4.5 ilustra essas diferenças com base nos intervalos de comparação de 95%, estimados pelo método GT-2.

Figura 4.5 – Resultado do teste GT-2 para os indicadores temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nitrato, aplicada aos conjuntos de dados das variáveis comuns de água tratada de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade.



Nota: PC4D= Ponto 4 água dessalinizada Cabaceiras; PJ7D= Ponto 7 água dessalinizada; PS9D= Ponto 3 água dessalinizada Soledade.

Os menores valores médios de temperatura (25,8 °C) e pH (6,74) foram estimados para a água tratada de Soledade e os maiores (27,7 °C e 7,46) foram estimados para a água tratada de Cabaceiras, sendo reproduzido, no caso da temperatura, o que ocorreu para as águas brutas.

Entre as águas tratadas, a de Cabaceiras apresentou a maior média de turbidez (0,5 uT), significativamente diferente das médias das outras localidades, sendo importante destacar que, em todos os casos, houve redução com relação às correspondentes águas brutas.

A água tratada de Juazeirinho apresentou o maior valor médio de condutividade elétrica (0,27 mS/cm), significativamente diferente da média da água de Soledade (0,12 mS/cm). Também para nitrato Juazeirinho apresentou o maior valor médio (3,3 mgN-NO₃⁻/L), significativamente diferente da média (0,5 mgN-NO₃⁻/L) estimada para a água de Cabaceiras.

Com relação aos indicadores microbiológicos, as águas bruta e tratada de Juazeirinho apresentaram a pior qualidade, particularmente pela alta frequência (62%) de presença de *E. coli* nas amostras da água tratada, contrastando com a frequência nula de presença na água tratada de Soledade. Essa constatação não deve ser atribuída ao desempenho do dessalinizador, em si, capaz de eliminar a presença de bactérias, mas ao gerenciamento do sistema que deve incluir rigoroso controle das instalações, principalmente do reservatório de água tratada.

5.0 CONCLUSÕES

A análise dos resultados das soluções alternativas de abastecimento de água de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade, localizadas na sub-bacia do Rio Taperoá, na região semiárida da Paraíba, nordeste do Brasil, permitiu concluir:

1. As águas subterrâneas brutas das localidades estudadas são salobras e apresentam, ordinariamente, elevadas concentrações de nitrato, além de positividade em testes de presença de indicadores microbiológicos, particularmente quando próximos de fontes poluidoras, requerendo tratamento adequado para o consumo humano.
2. O tratamento por dessalinização apresenta grande potencial para a adequação dessas águas ao conjunto mínimo de padrões exigido para o consumo de águas subterrâneas em comunidades urbanas e periurbanas.
3. Esse tratamento demonstrou elevada capacidade de redução nitrato, o qual, na maioria das situações, em localidades de baixa cobertura de esgotamento sanitário, é a principal causa de não conformidade da qualidade da água com o padrão de potabilidade.
4. A qualidade da membrana do dessalinizador responde consideravelmente pela qualidade da água tratada, conforme demonstrado no sistema de Soledade (*SWC5-LD*), no qual águas de alta força iônica foram transformadas em águas de baixa condutividade.
5. O gerenciamento da qualidade da água de soluções alternativas de abastecimento também deve incluir medidas de proteção sanitária, especialmente com relação aos reservatórios de água tratada.

REFERÊNCIAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas: Suporte para uma revolução agrícola no Nordeste**. II Fórum NORDESTE 2030, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12212 - Poço tubular - **Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea**, Rio de Janeiro, 2006. acesso em 09 jan. 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1405>.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **GeoPortal AESA**. Disponível em: < w.aesa.pb.gov.br/index.php >. Acesso em: 22 janeiro de 2017.

ALABURDA, J; NISHIHARA, L. Presença de compostos nitrogenados em águas de poços, **Caderno de Saúde pública**, São Paulo, Vol. 32, n° 2: 160 – 5, 1998.

ALVARENGA, L. A.; MARTINS, M. P. P.; CUARTAS, L. A.; PENTEADO, V. A., ANDRADE, A. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambiagua.987>. AMERICAN.

ALVES, H.; LOURENCO, Z.; COLACO, P. Reabilitação de uma estrutura contaminada por iões cloret utilizando a técnica da dessalinização. **Corros. Prot. Mater.**, Lisboa, v. 32, n. 1, p. 5-9, mar. 2013. Disponível em <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642013000100001&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 04 abr. 2017.

AMORIM, M. C. C., PORTO, E. R., SILVA JÚNIOR, L. G. A.; LIBERAL, G. S. **Efeitos de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no semi-árido pernambucano**; Parte do projeto de pesquisa de Desenvolvimento Científico Regional (DCR) conduzida pela autora na EMBRAPA-CPATSA e apoio da FACEPE. 2008.

ANA - Agência nacional de águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**.

ANDRADE, E. M. AQUINO, D. N. CRISÓSTOMO, L. A, RODRIGUES, J. O, LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 88-95, fev.2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000100014&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 10 mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000100014>.

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. APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 th ed. Washington, D.C. 2012.

ARAVENA, R. **Isotope Hydrology and Geochemistry in Northeast Brazil**. Projeto de Águas Subterrâneas no Brasil. PROASNE. 2001.

AYACH, L. R.; PINTO, A. L.; CAPPI, N. Concentração de nitrato nas águas freáticas de anestésio (MS) e suas implicações ambientais. **Climatologia e estudos da paisagem**, Rio Claro. V. 2, n° 2, 2007.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARBOSA, L. S. **Açudes urbanos da cidade de Campina Grande/PB: histórico ambiental potencialidade e resistência como fator de desenvolvimento social e econômico**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Campina Grande, Paraíba. 2011.

BARRETO, J. F.; DANTAS, N. J.; FÉRIAS, S. A. R.; Avaliação Socioeconômica e Hídrica dos Municípios da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB. **Qualitas Revista eletrônica**, V.9, n 1, 2010. ISSN 1677-4280. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/585>>. Acessado em: 01 nov. 2017.

BIBOCA AMBIENTAL. **Recursos hídricos superficiais e subterrâneos**. Disponível em: <<https://bibocaambiental.blogspot.com.br/2014/10/recursos-hidricos-superficiais-e.html>>. Acessado em 13 dezembro 2017.

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

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: PLANSAB, 2013.

CIÊNCIA VIVA. **Águas subterrâneas**. Disponível em: <http://http://www.cienciaviva.pt/img/upload/agua_subterranea_LNEG.pdf>. Acessado em: 25 de out. 2017.

CIRILO, J. A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido**. Estud. av., São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=en&nrm=iso>. acesso 07 June 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 396**, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília: CONAMA, 2008.

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. r I.; ELSHIEKH, A.; GOMAA, M. A. Groundwater resource sustainability in the Wadi Watir delta, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt. **Hydrogeology journal** [1431-2174] Eissa, Mustafa ano:2013 vol:21 fasc:8 pág:1833.

FIGUEIREDO, V. S. Perspectivas de recuperação para áreas em processo de desertificação no semiárido da Paraíba – Brasil. Scripta Nova. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. En línea. Barcelona: Universidad de Barcelona, 10 de octubre de 2013, vol. XVII, nº 453. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-453.htm>>. ISSN: 1138-9788.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

GASTAUDINI, M. C.; MENDONÇA, A. S. F.: Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Capítulo IV: **Conceitos para Avaliação da Qualidade da Água**. FINEP – RECOPE/REHIDRO/SUB-REDE 1. 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Pesquisa Nacional de saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

JUAN, J. A. M. S. **Desalación de aguas salobres y de mar. Osmose inversa.** Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.

LABORDE, H. M.; FRANÇA, K. B.; NEFF, H.; LIMA, A. M. N. Optimization strategy for a small-scale reverse osmosis water desalination system based on solar energy; **Elsevier**, 10 February 2001.

LIBÂNIO, M; **Fundamentos da qualidade e tratamento da água. 2ª ed.** Campinas, SP: Átomo, 2008.444p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba: EDUSP. 2005. 344p.

LIMA, J. O. G. de; LOPES, F. C. C.; LIMA, J. R. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 540-549, set. 2014. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo>.

LOPES, L. G.; HOJAIJ, A.; PINTO, R. A.; PINTO, F. R.; AMARAL, L. A. do; FERRAUDO, A. S. **Sazonalidade de indicadores de qualidade de água em poços do município de jaboicabal - sp.** Nucleus [1678-6602] Lopes, Laudicéia yr:2010 vol:7 iss:1 pg:155.

MANANDHAR, S.; VOGT, D. S.; PERRET, S. R.; KAZAMA, F. Adapting cropping systems to climate change in Nepal: a cross-regional study of farmers' perception and practices. **Regional Environmental Change**, v. 1, n. 2, p. 335-348, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-010-0137-1>.

MOLICA, R.; ONODERA, H.; GARCIA, C.; RIVAS, M.; ANDRINOLO, D.; NASCIMENTO, S.; MEGURO, H.; OSHIMA, Y.; AZEVEDO, S.M.F.O.; LAGOS, N.: **Toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) isolated from Tabocas reservoir in Caruaru, Brazil, including demonstration of a new saxitoxin analogue.** *Phycologia*, 41: 606-611, 2002.

MONTEIRO, V. P. **Critérios para implantação de tecnologias de abastecimento de água potável em regiões afetadas pelo alto teor de sal.** Fortaleza: UFC, 2003. 56p. Dissertação Mestrado.

MORAES, P. B. ST 502 – **Tratamento biológico de efluentes líquidos / ST 503 – Tratamento físico-químico de efluentes líquidos.** Universidade Estadual de Campinas: UNICAMP, 2008.

NAKAMURA, C. Y.; MARQUES, E.; VILELA, P.; ODA, T; LIMA, L.; COSTA, R.; AZEVEDO, I. C. Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. **Águas Subterrâneas**. Ed. 28. Nº 2. P. 28-40. 2014.

OGATA, I. S. Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Dissertação de mestrado** (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, centro de tecnologia e recursos naturais, 2014.

OLIVEIRA, L. T. Aspectos hidrogeológicos da região costeira norte de Pernambuco – paulista a goiana. **Dissertação de mestrado** (Mestrado em geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, pós-graduação em geociências, Recife 2003.

PAZ, V. P. S; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PESSOA, L. C. C. **Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa**. Fortaleza: UFC, 2000. http://script=sci_arttext&pid=S1980-993X2014000300014&lng=pt&nrm=iso.

POHLING, R. **Reações Químicas na Análise de Água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009. p. 334.

RIBEIRO, W. C. **Geografia política da água**. Annablume Editora, 2008.

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

SABINO, C. de V.S. LOBATO, W. COUTINHO, F. A. ATAIDE, A. C. Z. BUENO, A. P. Concepções de futuros professores sobre águas subterrâneas. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 318-334, Dec. 2009. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172009000200318&lng=en&nrm=iso>. access on 01April 2017.<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172009110208>.

SANTOS, L. L. Filtração em margem para remoção de cianobactérias e contaminantes físico-químicos em um reservatório de abastecimento público no semiárido pernambucano, 2012. 191 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, julho de 2012.

SANTOS, S. G. 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.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. **Projeto Jurubatuba: restrição e controle de uso de água subterrânea /** Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. – São Paulo: DAEE/IG, 2009.

SCAPINI, L. Avaliação do desempenho da osmose reversa e da troca iônica para tratamento de efluente de curtume (Aimoré Couros Ltda–encantado) visando a reutilização da água. 2007. **Tese de Doutorado**. Universidade de Santa Cruz do Sul.

SCHLEDER, A. A. VARGAS, L. M. P. HANSEL, F. A. FROEHNER, L. T. P. ROSA FILHO, E. F. Evaluation of occurrence of NO₃⁻, Coliform and atrazine in a karst aquifer, Colombo, PR. **RBRH**, Porto Alegre, v. 22, e20, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312017000100215&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 25 jan. 2018. Epub 09-Fev-2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.0117160452>.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st Century**. Paris:UNESCO, 1998. 37p.

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. **World water resources at the beginning of the 21st century**. Cambridge, UK: UNESCO International Hydrology Series, 2003.

SALGADO, J, P. Influência do lançamento de esgotos na qualidade das águas do aquífero aluvial do Rio Sucurú, no município de Sumé-PB. Universidade Federal de Campina Grande, centro de tecnologia e recursos naturais. **Dissertação** (Mestrado em engenharia civil e Ambiental), 2016.

SIAGAS - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Banco de dados 2017**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_coordenada.php>. Acesso em março. 2017.

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

SOARES, P. S.; MOREIRA, Y.; FREIRE, L.; CARVALHO, D. D.: Cetem (centro de Tecnologia Mineral) (Org.). Série Tecnologia Ambiental: **Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Cetem, 2005. 29p.

Relatório. Disponível em:<www.cetem.gov.br/publicação/cetem_sta_33.pdf>. Acesso em: 22 março, 2017.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; GRAF, C. C. D.; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S. S. Produção de mudas cítricas utilizando águas salinas. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; 15, 2005, Teresina. **Anais**. Teresina: ABID, 2005. Cd Rom.

SOARES, Tales M. SILVA, I. J. O. DUARTE, S. N. SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 730-737, set. 2006. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo.php?>

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.

SOUZA, L. F. **Dessalinização como fonte alternativa de água potável**. Norte Científico, [S.l.], v. 1, n. 1, dez. 2006. ISSN 2236-2940. Disponível em: <<https://periodicos.ifrr.edu.br/index.php/revista/article/view/32>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

STRUCKMEIER, W., RUBIN, Y., JONES, J.A.A. A água que vem do fundo da terra. **Revista planeta** Nº Edição: 432, 2008.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. 3. ed. New Jersey: Wiley, 2005 .656p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

TUNDISI, J. G.: **Água no século XXI: enfrentando a escassez**: Rima, São Carlos. 248 p. 2003.

VARMA, S. e MICHAEL, K. Impact of multi-purpose aquifer utilisation on a variable-density groundwater flow system in the Gippsland Basin, Australia. **Hydrogeology journal** [1431-2174] Varma, Sunil ano:2012 vol:20 fasc:1 pág:119 -134.

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

WHO - World Health Organization. **Foodborne disease outbreaks. Guidelines for investigation and control**. World Health Organization. 162 p, 2008.

XAVIER, R.A., DORNELLAS, P.C., MACIEL, J.S. CÍCERO DO BÚ, J. **Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba-PB**. Rev. Tamoios, São Gonçalo (RJ), ano 08, n. 2, pags. 15-28, jul/dez. 2013.