



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE
RECURSOS NATURAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE FORTE
VELHO NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA – PB.**

LÍVIA MARIA DE MEDEIROS MARTINS

**CAMPINA GRANDE
2022**

LÍVIA MARIA DE MEDEIROS MARTINS

**SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE FORTE VELHO
NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA – PB.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. José Dantas Neto

Coorientador: Prof. Dr. Henrique César da Silva

**CAMPINA GRANDE
2022**

M386s

Martins, Livia Maria de Medeiros.

Saneamento rural: estudo de caso na comunidade Forte Velho no município de Santa Rita-PB / Livia Maria de Medeiros Martins. – Campina Grande, 2022.

124 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Henrique César da Silva".

Referências.

1. Saneamento Básico. 2. Qualidade da Água. 3. Incrustante. 4. Medidor de Derivação. 5. Cloro. I. Rodrigues, John Kennedy Guedes. II. Patricio, Jonny Dantas. III. Título.

CDU 628.1(043)

LÍVIA MARIA DE MEDEIROS MARTINS

**SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE FORTE VELHO
NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA – PB.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande como, requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Dantas Neto
Orientador - UFCG

Dr. Henrique César da Silva
Co-orientador - IFPB

Dr. Vera Lúcia A. de Lima
Examinador interno - UFCG

Dr. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Examinador externo – UEPB

CAMPINA GRANDE
2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

Ata da decima sexta sessão pública de Defesa de **Dissertação ou Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao 26 dia do mês de Agosto de 2022, às 14:00 horas, **por meio de videoconferência** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **JOSÉ DANTAS NETO/UFCG**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **HENRIQUE CÉSAR DA SILVA/IFPB**, como co-orientador Prof.(a.) Dr.(a.) **VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA /UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **MARIA ADRIANA DE FREITAS MÁGERO RIBEIRO/UEPB**, como membro externo; a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 35/2022** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) LÍVIA MARIA DE MEDEIROS MARTINS**, candidato(a) ao Grau de **Mestre (a)** em Engenharia de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **JOSÉ DANTAS NETO/UFCG** , anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Dissertação sob o título: **"SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE FORTE VELHO NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA – PB"** Área de Concentração: Engenharia de Recursos Naturais, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **JOSÉ DANTAS**

NETO/UFCG). O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 26 de Agosto de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/08/2022, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/08/2022, às 07:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro, Usuário Externo**, em 29/08/2022, às 16:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **HENRIQUE CÉSAR DA SILVA, Usuário Externo**, em 08/09/2022, às 20:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lívia Maria de Medeiros Martins, Usuário Externo**, em 24/10/2022, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA DE FATIMA MARTINS, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 22/11/2022, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2648828** e o código CRC **3F6D8F95**.

Referência: Processo nº 23096.054621/2022-19

SEI nº 2648828

Dedico esse trabalho a Deus por todas as bênçãos derramadas sobre mim e minha família, e aos meus pais (Fábio de Medeiros Martins e Mércia de Medeiros Martins) por todos os ensinamentos de vida e por, muitas vezes, desistirem dos seus sonhos em detrimento dos meus.

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos, **Fábio Martins Júnior** e **Yuri Martins**, por toda confiança.

Ao Professor **Dr. José Dantas Neto**, pelos ensinamentos científicos, além de confiança e incentivo durante o trabalho.

Ao Professor **Dr. Henrique César da Silva**, pela excelente orientação e concessão das análises físico, químicas e organolépticas no Laboratório do IFPB, bem como, por transformar o desafio desta pesquisa em um mar tranquilo, fácil de velejar.

Aos **Membros da banca examinadora**, pelo aceite e contribuições para este trabalho.

À Prefeitura Municipal de Santa Rita, especialmente ao **Secretário Sildo**, e aos moradores de Forte Velho, "**Zé e Porêm**", pelo apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao **LABDES**, pelo irrestrito apoio nas análises microbiológicas e físico-químicas.

Aos alunos do IFPB, **Fabício e Vitória**, pelo auxílio durante as leituras diárias no hidrômetro.

À **CAGEPA**, pela colaboração durante a instalação do medidor proporcional.

Aos **meus amigos e familiares**, por sempre me apoiarem e encontrarem alguma maneira de me ajudar

As minhas amigas e colegas do curso de mestrado, especialmente **Bárbara e Roberta**, pela ajuda mútua e compromisso acadêmico.

À **Universidade do Federal de Campina Grande** e, mais precisamente, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, pela oportunidade e concretização deste trabalho.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho e pela minha formação acadêmica e profissional.

Obrigada!

RESUMO

A exigência de um monitoramento e fiscalização da qualidade e quantidade da água subterrânea destinada ao consumo humano é fundamental para a promoção da saúde pública e gestão eficiente desse recurso. Além da qualidade da água, o estudo de avaliação da tendência da água frente a ser incrustante ou corrosiva é de extrema importância, apesar de não ser parâmetro de potabilidade, pois, à deterioração da tubulação poderá causar diminuição na vazão dos poços e, conseqüentemente, na vazão de distribuição, sendo este, também, fator importante para promoção de saúde pública. Este trabalho buscou avaliar a qualidade da água subterrânea consumida na comunidade Forte Velho, zona rural do município de Santa Rita – PB. Utilizando-se como referência, atualmente, a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o padrão de potabilidade, inicialmente, foram realizadas análises de 23 parâmetros físicos, químicos, organolépticos e microbiológicos, onde constatou-se que as águas subterrâneas não atendem ao padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente, devido aos valores dos parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *Escherichia coli*, e têm comportamento em equilíbrio, pois 100% das amostras se classificaram como balanceadas. Foi instalado um medidor de derivação, com alternativa *by-pass*, para aferir a vazão de distribuição e, conseqüentemente, o consumo *per capita* da comunidade, cuja média foi equivalente a 134,97L/hab.dia. Essa ação oferece subsídios importantes ao poder público, para a execução de um planejamento, a fim de melhorar a operação do sistema, de forma a controlá-los em níveis de eficiência desejáveis. Por fim, foi desenvolvido um protótipo denominado Sistema Dosador de Cloro - SDC, com custo relativamente baixo, para promover a inserção de cloro na água distribuída para comunidade. A implantação do SDC apresentou resultados parcialmente satisfatórios, com a presença de teores de cloro residual livre, em alguns pontos de consumo na comunidade, que atendem aos limites mínimo e máximo exigidos na Portaria Nº 888 de 2021. De modo geral, o presente estudo alerta para a condição da qualidade de água consumida pela população rural de Forte Velho, onde os dados avaliados e discutidos apontam um cenário negativo em termos de riscos à saúde pública.

Palavras-chave: Qualidade da água, dosador de cloro, medidor de derivação, análises físico-químicas e microbiológicas.

ABSTRACT

The requirement for monitoring and inspection of the quality and quantity of groundwater intended for human consumption is fundamental for the promotion of public health and efficient management of this resource. In addition to the quality of the water, the study to evaluate the tendency of the water to be fouling or corrosive is extremely important, although it is not a parameter of potability, since the deterioration of the pipe may cause a decrease in the flow of the wells and, consequently, in the distribution flow, which is also an important factor for public health promotion. This work sought to evaluate the quality of groundwater consumed in the community Forte Velho, rural area of the municipality of Santa Rita - PB. Using as a reference, currently, Ordinance N^o 888/2021 of the Ministry of Health, which provides for the potability standard, initially, analyzes of 23 physical, chemical, organoleptic and microbiological parameters were carried out, where it was found that the water groundwater do not meet the potability standard established by current legislation, due to the values of the microbiological parameters of total coliforms and *Escherichia coli*, and they behave in equilibrium, as 100% of the samples were classified as balanced. A bypass meter was installed, with a bypass alternative, to measure the distribution flow and, consequently, the per capita consumption of the community, whose average was equivalent to 134.97L/inhab.day. This action offers important subsidies to the public power, for the execution of a planning, in order to improve the operation of the system, in order to control them at desirable levels of efficiency. Finally, a prototype called Chlorine Dosing System - SDC was developed, with relatively low cost, to promote the insertion of chlorine in the water distributed to the community. The implementation of the SDC showed partially satisfactory results, with the presence of free residual chlorine levels in some consumption points in the community, which meet the minimum and maximum limits required by Ordinance N^o 888 of 2021. In general, this study warns for the condition of the quality of water consumed by the rural population of Forte Velho, where the data evaluated and discussed indicate a negative scenario in terms of risks to public health.

Keywords: Water quality, chlorine meter, derivation meter, physical-chemical and microbiological analyses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Ausência da prestação de abastecimento de água no território brasileiro e suas regiões, referentes ao ano de 2020	25
Figura 2-	Distribuição vertical da água no subsolo	35
Figura 3-	Sistema de abastecimento de água em pequeno porte.....	38
Figura 4-	Impurezas encontradas na água	41
Figura 5 -	Localização da área de estudo	49
Figura 6-	Concepção esquemática do sistema de abastecimento de pequeno porte em Forte Velho, Santa Rita – PB	51
Figura 7-	Poços tubulares que abastecem a comunidade Forte Velho	53
Figura 8-	Rede de distribuição (RD) como ponto representante da mistura da água dos três poços	53
Figura 9-	Torneiras isoladas para coleta de amostras: PT-1 (poço 1); PT-2 (poço 2); PT-3 (poço 3) e RD (rede de distribuição)	54
Figura 10-	Trecho reto da tubulação com instalação de hidrômetro de derivação	57
Figura 11-	Hidrômetro medidor de vazão proporcional em Forte Velho, Santa Rita - PB	58
Figura 12-	Montagem do SDC	60
Figura 13-	Perspectiva 3D do SDC	61
Figura 14-	Sentido do fluxo do sistema clorador	61
Figura 15-	Pontos de coleta da análise do cloro	63
Figura 16-	Valores de pH, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	69
Figura 17-	Valores de pH, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	70
Figura 18-	Valores de condutividade elétrica , obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	71
Figura 19-	Valores de condutividade elétrica, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	72
Figura 20-	Valores de turbidez, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	73
Figura 21-	Valores de turbidez, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	74

Figura 22-	Valores dos sólidos totais dissolvidos, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	75
Figura 23-	Valores dos sólidos totais dissolvidos, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	76
Figura 24-	Valores da dureza total, dureza em cálcio e magnésio em CaCO_3 , obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	77
Figura 25-	Valores da dureza total, obtida nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	78
Figura 26-	Valores da alcalinidade total, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	79
Figura 27-	Valores da alcalinidade total, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	79
Figura 28-	Representação gráfica do IL, obtidos nos três poços, nas distintas coletas realizadas	80
Figura 29-	Valores dos cloretos, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021	81
Figura 30-	Valores dos cloretos, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021	82
Figura 31-	Representação gráfica da série temporal do consumo <i>per capita</i> de Forte Velho	86
Figura 32-	Estatística descritiva referente ao consumo <i>per capita</i> da comunidade em estudo	87
Figura 33-	Comparação do consumo <i>per capita</i> de Forte Velho com outras regiões	88
Figura 34-	Curva de demanda do cloro	90
Figura 35-	Aplicação da pastilha de cloro no SDC	91
Figura 36-	Representação gráfica do teor de cloro obtido nos pontos de coleta	91
Figura 37-	Comportamento da água após aplicação do DPD	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Abrangência do conceito de saneamento básico, segundo a Lei Nº 14026/2020	24
Quadro 2 -	Alterações de dispositivos legais do novo marco do saneamento básico ..	30
Quadro 3 -	Tipos e características de poços para captação de águas subterrâneas ...	39
Quadro 4 -	Componentes alternativos para sistemas de abastecimento de água de pequeno porte	40
Quadro 5 -	Capacidades do cloro e seus derivados no processo de desinfecção das águas destinadas ao consumo humano	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação da água a partir dos valores obtidos de IL	45
Tabela 2 -	Dados técnicos sobre os pontos de coleta	52
Tabela 3 -	Amostragem dos parâmetros coletados ao longo do ano	55
Tabela 4 -	Cronologia e metodologia dos parâmetros analisados	56
Tabela 5 -	Custo de implantação do SDC	62
Tabela 6 -	Coliformes totais nas amostras de água dos poços de Forte Velho	65
Tabela 7 -	<i>Escherichia coli</i> nas amostras de água dos poços de Forte Velho	66
Tabela 8 -	Valores de sódio, sulfato, cálcio e magnésio obtidos nos três poços	83
Tabela 9 -	Valores dos demais parâmetros analisados nos três poços	84

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

Al³⁺ - Alumínio

AT – Alcalinidade total

BNH – Banco Nacional de Habitação

Ca²⁺ - Cálcio

CAGEPA – Companhia de água e Esgotos da Paraíba

CE – Condutividade elétrica

CEBs – Companhias Estaduais de Saneamento Básico

Cl⁻ - Cloretos

CRL – Cloro Residual Livre

CT – Coliformes totais

DT – Dureza total

E. coli – *Escherichia coli*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FT – Fósforo total

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IFPB – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba

IL – Índice de Langelier

K⁺ - Potássio

KMnO₄ - Permanganato de Potássio

LABDES – Laboratório de Referência em Dessalinização

Mg²⁺ - Magnésio

MS – Ministério da Saúde

Na⁺ - Sódio

NH₃ – Amônia

N-NO₂⁻ - Nitrito

N-NO₃⁻ - Nitrato

O₃ – Ozônio

OMS – Organização Mundial de Saúde.

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Pontencial hidrogeniônico

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento
PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSN – Plano Municipal de Saneamento Básico
PMSR – Prefeitura Municipal de Santa Rita
PNAD – Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios
PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico
PNSR – Programa Nacional de Saneamento Rural
PRORURAL – Programa de Saneamento Rural
SDC – Sistema Dosador de Cloro
SiO₂ – Sílica
SISAR – Sistema Integrado de Saneamento Rural
SNIS – Sistema Nacional de Saneamento Básico
SO₄²⁻ - Sulfato
STD – Sólidos totais dissolvidos
THM – Trihalometanos
Turb. – Turbidez
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
WASH – *Wash, Sanitation, Hygiene*

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO	20
1.1 O Problema	20
1.2 Objetivos	22
1.2.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 O saneamento e a sua importância	23
2.2 Saneamento básico no Brasil	26
2.3 O saneamento rural e o novo marco legal	31
2.4 As águas subterrâneas e a sua importância para o abastecimento humano	33
2.5 Sistemas de abastecimento de pequeno porte	36
2.6 Qualidade de água destinada ao consumo humano	40
2.6.1 Qualidade físico-química e organoléptica	42
2.6.2 Qualidade microbiológica	43
2.6.3 Índice de Saturação de Langelier	44
2.7 Desinfecção para tratamento de água em pequenas comunidades	45
III – METODOLOGIA	49
3.1 Materiais e Métodos	49
3.2 Caracterização da área de estudo	49
3.3 Pontos de coleta da água de abastecimento	51
3.4 Experimento 01: avaliação dos parâmetros de qualidade de água	54
3.4.1 Processamento das informações	56
3.5 Experimento 02: instalação do medidor proporcional	57
3.6 Experimento 03: Sistema Dosador de Cloro – SDC	59
3.6.1 Análise do cloro	62
IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 Experimento 01	65
4.1.1 Parâmetros microbiológicos	65
4.1.2 Parâmetros organolépticos e físico-químicos	68
4.2 Experimento 02	85
4.3 Experimento 03	89

V – Conclusões e sugestões	95
5.1 Conclusões	95
5.2 Perspectivas para trabalhos futuros	97
Referências Bibliográficas	99
Apêndices	116
1 Parâmetros físico, químico e organolépticos	116
2 Protocolo utilizado para a coleta de amostras em campo	119
Anexos	120
1 Resultados dos parâmetros microbiológicos do LABDES	120
2 Resultados dos parâmetros físico, químico e organolépticos do LABDES	122

I - INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

Estima-se que ainda há 844 milhões de pessoas no mundo sem acesso a serviço seguro de abastecimento de água (WHO, 2017). O cenário brasileiro não é diferente, onde apesar de avanços significativos no setor de saneamento, apenas 84% dos brasileiros são assistidos por água potável (BRASIL, 2021). Quando observados os núcleos populacionais rurais brasileiros, são encontrados índices menores. Em 2019, 40,5% da população residentes em áreas rurais possuíam atendimento adequado de abastecimento de água, 33,5% possuíam atendimento precário e 26% não possuíam atendimento (BRASIL, 2019).

Os benefícios advindos da implementação de saneamento básico promovem salubridade ambiental e qualidade de vida. Como esses fatores atuam no impacto social, ambiental, sanitário e econômico, nas zonas rurais os riscos relacionados ao déficit do saneamento são mais evidentes (COSTA; GUILHOTO, 2014; BRASIL, 2019; GONTIJO; RAMOS; ÂNGELO, 2020).

A ausência de serviços de saneamento nas áreas rurais brasileiras viola os Direitos Humanos e a Constituição Federal. Além do mais, essas populações não possuem atendimento que garanta a efetivação dos princípios fundamentais contidos na Lei Federal Nº 14.026 de 2020 tais como universalização do acesso, integralidade, segurança e qualidade dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2020).

Em locais com saneamento básico negligenciado, as doenças de veiculação hídrica, como os casos de doenças diarreicas que é uma causa relevante de mortalidade infantil no Brasil, podem ocorrer devido ao contato com água contaminada, não tratada ou em quantidade inadequada (COELHO *et al.*, 2017; Trata Brasil, 2019).

Estudos recentes comprovam a relação da carência de serviços de saneamento básico nas zonas rurais com a COVID-19, ressaltando que o impacto é variável em função das condições ambientais encontradas (SCALIZE *et al.*, 2021). Estudiosos identificaram a presença de cargas virais do SARS-Cov-2, em corpos hídricos, disseminadas por meio de águas residuárias e em função da qualidade da água disponível para as necessidades básicas (GUERRERO-LATORRE *et al.*, 2020; GAO *et al.*, 2020).

Assim, a exigência de um monitoramento e fiscalização da qualidade da água consumida pela população é fundamental para a promoção da saúde pública. Dessa forma, o Ministério da Saúde, através da Portaria Nº 888 de 2021, estabelece diretrizes de controle, vigilância e padrão de potabilidade da água para o consumo humano.

As águas subterrâneas são fontes seguras de abastecimento humano, principalmente em áreas periurbanas de países em desenvolvimento e em regiões de vulnerabilidade, como as áreas rurais (ALVARADO *et al.*, 2016). No entanto, são recursos sujeitos à contaminação, proveniente de origem natural e de atividades antropogênicas, as quais degradam a qualidade e disponibilidade dos aquíferos (TEDESCO; OLIVEIRA; TROJAN, 2021).

A zona rural do município de Santa Rita é abastecida, em sua maior parte, por poços velhos comunitários (SILVA, 2019). A comunidade Forte Velho é abastecida por água proveniente de poços tubulares e distribuída sem tratamento para população. Ademais, as águas residuárias da comunidade são dispostas em fossas rudimentares não ligadas à rede geral de esgoto, as quais não funcionam como forma de evitar a contaminação das águas subterrâneas (COSTA; GUILHOTO, 2014).

Dessa forma, esta pesquisa avaliou a qualidade das águas utilizadas para o consumo humano na comunidade de Forte Velho – PB, como também as condições de saneamento que possam gerar potenciais riscos à saúde da população residente nessas áreas, por meio da contaminação das águas. Foi proposto uma solução de tratamento a fim de que seja garantido à população o consumo de água potável.

Diante das lacunas, este estudo apresenta informações que podem colaborar nos futuros estudos relacionados às políticas públicas de saneamento e saúde, conservação dos recursos hídricos, visando à melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico da população rural estudada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar e monitorar a qualidade da água de manancial subterrâneo, destinada ao consumo humano, da comunidade Forte Velho, localizada na zona rural de Santa Rita (PB).

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os parâmetros organolépticos, físicos, químicos e bacteriológicos das águas utilizadas para abastecimento da comunidade;
- Determinar o potencial de incrustação ou corrosão da água explotada;
- Mensurar o consumo *per capita* de água de Forte Velho;
- Desenvolver um protótipo que possibilite inserir compostos clorados, a ser implantado no sistema de abastecimento, que permita melhorar a qualidade da água consumida;

II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O saneamento e a sua importância

Segundo Moraes e Borja (2014), o conceito de saneamento, como vários outros, vem sendo construído ao longo do tempo, em função das condições de cada época, da cultura da sociedade e do avanço no conhecimento. Para a Organização Mundial de Saúde – OMS, o saneamento é definido como o acesso e uso das instalações e serviços, desde a captação da água até a disposição final, para o descarte seguro dos dejetos humanos, cujo objetivo é promover saúde pública (WHO, 2018).

Ainda segundo a OMS, o acesso seguro à água potável, saneamento e higiene, conhecidos coletivamente como *wash, sanitation e hygiene - WASH*, são especialmente importantes para promoção da saúde (WHO, 2017). É importante ressaltar que saúde está ligado ao estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas à ausência de doença ou enfermidade (WHO, 2018).

Em um sentido mais amplo, o saneamento ambiental compreende um conjunto de ações socioeconômicas que visam promover o crescimento econômico, desenvolvimento social, saúde pública e salubridade ambiental (MENEZES, 1984; CHIARELOTTO, MARILETE; CHIARELOTTO, MAICO, 2017).

O manual de saneamento da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA utiliza o termo saneamento ambiental como:

Conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar níveis de salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (BRASIL, 2015, p. 19).

Para o Instituto Trata Brasil (2021), o saneamento consiste em um conjunto de ações destinadas à preservação ou modificação do meio ambiente, com o objetivo de prevenir enfermidades, promover saúde e o bem-estar da população e facilitar a atividade econômica.

No Brasil, o conceito de saneamento básico começou a ser discutido no início da década de 1970 através do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANASA, o qual englobava serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Atualmente, o conceito adotado pela Lei Federal engloba um conjunto de medidas

destinadas ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e por fim, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020).

No Quadro 1 verificam-se o conjunto de atividades, disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais dos componentes supracitados.

Quadro 1 - Abrangência do conceito de saneamento básico, segundo a Lei Nº 14026/2020.

Componente	Descrição
Abastecimento de água potável	Componentes que vão da captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
Esgotamento sanitário	Sistemas de coleta, transporte, tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos	Elementos de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana;
Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas	Sistema de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes

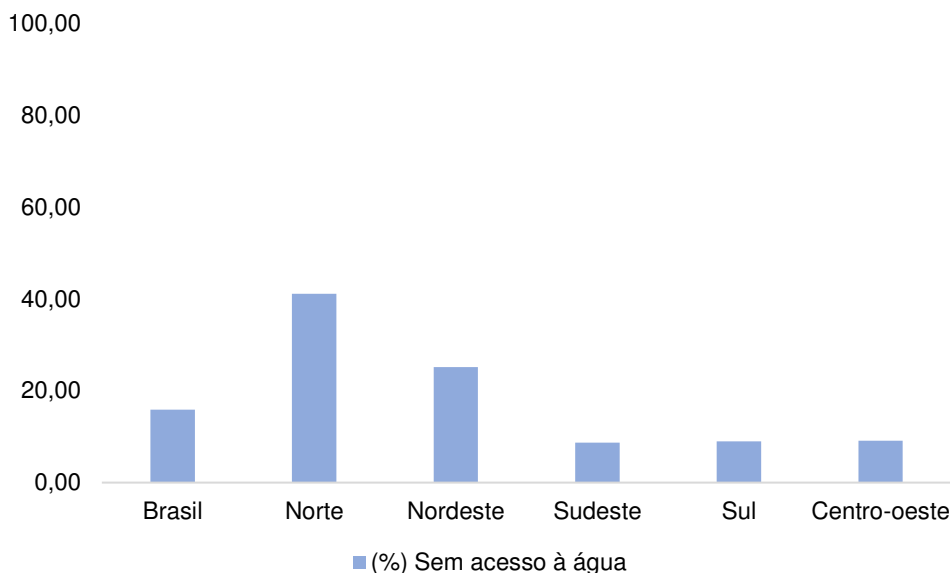
Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

Diante do exposto, pode-se assegurar que a prestação de serviços de saneamento estabelece relações entre uma infraestrutura física a uma estrutura legal, educacional e institucional, para assim, promover saúde pública e proteger o meio ambiente (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007). Cabe destacar que apesar da definição da Lei Federal abranger quatro componentes, a presente pesquisa contempla apenas o abastecimento de água potável.

As condições de saneamento básico no cenário brasileiro, apesar de apresentarem melhoras nos últimos anos, ainda são consideradas insuficientes para garantir condições adequadas à população. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, no ano de 2020, cerca de 33 milhões de

brasileiros não tem acesso à abastecimento de água e, aproximadamente, 25% dos nordestinos não tem acesso, conforme mostra a Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Ausência da prestação de abastecimento de água no território brasileiro e suas regiões, referentes ao ano de 2020.



Fonte: Adaptado de SNIS (2020).

A ausência ou ineficiência da prestação de serviços de saneamento básico reflete diretamente na saúde dos brasileiros. No ano de 2019, aconteceu no Brasil, mais de 270 mil internações e 2.734 óbitos por doenças de veiculação hídrica (Trata Brasil, 2019).

Segundo o Instituto Trata Brasil, no ano de 2019, a diarreia, doença gastrointestinal infecciosa, foi a doença com maior índice de internações, principalmente em crianças, somando-se mais de 200 mil casos. Além desse, febre amarela, dengue, leptospirose, malária e esquistossomose também afetaram a saúde dos brasileiros (TRATA BRASIL, 2019).

Costa, Gadelha e Filgueira (2019), ressaltam que a deficiência da oferta de serviços de saneamento básico, correlaciona-se com questões de saúde pública, intensificação da degradação do meio ambiente e problemas sociais, que por sua vez, torna o ambiente insalubre. Dessa forma, investimentos em saneamento são essenciais para promover saúde preventiva, por meio da redução da incidência de enfermidades, mortalidade infantil e para preservação ambiental.

2.2 Saneamento básico no Brasil

Historicamente, o setor de saneamento no Brasil é marcado por avanços nos aspectos institucionais, porém, ainda prevalecem no país grandes deficiências no que tange à extensão e qualidade da prestação dos serviços de abastecimento de água. Um exemplo que corrobora com o afirmado, são os dados do Ranking de Saneamento, publicado em 2022, pelo Instituto Trata Brasil, o qual sintetiza os dados do SNIS, demonstrando que, enquanto João Pessoa e Campina Grande exibem índice de atendimento urbano de água equivalente a 100%, cidades como Porto Velho (32,87%) e Macapá (37,56%), não usufruem do mesmo privilégio. Murtha, Castro e Heller (2015), afirmam que as populações mais vulneráveis, residentes em áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais, são as que mais sofrem com a ausência da prestação destes serviços.

Até o fim do século XIX, praticamente não houve prestação planejada de serviços de saneamento básico nos aglomerados urbanos brasileiro (PULHEZ; MARQUES, 2020). De acordo com Sousa e Costa (2016), a política brasileira de saneamento do Brasil teve origem a partir da instituição, em 1971, do PLANASA, pelo governo militar, cujo objetivo era ampliar a cobertura para atender 80% e 50% de serviços abastecimento de água e esgotamento sanitário, respectivamente (TUROLLA, 2002).

A época da instituição do PLANASA era marcada por uma centralização e autoritarismo nas decisões políticas no plano federal, e por uma restrição de liberdade individual e coletiva, conforme afirmam Galvão Júnior e Monteiro (2006). Estes mesmos autores ressaltam que este Plano incentivou os municípios a concederem, por meio de contrato, o patrimônio e as instalações existentes dos serviços às Companhias Estaduais de Saneamento Básico – CEBs, tornando-se inteiramente responsável por planejar, coordenar, definir padrões e operar os sistemas de saneamento. Na época, conforme afirma Turolla (2002), 25% dos municípios não aderiram a este sistema.

O PLANASA fundamentou-se em uma autossustentação tarifária, a qual, segundo Rubinger (2008), as tarifas deveriam “proporcionar cobertura dos custos de operação, manutenção e amortização dos empréstimos”. Para garantir o retorno dos investimentos, foi observado que as ações implementadas pelo plano contemplaram a população de maior renda, especialmente as regiões Sul e Sudeste, e excluíram grande

parte da população mais carente, agravando o quadro de desigualdades sociais do país (REZENDE; HELLER, 2002 e CUNHA; BORJA, 2018).

Segundo Rubinger (2008), este Plano proporcionou significativo aumento no atendimento à população, porém, a partir de meados da década de 1980, mostrou-se ineficaz na cobertura de abastecimento de água e esgotamento sanitário pretendida. Sousa e Costa (2016), afirmam que o fim da ditadura militar e a extinção do Banco Nacional de Habitação – BNH, responsável pelo financiamento para às CEBs, foram os fatores decisivos para o encerramento do PLANASA no final da década de 1980.

Galvão Júnior e Paganini (2009), ressaltam que após a extinção do PLANASA, o país foi marcado por uma ausência de leis, mecanismos de investimentos e políticas regulatórias referentes ao setor de saneamento. Essa situação sofreu alteração, somente, após mais de duas décadas, com a promulgação da Lei Nº 11.445/2007, conhecida como Lei Nacional de Saneamento Básico, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007).

Segundo Côrrea (2018), a Lei Nº 11.445/2007, regulamentada pelo Decreto Nº 7.217/2010, reascendeu uma expectativa de avanços e investimentos para o setor de saneamento com vistas a melhorar a eficiência das operadoras, para assim alcançar a universalização do acesso e integralidade dos serviços prestados à população.

Conforme citado anteriormente, a Lei ampliou o conceito de saneamento no país, abrangendo além do abastecimento de água potável e esgotamento sanitário, a drenagem e manejo das águas pluviais; e a limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. Entre outras especificações, a referida Lei dispõe sobre os princípios fundamentais, exercício da titularidade, prestação regionalizada de serviços, e estabelece como premissas básicas, o planejamento, a regulação e o controle social (BRASIL, 2007).

A Lei não dispõe expressamente sobre a titularidade. De acordo com o Art. 8, os municípios e o Distrito Federal ficam responsáveis pela prestação, de forma direta ou via concessão a empresas privadas, dos serviços de saneamento básico. Porém, de acordo com Côrrea (2018), é atribuída aos estados a responsabilidade de manter e operar os sistemas, estabelecer regras de tarifas e os subsídios dos sistemas que operam esse conjunto de infraestrutura tão importante para o desenvolvimento ambiental. Por fim, a União tem competência em estabelecer diretrizes gerais, formular e apoiar programas em âmbito nacional (BRASIL, 2007).

Um grande avanço trazido pela Lei foi a implementação do planejamento, atribuindo ao Governo Federal, a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLAN SAB, cujo objetivo é definir diretrizes nacionais para universalização dos serviços, disciplinar o processo de tomada de decisões na política pública, e propor a elaboração de programas que atinjam os objetivos da Política Federal de Saneamento Básico (BRASIL, 2007 e SILVEIRA; HELLER; REZENDE, 2013).

Ademais, atribuiu aos municípios, a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB, que abrange o diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida; metas de curto, médio e longo prazo para universalização; programas, projetos e ações para atingir os objetivos e metas; ações para situações emergenciais e contingenciais, e por fim, mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas (BRASIL, 2007).

A existência do plano de saneamento é considerada como critério de validade dos contratos e acesso aos recursos orçamentários da União ou aos recursos de financiamento geridos ou administrados por órgão ou entidade da administração pública federal, tornando-se instrumento fundamental para o planejamento futuro do saneamento básico no Brasil (BRASIL, 2010 e CÔRREA, 2018).

A Lei Nº 11.445/2007 manteve, conforme corrobora o Art. 10, a prestação de serviços de saneamento básico por meio de contratos de programa, convênio, termo de parceria ou outros instrumentos de natureza precária, os quais não necessitam de processo licitatório (BRASIL, 2007).

Outra inovação deste dispositivo diz respeito a importância da regulação no setor de saneamento. De acordo Galvão Júnior e Paganini (2009), a implantação da regulação, na época, representou um grande desafio devido a incompetência político-administrativa dos entes federados, sobretudo os municípios, para se prover a intervenção do Estado nas ordens econômica e social nos termos da Lei Nº 11.445/2007.

Conforme a Lei, conhecida como marco legal do saneamento, as atividades da função de regulação deveriam ser executadas por entidade reguladora, no âmbito municipal ou estadual, que apresentasse independência decisória, incluindo autonomia administrativa, orçamentária e financeira, com transparência e capacidade técnica para tal.

Ainda de acordo com a Lei, a regulação no setor de saneamento assumia o objetivo de estabelecer padrões para a adequada prestação dos serviços, garantir o cumprimento das metas, prevenir o abuso do poder econômico e definir tarifas que assegurassem o equilíbrio econômico e financeiro. Sousa (2016), aponta que as entidades ou agências reguladoras referentes ao serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário estavam em processo inicial de estruturação e normatização.

Nesta perspectiva, Cândido (2013) e Coutinho (2021), reconhecem o avanço que a Lei Nº 11.445/2007 representou no quadro regulatório do setor de saneamento no Brasil, porém, afirmam que não responde a definição da titularidade dos serviços em sistemas de interesse comum, o que é fundamental para o desenvolvimento do aparato regulatório nos níveis estadual e municipal.

Por fim, a Lei implantou a participação da sociedade nos processos de políticas e planejamento do setor por meio de debates, audiências e consultas públicas, e conferências das cidades (Brasil, 2007; Brasil, 2010). Entretanto, a participação efetiva da população ainda é distante na discussão do setor de saneamento (TRATA BRASIL, 2020).

Apesar das dificuldades, a Lei Nacional de Saneamento Básico, após mais de uma década de sua instituição, foi essencial para os avanços, apesar de tímidos, nos índices de acesso e de qualidade aos serviços de saneamento, refletindo no bem-estar da sociedade e na salubridade ambiental. Em 2020, o governo federal sancionou a Lei Nº 14.026, chamada de Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, que atualiza o marco legal instituída pela Lei nº 11.445/2007.

De acordo com Sousa (2020), o novo marco trouxe alterações e inovações importantes em sete leis que regulavam o saneamento no país, tornando-se assim a intervenção mais rígida realizada no setor desde o PLANASA. O Quadro 2 abaixo destaca os dispositivos legais modificados e inovados pela Lei nº 14.026/2020.

O novo marco estabelece metas de universalização dos serviços até 2033, podendo ser adiado para 2040, caso se comprove inviabilidade econômica e financeira (BRASIL, 2020). Nesta perspectiva, a estimativa de gastos para se alcançar a meta de universalização do saneamento, segundo Paginini e Bocchiglieri (2021), é de R\$ 598 bilhões de investimento, projetando-se pelo menos R\$ 50 bilhões por ano, ininterruptamente, entre 2021 e 2033. Esses mesmos autores afirmam que, até 2033, a universalização será uma meta difícil de ser atingida.

Quadro 2 - Alterações de dispositivos legais do novo marco do saneamento básico.

Lei	Alteração
Lei nº 9.984/2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas	Passa a ser denominada como Agência Nacional de Águas e Saneamento – ANA. Ademais, atribuindo à ANA a competência para editar as normas de referência regulatórias do saneamento
Lei nº 10.768/2003, que dispõe sobre o quadro de pessoal da ANA	O nome do cargo de Especialista em Recursos Hídricos passa a ser Especialista em Recursos Hídricos e Saneamento. Além disso, altera as atribuições deste cargo.
Lei nº 11.107/2005, que ordena sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos	Veda os contratos de programa que os prefeitos e governadores poderiam firmar com empresas estatais.
Lei nº 11.445/2007, que trata sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico	Foi a Lei que mais sofreu alterações, sintetizadas em uniformidade a regulação, concorrência e competitividade entre entes públicos e privados na prestação de serviços, incentivo à prestação regionalizada e, por fim, regramento para acesso aos recursos federais
Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos	Revisão do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, que pode estar integrado ao plano de saneamento básico, em um período máximo de dez anos
Lei nº 13.089/2015, que instituiu o Estatuto da Metrópole	Estendeu as regras do estatuto às unidades regionais de saneamento
Lei nº 13.529/2017, que dispõe sobre a participação da União em fundo de apoio à estruturação e ao desenvolvimento de projetos de concessões e parcerias público-privadas	Autoriza a União participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados

Fonte: Adaptado de BRASIL (2020) e Lima (2021).

O novo marco atribuiu à ANA a competência para uniformizar as diretrizes da regulação do saneamento básico, por meio de edição de normas de referência sobre padrões de qualidade e eficiência na prestação, manutenção e operação dos sistemas, regulação tarifária, entre outros aspectos (Brasil, 2020). Essa inovação, segundo

Coutinho (2021), estabelece um ambiente de segurança regulatória e jurídica que pode contribuir para atrair investimentos para o setor.

A Lei vetou a prestação de serviços por meio de contrato de programa, exigindo a partir de agora, a abertura de licitação para que empresas públicas e privadas concorram para prestação de água e esgoto (Brasil, 2020). No tocante à titularidade, a Lei estabelece que os serviços poderão ser exercidos pelos municípios e o Distrito Federal, no caso de interesse local e pelo Estado, em conjunto com os Municípios, que compartilham efetivamente instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, instituídas por lei complementar estadual, no caso de interesse comum (BRASIL, 2020).

Por fim, o novo marco incluí a prestação regionalizada dos serviços, por meio da criação de blocos municipais pelos estados, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica, econômica e financeira. Apesar da adesão ser facultativa para os municípios, a Lei nº 14.026/2020 condiciona a alocação de recursos federais à adoção de modelos de prestação regionalizada (BRASIL, 2020).

2.3 O saneamento rural e o novo marco legal

Como ferramenta para universalização do saneamento básico, a Política Nacional de Saneamento Básico - PNSB, instituída pela Lei nº 11.445/2007, determina a “garantia de meios adequados para o atendimento da população rural, por meio da utilização de soluções compatíveis com as suas características econômicas e sociais peculiares”, conforme inciso VII do Art. 48 (BRASIL, 2020).

De acordo com a FUNASA, as primeiras ações direcionadas ao saneamento rural foram o Projeto Nacional de Saneamento Rural, em meados de 1980, e o Programa de Saneamento Rural – PRORURAL, no início da década de 1990, porém, foram programas pontuais, de pouca visibilidade e curta duração (BRASIL, 2019).

A análise situacional desenvolvida pelo PLANSAB revela uma conjuntura de *déficit* de acesso aos serviços de saneamento que atinge a população rural. Nesse sentido, o PLANSAB previu, em 2013, a elaboração do Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR, desenvolvido pela FUNASA em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (SALES, 2018; BRASIL, 2019).

O PNSR tem como objetivo “universalizar o acesso ao saneamento básico em áreas rurais, por meio do fomento e execução de ações que garantam equidade, integralidade, intersetorialidade, sustentabilidade dos serviços, participação e controle social” (BRASIL, 2019, p.34).

Quanto ao cenário do saneamento rural brasileiro os dados trazidos pela FUNASA (2014) *apud* IBGE (2010) e Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios - PNAD (2012) demonstram que apenas 33,2% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a rede de abastecimento de água (com ou sem canalização interna) e apenas 5,45% dos domicílios rurais possuem coleta de esgoto ligada à rede geral e 33,25% possuem fossa séptica (ligada ou não à rede coletora).

No restante dos domicílios, faz-se uso de fontes alternativas, principalmente poços, protegidos ou não, cursos da água sem nenhum tipo de tratamento ou outras fontes geralmente inadequadas para consumo humano (BORTH, 2015).

No estado da Paraíba, apenas 19% dos domicílios rurais estão ligados à rede de distribuição de água enquanto no Sergipe esse percentual é de 61%. Este cenário evidencia a precariedade das condições de prestação de serviços de saneamento básico nas áreas rurais do Brasil (PNAD, 2012; FUNASA, 2014 *apud* IBGE, 2010; BRASIL, 2019).

Em dezembro de 2019 o governo lançou em parceria com a FUNASA, o Programa Saneamento Brasil Rural com o objetivo de executar plano de metas, atendendo os preceitos do PLANASA, para universalizar o saneamento nas comunidades mais vulneráveis até 2038. No tocante a investimento, este programa ressalta que são necessários mais de 200 bilhões de reais para proporcionar soluções sanitárias adequadas à população rural, o que torna uma meta difícil de ser alcançada (BRASIL, 2019).

O estado do Ceará é reconhecido por possuir um modelo de gestão viável, comunitário e autossustentável, o Sistema Integrado de Saneamento Rural – SISAR, como alternativa de prestação de serviços para o saneamento rural, em especial o abastecimento de água. Atualmente, mais de 700 mil habitantes são beneficiados através das 08 unidades instaladas pelo estado (SISAR, 2021).

De acordo com Rocha (2013) e Lima (2021), o modelo SISAR se mostrou exitoso e se replicou, de forma gradual e progressiva, nas áreas rurais dos estados da Bahia, Piauí e Pernambuco. Além disso, vem servindo de modelo de influência para o Rio

Grande do Norte e Paraíba, conforme afirma Castro (2015). Dessa forma, o nordeste brasileiro tem aportado significativa contribuição para o atendimento ao saneamento rural brasileiro.

Conforme exposto no item 1.2 deste trabalho, o novo marco legal do saneamento vetou a gestão por associação comunitária na prestação de serviços para as áreas rurais. Segundo Sousa (2020), esse veto prejudicou o saneamento rural, pois este não será incorporado, em um primeiro momento, aos novos contratos de prestação de serviço.

Ademais, Paganini e Bocchiglieri (2021), ressaltam que o novo dispositivo não oferece estímulos para viabilizar o retorno de investimentos para promover a universalização a população rural. Sendo assim, para universalizar o saneamento na área rural é necessário a instituição de uma política setorial própria.

Portanto, apesar da iniciativa de projetos e programas, nos últimos anos, a efetivação de políticas públicas e a disponibilidade de recursos ainda são escassos no meio rural brasileiro. Essa realidade tende a aumentar a desigualdade social no meio e a responsabilizar esta população a buscar fontes alternativas para abastecimento de água, as quais podem oferecer danos à saúde da população local e ao meio ambiente.

2.4 As águas subterrâneas e a sua importância para o abastecimento humano

De acordo com a Organização das Nações Unidas - ONU, o acesso à água é um direito humano essencial, intimamente relacionado com o direito à vida, à saúde e à alimentação. Augusto *et al.*, (2012), ressaltam que os efluentes (domésticos, agrícolas e industriais) e o uso intensivo do solo para modelo agrícola são impactos ambientais que afetam a disponibilidade hídrica para consumo humano.

De acordo com Trata Brasil (2021), as reservas subterrâneas detêm 97% das águas doces e líquidas do planeta, sendo então essenciais para segurança hídrica global. Segundo Fernandes (2005), as águas subterrâneas são essenciais para o desenvolvimento socioeconômico das regiões mais carentes do planeta, especialmente onde os fatores climáticos e geológicos impactam a disponibilidade hídrica superficial.

Laureano *et al.*, (2020), ressaltam a importância das águas subterrâneas para a preservação dos sistemas hidrogeológicos. De acordo com Hirata *et al.*, (2019), 52% municípios brasileiros, principalmente os mais vulneráveis, dependem totalmente (36%)

ou parcialmente (16%) das águas subterrâneas para o abastecimento público. Dessa forma, significam uma fonte importante para o abastecimento e consumo humano.

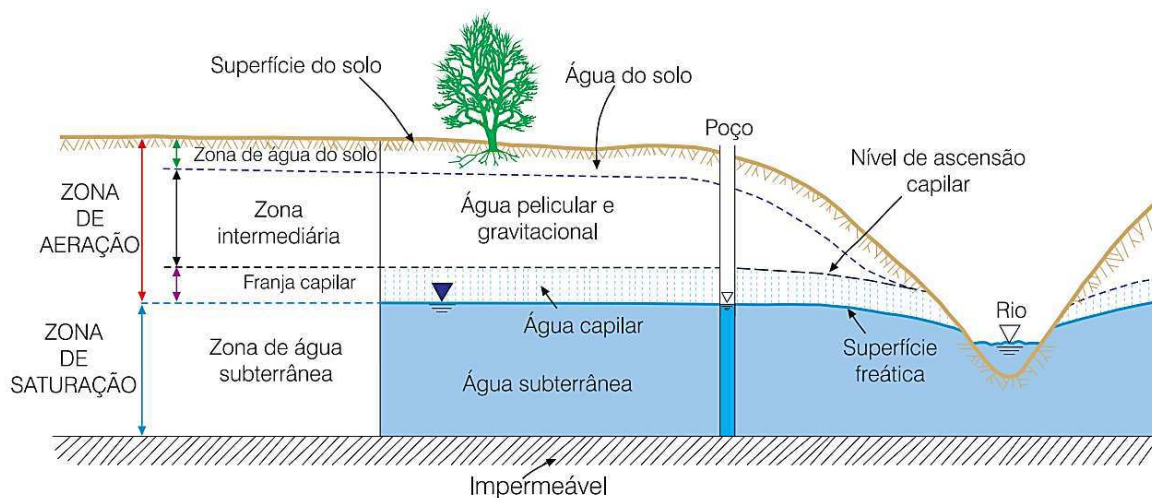
Ademais, apresenta-se como recurso importante para o abastecimento público por apresentar vantagens como qualidade geralmente satisfatória para fins potáveis, facilidade de extração e captação das águas, inexigência de adução longa para o sistema e entre outros, as quais são características que evitam grandes investimentos para o tratamento e instalação dos sistemas de abastecimento (HIRATA *et al.*, 2019).

O abastecimento adequado de água, em quantidade e qualidade, é essencial para a promoção do desenvolvimento socioeconômico e salubridade ambiental. De acordo com Razzolini e Gunther (2008), condições adequadas de provimento de água contribuem para proteção da saúde local e para prática de hábitos higiênicos pessoal, domiciliar e no preparo dos alimentos, resultando em fator condicionante para sustentação da vida humana.

As águas subterrâneas originam-se no ciclo hidrológico. De acordo com Héller e Pádua (2010), após a precipitação, parte das águas que atinge o solo se infiltra e percola abaixo da superfície do solo através de fatores como ação da gravidade, tipo e densidade da cobertura vegetal, intensidade da precipitação e entre outros.

No tocante à ocorrência, Tsutiya (2006), afirma que as águas subterrâneas se encontram abaixo da superfície do solo, armazenadas nos poros e interstícios das rochas sedimentares e nas fissuras das rochas ígneas e metamórficas. De acordo com Silva (2019), a ocorrência deste recurso está diretamente relacionada a dois fatores: capacidade de infiltração potencial do solo e capacidade de reter a água precipitada, impedindo-a de escoar superficialmente.

Segundo Manoel Filho (2008), estas águas distribuem-se verticalmente em duas zonas: aeração e saturação. A zona de aeração, segundo este mesmo autor, é a que contém poros parcialmente cheios de gases e água, situados entre a superfície freática e a superfície do terreno. Já a zona de saturação, fica situada abaixo da superfície freática e todos os vazios são preenchidos com água, conforme mostra a Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Distribuição vertical da água no subsolo.

Fonte: Bear e Verruijt, 1967 *apud* Manoel Filho, 2008.

Para Manoel Filho (2008), a hidrogeologia considera as águas subterrâneas àquelas que circulam na zona saturada e que são armazenadas em formações geológicas denominadas aquíferos.

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS (2021), considera os aquíferos como um material geológico do subsolo que armazenam água em seus poros, tornando-os saturados, com capacidade de transmitir a água armazenada.

Em relação a pressão da água à superfície superior, os aquíferos são classificados em confinados e livres. Os aquíferos confinados, também conhecidos como artesianos, são aqueles cuja pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica, resultando que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. Já os aquíferos livres, chamados de freáticos, são aqueles cujo superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica (ABAS, 2021).

Silva, Brito e Silva Filho (2021) e Capalonga (2021), afirmam que a perspectiva de contaminação dos aquíferos, proveniente de atividades antropogênicas, podem ser pontuais e difusas. As contaminações pontuais, mais concentradas, são provenientes das atividades industriais, cemitérios, centro de disposição de resíduos e entre outros. As contaminações difusas são oriundas da ausência de redes coletoras de esgotos, resultando no emprego extensivo de fossas rudimentares, e da agricultura.

Além destes, a contaminação dos recursos subterrâneos também ocorre pela forma de escavação e revestimento inadequado dos poços, meio de captação das reservas. Leite e Antunes (2021), afirmam que as alterações na qualidade, e

consequentemente na disponibilidade, das águas subterrâneas são processos vagarosos, em virtude da baixa velocidades de fluxo de infiltração e dos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem na zona não saturada do solo.

Tendo em vista que as águas subterrâneas é um recurso hídrico finito, limitado e dotado de valor econômico, Peixoto e Johann (2021), ressaltam a importância da sua prevenção da contaminação, pois, quando são poluídas, demandam processos complexos, morosos e com custos relativamente altos ou até mesmo inviáveis para sua descontaminação.

2.5 Sistemas de abastecimento de pequeno porte

O fornecimento de água em qualidade, regularidade e de forma acessível são serviços necessários à vida das pessoas e das comunidades, refletindo diretamente no aspecto sanitário, em virtude da proteção da saúde humana. Além disso, as instalações do abastecimento de água refletem no desenvolvimento econômico das comunidades humanas, preconizando também aspectos sociais e econômicos (BORTH, 2015).

A importância de sistemas de abastecimento de água está relacionada com a promoção na melhoria da saúde pública e das condições de vida de uma população, através do controle e prevenção de doenças, devido aos usos da água para ingestão, preparo de alimentos, higiene pessoal e entre outros. No aspecto socioeconômico, a prevenção de doenças de transmissão hídrica implica na redução de gastos com tratamentos e na mortalidade em geral e, em especial, a infantil, refletindo no aumento da eficiência nas atividades econômicas e, consequentemente, na renda per capita (BRASIL, 2019).

O setor de abastecimento de água atua como usuário prioritário dos recursos hídricos, por meio da outorga de uso, no qual é permitido a captação de uma parcela da vazão existente no corpo hídrico, conforme a Lei Federal Nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997). A água, após consumida, retorna ao meio, em grande parte, na forma de esgotos, sendo então, um setor impactante ao meio ambiente, conforme afirmam Héller e Pádua (2010). Dessa forma, para mitigar os impactos ao homem e ao meio ambiente, é necessário que a implantação de um sistema de abastecimento de água esteja associada a uma rede de coleta de esgoto.

De acordo com Héller e Pádua (2010), a demanda por água iniciou para atender às necessidades do homem, quando adotou a agricultura como meio de subsistência, e irrigação das suas culturas agrícolas. Segundo Tsutiya (2006), nessa época, a maioria das civilizações utilizavam os canais superficiais como meio de abastecimento. Ao longo do tempo, as tecnologias dos sistemas foram aprimoradas e diversas técnicas foram desenvolvidas para atender às necessidades locais, como a perfuração de poços para captação de águas subterrâneas, com uso do ferro fundido como material para adução (HÉLLER; PÁDUA, 2010).

No Brasil, a primeira cidade a ter sistema coletivo de abastecimento foi o Rio de Janeiro, em que sua obra iniciou na década de 60 e foi concluída em 1723, com 270 m de comprimento, aduzindo águas do rio Carioca através dos arcos velhos até o chafariz público (Héller e Pádua, 2010 *apud* Azevedo Netto *et al.*, 1998). Atualmente as redes públicas de abastecimento de água assistem mais de 90% e 30% dos brasileiros em residem nas zonas urbanas e rurais, respectivamente, como apresentado nos capítulos anteriores.

O conceito adotado no Brasil é controlado por meio da fonte de abastecimento, categorizado de três formas, ambas exigindo controle de qualidade e vigilância da água, conforme artigo 5º da Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021):

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

Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC): modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição.

Solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI): modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares (BRASIL, 2021).

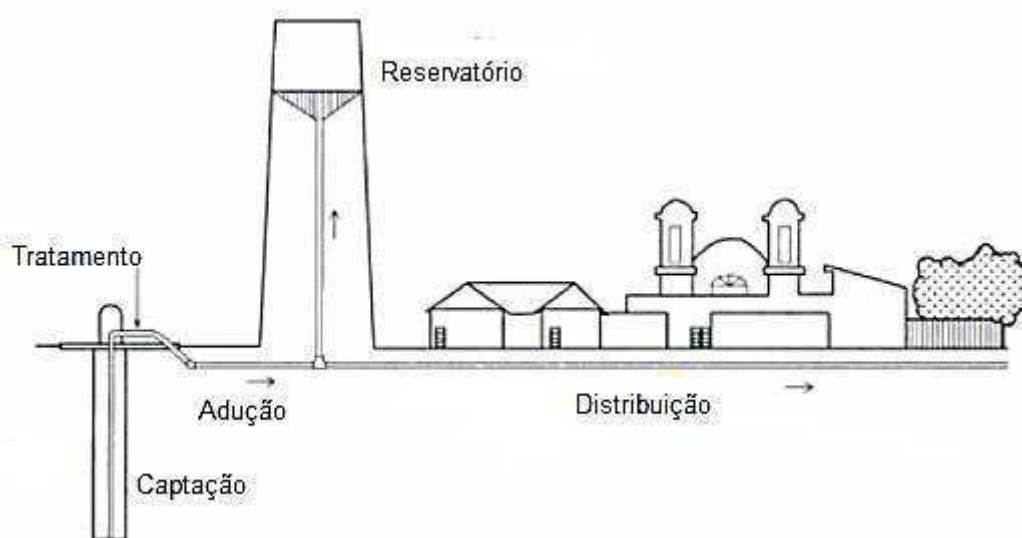
No âmbito da engenharia não há uma solução única para a implantação de um sistema de abastecimento. Segundo Héller e Pádua (2010) *apud* UNICEF (1978), um bom sistema é aquele que atende a realidade sociocultural das pessoas e/ou comunidades, promovendo segurança higiênica, satisfação técnica e científica, que seja econômico e inofensiva ao meio ambiente.

Em suma, a concepção de um sistema convencional é formada por cinco etapas principais, dispostas a seguir de acordo com Tsutiya (2006):

- **Captação:** conjunto de obras, estruturas e equipamentos, montados junto ao manancial, superficial ou subterrâneo, para retirada de água bruta;
- **Adução:** canalizações dos sistemas que conduzem água para etapas que precedem a rede de distribuição. Esta etapa não distribui água diretamente aos consumidores.
- **Tratamento:** série de processos físico e químico destinado à remoção de contaminantes da água, tornando-a potável.
- **Reservação:** a água tratada é armazenada para atender alguns objetivos, entre eles, a variação do consumo da água e manter a pressão constante na rede.
- **Distribuição:** etapa destinada a fornecer água potável à disposição de consumidores, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas.

De acordo com Silva (2019), condicionantes como desigualdade social e dispersão geográfica dificultam a provisão de sistemas convencionais nas áreas rurais, prevalecendo nestas, as soluções em pequeno porte, conforme Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Sistema de abastecimento de água em pequeno porte.



Fonte: Adaptado de Héller e Pádua (2006) *apud* DIS-SSA (1980).

Ferreira *et al.*, (2017), afirmam que as soluções de abastecimento de água para as famílias residentes nas zonas rurais são provenientes de fontes susceptíveis à contaminação, como os poços, nascentes, córregos e rios. Esse tipo de abastecimento

representa um desafio para os governantes e para as empresas prestadoras dos serviços (LORDELO; PORSANI; BORJA, 2018).

No tocante à etapa de captação de águas subterrâneas de grandes profundidades, os poços artesianos ou semi-artesianos são alternativas viáveis para atender às necessidades de comunidade rural, conforme afirma Borth (2015). Este mesmo autor afirma que esses poços devem estar distantes, no mínimo, 15 metros de privadas secas e tanques sépticos; e 40 metros de poços absorventes, estábulos e currais.

O trabalho desenvolvido por Vasconcelos (2015), apresenta uma síntese dos tipos de poços, escavados e tubulares, utilizados como forma de captação de águas subterrâneas em um sistema de abastecimento. O Quadro 3 abaixo apresenta as características desses poços.

Quadro 3 - Tipos e características de poços para captação de águas subterrâneas.

Poços	Tipos	Características
Escavado	Cacimba	Diâmetro > 0,5m
		Sem revestimento nas paredes
	Cacimbões	Diâmetro > 0,5m e < 5,0 m
		Com revestimento lateral nas paredes
	Amazonas	Diâmetro superior a 0,5m
		Com revestimento parcial ou total em sua parede
Rádias	Estrutura composta por tubulações horizontais para intensificar a captação de água no aquífero	
Tubulares	Artesiano jorrante	Linha piezométrica acima do nível do terreno
		A elevação natural do nível da água é gerada pela pressão no aquífero confinado.
	Artesiano não jorrante	Linha piezométrica abaixo do nível do terreno
		Necessário uma bomba para elevar a água, do aquífero confinado, acima do nível do terreno
Freático	Capta água do aquífero livre	

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2015).

Em relação ao tratamento da água, a Portaria do Ministério da Saúde – MS Nº 888 de 2021 afirma que toda água distribuída coletivamente deve passar, no mínimo, pelo processo de desinfecção ou adição de desinfetantes para manutenção dos

contaminantes. Porém, em alguns casos, somente esta etapa não é suficiente para atender as exigências legais e torná-la potável para consumo humano (BRASIL, 2021).

O trabalho desenvolvido por Raid (2017) apresenta alguns componentes alternativos (Quadro 4) adotados em sistemas de abastecimento de pequeno porte, e ressalta que devido as peculiaridades locais, a instalação desses sistemas pode apresentar arranjos variáveis.

Quadro 4 - Componentes alternativos para sistemas de abastecimento de água de pequeno porte.

Etapas do sistema	Componentes alternativos
Captação	Nascente, poços (de uso familiar ou coletivo), manancial superficial (realizada de modo precário) e água de chuva.
Tratamento	Desinfetantes a base de cloro (hipocloração, clorador de pastilha e entre outros), filtro doméstico de areia, filtro doméstico de vela, fervura, desinfecção por radiação solar.
Reservação	Cisternas
Distribuição	Chafariz, torneiras públicas e veículos transportadores (caminhão-pipa).

Fonte: Adaptado de Héller; Pádua (2010) e Raid (2017).

Por fim, ressalta-se que estes componentes alternativos não devem ser assimilados como solução improvisada, conforme afirmam Héller e Pádua (2010), pois assim como o sistema convencional, estes devem fornecer água em quantidade e qualidade que atendam aos padrões de potabilidade determinados pela legislação vigente.

2.6 Qualidade de água destinada ao consumo humano

Amaral *et al.*, (2003), afirmam que a avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano é de extrema importância, tendo em vista que a mesma, quando contaminada, é um veículo transmissor de doenças por mecanismos de ingestão e, quando carece em quantidade, provoca doenças relacionadas à falta de hábitos higiênicos. De acordo com Ferreira *et al.*, (2017), atualmente, a cada oito segundos, morre uma criança por doença relacionada com a contaminação da água.

O risco de ocorrência de enfermidades de veiculação hídrica nas zonas rurais é alto, conforme afirmam Amaral *et al.*, (2003), em função da utilização de águas, muitas

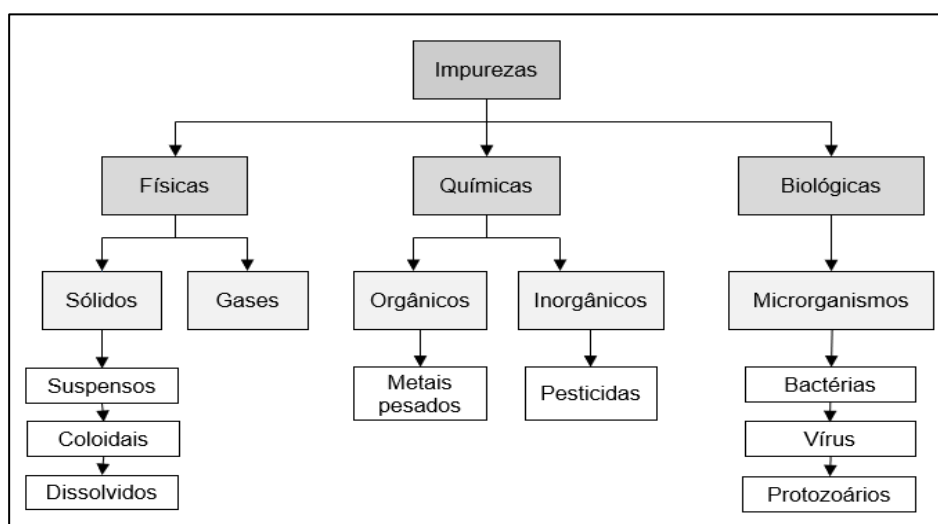
vezes sem nenhum tipo ou com tratamento impróprio, provenientes de poços velhos, inadequadamente vedados e próximos a fontes de contaminação, como fossas rudimentares.

Nesse sentido, a vigilância e o controle da qualidade da água em conjunto com a concepção, projeto, implantação, operação e manutenção adequados de um sistema de abastecimento são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde pública (BRASIL, 2006).

Segundo Brasil (2006), as ações de vigilância e controle diferenciam-se basicamente pela atribuição de competência de responsabilidade do setor saúde e dos operadores dos sistemas de abastecimento, respectivamente. Fortes, Barrocas e Kligerman (2019), afirmam que a ação da vigilância é baseada em um tripé de inspeção, monitoramento e dados informacionais baseados em indicadores operacionais, físico-químicos, microbiológicos, epidemiológicos, sanitários e ambientais.

O termo qualidade das águas refere-se à relação entre a concentração de impurezas (Figura 4) presentes na água e ao seu uso preponderante (Braga *et al.*, 2018). Assim, conforme afirma Becker (2010), o uso de uma água é assegurado por sua qualidade, representada por um conjunto de parâmetros mensuráveis de natureza física, química, microbiológica.

Figura 4 - Impurezas encontradas na água.



Fonte: Elaboração própria

No Brasil, a Portaria MS N^o 888/2021, dispõe sobre os procedimentos de “controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de

potabilidade”, estabelece que toda água deve ser objeto de controle e vigilância de qualidade. Esta Portaria alterou valores de referência, do Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017, de padrões em algumas substâncias químicas, organolépticas e microbiológicas.

Esta legislação define água potável como o recurso que atende aos padrões de potabilidade e que não oferece risco à saúde. Para tanto, as águas devem estar em conformidade com os padrões microbiológicos, físico-químicos e organolépticos (BRASIL, 2021).

2.6.1 Qualidade físico-química e organoléptica

De acordo com Braga *et al.*, (2018), as características químicas das águas subterrâneas são reflexos dos tipos de rochas drenadas e das atividades antrópicas adquiridas ao longo do seu meio percorrido. Segundo estes mesmos autores, o sabor, cor e odor destas águas são decorrentes da quantidade excessiva de sais dissolvidos.

Rêgo (2018), analisou a qualidade de água de poços no entorno do Açude Velho, localizado no município de Campina Grande – PB. Para tanto, esta autora realizou um levantamento bibliográfico em dez artigos científicos e verificou que o potencial hidrogeniônico - pH, dureza total, cloretos, nitrito e nitrato são parâmetros bastante frequentes em pesquisas de qualidade de águas subterrâneas.

Nesse sentido, a Resolução Nº 396/2008 ressalta que apesar da seleção dos parâmetros a serem analisados ser variável em função dos usos preponderantes, os Sólidos Totais Dissolvidos – STD, nitrato e coliformes termotolerantes deverão ser considerados para o acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea (BRASIL, 2008).

Hirata *et al.*, (2020), ressaltam que os altos níveis de nitrato em águas estão sendo associados ao uso de fossas, rudimentares e sépticas, como solução para esgotamento sanitário, ao uso de fertilizantes na agricultura e pecuária intensiva. Estes autores afirmam que o uso de águas com altas concentrações de nitrato, acima de 10 mg/L, causa metahemoglobinemia e formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas.

As características e implicações sanitárias, bem como, os valores máximos permitidos pela Portaria do MS de alguns parâmetros físicos, químicos e organolépticos estão descritos no “Apêndice 1”.

2.6.2 Qualidade microbiológica

A avaliação microbiológica da qualidade da água utilizada para consumo humano é primordial para a promoção de saúde pública. Daneluz e Tessaro (2015), afirmam que em meio rural, o risco de se contrair enfermidades diarreicas de natureza infecciosa por água contaminada é alto, devido a presença de microrganismos biológicos patogênicos provenientes de conteúdos de fossas, dejetos animais e chorume oriundo de aterros de lixo.

No tocante à microrganismos patogênicos, os vírus, bactérias, protozoários e helmintos, quando veiculados pela água, podem prejudicar a saúde da população (CHAGAS; IARIA; CARVALHO, 1981). No entanto, a identificação individual destes microrganismos presentes na água não é feita de forma contínua, pois demanda um processo complexo e oneroso, tornando-se inviável financeiramente (COELHO, 2017).

Por esta razão, diversos autores afirmam que, na prática, a verificação destes microrganismos se recorre à identificação de certos grupos de bactérias, que são facilmente identificáveis, cuja presença aponta a contaminação de origem fecal (presentes no intestino de homens e animais) e a possibilidade da existência de patogênicos de origem intestinal. O organismo indicador para esse fim são as bactérias do grupo coliforme: os coliformes totais e termotolerantes, espécie de bactéria *Escherichia coli* (RHODEN, 2009).

No Brasil, por exigência legal, a água utilizada para consumo humano não deve apresentar risco à saúde do consumidor. Para tanto, os coliformes totais e *Escherichia coli* devem estar ausentes em 100 mL de amostra de água, conforme a Portaria N^o 888/2021 e a Resolução n^o 396/2008.

Essa exigência é difícil de ser atendida. Barcellos *et al.*, (2006) estudaram a qualidade da água em mananciais superficiais, subterrâneos e sub-superficiais e observaram que todas as amostras apresentaram número de coliformes acima do padrão de potabilidade. Freitas, Brilhante e Almeida (2001) também identificaram contaminação por coliformes fecais em mais de 50% das amostras de águas provenientes de poços.

De acordo com Brasil (2006), a presença destes microrganismos em amostras de água é um fator indicador da mesma ser contaminada por esgoto doméstico, devido a quantidade elevada de bactérias excretadas diariamente por pessoas.

Por fim, Brasil (2021) afirma que se for detectado presença de coliformes em amostras de água, os operadores dos sistemas de abastecimento, seja ele convencional ou alternativo, devem tomar ações corretivas para mitigar os impactos à saúde pública.

2.6.3 Índice de Saturação de Langelier

Apesar da Portaria do MS vigente não padronizar o potencial de incrustação ou corrosão da água subterrânea, Mesquita e Kellner (2015), ressaltam a importância de se verificar estas características com fulcro em mitigar possíveis danos nas tubulações dos usuários. Para tanto, avalia-se o Índice de Saturação de Langelier, ou simplesmente Índice de Langelier – IL, que representa um modelo de equilíbrio através da diferença entre o pH medido na água e o pH de saturação, conforme Equação 1.

$$IL = pH - pH_{sat} \quad (1)$$

Ainda de acordo com Mesquita e Kellner (2015), o pH_{sat} refere-se à saturação da água relacionada à concentração de sólidos totais dissolvidos (Fator A), parâmetro de temperatura (Fator B), dureza em cálcio (Fator C) e da alcalinidade total (Fator D), conforme mostram as Equações 2 a 6.

$$pH_{sat} = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

$$A = \frac{\log[STD] - 1}{10} \quad (3)$$

$$B = -13,12 * \log[^\circ C + 273] + 34,55 \quad (4)$$

$$C = \log[Ca^{+2} \text{ como } CaCO_3] - 0,4 \quad (5)$$

$$D = \log[\text{alcalinidade como } CaCO_3] \quad (6)$$

Com a interpretação dos dados obtidos pela aplicação do método de IL, pode-se afirmar o estado da água em três condições: em equilíbrio, quando IL é nulo; com tendência a ser corrosiva, quando IL é menor que zero; e por fim, com tendência a ser incrustante, quando IL é maior que zero (GRADES, 2004).

A Tabela 1 demonstra a classificação da água de Grades (2004), em incrustante ou corrosiva, por meio de níveis variando de inferior a -5,00 a superior a 4,00 como água com corrosão e incrustação severa, respectivamente.

Tabela 1 - Classificação da água a partir dos valores obtidos de IL.

Valor IL	Indicação
> 4	Incrustação severa
3 a 4	Incrustação moderada
1 a 3	Incrustação suave
0,5 a 1	Incrustação muito suave
-0,5 a 0,5	Balanceado
-2 a -0,5	Corrosão suave
-5 a -2	Corrosão moderada
< -5	Corrosão severa

Fonte: Adaptado de GRADES (2004).

2.7 Desinfecção para tratamento de água em pequenas comunidades

De acordo com Pádua (2009), foi a partir das epidemias que aconteceram na Europa, decorrentes da falta de higiene, na Idade Média, que a Engenharia Sanitária começou a ser discutida mundialmente. Antes disso, havia histórico do uso da fervura, radiação solar e uso do alumínio, como coagulante, para tratamento de água para consumo humano, conforme afirmam Costas, Silvas e Castro (2015).

A desinfecção constitui-se em uma etapa de potabilização da água que tem o objetivo principal de inativar os microrganismos patogênicos, realizados por intermédio de agentes físicos ou químicos (MEYER, 1994; BRASIL, 2014).

Segundo Daniel *et al.*, (2001), a inativação dos organismos patogênicos por desinfetante químico ocorre através da capacidade que ele tem em oxidar ou destruir a parede celular, difundindo-se no interior das células e interferindo as atividades celulares.

A Portaria Nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, estabelece em seu Art. 24, a obrigatoriedade de que toda água destinada para consumo humano, distribuída coletivamente, deva passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para redução de residuais mínimos (BRASIL, 2021).

Há diversos agentes desinfetantes químicos e físicos indicados para o processo de desinfecção da água. Entre os agentes químicos pode-se citar o uso de cloro (Cl_2) e seus derivados, ozônio (O_3), permanganato de potássio ($KMnO_4$), sais de prata e entre outros, conforme afirmam Daniel *et al.*, (2001).

Em relação aos agentes físicos, o qual envolve o calor como agente desinfetante, pode-se citar o processo de da irradiação e radiação ultravioleta, conforme ressalta Meyer (1994).

De acordo com Brasil (2014), o agente desinfetante mais utilizado nos sistemas de abastecimento de água no Brasil, para produção de água potável, é o cloro e seus derivados, devido ao seu alto poder oxidante, baixo custo e acessibilidade, além de deixar o residual para garantia da desinfecção da água até o ponto de consumo, conforme portaria MS 888/2021 (BRASIL, 2021).

Apesar das inúmeras vantagens ao se utilizar o cloro como agente desinfetante, é importante ressaltar que, em contato com água, suas reações com compostos orgânicos formam compostos denominados como trihalometanos (THM), os quais podem ter efeito nocivo à saúde humana, a partir do surgimento de câncer (MEYER, 1994). Em virtude disso, atualmente, a Portaria vigente do MS fixa o teor máximo de 0,1 mg/L de trihalometanos para água potável (BRASIL, 2021).

Daniel *et al.*, (2001) ressaltam que com a adição do cloro na água de abastecimento, há formação do ácido hipocloroso (HClO), que é o agente desinfetante, conforme a Equação 7 abaixo. Esse ácido formado, dependendo do pH da água, dissocia-se fracamente em hidrogênio e íon hipoclorito (OCl⁻), conforme demonstra a Equação 8.



Nesse sentido, o cloro presente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre (MEYER, 1994; DANIEL *et al.*, 2001; BRASIL, 2014).

A Portaria vigente indica o teor mínimo de 0,2 mg/L e máximo de 5,0 mg/L de cloro residual livre em toda a extensão do sistema de distribuição, incluindo o reservatório e a rede, e nos pontos de consumo (BRASIL, 2021).

De acordo com Daniel *et al.*, (2001), nos pequenos sistemas de abastecimento das comunidades rurais, o uso de hipoclorito de cálcio (comercializado na forma de pastilhas) e hipoclorito de sódio (comercializando na forma líquida) são os mais indicados para o processo de desinfecção da água.

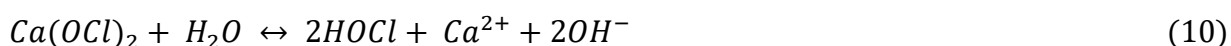
O Quadro 5 indica as principais características do desinfetante químico cloro e seus derivados, utilizados no tratamento de água.

Quadro 5 - Capacidades do cloro e seus derivados no processo de desinfecção das águas destinadas ao consumo humano.

Característica	Cloro	Hipoclorito de cálcio	Hipoclorito de sódio	Dióxido de cloro
Inativação de microrganismos	Alta	Alta	Alta	Super Alta
Solubilidade	Baixa	Alta	Alta	Alta
Toxicidade ao homem	Altamente tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Disponibilidade	Baixo custo	Custo moderadamente baixo	Custo moderadamente baixo	Alto custo

Fonte: Adaptado de Costa, Silvas e Castro (2015).

A reação do entre o hipoclorito de sódio com a água, há formação do ácido hipocloroso e do sódio, conforme está apresentado na Equação 9. E, a reação entre o hipoclorito de cálcio com a água, apresentada na Equação 10, mostra a formação de ácido hipocloroso e hidroxilas.



Portanto, a utilização do hipoclorito de cálcio e sódio, como agentes alternativos, torna-se adequado para a etapa de desinfecção em pequenas comunidades, as quais apresentam sistemas de abastecimento precário e carência em tratamento.

Nesse sentido, a FUNASA desenvolveu um clorador para ser utilizado no tratamento de água proveniente de manancial subterrâneo, o qual utiliza solução de hipoclorito de cálcio ou sódio como desinfetante. Este clorador supracitado é denominado como clorador simplificado, e sua aplicação segue duas metodologias: “Modelo A”, recomendado para operações manuais e “Modelo B”, para sistemas automatizados. São modelos para serem implantados em pequenas comunidades rurais, ribeirinhas ou outras de difícil acesso (BRASIL, 2014).

A aplicação do clorador simplificado, independente do modelo, deve ser realizada na saída do poço ou na subida do reservatório (BRASIL, 2014). São modelos economicamente viáveis e eficientes na inativação de organismos patogênicos.

Neste sentido, a EMBRAPA também desenvolveu um sistema de tratamento, intitulado como clorador de pastilhas, para ser implantado em residências rurais, com o objetivo de forçar a água a passar por um depósito de pastilhas de cloro, purificando a água e tornando-a própria para consumo humano (OTÊNIO *et al.*, 2014).

III - METODOLOGIA

3.1 Materiais e Métodos

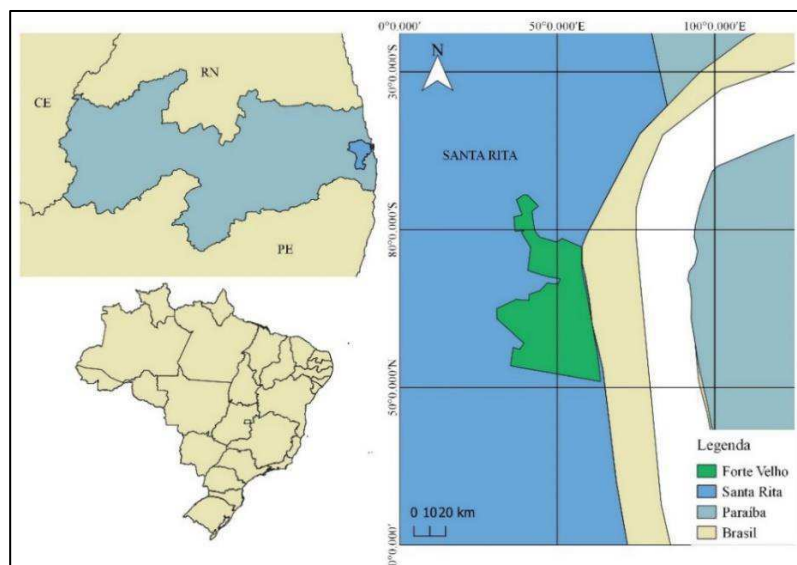
Trata-se de um estudo quantitativo exploratório, baseado em expedições em campo e análises laboratoriais. Para tal, foi realizado a caracterização da área de estudo, seleção dos pontos de coleta e, por fim, a aplicação de três experimentos sendo o Experimento 01, responsável pela análise da qualidade da água; Experimento 02, responsável pela instalação do medidor proporcional; e por fim, o Experimento 03, responsável pela aplicação de um Sistema Dosador de Cloro.

3.2 Caracterização da área de estudo

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado na Comunidade Forte Velho, categorizada como distrito pertencente à zona rural do município de Santa Rita (Lei Complementar Nº 16 de 2018), no estado da Paraíba. Este vilarejo está inserido, a margem à esquerda, no ponto central do Estuário do Rio Paraíba do Norte, sistema ambiental complexo de área prioritária de conservação, segundo a Portaria do Ministério de Meio Ambiente Nº 09/2007.

Esse distrito situa-se na mesorregião da Mata Paraibana, a $6^{\circ}59'91''$ de latitude e $34^{\circ}52'39''$ de longitude, distancia-se a aproximadamente 30 km da zona urbana de Santa Rita, conforme ilustra a Figura 05 a seguir.

Figura 5 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Segundo os dados do IBGE, Censo 2010, a comunidade contava com uma população equivalente a 996 habitantes, no entanto, os dados obtidos através da Secretaria de Saúde, estimam aproximadamente 1.198 residentes no ano de 2022. Apresenta clima tropical, com chuvas de outono-inverno, tendo período chuvoso de março a agosto, e um período de estiagem de setembro a fevereiro, correspondendo ao clima “As”, segundo a classificação de Koppen.

Suas temperaturas são amenas durante todo ano, com média anual de 26°C e precipitação média anual variando entre 1.400 e 1.800mm. Está inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, na região do baixo curso do Rio Paraíba, correspondendo à bacia sedimentar costeira Paraíba-Pernambuco, caracterizadas por afloramentos calcários ou relevos planos, planícies marinhas e fluviomarinhas (SILVA, 2019).

Geologicamente, a comunidade está inserida na unidade lito estratigráfica cenozoica Grupo Barreiras. Essa formação é constituída de sedimentos areno-argilosos mal consolidados de origem continental, dispendo-se em camadas areno-siltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos (BELTRÃO *et al.*, 2005). De modo geral, o solo é profundo e de baixa fertilidade natural.

A prática pesqueira representa uma forte atividade econômica na comunidade de Forte Velho (OLIVEIRA, 2019). Além disso, é caracterizada por apresentar áreas de cultivo destinada à prática de monocultura canavieira e de abacaxi.

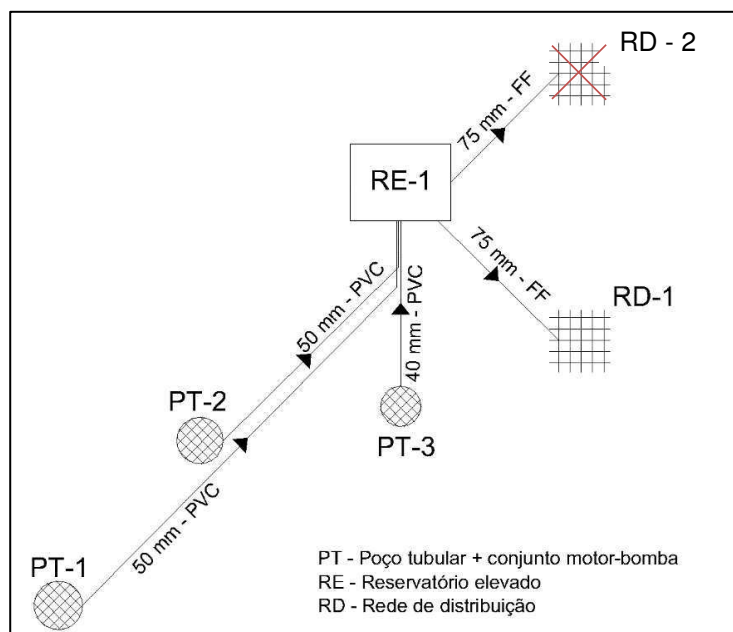
Nesta comunidade, identificou-se a presença de bares e restaurantes, uma pequena pousada, casas de veraneio, Igreja Católica, Igreja Batista, supermercado, escola estadual, creche, posto de saúde, praça pública e instituições de apoio para pescadores e idosos (Colônia de pescadores e Bambu terapia).

Conforme estudos realizados por Almeida (2016) e Oliveira (2019), durante os anos de 2007 e 2011, o vilarejo sofreu diversos impactos ambientais provenientes da carcinicultura (camarões em cativeiro), entre eles a salinização do solo e das águas dos poços. Além disso, a disposição inadequada de resíduos sólidos e o escoamento de efluentes domésticos não tratados para a área estuarina são ações que corroboram a carência na infraestrutura de saneamento básico em Forte Velho.

O sistema de abastecimento público da comunidade se dá através da captação de água subterrânea em três poços tubulares (PT-1; PT-2; PT-3), as quais são conduzidas, de forma bruta, para um único reservatório de distribuição, aqui denominado de “reservatório elevado – RE” , cuja capacidade é cerca de 35.000 litros,

e distribuídas, atualmente, por uma única saída (tubulação), que constitui a via da rede de distribuição, a qual denominou-se RD-1, pois a outra via (RD-2), encontra-se desativada, conforme ilustrado na Figura 6. Com isso, a comunidade em estudo é abastecida por água sem qualquer tipo de tratamento.

Figura 6 - Concepção esquemática do sistema de abastecimento de pequeno porte em Forte Velho, Santa Rita - PB.



Fonte: Elaboração própria.

Como observa-se, a comunidade de Forte Velho, até o momento, não contava com implementação da macromedição em seu sistema de abastecimento, sendo este, um elemento fundamental para o controle do processo, desde a captação da água bruta até a distribuição da água tratada, conforme afirmam Siqueira e Souza (2020).

3.3 Pontos de coleta da água de abastecimento

A escolha dos pontos de coleta foi baseada nos seguintes critérios: estar em operação, ser utilizado para abastecimento público e o consumo da água ser para uso doméstico primário, ou seja, com contato direto com o fluído. Diante disso, a amostragem resultou em três poços tubulares, já citados, para o abastecimento na comunidade.

Na Tabela 2 estão apresentados os pontos de coletas e suas características de uso e ocupação, bem como, as principais informações técnicas obtidas através do Diagnóstico do Município de Santa Rita, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil –

CPRM, no âmbito do Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Estado da Paraíba em 2005.

Tabela 2 - Dados técnicos sobre os pontos de coleta.

Poço tubular	Ocupação e uso	Profundidade (m)	DN – adutora bruta (mm)	Coordenadas		Equipamento de bombeamento
				Longitude	Latitude	
PT-1	Praça pública	122	50	34°52'28,5"	6°59'16,4"	Bomba submersa
PT-2	Próximo à residência	70	50	34°52'28,7"	6°59'13,3"	Bomba submersa
PT-3	Próximo à RE	40	40	34°52'28,9"	6°59'13,1"	Bomba injetora

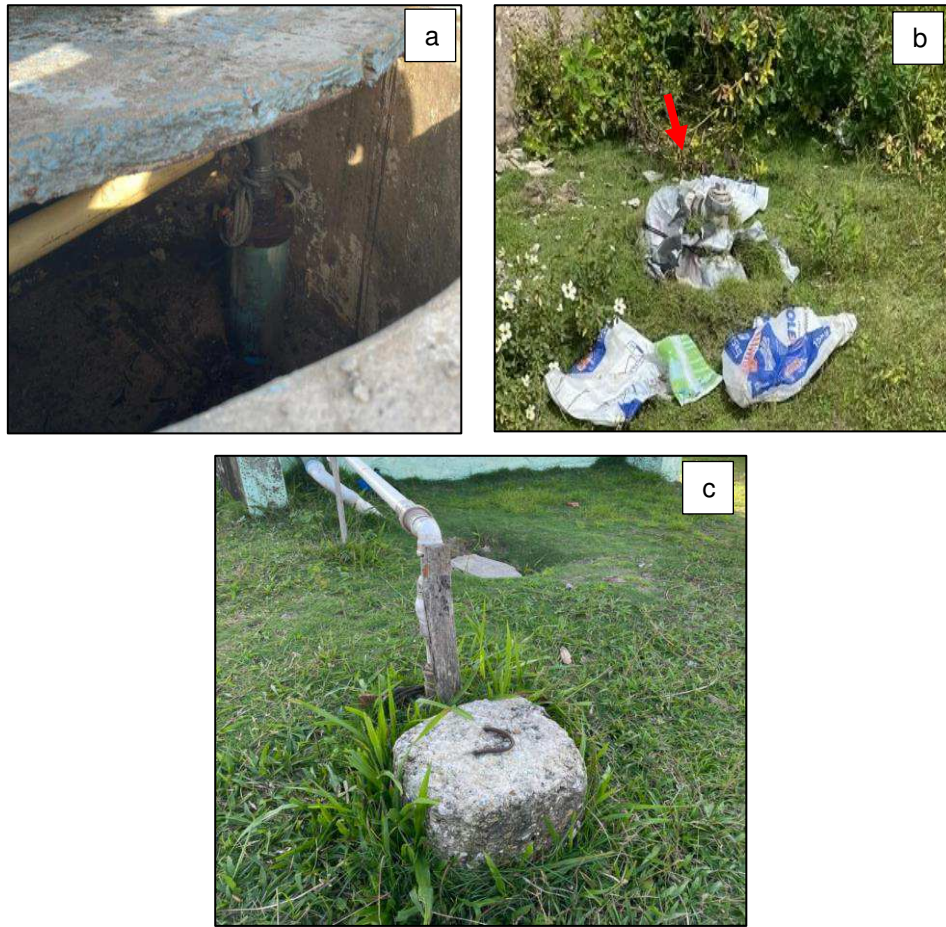
Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

O bombeamento do poço PT–1 (Figura 7.a) é realizado ao longo de 24 horas, já os poços PT-2 e PT–3, ambos apresentados na Figura 7.b e 7.c, respectivamente, são realizados de forma intermitente, ao longo do dia, perfazendo aproximadamente 14 horas, sendo a bomba submersa ligada manualmente às 05 horas da madrugada e desligada às 19 horas da noite.

As principais ocupações da área no entorno dos poços, considerando um raio de 15 metros, foram edificações residenciais, fossas rudimentares e acúmulo de resíduos de comidas, provenientes da ausência de coleta de lixo, bem como, rede coletora de esgotos.

Como a água distribuída para a comunidade é uma mistura da água dos três poços supracitados, também se coletou água em uma torneira pública, intitulada neste trabalho como rede de distribuição - RD. A torneira pública escolhida foi a mais próxima do reservatório elevado, que fica localizada na praça pública, nas proximidades do PT-1, em frente à Igreja Católica, conforme mostra a Figura 8.a e 8.b abaixo.

Figura 7- Poços tubulares que abastecem a comunidade Forte Velho.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8 - Rede de distribuição (RD) como ponto representativo da mistura da água dos três poços.



Fonte: Elaboração própria.

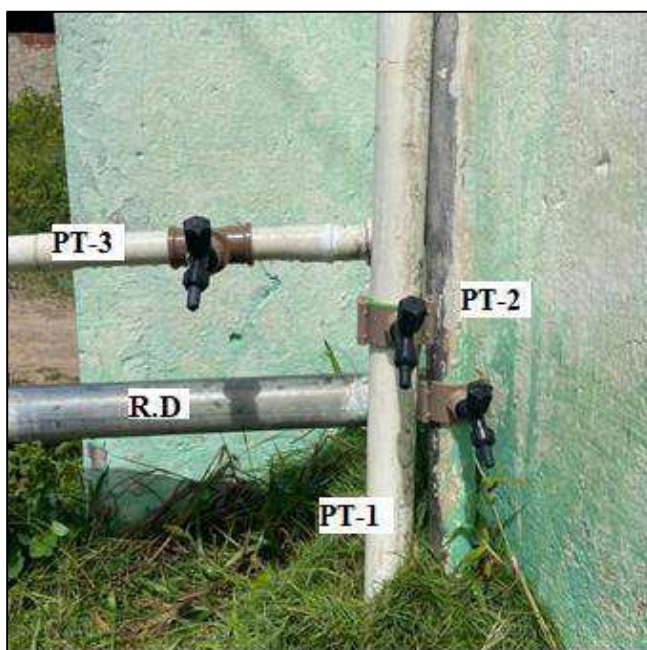
3.4 Experimento 01: avaliação dos parâmetros de qualidade de água

Para a caracterização dos parâmetros organolépticos, físicos, químicos e microbiológicos da água consumida em Forte Velho, foi realizada uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Santa Rita - PMSR, com a Secretária de Agricultura e Abastecimento, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, *Campus Cabedelo* (Laboratório de Química Geral) e a Universidade Federal de Campina Grande (Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES).

Para a caracterização dos parâmetros organolépticos e físico-químicos, as coletas foram realizadas entre os meses de junho a novembro, totalizando 6 meses. As coletas da rede de distribuição foram realizadas de forma mensal nos 6 meses supracitados. Já para os três poços, houve uma duração de 3 meses, sendo estas realizadas em julho, setembro e outubro. Já as análises bacteriológicas, foram realizadas individualmente para cada poço, no mês de julho de 2021.

Para uma maior fonte de dados nesta pesquisa, foi solicitado à PMSR a inserção de pontos de coletas individuais para cada poço; a qual realizou a instalação, a partir do mês de julho de 2021, de torneiras isoladas nas adutoras, conforme Figura 9.

Figura 9 - Torneiras isoladas para coleta de amostras: PT-1 (poço 1); PT-2 (poço 2); PT-3 (poço 3) e RD (rede de distribuição).



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 sintetiza a descrição das coletas mensais realizadas durante o estudo. As coletas das amostras de água, para análises organolépticas e físico-química foram feitas utilizando garrafas tipo PET com capacidade de 2L. Do mesmo modo, para análises microbiológicas utilizou-se garrafas estéreis com capacidade de 2L, as quais obedeceram às recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), e as especificações do manual da Funasa, descritos no “Apêndice 02” (BRASIL, 2013).

Tabela 3 - Amostragem dos parâmetros coletados ao longo do ano.

Meses/Ano	Amostras	Local	Parâmetro
Junho/2021	01	RD	Organolépticas e físico-química
Julho/2021	07	PT-1, PT-2, PT-3 e RD	Organolépticas, físico-química e microbiológica.
Agosto/2021	01	RD	Organolépticas e físico-química
Setembro/2021	04	PT-1, PT-2, PT-3 e RD	Organolépticas e físico-química
Outubro/2021	04	PT-1, PT-2, PT-3 e RD	Organolépticas e físico-química
Novembro/2021	01	RD	Organolépticas e físico-química

Fonte: Elaboração própria.

Após a coleta, as amostras foram lacradas e acondicionadas em recipiente com isolamento térmico, sob refrigeração, e, posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Química Geral do IFPB, para análise dos parâmetros organolépticos e físico-químicos, e ao LABDES da UFCG, para realização das análises bacteriológicas, bem como, para realizar novas análises físico-químicas, bem como, exercer a função de contraprova dos parâmetros realizados no IFPB. Em ambos os laboratórios, as análises foram realizadas em triplicata.

Foram adotados 23 parâmetros de qualidade de água: turbidez - Turb., potencial hidrogeniônico – pH, condutividade elétrica – CE, sólidos totais dissolvidos - STD, dureza total – DT, dureza em cálcio em CaCO_3 , dureza em magnésio em CaCO_3 , cálcio - Ca^{2+} , magnésio - Mg^{2+} , alcalinidade total – AT, cloretos - Cl^- , sódio - Na^+ , potássio - K^+ , alumínio - Al^{3+} , Ferro total, sulfato - SO_4^- , fósforo total – FT., nitrato - N-NO_3^- , nitrito - N-NO_2^- , amônia – NH_3 , sílica – SiO_2 , coliformes totais – CT e *Escherichia Coli* – *E. Coli*.

A partir dos parâmetros pH, AT, dureza em cálcio em CaCO_3 e STD, foi determinado o Índice de Saturação de Langelier - IL. O período de avaliação dos parâmetros e a metodologia de análise das variáveis estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Cronologia e metodologia dos parâmetros analisados.

Parâmetros		Jun a Nov	Jul	Metodologia
Organoléptico	Turb.	X	X	Leitura direta
	Cor	X	X	Leitura direta
	STD	X	X	Leitura direta
	DT	X	X	Titulométrico
	Cl^-	X	X	Titulométrico
	Na^+		X	Fotometria
	K^+		X	Fotometria
	Al^{3+}		X	Colorimétrico
Organoléptico	Ferro total		X	Titulométrico
	SO_4^-		X	Turbidimétrico
	NH_3		X	Titulométrico
Físico-químico	pH	X	X	Leitura direta
	CE	X	X	Leitura direta
	Cálcio em CaCO_3	X	X	Titulométrico
	Magnésio em CaCO_3	X	X	Titulométrico
	Ca^{2+}		X	Titulométrico
	Mg^{2+}		X	Titulométrico
	AT	X	X	Titulométrico
	FT		X	Colorimétrico
	N-NO_3^-		X	Colorimétrico
	N-NO_2^-		X	Colorimétrico
Bacteriológico	CT		X	Colilert
	<i>E. coli</i>		X	Colilert

Fonte: Elaboração própria.

3.4.1 Processamento das informações

Com base nos resultados das análises físico-químicas, organolépticas e bacteriológicas das amostras, a potabilidade da água foi avaliada por meio da correlação entre os dados obtidos nas análises com os valores máximos permitidos pela Portaria MS Nº 888 de 2021, que alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação do MS Nº 5 de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

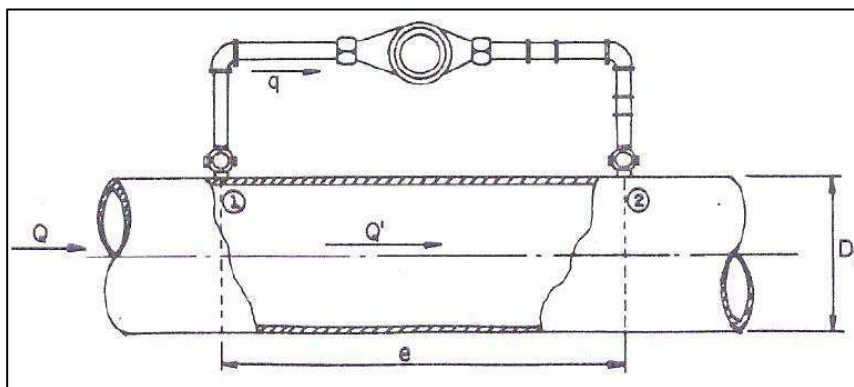
3.5 Experimento 02: instalação do medidor proporcional

Há no mercado diversos tipos de macromedidores utilizados em condutos forçados, como os eletromagnéticos, ultrassônicos, os de vórtice, dentre outros (SIQUEIRA; SOUZA, 2020). Porém, diante da realidade da comunidade estudada, a implantação destes medidores torna-se inoperante, em virtude do alto investimento.

Nesse sentido, foi implementado em Forte Velho, com o apoio da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, um medidor intitulado como “proporcional”, também conhecido como medidores do tipo derivação, o qual apresenta facilidade de instalação, baixo custo e significativa precisão para quantificar a vazão passante pela adutora de distribuição (COELHO; PINHO, 1979).

Para a implantação deste medidor, realizou-se a instalação de uma canalização secundária, provida de hidrômetro de baixa vazão característica, em paralelo com o tubo de adução, de maneira que, provocasse uma pequena perda de carga entre duas seções transversais vizinhas, à montante (1) e a jusante (2), e conseqüentemente, induzisse o escoamento na canalização secundária, conforme Figura 10.

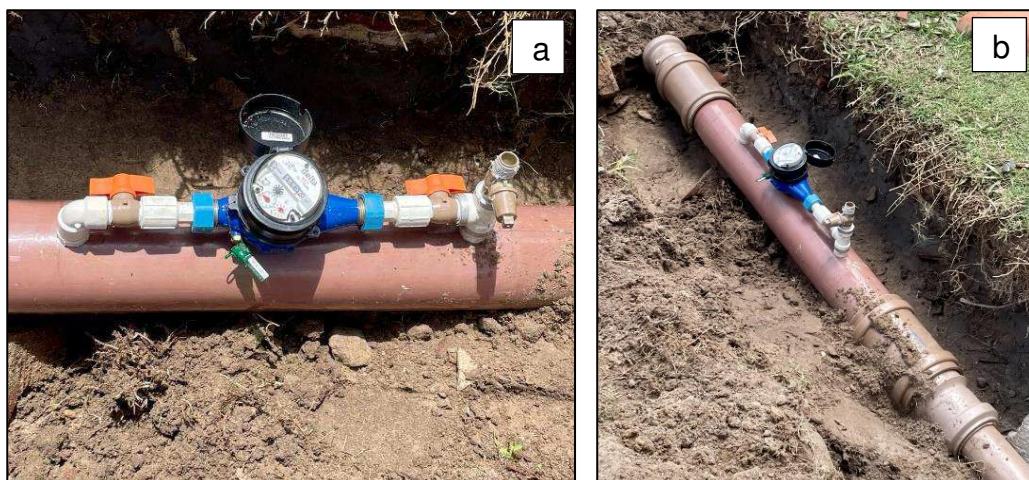
Figura 10 - Trecho reto da tubulação com instalação de hidrômetro de derivação.



Fonte: Guimarães (2007).

A Figura 11.a e 11.b demonstra o protótipo de medidor proporcional instalado na rede de distribuição, logo após o reservatório elevado, da comunidade rural de Forte Velho. Para tal, furou-se a tubulação introduzindo, no lado a montante, um tubo em PVC, curvado a 90 graus na ponta, sendo a mesma, posicionada no centro da tubulação frontalmente ao fluxo passante. No lado a jusante, foi posicionado um tubo PVC, faceando a superfície interna no tubo de adução, sem qualquer curvatura.

Figura 11 – Hidrômetro medidor de vazão proporcional em Forte Velho, Santa Rita – PB.



Fonte: Elaboração própria.

O princípio básico de funcionamento deste medidor baseia-se na proporcionalidade existente entre a vazão passante na tubulação da adutora de distribuição, neste caso com DN - 75mm, e a vazão *by-passada* do hidrômetro apoiado na tubulação de derivação (HUEB; KAPPAZ, 1981).

Esta proporcionalidade é dada através de uma constante, denominada coeficiente de contração da veia líquida, sendo esta, deduzida a partir de relações matemáticas entre a vazão no conduto principal e a vazão do conduto secundário (HUEB; KAPPAZ, 1981). Estas relações são aplicadas, a partir do teorema de Bernoulli, apresentado na Equação 11, para determinar a carga total à montante e jusante, considerando vários tipos de singularidades.

$$Z_1 + \frac{v_{1T}^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{v_{2T}^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta h \quad (Eq. 11)$$

Onde:

Δh é a perda total, Z_1 e Z_2 as alturas geométricas, p_1 e p_2 as pressões, V_1 e V_2 as velocidades nas seções 1 e 2, respectivamente, γ o peso específico do líquido que escoar no conduto e g a aceleração da gravidade.

Entretanto, conforme citado, há perdas de cargas entre as seções 1 e 2 (apresentados na Figura 10). Estas perdas, provocadas pelo escoamento através do conduto principal, são calculadas a partir da fórmula universal de perda de carga de

Darcy-Weisbach. O material “Medidor de vazão proporcional”, desenvolvido pelos engenheiros José Augusto Hueb e Anderson Pedro Kappaz, em 1981, apresenta estas deduções matemáticas entre a vazão no conduto principal e a do conduto secundário, em diversas singularidades (HUEB; KAPPAZ, 1981).

De acordo com as informações disponibilizadas pelos operadores que instalaram o protótipo na comunidade em estudo, o engenheiro “Wolfgang Guilherme Widel” foi o responsável por desenvolver, na década de 80, o medidor proporcional usado pela CAGEPA. Buscou-se informações detalhadas sobre este protótipo na literatura, bem como, na sede da CAGEPA localizada no bairro de Jaguaribe, João Pessoa, porém, não foi obtido êxito na busca de material.

Sendo assim, não foi possível determinar as especificações deste protótipo, como: o comprimento da ponta, posicionada à montante; os componentes do sistema, como curvas, registros; e, por fim, a extensão da tubulação secundária.

Porém, como este trabalho não teve o intuito de realizar a modelagem matemática do escoamento da água no medidor proposto, e conseqüentemente, determinar a constante de proporcionalidade, esta ausência de informações não foi vista como um problema. O valor do coeficiente de proporcionalidade entre a vazão da tubulação de distribuição e a vazão que passa no medidor proporcional foi disponibilizado diretamente pela CAGEPA, cujo valor é de 67,92.

Por fim, para a determinação da vazão pelo método volumétrico, efetuou-se a leitura do hidrômetro durante ininterruptos 61 dias, referentes ao período de 20 de novembro de 2021 a 19 de janeiro de 2022, sempre no período da manhã, especificamente às 07:30 horas. A leitura foi interrompida quando o hidrômetro apresentou inconsistências, isto é, quando necessitava de uma calibração.

3.6 Experimento 03: Sistema Dosador de Cloro – SDC

Foi desenvolvido um sistema, denominado nesse projeto como sistema dosador de cloro - SDC, de tecnologia simples, o qual não necessita de mão de obra especializada para instalar e operar, baixo custo de implantação e operação, cujo objetivo é desinfetar a água distribuída para a comunidade em estudo.

Esse protótipo foi desenvolvido a partir da metodologia do clorador de pastilha da Embrapa, o qual foi proposto para clorar as águas em residências rurais e em pequenos estabelecimentos que manuseiam alimentos. O SDC é constituído por um

conjunto de tubulações e conexões de PVC e seu intuito é conduzir a passagem da água da rede de distribuição por um depósito de pastilhas de cloro, tornando-a própria para consumo humano.

O funcionamento do sistema se dá através do uso de pastilhas de cloro, de tal modo que a dosagem aplicada não ultrapasse o valor permitido pela Portaria vigente, Nº 888/2021 do MS, recomendado em um teor mínimo de $0,2\text{mg.L}^{-1}$ e máximo de $5,0\text{mg.L}^{-1}$ de cloro residual livre, em toda extensão da rede de distribuição.

Neste protótipo, utilizou-se cloro estabilizado em tabletes, com referência Genclor® T-200, da marca Genco®, a qual, cada pastilha contém 90% de cloro ativo. A ficha de informações da marca supracitada indica o uso de uma unidade de tablete para cada $30,00\text{m}^3$, e afirma que duração da dosagem citada anteriormente é equivalente a 7 a 10 dias.

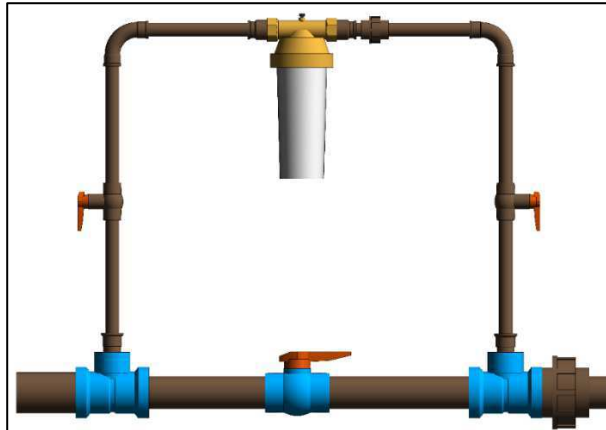
O sistema foi montado no Laboratório de Química Geral do IFPB – *Campus Cabedelo* e instalado na rede de distribuição ativa na comunidade, no ponto acessível mais próximo do reservatório elevado, conforme Figura 12.a e 12.b, respectivamente.

Figura 12 - Montagem do SDC



Fonte: Elaboração própria.

Para melhor visualização do sistema, foi realizado a vista 3D em perspectiva do SDC, por meio do *software Revit 2020* da *Autodesk*, o qual utiliza a metodologia *Building Information Modeling – BIM* para o desenvolvimento dos projetos, conforme Figura 13 a seguir.

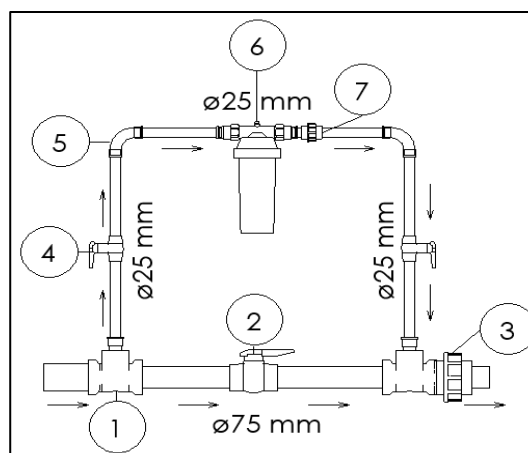
Figura 13 - Perspectiva 3D do SDC

Fonte: Elaboração própria.

Os registros de esfera instalados têm utilidade de controle da vazão de água, atuando na regulação e no bloqueio da saída da água, quando necessário. A união com rosca serve, basicamente, para manutenção no sistema e o recipiente polimérico, denominado de dosador, tem a função de depósito de pastilhas de cloro.

Ao fechar um pouco o registro da rede de distribuição (rede principal), parte dessa água é forçada a passar pela rede lateral (rede secundária) e conseqüentemente pelo dosador de pastilhas de cloro. O outro registro da rede secundária serve para regular a quantidade de água clorada que entrará na rede de distribuição.

A Figura 14 descreve o sentido do fluxo da água no sistema, diâmetro da tubulação e todas as conexões utilizadas: 1. Tê de redução 75mm x 32mm; 2. Registro de esfera 75mm; 3. União com rosca 75mm; 4. Registro de esfera 25mm; 5. Curva em 90°; 6. Dosador de pastilhas de cloro; 7. União com rosca 25mm;

Figura 14 - Sentido do fluxo do sistema clorador.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a descrição dos materiais, quantidades e custos necessários para a instalação do SDC estão apresentadas na Tabela 5. Todo material foi encontrado em lojas de materiais de construção e irrigação. O sistema tem custo total de aproximadamente R\$ 568,00 (valor médio da região de João Pessoa).

Tabela 5 - Custo de implantação do SDC.

Descrição	Diâmetro Nominal	Quantidade	Valor (R\$)
Recipiente polimérico (dosador) - Fortlev	20 mm	01 und	176,00
Pastilha de cloro (GENCLOR T-200)	-	04 und	48,00
Curva 90º Soldável, PVC Marrom, Água Fria	25 mm	02 und	17,00
Luva Soldável e com Rosca PVC Marrom, Água Fria	25 mm	04 und	7,60
Bucha de redução de PVC - Soldável	32 mm x 25mm	02 und	1,50
Bucha de redução de PVC - Soldável	25 mm x 20mm	02 und	1,50
Tê de redução - Soldável	75 mm x 32mm	02 und	33,30
União Soldável, PVC Marrom, Água Fria	75mm	01 und	64,70
União Soldável, PVC Marrom, Água Fria	25mm	01 und	13,00
Tubo PVC Água Fria – Soldável	75 mm	0,30 m	11,45
	25 mm	0,70 m	17,90
Registro Esfera VS Compacto – Soldável	75 mm	01 und	159,90
	25 mm	02 und	15,58

Fonte: Elaboração própria.

3.6.1 Análise do cloro

A determinação do cloro se deu a partir da metodologia *N,N*-dietil-*p*-fenilendiamina, comumente conhecida como “método DPD”. Este método utiliza o composto DPD como indicador, cuja água desenvolve uma coloração rosa, quando ela não contém iodeto, indicando assim, a presença de cloro residual livre (SOARES *et al.*, 2016).

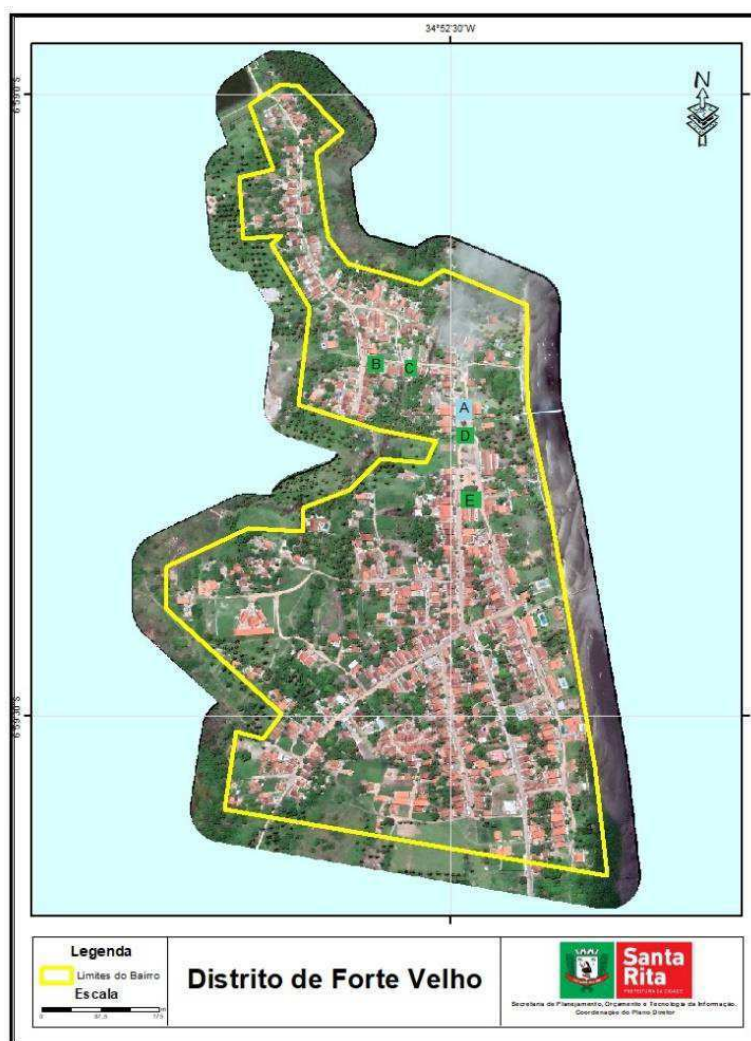
Para tanto, utilizou-se o clorímetro portátil digital MB - 40 da Marte Científica, com sensibilidade de duas casas decimais, o qual utiliza a metodologia fotométrica,

também conhecido como colorimétrico, e o reagente DPD em pó da MS Tecnopon. O princípio desta metodologia baseia-se no método 4500 - Cl G (APHA; AWWA; WEF, 2005).

Foram determinados cinco pontos de coleta: protótipo (A); casa morador 1 (B); casa morador 2 (C); secretaria de saúde (D); e por fim, torneira da praça (E), sendo esta, a mesma torneira utilizada para analisar a água do poço PT - 1, dispostos na Figura 15.

Padronizou-se que em todos os pontos de coleta, as torneiras fossem abertas por um período de aproximadamente 02 minutos, para que a água presente na tubulação de distribuição, se por algum motivo tivesse ficado inerte, não sofresse alterações na concentração de cloro, tendo em vista que esse composto é bastante volátil. Realizando isto, garantiu-se a homogeneização em todas as amostras.

Figura 15 - Pontos de coleta da análise do cloro.



Fonte: Elaboração própria.

A leitura da concentração de cloro se deu, inicialmente, com a limpeza das cubetas, para que possíveis impurezas não interferissem na análise. Em seguida, introduziu-se 10mL da amostra (sem reagente) em uma cubeta, para ajustar o zero do aparelho, de forma a eliminar o potencial de interferência da cor e turbidez da água.

Posteriormente, adicionou uma medida do reagente DPD, também em 10mL, e agitou a amostra levemente, de maneira que o reagente fosse dissolvido por completo. Após esse procedimento, efetuou-se a leitura, com a tampa fechada, de forma que a luz natural não interferisse na medição. Com uma breve espera, o teor de cloro livre foi apresentado no *display* do equipamento, dado diretamente em ppm.

Por ser um método simples e com capacidade de fornecer resultados rápidos, foram realizadas, inicialmente, medições em campo e confirmadas, em triplicata, no laboratório de Química Geral do IFPB. As amostras de água encaminhadas ao laboratório foram imediatamente lacradas e armazenadas em caixa térmica, e analisadas, no máximo, após 01 hora da coleta.

IV – Resultados e discussões

4.1 Experimento 01

4.1.1 Parâmetros microbiológicos

Os dados oriundos das análises microbiológicas realizadas foram organizados em tabelas para melhor visualização quanto ao atendimento à Portaria Nº 888/2021 do MS. Esta Portaria estabelece a análise de presença/ausência de coliformes totais e *E. coli* em águas destinadas para consumo humano, sendo que estejam ausentes em 100 mL de amostra.

Há também interpretação no sentido de que a Portaria supracitada tolera a presença de coliformes totais, em apenas uma amostra analisada mensalmente, desde que, abasteçam menos de 20.000 habitantes e não se constate a presença de *E. coli*.

Com base nos critérios estabelecido pela Portaria vigente, observou-se que todas as amostras (100%) analisadas apresentaram resultados positivos para coliformes totais, representando, portanto, risco à saúde pública (Tabela 6).

Tabela 6 - Coliformes totais nas amostras de água dos poços de Forte Velho.

Ponto de coleta	Resultado	Unidade	Valores de Referência
PT - 01	Presente	NMP/100 mL	Ausente
PT - 02	Presente	NMP/100 mL	Ausente
PT - 03	Presente	NMP/100 mL	Ausente

Fonte: Elaboração própria.

Os pontos PT-1 está localizado a uma distância média inferior a 15 metros de fossas rudimentares. Já o PT-2 e PT-3, estão localizados a uma distância entre 05 a 07 metros, respectivamente, de residências. Dessa forma, a presença dessas fossas, próximo aos poços tubulares, seria o mais possível veículo contaminante das águas subterrâneas na área do estudo.

Tal afirmação se dá em função dos poços georreferenciados estarem distantes de fontes geradoras de contaminação, a exemplo do próprio rio em que a comunidade é margeada; bem como, a carcinicultura inserida na comunidade, sem tratamento dos efluentes. Corroborando com essa afirmação, Costa e Guilhoto (2014), afirmam que as

fossas rudimentares não funcionam como meio de evitar à contaminação das águas subterrâneas.

Silva, Brito e Silva Filho (2020), ao realizarem a análise microbiológica da água de um poço tubular na zona rural da cidade de Areia-PB, observaram a presença de coliformes totais e associaram esse resultado à ausência de esgotamento sanitário e inadequação na vedação dos poços estudados.

Grott *et al.*, (2018), evidenciaram a vulnerabilidade da água subterrânea consumida em Macapá, através da presença de coliformes totais em 61,53% e 96,15% das amostras no período seco e chuvoso, respectivamente. Estes autores detectaram a presença de fossas rudimentares e sépticas, cemitérios, criação e abate de animais e postos de combustíveis no entorno dos poços.

Nesse sentido, a análise do parâmetro coliformes totais se torna importante pois a sua presença constata a contaminação das águas subterrâneas, indicando risco à saúde pública devido à contração de doenças e a precariedade no sistema de saneamento básico.

No tocante à *E. coli.*, os resultados apresentados nesta pesquisa demonstraram que apenas no PT - 1 não foi detectado a presença de *E. coli.*, portanto, 66,6% das amostras analisadas estão em desconformidade com a Portaria nº 888/2021 do MS (Tabela 7).

Tabela 7 - *Escherichia coli* nas amostras de água dos poços de Forte Velho.

Ponto de coleta	Resultado	Unidade	Valores de Referência
PT - 01	Ausente	NMP/100 mL	Ausente
PT - 02	Presente	NMP/100 mL	Ausente
PT - 03	Presente	NMP/100 mL	Ausente

Esses resultados, não satisfatórios para os pontos 2 e 3, apontam para risco à saúde pública pois a presença de *E. coli* é indicador de contaminação fecal (OMS, 2011). São bactérias patogênicas, ou seja, a presença desse tipo de bactéria em águas é extremamente preocupante, pois podem causar infecções intestinais, principalmente em crianças e idosos (SIQUEIRA *et al.*, 2010).

Bactérias do tipo *E. coli* apresentam diversas cepas em que, algumas são inofensivas ao homem, e outras podem causar graves doenças. A principal cepa de *E.*

coli, responsável por patologias decorrentes de águas contaminadas, é a enterohemorrágica, a qual pode causar diarreia aquosa, colite hemorrágica e síndrome hemolítica-urêmica, sendo tratada com reposição de líquido e terapias de suporte, conforme afirma Silva Júnior e Reis (2018).

Há evidências em estudos que comprovam, também, a relação direta de presença de *E. coli* com o surgimento de gastroenterite com taxas de mortalidade significativas em crianças.

Hollas (2015), detectou contagem de coliformes termotolerantes em poços tubulares localizados em três comunidades rurais do município de Francisco Beltrão, no Paraná. Um dos resultados obtidos pela autora supracitada foi bastante elevado (1.100,00 NMP/100mL), diferentemente desta pesquisa. Porém, uma característica deste poço estudado, é a presença de excrementos bovinos em seu entorno.

Alves *et al.*, (2016), coletaram amostras de águas de poços no município de Ji-Paraná - RO e observaram que 42,22% dessas amostras apresentaram presença de coliformes totais. Das amostras positivas para coliformes totais, estes autores observaram que 89,47% apresentaram presença de *E. coli*. Esse dado comprova que o grupo *Escherichia coli*, é um subgrupo de coliformes totais; ou seja, nem sempre que uma amostra apresenta resultado confirmativo para coliformes totais vai apresentar enterobactérias de origem fecal oriunda de animais de sangue quente.

Vieira *et al.*, (2020), observaram a presença de coliformes fecais em todas as amostras avaliadas, 06 poços tubulares e 07 cacimbas, distribuídos pela zona rural do município de Igarassu – PE. Estes autores identificaram no entorno da área de estudo, a presença de fossas sépticas, criação de animais, e inadequação na vedação dos poços.

Sfalcin, Fist e Freitas (2019), identificou a presença de coliformes totais em 100% das amostras e a ausência de *E. coli* em um poço tubular que abastece oito famílias da comunidade rural de São João das Missões, localizada no Rio Grande do Sul.

Silva, Brito e Silva Filho (2020) não detectaram a presença de *E. coli* nas amostras de água subterrânea coletadas em Areia. Porém, estes autores enfatizaram que essas bactérias sobrevivem pouco tempo no ambiente.

Grott *et al.*, (2014), ao analisarem a ocorrência de *E. coli* em fontes de água de poços e pontos de consumo em Macapá, observaram que no período seco e chuvoso, 9,61% e 40,38%, respectivamente, das amostras analisadas apresentaram presença

de *E. coli*, o que não é permitido em águas para consumo humano, à luz da legislação vigente.

Oliveira *et al.*, (2020), ao analisarem a qualidade da água subterrânea no município de Carapicuíba – SP, detectaram a presença de *E. coli* em 50% dos poços, no período seco, e 100% no período chuvoso, respectivamente. Estes autores relacionaram esses resultados com as características do entorno dos poços e ressaltaram que o baixo índice de saneamento associado a localização inadequada dos poços (próximos a fossas) contribuíram para a contaminação das águas subterrâneas consumidas pela população.

Dessa forma, é possível afirmar que os resultados positivos obtidos nesta pesquisa, para coliformes e *E. coli*, são reflexos da ausência de saneamento adequado e inadequação da vedação dos poços, tendo em vista que, cemitérios, abatedouros de animais, excretos bovinos, entre outros, no entorno dos poços são características mais impactantes na potabilidade das águas subterrâneas.

Diante do exposto, fica evidente que o consumo de água de poços tubulares na situação avaliada, e sem tratamento, pode representar risco à saúde pública, uma vez que a presença de coliformes totais e *E. coli* encontra-se em desacordo com a legislação vigente, não apresentando potabilidade quanto ao critério microbiológico, sendo, portanto, capaz de transmitir enfermidades de veiculação hídrica.

4.1.2 Parâmetros organolépticos e físico-químicos

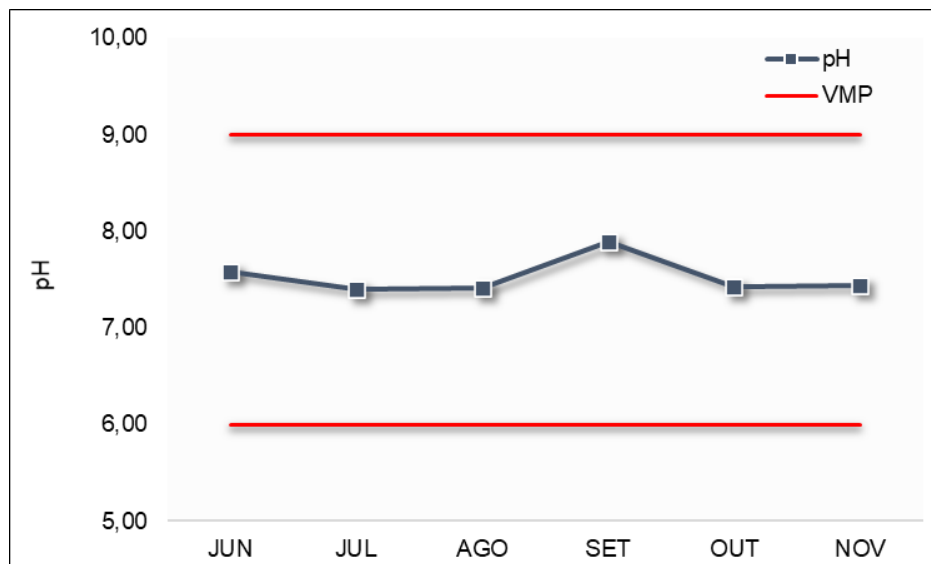
Os resultados obtidos das análises, dos três poços e da rede de distribuição, de Turb., pH, CE, STD, DT, dureza em cálcio em CaCO_3 , dureza em magnésio em CaCO_3 , AT, Cl⁻ e IL foram organizados em gráficos, para melhor examinar o comportamento da distribuição dos dados.

Os demais parâmetros, que foram analisados durante o mês de julho, estão representados por meio de tabela.

O pH é muito importante, pois, indica a acidez ou basicidade das soluções. Em condições de pH baixo as águas tendem a ser corrosivas, enquanto que em pH elevado, provocam incrustações nos materiais que entram em contato com ela, como observado no trabalho de Pezente (2009). A legislação vigente do Ministério da Saúde, expressa na Portaria Nº 888 de 2021 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH seja mantido na faixa de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2021).

Analisando a Figura 16, percebe-se que o pH da água na rede de distribuição, teve um comportamento semelhante, ou seja, com valores próximos entre si, sendo classificado entre o potencial neutro a levemente alcalino.

Figura 16 - Valores de pH, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



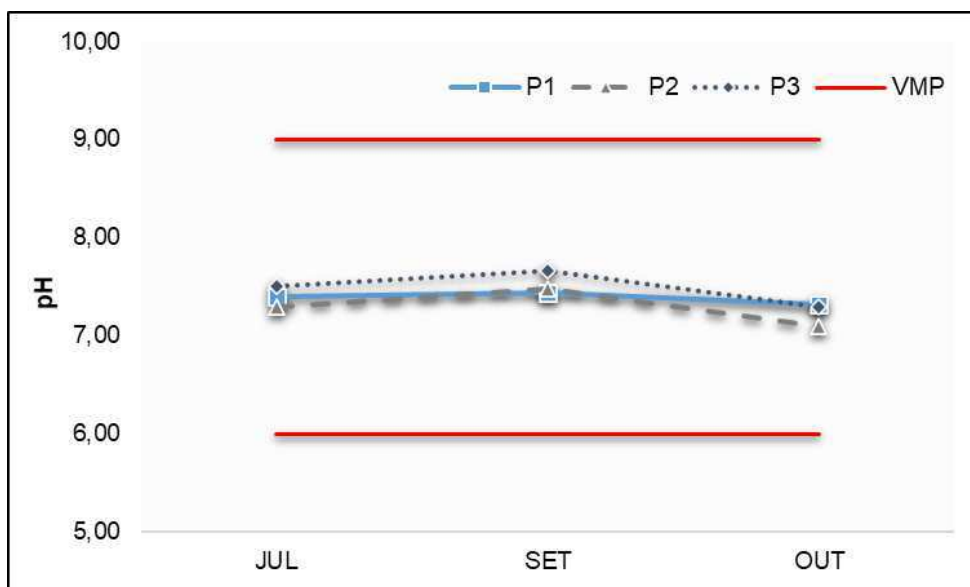
Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se ainda que, embora apresentando oscilações quanto às condições pluviométricas observadas nos 6 meses, o que poderia alterar características do fluido no lençol freático de cada poço, e respectivamente, como superfície de resposta na rede de distribuição que representa a junção das 3 correntes; os valores de pH indicaram 7,59; 7,40; 7,42; 7,90; 7,43; e 7,44, onde praticamente não houve diferença significativa nas médias ao nível de 5% de significância, excetuando-se o mês de setembro, onde houve uma pequena elevação.

Quando analisados cada poço em particular, para este parâmetro específico, houve uma convergência entre a média da distribuição do mês e a média dos poços, conforme apresentado na Figura 17.

Os resultados obtidos corroboram com os de Medeiros *et al.*, (2009), que avaliaram parâmetros físico-químicos de 20 poços distribuídos na porção sedimentar do baixo curso do Rio Paraíba, destacando um pH médio equivalente a 7,10 em Forte Velho, todavia não foi georreferenciado, no trabalho citado, o poço analisado.

Figura 17 - Valores de pH, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

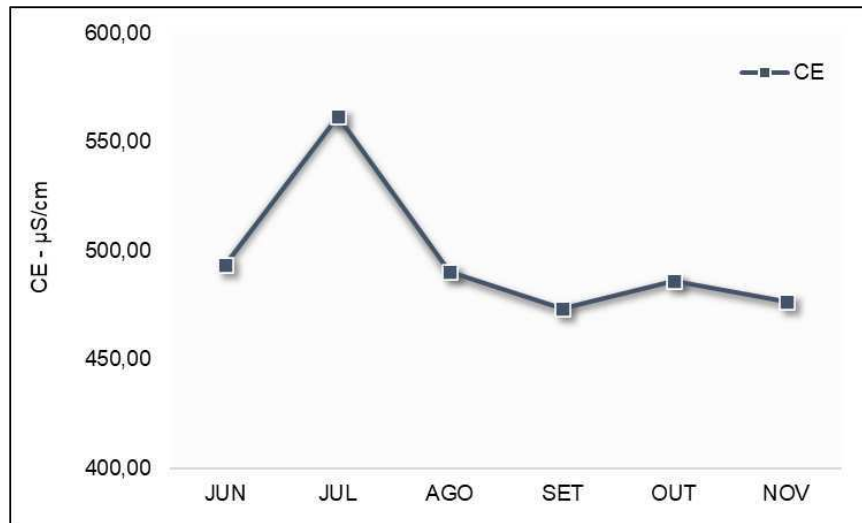
Quanto ao parâmetro de condutividade elétrica, normalmente, as medidas realizadas em laboratório são de condutância específica, que é a condutividade medida à temperatura de 25°C. A CE é um dos parâmetros de rápida determinação mais comuns e úteis na medida de qualidade da água.

Normalmente, o corpo d'água mantém um valor aproximadamente constante de condutividade. Assim, flutuações podem indicar perturbação do sistema, seja por causas naturais, como inundações e secas, seja por interferência humana, como, por exemplo, através do despejo de efluentes. Os valores dispostos na Figura 18, são referentes as condutividade elétrica da rede de distribuição.

Alguns valores base podem ser estabelecidos para a condutividade elétrica, de acordo com a natureza da mesma, como pode ser observado, em trabalho publicado por Ponce (2014), que estabelece a seguinte referência para a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$): Água Deionizada (0,055 – 1,0), Água Destilada (0,5 – 3,0), Água da Torneira (50,0 – 800,0), Água Potável (30,0 – 1.500,0), Fontes de Água Doce (100,0 – 2.000,0), Água do Mar ($\approx 55.000,0$).

Além disto, de acordo com a Resolução N° 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos, quando a água tem salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, é classificada como doce. A salinidade é calculada elevando o valor da condutividade elétrica à potência 1,0878 e multiplicando o resultado por 0,4665.

Figura 18 - Valores de condutividade elétrica, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Portanto, de acordo com os critérios supracitados, os valores obtidos para a condutividade elétrica das águas, da atual pesquisa, cujas média nos seis meses foi de $496,88\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, e conseqüentemente à salinidade é equivalente a 0,4, se encaixam nos requisitos de água doce, de torneira e potável.

Constatou-se que houve uma variação considerável apenas no mês de julho ($561,95\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) diante dos seis meses analisados. Um fato que pode explicar essa oscilação é devido a presença de alguma substância catiônica/aniônica no reservatório elevado, ou mesmo, uma maior percolação das águas no solo para o respectivo mês, que é geralmente, o mais chuvoso do ano na região de estudo.

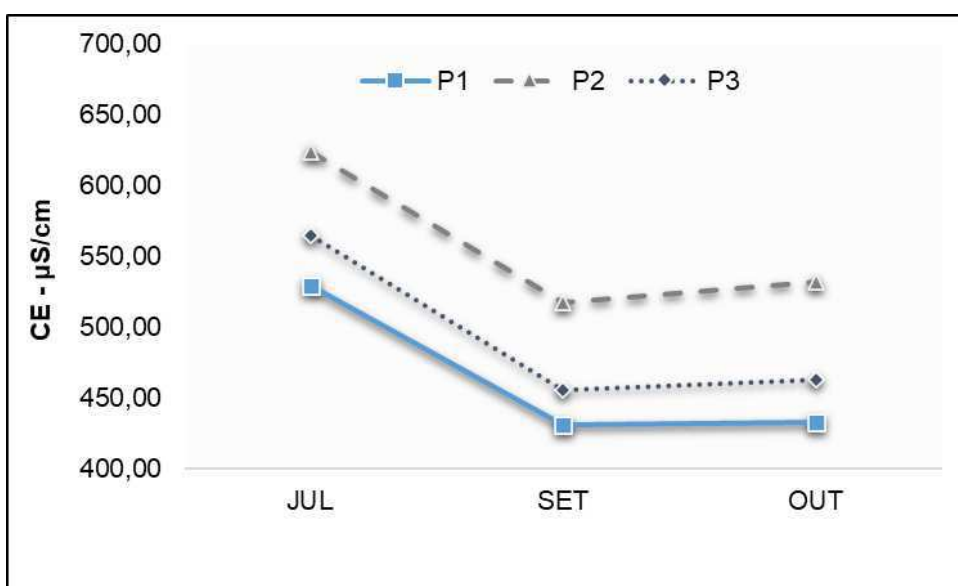
Os resultados estão acima dos encontrados por Medeiros *et al.*, (2009), que obtiveram $400,00\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para a água de um poço em Forte Velho – PB. Todavia, deve-se levar em conta a época do ano e suas respectivas condições climáticas, bem como, lixiviação ou percolação de materiais por meio da água para os lençóis freáticos na oportunidade.

As médias dos valores obtidos para o mesmo dia e horário em cada um dos poços no mês de julho, setembro e outubro, ilustrado na Figura 19, exemplificam que os 3 poços podem apresentar constituintes diferentes em sua formação geológica, bem como, que a média do sistema de distribuição não é simplesmente uma média aritmética dos 3 poços, mas sim, um balanço de massa complexo, a depender das

condições e tempo de operação no bombeamento, além dos cátions e ânions constituintes nas fontes emissoras.

O PT-2 foi o que apresentou resultados mais expressivos, consoante ao resultado global da rede de distribuição, sendo estes $623,90\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para o mês de junho; $517,5\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para setembro; e, por fim, $532,10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para outubro. Já para o PT-1, os resultados obtidos foram os mais inferiores entre os três poços, sendo estes, $529,50$; $431,60$ e $432,70\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para os meses de junho, setembro e outubro, respectivamente. Por fim, para o PT-3, encontrou-se resultados de $564,90\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em junho, $455,40\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em setembro e $462,73\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para outubro.

Figura 19 – Valores de condutividade elétrica, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Quando se comparam os dados obtidos neste trabalho com análises de qualidade de água de aquíferos de outras partes do país, os valores são bem contrastantes, como ocorre na comparação com os resultados de Hollas (2015), segundo os quais houve variação de CE de $89,98\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $164,30\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no Paraná, e com os resultados de Braga *et al.*, (2021), que obtiveram valores de $483,00\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $8.070,00\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no Ceará.

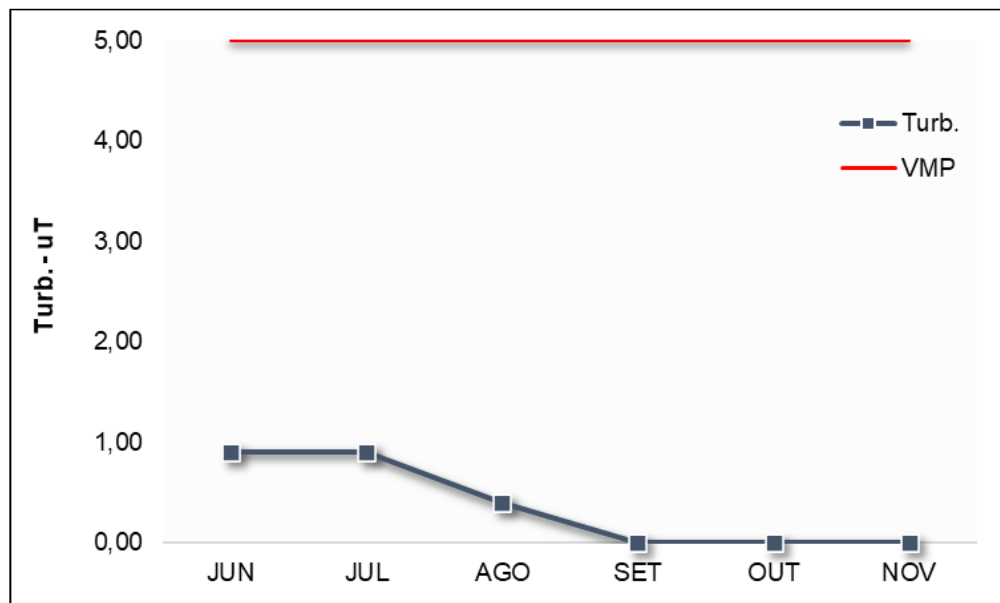
Quanto ao parâmetro de turbidez das águas, é correto conceituar que é atribuído à presença de partículas em suspensão na água, evidenciada por poluição, plânctons, argila, bactérias e areia, que diminuem a intensidade do feixe de luz ao atravessar a

água, pois as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca (BIRKHEUER *et al.*, 2017).

A verificação desse parâmetro é importante, pois a turbidez tem relação direta com a eficiência da filtração no tratamento (quando há tratamento), e no caso da atual pesquisa, pode ter relação também com as condições da tubulação na qual a água foi conduzida e das condições sanitárias do reservatório onde a água ficou armazenada.

A turbidez se deve a presença de sólidos suspensos, de origem orgânica e inorgânica e é um parâmetro adotado em trabalhos de controle de poluição de água, além disso, a presença de turbidez é esteticamente indesejável (PEZENTE, 2009). Na Figura 20, são apresentados os valores, experimentalmente detectados, em unidade (nefelométrica) de turbidez, da água da rede de distribuição.

Figura 20 – Valores de turbidez, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que os valores obtidos, respectivamente, de 0,90uT, 0,90uT, 0,40uT, 0,01uT, 0,00uT e 0,00uT para os meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro; apresentam conformidade com a legislação vigente para a água de consumo humano, consoante com a portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, pois, sabe-se, de forma resumida, que o valor máximo permitido (VMP) para turbidez é equivalente a 5,0 uT.

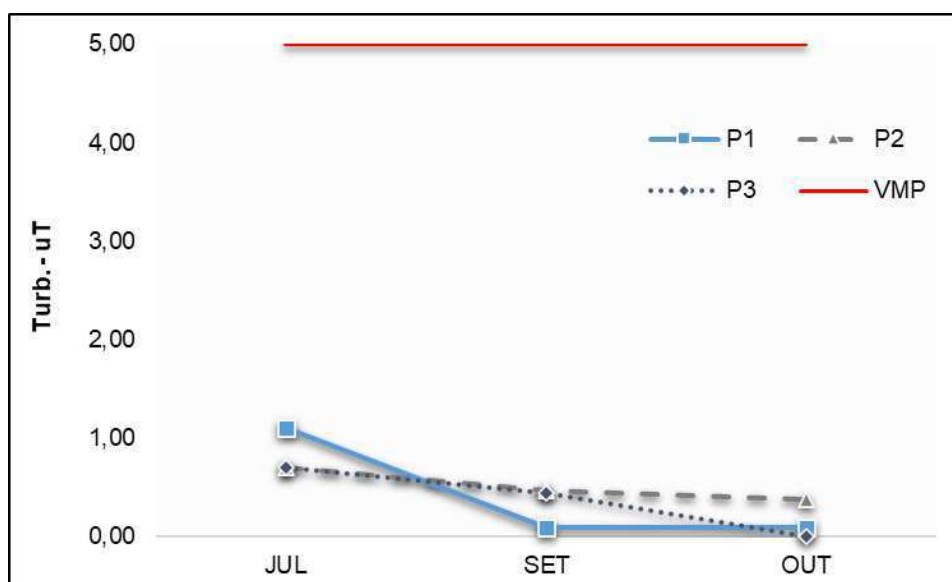
É importante destacar que mesmo não havendo procedimento algum ou técnica de tratamento na comunidade rural estudada, as águas que passam pelo reservatório

elevado, e também as águas obtidas diretamente de cada poço, conforme a Figura 21; possuem valores cujas médias se enquadram como água potável, pois à luz do Art. 28 da portaria citada em vigência, para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez expresso no Anexo 2, e devem ser observadas as demais exigências contidas neste Anexo, onde destaca-se:

§ 1º Entre os 5% (cinco por cento) dos valores permitidos de turbidez superiores ao VMP estabelecido no Anexo 2 para água subterrânea, pós-desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT.

§ 2º Em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) ou pontos de consumo deverá atender ao VMP de 5,0 uT para turbidez.

Figura 21 – Valores de turbidez, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.

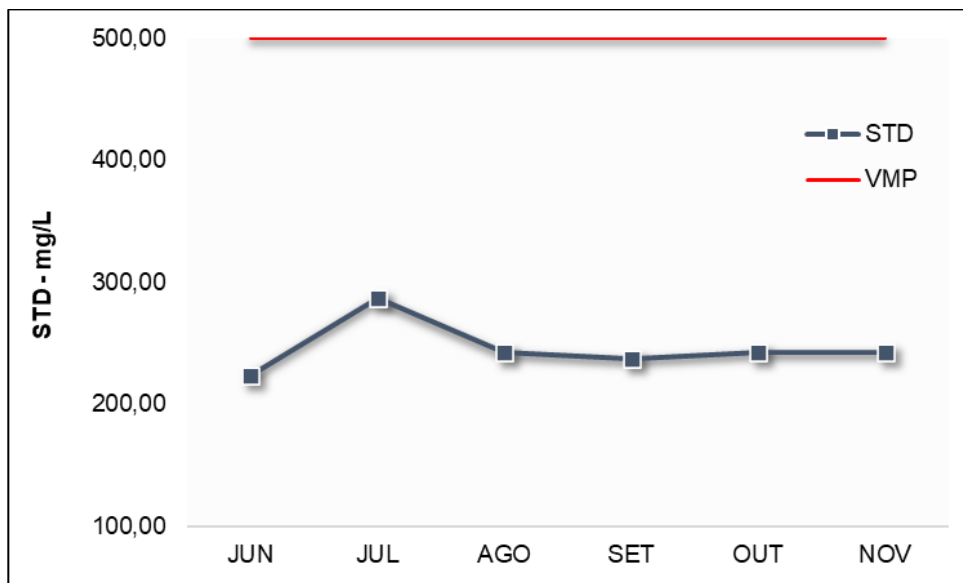


Fonte: Elaboração própria.

Diante dessas informações, fica comprovada a aprovação do parâmetro de turbidez para todas as águas analisadas em Forte Velho, destinadas ao consumo humano. Os valores médios obtidos para cada poço foi de 0,43uT para PT-1; 0,52uT para PT-2; e 0,38uT para PT-3.

Enfatizando agora os sólidos totais dissolvidos na água, é possível definir como “sólidos totais”, o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas num líquido sob formas moleculares, ionizadas ou microgranulares. Os valores obtidos de STD na rede de distribuição, ao longo dos 6 meses analisados, estão dispostos na Figura 22.

Figura 22 – Valores dos sólidos totais dissolvidos, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



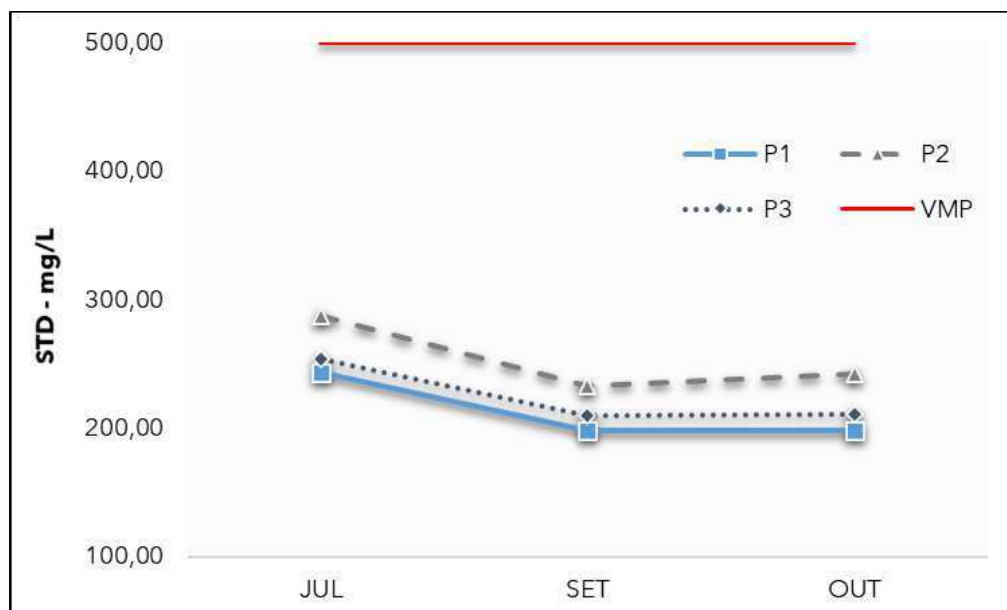
Fonte: Elaboração própria.

A média do teor de STD, referente aos seis meses de análise, foi de $245,76 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.¹ Observou-se uma elevação no mês de julho, equivalente a $286,59 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, o qual pode ser atribuído aos mesmos motivos citados na CE, que também identificou uma variação neste respectivo mês.

De acordo com a legislação para água de consumo humano, o valor máximo permissível não é mais de $1.000,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ conforme a instrução anterior (Portaria N^o 2914/2011 e Instrução normativa N^o5 de 2017), mas sim, de até $500,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; portanto, mesmo com a redução e restrição dos valores citados para esse parâmetro, as águas analisadas estão classificadas como seguras ou consumíveis, uma vez que os valores detectados, para os 6 meses, já citados anteriormente, estão abaixo do limite permitido.

Quando analisados separadamente, os 3 poços, conforme a Figura 23, identifica-se que o “PT-2” apresenta uma maior quantidade destas partículas sólidas de forma iônica e/ou micro granulares presentes; porém, o resultado obtido ainda é bem inferior ao valor máximo permitido pela legislação.

Figura 23- Valores dos sólidos totais dissolvidos, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

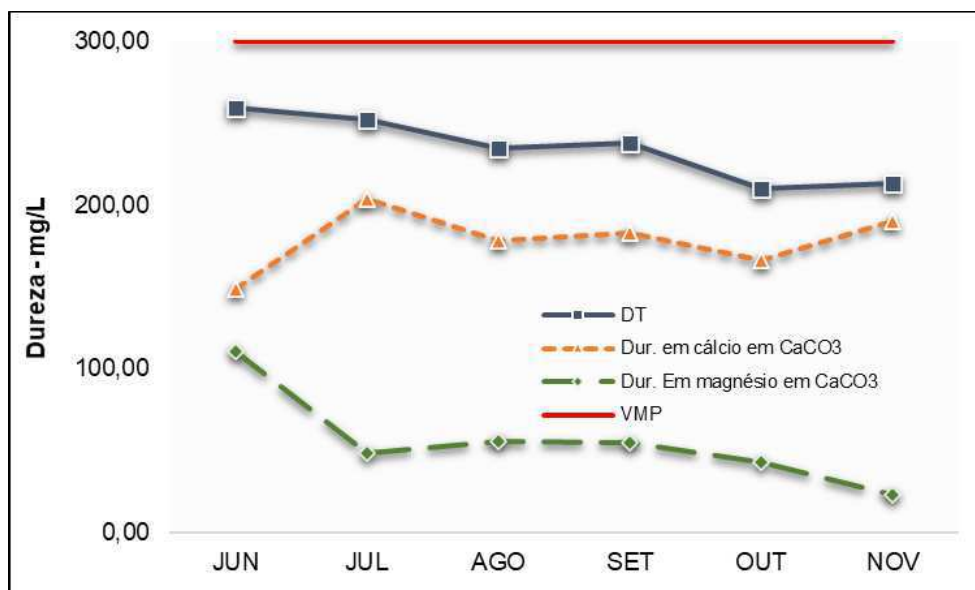
Monteiro (2018), relata ter obtido teor mínimo de STD de $119,00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e máximo de $213,33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ em dois poços na cidade de Areia, na Paraíba. Coelho *et al.*, (2017), observaram valores inferiores de STD, variando de $65,20$ a $99,50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, em poços localizados na zona rural do Maranhão.

Quanto à dureza das águas, já é conceituado na literatura que existem dois tipos de dureza: temporária ou de carbonatos; e permanente ou de não carbonatos. A dureza temporária ou de carbonatos, que corresponde a dureza proporcionada pelos bicarbonatos de cálcio e magnésio foi exatamente a analisada neste trabalho.

Segundo a Portaria Nº 888/2021, o valor máximo de dureza permitido para água potável é de $300,00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. De acordo com pesquisadores da área, a exemplo de Macêdo (2003), a água pode ser classificada quanto à dureza em água mole, moderadamente dura, água dura e água muito dura. A água mole possui até $50,00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$; a moderadamente dura de $50,00$ a $150,00 \text{ mg}$ de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$; a dura de $150,00$ a $300,00 \text{ mg}$ de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$; e a muito dura acima de $300,00 \text{ mg}$ de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$.

As médias dos valores obtidos de dureza total, dureza em cálcio em CaCO_3 e dureza em magnésio em CaCO_3 , após as titulações das águas da rede de distribuição, com o ácido etilenodiaminotetracético - EDTA, estão dispostos na Figura 24.

Figura 24 - Valores da dureza total, dureza em cálcio e magnésio em CaCO_3 , obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

No tocante à dureza total, os valores obtidos para os meses de junho a novembro foram de 259,40; 252,38; 234,62; 238,00; 210,00 e 213,33 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. Desse modo, as águas analisadas nesta pesquisa, com valor médio de 234,62 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ classificam-se, conforme esse critério, como águas duras, muito embora que, diante da legislação vigente, essas águas são admitidas como próprias para o consumo dos usuários, referente a este parâmetro.

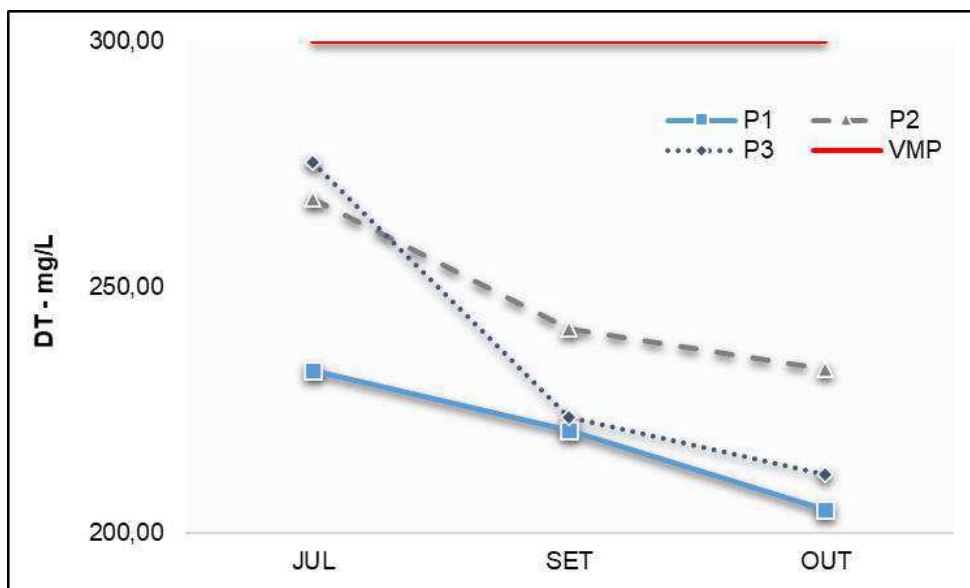
Os valores pesquisados se aproximam dos encontrados na dureza total citada pelo trabalho de Silva (2019), que foi de 236,00 mg de CaCO_3 por litro de água, na mesma comunidade rural.

Quanto aos valores separados dos dois cátions em evidência nesse tipo de análise, ficou discernido após os cálculos que foram de 178,43 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para cálcio quando em função do CaCO_3 . Concomitantemente, no tocante ao magnésio em função do CaCO_3 , obteve-se 56,19 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Observou-se um comportamento mais acentuado de dureza em cálcio em CaCO_3 nos respectivos meses, ocorrendo no mês de junho uma menor disparidade.

Analisando a dureza total, de cada poço, dispostos na Figura 25, observa-se valores médios, ao longo dos 3 meses, de 219,56 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 247,67 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 237,06 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em PT-01, PT-02 e PT-03. Quanto aos valores separados dos dois cátions em evidência nesse tipo de análise, ficou discernido após os cálculos que foram de 179,04

mg·L⁻¹, 186,78 mg·L⁻¹, e 175,83 mg·L⁻¹, para os poços PT-01, PT-02 e PT-03, respectivamente, para cálcio quando em função do CaCO₃. Concomitantemente, no tocante ao magnésio em função do CaCO₃, obteve-se 40,52 mg·L⁻¹, 49,33 mg·L⁻¹ e 40,06 mg·L⁻¹.

Figura 25 - Valores da dureza total, obtida nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.

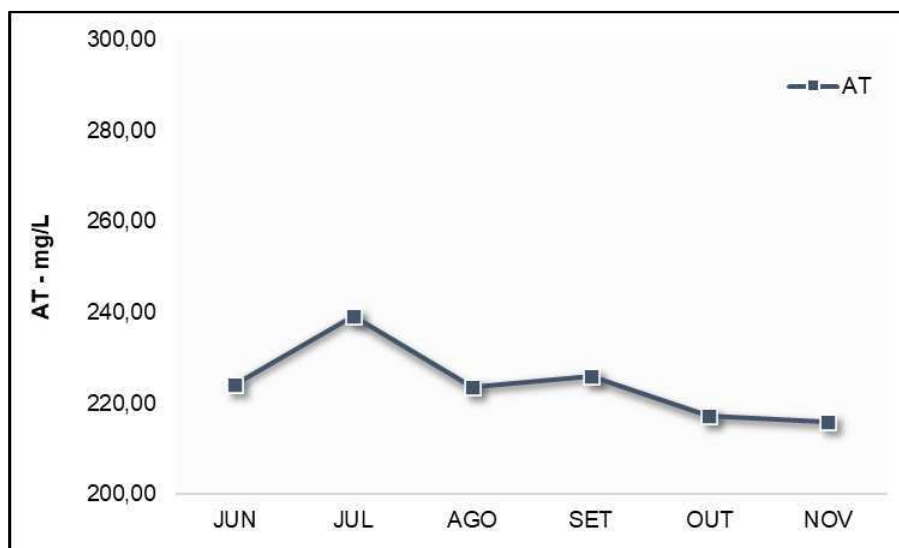


Fonte: Elaboração própria.

No tocante à alcalinidade total, pode-se dizer que este parâmetro mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos. A medida da alcalinidade é de fundamental importância durante o processo de tratamento de água, pois é em função do seu teor que se estabelece a dosagem dos produtos químicos utilizados (GARCEZ, 2004). Ademais, mesmo não sendo estipulado valores permissíveis pela legislação vigente, entra na composição para determinação do índice de saturação.

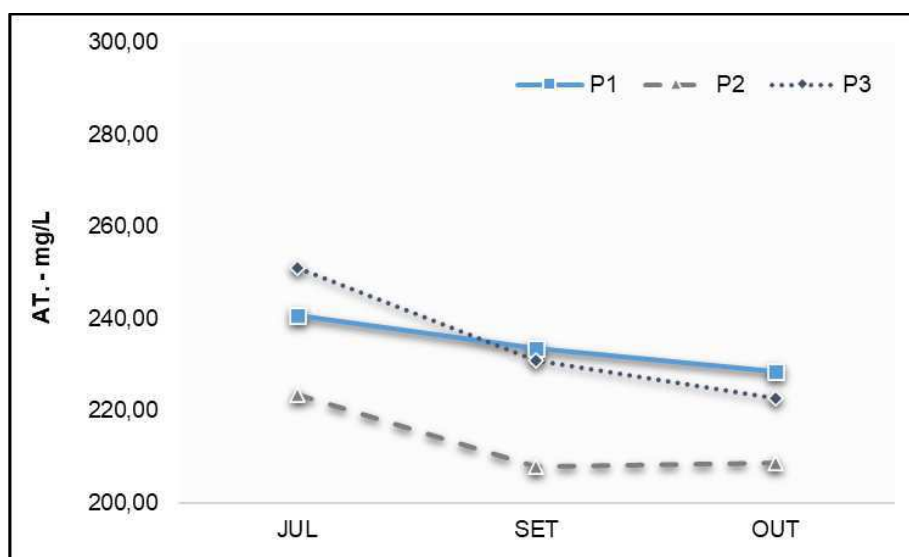
Os valores obtidos, dispostos na Figura 26 e 27 apresentaram um comportamento com certa semelhança, com variação média de 224,32 mg·L⁻¹, 234,32 mg·L⁻¹, 213,42 mg·L⁻¹ e 234,96 mg·L⁻¹ em RD, PT-01, PT-02 e PT-03, respectivamente. Detectou-se que o “PT-2”, apresentou na sua média, um “menor” valor quantitativo em partes por milhão, referente a alcalinidade total das águas; enquanto os poços “PT-1” e “PT-2”, não apresentaram entre si, diferenças estatísticas ao nível de 5,0% de significância.

Figura 2610 – Valores da alcalinidade total, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 27 - Valores da alcalinidade total, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.



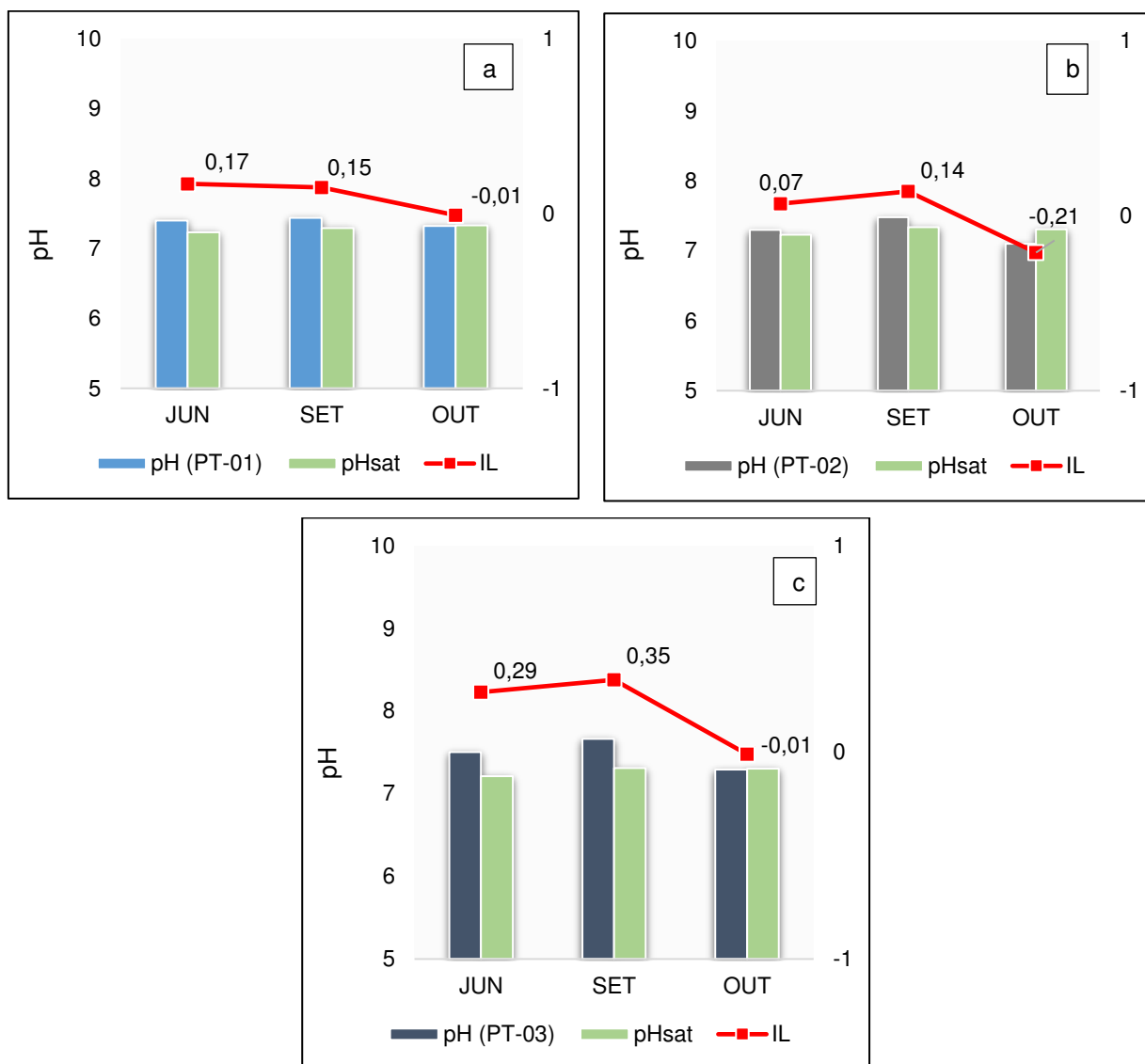
Fonte: Elaboração própria.

Esses resultados encontram-se em sintonia com valores obtidos de águas de poços artesianos encontrados na microrregião inserida, como exposto no trabalho de Silva (2019), o qual consta o valor de $219,60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Forte Velho e $248,90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para o povoado de Ribeira, região limítrofe.

A água proveniente do poço “PT-1” (Figura 28.a) apresentou pH de 7,40, 7,44 e 7,32; pH de saturação (pH_{sat}) de 7,23, 7,29 e 7,33 para os meses de junho, setembro e outubro, respectivamente, resultando no índice de saturação de Langelier de 0,17,

0,15 e -0,01, caracterizando-a como água balanceada, conforme a distribuição apresentada por Grades (2004). Para os poços PT- 02 e PT- 03, também foi observado esse tipo de caracterização; balanceado, com pouco poder de incrustação e corrosão, conforme Figura 28.b e 28.c a seguir.

Figura 28 - Representação gráfica do IL, obtidos nos três poços, nas distintas coletas realizadas.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, não representa risco de alterações no sistema de exploração do motobomba, de diminuição da vazão, devido às incrustações, que resultem em falta de disponibilidade hídrica para população e, conseqüentemente, torne-se um fator de risco para população.

Observou-se na literatura que as pesquisas referentes ao índice de Langelier, almejam o valor inferior ou igual a zero ($IL \leq 0$) como ideal. No atual trabalho, também foram detectados para o mês de outubro, valores inferiores a zero em todos os poços.

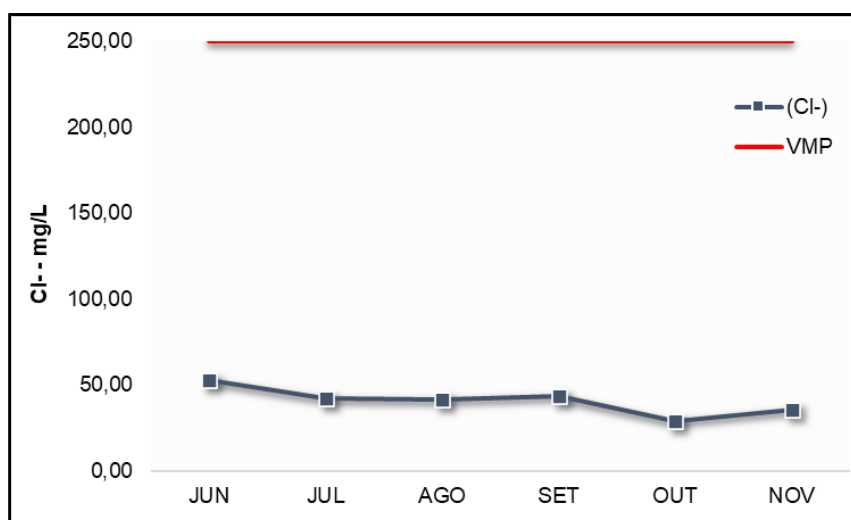
Nos demais meses, foi obtido valores maior que zero de forma ínfima, em todos os poços, onde possivelmente o principal contribuinte para esse fenômeno foi a influência direta do potencial hidrogeniônico, tendo em vista que, o carbonato de cálcio é uma substância química inorgânica que ocorre na forma de pó fino dissolvido em água, presentes no subsolo, e praticamente não sofrem variações significativas dentro das mesmas condições pluviométricas no tocante à lixiviação do solo.

Foram detectados casos, ao exemplo do estudo de Porto (2017), que necessitou da redução do Índice de Saturação de Langelier – IL, para produção/distribuição de águas para o consumo humano e uso industrial; caso contrário, a água distribuída manter-se-ia agressiva, de forma incrustante, podendo causar danos materiais as tubulações e conseqüentemente aos usuários, bem como, à processos unitários industriais.

Antes de relatar os valores de cloretos encontrados nas águas, é importante citar que de acordo com a FUNASA (2006), os valores elevados de cloreto em águas de consumo humano, além de sabor desagradável pode gerar efeito laxativo. Alguns autores como Conde *et al.*, (2017), informam que águas com alta concentração de cloretos não possuem boa aceitação, por possuir sabor salgado. Mas apesar disso, não apresentam riscos à saúde humana, exceto em pessoas que possuem alguma intolerância a esses compostos.

A análise de detecção de cloreto na água é classificada como um padrão organoléptico de potabilidade. Os valores obtidos nos experimentos realizados, pós titulação, com as águas do sistema de distribuição, estão apresentados na Figura 29.

Figura 29 - Valores dos cloretos, obtidos na rede de distribuição de junho a novembro de 2021.

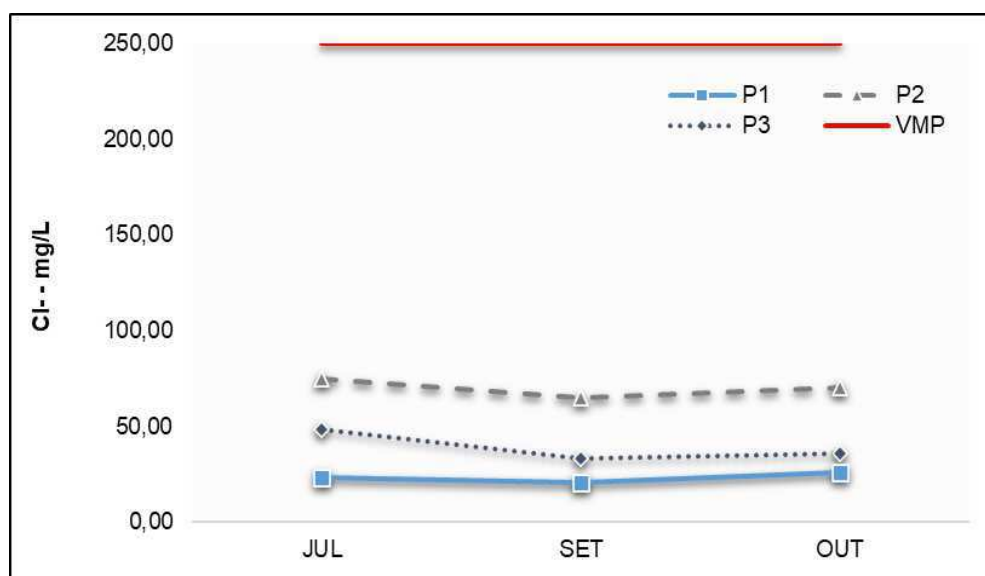


Fonte: Elaboração própria.

As média detectada de $40,85 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, para os 6 meses indicados, remetem que as águas pesquisadas estão aptas ao consumo humano, com fulcro na portaria N° 888/2011 do Ministério da Saúde, pois tal portaria, estabelece o teor de $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ como valor máximo permitido de para água potável.

Com relação às análises das águas de cada um dos poços, no mês de julho, setembro e outubro, os valores estão expressos na Figura 30. Observou-se valores médios, equivalente aos 3 meses, de $23,17$, $69,83$ e $39,17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para PT-1, PT-2 e PT-3, respectivamente.

Figura 30 – Valores dos cloretos, obtidos nos três poços de julho, setembro e outubro de 2021.



Fonte: Elaboração própria

Constata-se que no poço “PT-2” é onde são encontrados os maiores valores em miligramas de cloreto para cada litro de água analisado, já no poço “PT-3”, o valor obtido é bem próximo do encontrado na média do mês para a rede de distribuição, enquanto que no poço “PT-1”, o valor detectado é inferior.

O valor informado por de Medeiros *et al.*, (2009), num poço em Forte Velho foi de $28,36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para o teor de cloretos, o que leva a crer que esses poços analisados apresentam muitas semelhanças nas águas para tal parâmetro.

Diante do exposto, fica evidente que, em relação a esse parâmetro, não há necessidade de restringir o uso da água devido ao sabor que elas conferem e ao efeito laxativo que podem provocar, pois as concentrações observadas foram baixas.

Os resultados dos demais parâmetros (sódio, potássio, sulfato, cálcio, magnésio, alumínio, ferro total, gás carbônico, fósforo total, nitrato, nitrito, amônia e sílica), apresentados nas Tabelas 8 e 9, mostram águas em conformidade com os valores máximos recomendados pelas legislações vigentes.

Foram obtidos resultados médios, entre os três poços, de sódio, potássio, sulfato cálcio e magnésio, respectivamente, de 24,46; 1,36; 15,26; 82,26 e 12,76 mg·L⁻¹ satisfatoriamente dentro do limite máximo estabelecido pela Portaria do MS. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Medeiros *et al.*, (2009), que também estudaram água de um poço na comunidade de Forte Velho e obtiveram 13,70; 2,46; 10,80; 70,14 e 15,80 mg·L⁻¹ para esses respectivos parâmetros.

Em uma análise de água é esperado que a concentração de magnésio seja inferior a concentração de cálcio, pois, mesmo apresentando características químicas semelhantes ao cálcio, o magnésio é mais solúvel e mais difícil de precipitar, conforme afirmam Silva e Migliorini (2014).

A partir da determinação da quantidade média de cátions Ca²⁺ em miligramas por litro de água, encontrou-se, respectivamente, 79,80, 87,40, e 79,70, para “PT-1, PT-2 e PT-3”; bem como, quantidades de Mg²⁺, de 8,00, 11,90, e 18,40 mg·L⁻¹, para esses mesmos poços; que se aproximam em média, quando comparados ao trabalho de Medeiros *et al.*, (2009), onde foram encontrados valores de 70,14 mg·L⁻¹ de Ca²⁺ e de 15,80 mg·L⁻¹ de Mg²⁺, para a água de um poço em Forte Velho.

Tabela 8 – Valores de sódio, potássio, sulfato, cálcio e magnésio obtidos nos três poços.

Local	Na ⁺ (mg·L ⁻¹)	K ⁺ (mg·L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg·L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg·L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg·L ⁻¹)
PT-01	19,60	0,90	11,10	79,80	8,00
PT-02	29,30	1,10	15,00	87,40	11,90
PT-03	24,50	2,10	19,70	79,60	18,40
Portaria MS Nº 888/2021	200,00	-	250,00	-	-

Fonte: Elaboração própria

O sódio é um metal alcalino abundante em águas subterrâneas, ocorre em sua maioria, sob a forma de cloretos e, quando é observado em altas concentrações, torna-se nociva às plantas, pois reduz a permeabilidade do solo (Feitosa *et al.*, 2008).

Esses autores supracitados ressaltam que em sentido contrário, o potássio ocorre em pequenas quantidades ou está ausente em águas subterrâneas, devido à

sua precipitação intensa em processos de troca iônica, facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, por fim, seus sais são bastante utilizados pelos vegetais.

Em relação ao sulfato, apesar da portaria indicar um valor máximo de $250\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, normalmente são encontrados valores abaixo de $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em águas subterrâneas e origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita).

De acordo com Feitosa *et al.*, (2008), os teores de cálcio, em águas subterrâneas, variam entre 10 e $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Nesse sentido, Silva e Migliorini (2014), ressaltam que concentrações acima de $70\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ podem conferir sabor salgado as águas. Já o magnésio, geralmente apresentam teores entre 1 e $40\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em águas subterrâneas e produz gosto salobro as águas (Feitosa *et al.*, 2008). É importante frisar que nenhum dos poços, em nenhum dos meses analisados, atingiu o valor indicado que poderia infringir nessa qualidade sensorial descrita.

De acordo com Feitosa *et al.*, (2008), altas concentrações de ferro em águas subterrâneas podem estar associada à ocorrência de ferrobactérias ou à corrosão do revestimento do poço. Nesse sentido, com os resultados obtidos, pode-se afirmar que os revestimentos dos poços de Forte Velho não sofrem corrosão, devido a pequena quantidade de ferro observada nos poços.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos no mês de julho para os parâmetros alumínio, ferro total, fósforo total, nitrato, nitrito, amônia e sílica.

Tabela 9 – Valores dos demais parâmetros analisados nos três poços.

Local	Al^{3+} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ferro Total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	FT ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	N-NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	N-NO_2^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NH_3 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SiO_2 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
PT-01	0,00	0,04	0,00	0,05	0,001	0,11	16,40
PT-02	0,00	0,02	0,00	0,09	0,002	0,01	20,60
PT-03	0,00	0,01	0,00	0,04	0,001	0,03	16,90
Portaria MS	0,2	0,3	-	10,00	1,00	1,20	-

Fonte: Elaboração própria

Teores acima de $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de nitrato podem ser indicativos de contaminação de águas subterrâneas por atividades antrópicas, como esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados e entre outros (Hirata *et al.*, 2020).

A ingestão de água com altas concentrações de nitrato superiores ao padrão de potabilidade podem causar doenças como metehemoglobinemia (síndrome do bebê

azul), alguns tipos de câncer ou problemas do sistema reprodutivo, conforme afirma Varnier *et al.*, (2019).

Portanto, em relação aos teores de nitrato, as análises realizadas nesta pesquisa, confirmam que as águas consumidas pela população de Forte Velho não oferecem risco à saúde, quanto a esse parâmetro isoladamente.

A presença de nitrito em água subterrânea é um indicativo de poluição recente. Nesse sentido, os baixos teores de nitrito obtidos nesta pesquisa, reforçam que a ausência de saneamento é o maior causador de poluição das águas que a população residente em Forte Velho consome.

Lizzerini e Bonotto (2014), observaram que a presença de sílica, entre a faixa de 8 a 15 mg.L⁻¹, em águas consumidas trariam benefícios à saúde, impactando em uma menor taxa de mortalidade devido a doenças coronárias e problemas de coração da população. Nesse sentido, as amostras analisadas nesta pesquisa tiveram resultados levemente mais acentuado que os valores citados por esses autores, todavia, a legislação vigente não estabelece limite máximo para tal parâmetro.

4.2 “Experimento 02”

Tendo em vista que a comunidade em estudo é abastecida por um sistema em funcionamento teoricamente regular, o consumo de água foi determinado a partir da relação entre o volume total de água distribuída, fornecido por meio da leitura diária periódica do hidrômetro, instalado no macromedidor proporcional; pelo tempo da leitura; e, pelo número de habitantes. A este valor, adicionou-se a constante de contração de veia líquida.

Esta relação é representada na Equação 12:

$$q_e = \frac{v_d}{N_d * \frac{N_h}{L}} * K \quad (12)$$

Onde:

q_e = consumo efetivo *per capita* de água;

N_d = tempo de duração da leitura nos hidrômetros;

$\frac{N_h}{L}$ = número de habitantes por ligação;

K = coeficiente de veia líquida (constante de proporcionalidade);

v_d = volume de distribuição.

Para determinar o consumo *per capita* de água, foi incorporado um índice de de 20%, sendo este, indicado por Tsutiya (2006), devido às perdas que ocorrem ao longo do sistema de distribuição, comprometendo o atendimento da demanda da comunidade.

Sendo assim, a determinação do consumo *per capita* neste trabalho foi realizada através da fórmula apresentada na Equação 13.

$$q = \frac{qe}{1 - I} \quad (13)$$

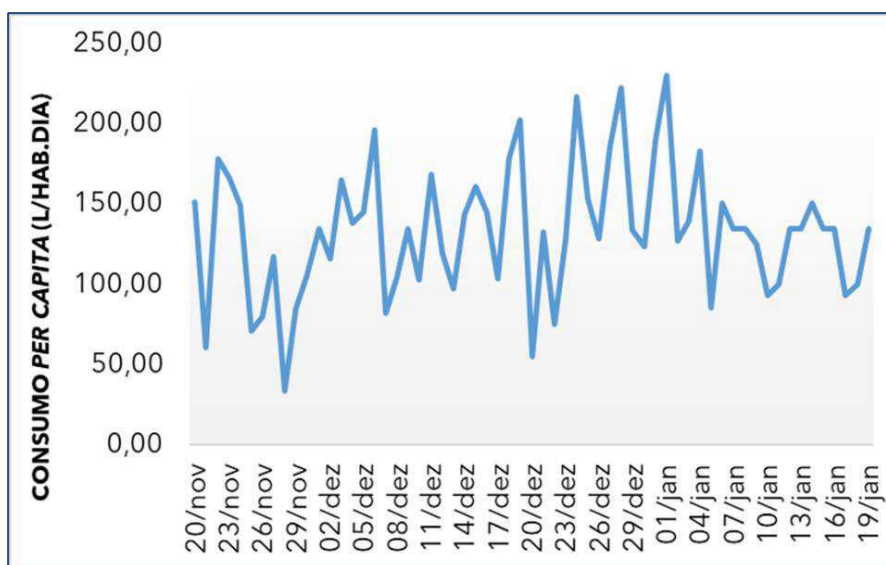
Em que:

q = consumo *per capita*;

I = índice de perdas (20%).

O conjunto de dados do consumo *per capita* diário da comunidade de Forte Velho estão apresentados por meio da série temporal da Figura 31, onde observa-se variações de picos e rebaixos ao longo do período analisado. Nota-se, ainda, que os maiores picos ocorrem nas proximidades dos finais de semana.

Figura 31 - Representação gráfica da série temporal do consumo *per capita* de Forte Velho.



Fonte: Elaboração própria.

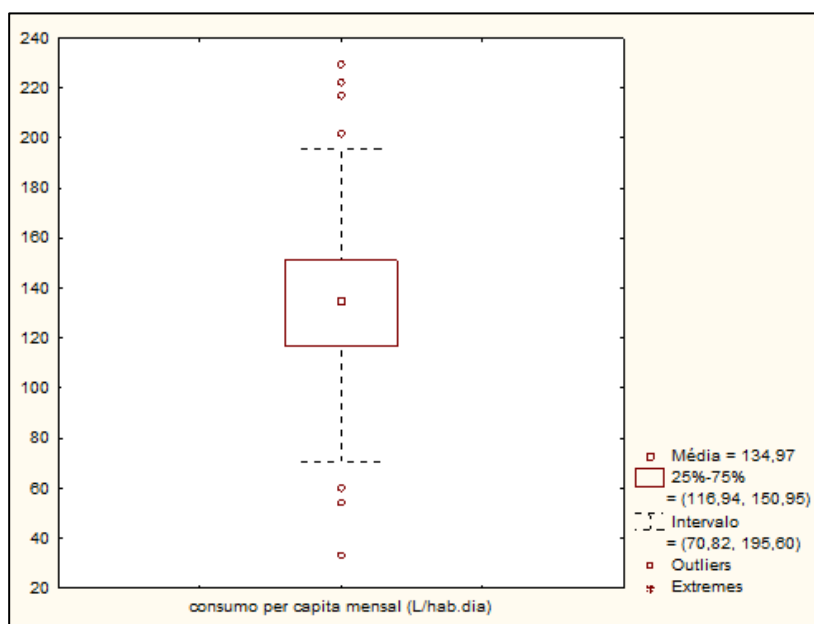
A leitura do volume distribuído na comunidade foi realizada em um período de alta demanda, devido ao verão, o qual caracteriza um maior fluxo de habitantes em Forte Velho, devido ao seu aspecto de turismo. Este fato, possivelmente, foi significativo para as variações heterogêneas apresentadas na figura acima.

O surgimento desses valores discrepantes é explicado pelas variações da realidade de consumo semanal na comunidade, tendo em vista que, diversos moradores confirmaram que próximo dos finais de semana, bem como, de feriados, há um costume local em encher piscinas ou outros para recreação e lazer; havendo, portanto, uma maior demanda de água.

Ademais, já foi constatado, quando nas visitas de campo, paralisação do fornecimento de água para comunidade, em função da manutenção corretiva nas motobombas dos poços. Portanto, além da confirmação *in loco*, da quebra de tais equipamentos, é possível que também tenha ocorrido em alguns momentos do bimestre aferido.

A Figura 32 apresenta a distribuição empírica e valores discrepantes (*outliers*) dos dados obtidos. Observa-se que consumo *per capita* médio diário da comunidade Forte Velho, por indivíduo, dos volumes de águas utilizados para satisfazer os consumos domésticos foi de 134,97 L . (hab.dia)⁻¹. As caudas do *boxplot* mostram leve assimetria superior e a presença de *outliers*.

Figura 32 – Estatística descritiva referente ao consumo *per capita* da comunidade em estudo.



Fonte: Elaboração própria.

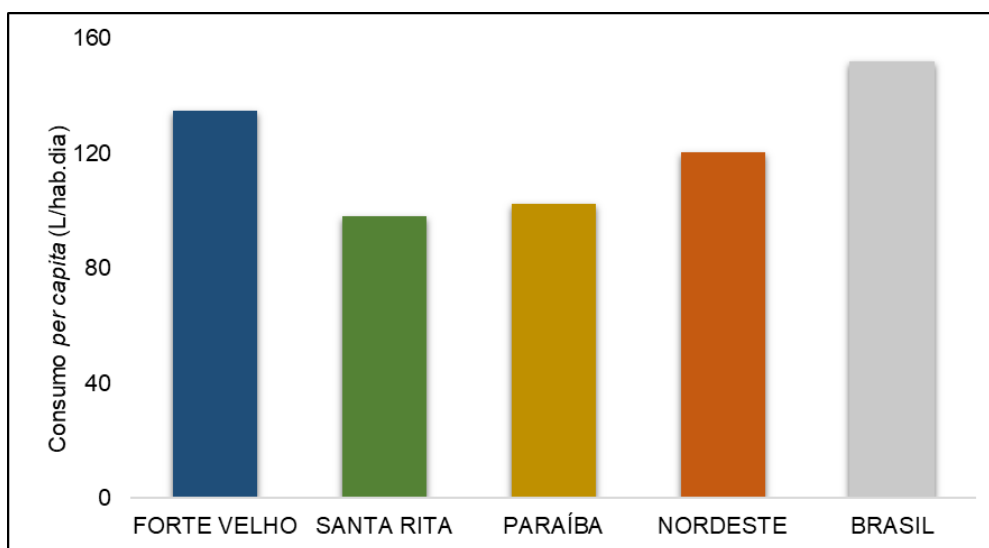
Esse consumo médio obtido está acima do consumo do município de Santa Rita, referente ao ano de 2020, conforme afirmam os dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS). Porém, ressalta-se que, esta comunidade não realiza pagamento referente à tarifa de consumo e está localizada em uma região

com bastante oferta de água. Certamente, isto é um problema, tendo em vista que este é considerado na literatura um fator interveniente no consumo de água.

A Figura 33 demonstra a comparação do consumo *per capita* entre a comunidade de Forte Velho, obtida neste trabalho, com Santa Rita, Paraíba, Nordeste e Brasil, referentes ao ano de 2020, disponibilizados pelo SNIS. Percebe-se que, a demanda do município de Santa Rita está abaixo da Paraíba. Nesse sentido, o consumo de Forte Velho, superior ao de Santa Rita, é explicado pela alta variação do consumo e pelo número de habitantes infinitamente inferior.

O relatório disponibilizado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, informa que a CAGEPA estabelece um consumo equivalente a $100 \text{ L} \cdot (\text{hab.dia})^{-1}$ para municípios com até 10.000 habitantes, e ainda sugere que, quanto ao consumo rural, seja adotado este mesmo coeficiente unitário na Paraíba.

Figura 33 - Comparação do consumo *per capita* de Forte Velho com outras regiões.



Fonte: Elaboração própria.

Corroborando com este pensamento, Silva (2019) afirma que o consumo médio *per capita* adotado para municípios do interior de São Paulo é equivalente à $200 \text{ L} \cdot (\text{hab.dia})^{-1}$, e afirma que, em pequenas comunidades rurais, o consumo representa 50 % do consumo urbano. Portanto, o valor médio obtido nesta pesquisa está coerente com o indicado na literatura.

Silva (2021) realizou um estudo comparativo do consumo *per capita* entre 04 municípios da Paraíba, sendo eles: Cabedelo, Guarabaira, Monteiro e Patos. Este autor observou uma discrepância entre Cabedelo e os outros municípios, sendo neste, superior à $150 \text{ L} \cdot (\text{hab.dia})^{-1}$, entre os anos de 2011 e 2018, e atribuiu a esse resultado, fatores que elevam a quantidade de consumo, sendo estes: alta disponibilidade hídrica do manancial; localização turística e elevada quantidade de piscinas.

Sendo assim, por meio dos resultados obtidos, pode-se afirmar que estes serão úteis na preservação e aperfeiçoamento de recursos, fornecendo informações fundamentais para os gestores planejarem serviços de abastecimento de água e, conseqüentemente, de saneamento básico.

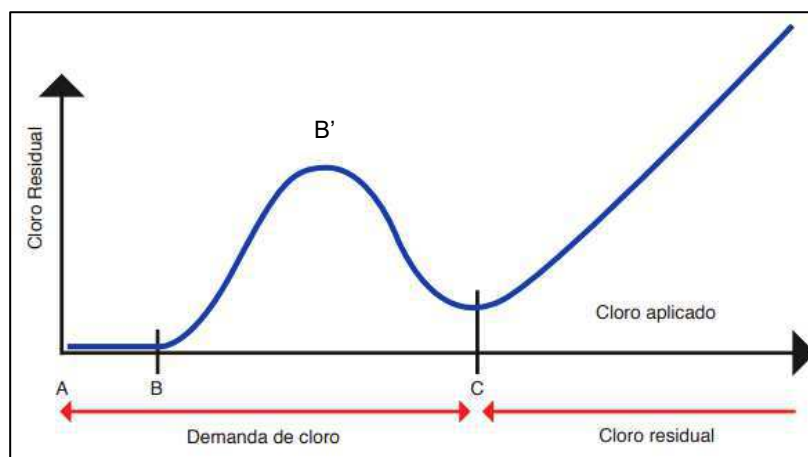
4.3 “Experimento 03”

Diante das análises realizadas, buscou-se verificar se o protótipo foi eficiente para o surgimento de residual de cloro na rede de distribuição da comunidade Forte Velho, e assim, realizar um paralelo com a Portaria MS Nº 888 de 2021, bem como, com outros trabalhos realizados no que concerne este assunto.

A primeira análise foi realizada, em todos os pontos de coleta, após 02 horas de contato entre as pastilhas de cloro com a água, e foram obtidos resultados nulos para todos os pontos, com exceção do ponto A. Este ponto apresentou um valor médio de $4,15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, o qual representa a concentração inicial de cloro livre da saída do protótipo para a rede de distribuição. Possivelmente, esse valor expressivo é resultante da pouca perda de carga unitária, tendo em vista que, o ponto está localizado no próprio protótipo, bem como, pela vazão e pressão consideravelmente inferiores ao da rede de distribuição.

Os resultados nulos obtidos para os demais pontos de coleta são explicados por meio da curva de demanda do cloro, apresentada na Figura 34 abaixo. Após 02 horas de contato, o cloro estava sendo consumido pela oxidação da matéria orgânica e inorgânica presentes na água, confirmadas pelas análises microbiológicas discutidas no capítulo 02, representadas pelo trecho AB, conforme afirmam Macêdo *et al.*, (1999) e Brasil (2014).

Figura 34 - Curva de demanda do cloro.



Fonte: Adaptado de Brasil (2014).

No trecho BB', é o momento em que há combinação do cloro com compostos nitrogenados, produzindo as cloraminas e, conseqüentemente, apresentando teores de cloro combinado. No trecho B'C, ocorre a oxidação das cloraminas, produzidas no trecho citado anteriormente, e o teor de cloro combinado é reduzido. Por fim, do trecho C em diante, sendo este o ideal para ação desinfetante, é o momento que se finaliza a oxidação do cloro combinado, e elevam-se os teores de cloro livre (MACÊDO *et al.*, 1999; BRASIL, 2014).

Sendo assim, após 02 horas de tempo de residência das pastilhas no dosador de cloro, não havia terminado o processo de oxidação de cloro combinado e, conseqüentemente, o surgimento de cloro livre na extensão da rede de distribuição.

Após 24 horas de contato das pastilhas com a água, foram relatados por moradores e confirmados pelo operador do sistema motobomba, que ao acionar as torneiras de suas residências, sentiram cheiro de cloro na água. Portanto, é possível afirmar que após 24 horas de residência das pastilhas no dosador, houve o surgimento de cloro em alguns pontos ao longo da rede de distribuição da comunidade.

Ao transcorrer 72 horas de contato das pastilhas com a água, voltou-se a comunidade para coletar novas amostras e, assim, realizar as análises de cloro residual livre. Verificou-se que, após esse período, ocorreu uma perda de massa das pastilhas, justificado pela percolação das águas nas superfícies das mesmas, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 - Aplicação da pastilha de cloro no SDC.

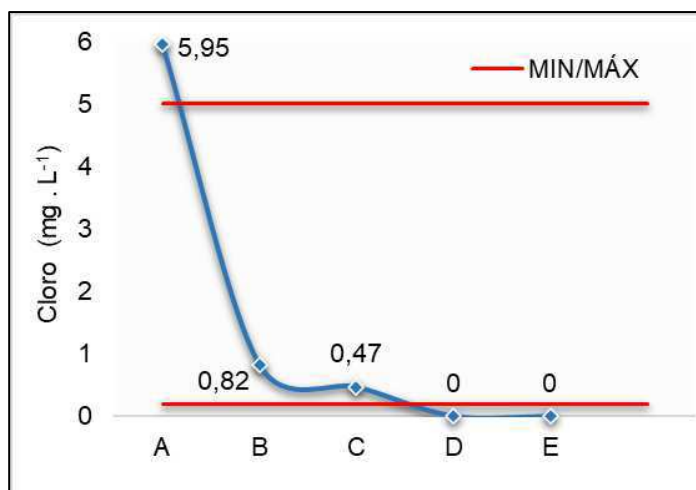


Fonte: Elaboração própria.

Conforme afirmam Melo e Formiga (2007), a variação temporal é fator condicionante na determinação do teor de cloro residual, portanto, as coletas foram realizadas no período matutino, horário de maior consumo de água na comunidade e, conseqüentemente, mais crítico para a incidência de menores concentrações de cloro residual na rede de distribuição.

Sendo, então, este o período padronizado, a Figura 36 apresenta os valores detectados do teor de cloro livre, em miligramas por litro, da água de distribuição em cinco pontos de coleta, referente à uma vazão de distribuição equivalente à $129,36 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, com exceção do ponto A, pois como afirmado anteriormente, é um ponto que não está ligado à rede de distribuição.

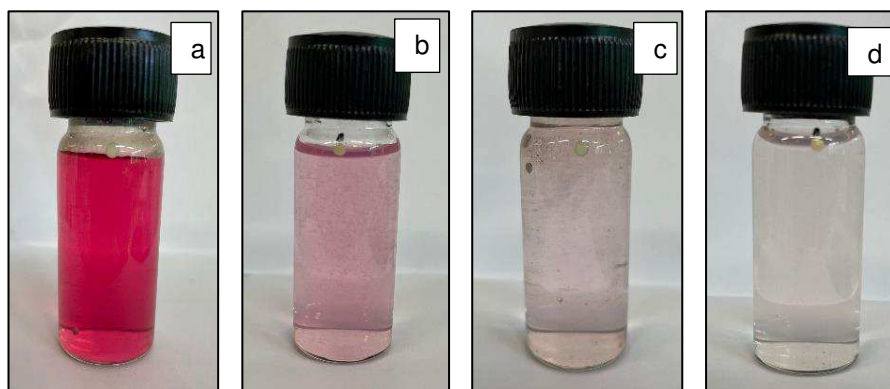
Figura 36 - Representação gráfica do teor de cloro obtido nos pontos de coleta.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 37 confirma os resultados apresentados acima, a partir do decaimento da intensidade da cor rosa, após a aplicação do reagente DPD, nas amostras de água. O ponto A (37.a) apresentou uma coloração rosa expressiva; ponto B (37.b) uma coloração rosa suave; pequenos fragmentos rosados em toda a amostra do ponto C (37.c); e por fim, ausência de coloração rósea nos pontos D e E (37.d).

Figura 37 - Comportamento da água após aplicação do DPD.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que para o ponto “A”, ponto mais próximo à aplicação das pastilhas de cloro, o valor médio obtido foi de $5,95 \text{ mg.L}^{-1}$, para uma vazão de $Q = 8,63 \text{ L.min}^{-1}$, a qual foi medida com o auxílio de proveta graduada e cronômetro. O resultado obtido está acima do valor indicado pela portaria vigente, que dita potabilidade para consumo humano. Porém, este ponto de coleta não condiz com a realidade da comunidade, em virtude da vazão consideravelmente inferior a vazão de distribuição.

Para o ponto “B”, cuja distância radial para o protótipo é de aproximadamente 60 metros, foi-se obtido um teor médio de cloro livre equivalente a $0,82 \text{ mg.L}^{-1}$. Sendo assim, mostrou-se eficiente pois o resultado foi superior ao limite mínimo exigido pela Portaria MS nº 888 de 2021 de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, e inferior ao máximo exigido, equivalente a $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

Este resultado foi similar aos obtidos por Costa, Silvas e Castro (2015), que obtiveram teor de cloro médio de $0,97 \text{ mg.L}^{-1}$ em 12 pontos de consumo de águas distribuídas em Curitiba, pela Companhia de Saneamento Básico.

Para o ponto “C”, o qual distancia-se radialmente 45 metros do protótipo, foi obtido um teor médio de cloro livre equivalente a $0,47 \text{ mg.L}^{-1}$ e também mostrou-se eficiente pois atendeu às exigências da Portaria vigente.

Azevedo *et al.* (2019), avaliaram a concentração de cloro livre de uma rede de distribuição em Itabaiana, Sergipe, e obtiveram oscilações entre 0,17 mg.L⁻¹ a 2,16 mg.L⁻¹, corroborando que, assim como nesta pesquisa, o teor de cloro residual livre introduzido no sistema de distribuição não se mantém constante até a torneira do consumidor.

Os pontos “B” e “C” estão dispostos após a instalação do protótipo, no sentido da gravidade da rede de distribuição, sem interferência de tubulações ramificadas nos poços tubulares que abastecem a comunidade. Entretanto, era esperado que o teor de cloro residual na água obtido no ponto “C” fosse maior que no ponto “B”, pois, está mais próximo ao protótipo, conseqüentemente, haveria menores perdas de cargas unitárias provenientes das ramificações secundárias da rede de distribuição.

Melo e Formiga (2007), concordam com esse pensamento, pois, identificaram a menor concentração de cloro residual em uma região localizada no ponto mais distante do reservatório de distribuição e com maior demanda de consumo.

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), o teor de cloro residual de 0,2 mg.L⁻¹ já é considerado eficiente para garantia da qualidade microbiológica da água. Portanto, há esperança de que os resultados de cloro obtidos nos pontos “B” e “C” apresentem efeitos bactericidas. Porém, é necessário a realização de análises microbiológicas nestes pontos.

Para o ponto “D”, o qual distancia-se radialmente cerca de 15 metros, e o ponto “E”, cerca de 60 metros do protótipo, e que ambos estão dispostos no sentido que antecedem o protótipo, os resultados de teor de cloro livre foram ausentes, não atendendo a legislação vigente, permitindo, ainda, a contaminação microbiológica da água transportada e conseqüentes problemas de saúde pública.

Apreende-se desses resultados que é necessário um aprofundamento no tocante a topologia, a partir da verificação dos diâmetros nominais, comprimento de extensão dos trechos e nós da rede principal e secundárias, bem como, as condições dos materiais que compõem o sistema de distribuição da comunidade Forte Velho. Pois, possivelmente, os resultados nulos obtidos nos pontos “D” e “E”, são conseqüências de ramificações indiretas na adutora do PT – 1, e não necessariamente pela insuficiência do sistema dosador proposto nesta pesquisa.

Martins Netto *et al.*, (2006), realizaram um estudo similar, em São Paulo, ao apresentado neste capítulo. Estes autores implantaram um sistema de cloração, com

teor inicial de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, em águas provenientes de dois poços profundos, as quais são encaminhadas a um reservatório central e distribuída, por gravidade, para os pontos de consumo. Estes autores obtiveram resultados variando de $0,05$ a $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$ de cloro residual livre nos pontos de consumo.

Melo e Formiga (2007), enumeram alguns procedimentos que devem ser considerados no processo de desinfecção das águas. Dentre eles, têm-se como exemplo: o monitoramento da qualidade da água a desinfetar; previsão da dosagem máxima de cloro; o método de cloração e realização de ensaios; e, a fixação do cloro residual a ser mantido na rede. Assim, o intuito deste protótipo foi proporcionar à comunidade rural, o mínimo de tratamento possível, com operação simples e viável financeiramente, de forma a garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano.

V – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

A segurança hídrica, em quantidade e qualidade, no contexto rural abrange o monitoramento das condições sanitárias e ambientais das comunidades, os quais podem ser alcançados, por exemplo, a partir da vigilância dos parâmetros de padrões de potabilidade para águas destinada ao consumo humano.

A Organização Mundial da Saúde - OMS e a Agenda 2030, através dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM, em especial o 6º, recomendam a população a disponibilidade de água potável para fins de consumo humano. Quanto à instrumento legal, a Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021, ressalta, no Art. 13, a importância da realização de ações de vigilância da qualidade da água, destinada ao consumo humano, em áreas rurais.

Conforme os dados obtidos relativos às amostras de águas coletadas nos três poços e na rede de distribuição, denota-se que todos os parâmetros físico-químicos e o de origem organoléptica, Turb., CE, pH, STD, DT, AT, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Al³⁺, Ferro Total, SO₄⁻, FT, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻ e NH₃ se enquadram dentro dos valores máximos permitidos, com fulcro na qualidade de água para consumo humano, segundo a Portaria Nº 888/2021 do MS, e teoricamente, não se coloca em risco a saúde dos moradores da comunidade rural que utilizam essa água, ao menos, quanto aos parâmetros analisados.

Ademais, os demais parâmetros físico-químicos, dureza em cálcio e magnésio em CaCO₃, Ca²⁺, Mg²⁺ e SiO₂, cuja portaria não determina valores máximos permissíveis, apresentaram valores aceitáveis na literatura, e dessa forma, também não representaram riscos à saúde pública.

Todavia, aponta-se a necessidade de tratamento na água estudada, em virtude da presença, nos três poços, de coliformes totais e *E. coli.*, indicadores de contaminação e transmissão de enfermidades de veiculação hídrica. Dessa forma, devido aos parâmetros microbiológicos, a água de Forte Velho caracteriza-se imprópria para consumo humano.

Os resultados do monitoramento referentes ao nível de incrustação ou corrosão das águas, através do Índice de Langelier, apontaram águas balanceadas, com pouco poder incrustante ou corrosivo, no PT-1, PT-2 e PT-3, o que não representa um risco

de danificação na tubulação e, conseqüentemente, na diminuição da vazão de água distribuída na comunidade de Forte Velho.

A instalação do medidor proporcional permitiu medir os volumes, e conseqüentemente, as vazões durante o período de aproximadamente dois meses. Essa ação torna-se essencial para o sistema de abastecimento, pois, fornece informações inéditas para o planejamento de saneamento básico para o distrito de Forte Velho.

A alternativa *by-pass* com hidrômetro realizada durante 61 dias teve uma indicação média equivalente a 134,97L /hab.dia. Esse valor foi atribuído ao consumo doméstico, com a adição de um índice de perdas de 20%, conforme indicado na literatura.

A utilização do hidrômetro como medidor proporcional, em Forte Velho, desenvolvido pela CAGEPA, foi um coadjuvante importante para indicar aos gestores municipais possíveis falhas ou perdas súbitas de vazão, bem como, falhas na operação do sistema de adução como um todo. Onde deverasmente, nunca havia sido aferido em qualquer das comunidades rurais daquele município.

Tal instrumento contribui também como um norteador perante as informações no tocante à dosagens de produtos químicos a base de cloro, para inserir de forma definitiva um sistema de tratamento de água na comunidade, a qual, atualmente, consome uma água imprópria para consumo humano, devido aos parâmetros microbiológicos. Portanto, este consumo médio *per capita* assume grande relevância, pois oferece subsídios importantes para a execução de um planejamento, a fim de melhorar a operação do sistema, de forma a controlá-los em níveis de eficiência desejáveis.

A implantação do sistema dosador de cloro apresentou resultados parcialmente satisfatórios, com o surgimento de teores de cloro residual livre que atendem aos limites mínimo e máximo exigidos na Portaria Nº 888 de 2021, em alguns pontos de consumo na comunidade. Este resultado constitui um importante instrumento para garantir a promoção de saúde da população, pois envolveu a aplicação de solução com operacionalização, simples e econômica, de forma segura no tocante à desinfecção.

Por ter sido implantado em uma área carente de informações, observa-se, portanto, que o tema tratamento de água, embora bastante discutido neste trabalho, ainda apresenta a necessidade de desenvolvimento na região de Forte Velho. O SDC

representa uma ação inicial de tratamento e uma inspiração para que gestores busquem soluções de implantação de melhorias no sistema que abastece a comunidade rural.

Tendo em vista que a qualidade da água pode ser interferida pela falta de adequação e manutenção em qualquer parte de um sistema de abastecimento, recomenda-se a realização de ações permanentes, por parte do poder público, neste caso, a Prefeitura Municipal de Santa Rita, tais como: adicionar a etapa de tratamento na água distribuída para a comunidade, bem como, limpeza nas áreas limítrofes aos três poços estudados, realização periódica de manutenção preventiva e corretiva no sistema motobomba e principalmente, assepsia, ao menos, semestral, no reservatório elevado. Além disso, recomenda-se a realização de ações de educação ambiental em creches e escolas, com fulcro a conscientizar a comunidade, que a água é um recurso natural, finito e dotado de valor econômico.

Por todos os motivos elencados, é necessário que os gestores municipais de Santa Rita, cumpram sua parte sob a responsabilidade da missão de “vigilância da qualidade da água”, nos termos da Portaria vigente, e assegurem “...à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos...”, conforme estabelece a Lei Federal.

5.2 Perspectivas para trabalhos futuros

Devido às variações discrepantes (*outliers*) na medição da vazão, e conseqüentemente, no consumo, recomenda-se novos estudos a partir da calibração do hidrômetro, para assim, realizar novas análises, com variações sazonais, para que haja maior confiabilidade nos dados devidamente aferidos.

Além disso, recomenda-se estudos aprofundados no sistema dosador de cloro, a partir de outras dosagens iniciais de teor de cloro, bem como, a avaliação do cloro livre e de coliformes, totais e termotolerantes, em pontos de consumo distribuídos espacialmente e temporalmente, para assim, permitir um monitoramento mais detalhado do sistema e verificar sua eficiência.

Além disto, sugere-se estudos aprofundados no tocante à esqueletização das ramificações principal e secundária, e dos nós, do sistema de distribuição de água da comunidade, por meio do sentido do fluxo; diâmetros nominais; comprimento da extensão da rede; situação dos materiais que compõem o sistema, bem como, as

rupturas e fissuras interferentes aos tubos. Para assim, aperfeiçoar o SDC ou até mesmo propor novas formas de soluções alternativas para a comunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas subterrâneas: o que são?** Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ALMEIDA, A.R.B. **Ecoturismo e turismo de base comunitária na comunidade de Forte Velho, PB: diagnóstico e proposições**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

ALVARADO, A.; ESTELLER, M.V.; QUENTIN, E.; EXPÓSITO, J.L.. Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. **Water Resour Manage**, v.30, s/n, p.1549–1566, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1239-4>

ALVES, G. M. C. et al. Qualidade da Água Subterrânea Obtida de Poços em Áreas Urbanas na Cidade de Ji-Paraná - RO. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 30, n. 256/257, p. 137–141, 2016.

AMARAL, L.A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Rev Saúde Pública**. v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; **Water Environment Federation**, 2005.

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, twentieth ed. **American Public Health Association and American Water Works Association and Water Environment Association**. 1998.

AUGUSTO, L.G.S.; GURGEL, I.G.D.; CÂMARA NETO, H.F.; MELO, C.H.; COSTA, A.M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600015>

AZEVEDO, A.C.R.; et al. Avaliação da concentração de cloro residual livre na rede de distribuição de água em um bairro de Itabaiana/SE. **Anais: XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe**. 2019.

BARCELLOS, C.M. et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cad. Saúde Pública**. v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006.

BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4 – Fortaleza - Universidade Federal do Ceará, 2010. 84 p.

BELTRÃO, B.A. et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado de Paraíba: diagnóstico do município de Santa Rita**. CPRM, 2005.

BIRKHEUER, C. de F; et al. Qualidade físico-química e microbiológica da água de consumo humano e animal do Brasil: Análise Sistemática. **Caderno pedagógico**, Lajeado, v. 14, n. 1, p. 134-145, 2017.

BORTH, S. F. **Avaliação da qualidade da água de consumo humano em poços de propriedades rurais na bacia hidrográfica do Arroio Marrecas, RS**. Dissertação (mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

BRAGA, E.A.S.; et al. Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas** - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2021.

BRAGA, E.S. et al. Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 17-24, 2018.

BRASIL, **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília: DOU, 2007.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Manual de procedimentos em vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde; 2006.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Manual de Saneamento** – Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. **Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2010.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa / Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)... Brasília: DOU, 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU, 1997.

BRASIL. **Manual prático de análise de água**. Brasília: FUNASA, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL. **Portaria de consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: MS, 2017.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: DOU, 2021.

BRASIL. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: DOU, 2011.

BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado da Paraíba**. Recife: MME, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396 de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: DOU, 2008.

BRASIL. **Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: DOU, 2009.

CÂNDIDO, J.L. Falhas de mercado e regulação no saneamento básico. **Revista Eletrônica Informe Econômico**. Ano 1, n. 1, p. 1-5, 2013.

CAPALONGA, S. Avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais nos municípios do Vale do Taquari – RS. **Águas subterrâneas**, v.33, n.4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i4.29600>

CASTRO, S.V. **Análise do sistema integrado de saneamento rural – SISAR, em sua dimensão político-institucional, com ênfase no empoderamento das comunidades participantes**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

CHAGAS, S.D.; IARIA, S.T.; CARVALHO, J.P.P. Bactérias indicadoras de poluição fecal em águas de irrigação de hortas que abastecem o município de Natal – Estado do Rio Grande do Norte (Brasil). **Rev. Saúde públ**, v. 15, p. 629-642, 1981.

CHIARELOTTO, M; CHIARELOTTO, M. Análise das implicações da evolução do desenvolvimento sustentável no aperfeiçoamento do saneamento ambiental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v. 8, n. 2, p. 138-154, 2017. DOI: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0012>

COELHO, A.C.; PINHO, J.H. Macromedicação – Medidor de derivação. Uma solução prática para os sistemas de médio e pequeno porte. **Revista DAE**, edição nº 122, 1979.

COELHO, S.; DUARTE, A.N.; AMARAL, L.S.; SANTOS, P.M.; SALLES, M.J.; SANTOS, J.A.A.; SOTERO-MARTINS, A.. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na cidade de São Luís, MA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v.12, n.1, p. 1-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1962>

CONDE, T. T.; et al. Análise da qualidade da água em escolas estaduais localizadas no município de Ariquemes – RO. **RBCA**, v. 6 n. 1, jan. – abr., p. 1 – 62, 2017.

CÔRREA, A.C.M.P. **A Lei 11.445/07 e o saneamento básico: os efeitos da adoção de planos municipais e/ou regulação nos indicadores do setor**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Economia). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

COSTA, A.M.; SILVAS, B.P.C.; CASTRO, R.R.O. **Análise da concentração de cloro livre, cloro total, pH e temperatura em alguns pontos de consumo abastecidos pela rede pública de distribuição na cidade de Curitiba/PR.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2015.

COSTA, C.C.; GUILHOTO, J.J.M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária Ambiental [online]**. v.19, s/n, p.51-60, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000171>.

COSTA, S.G.F.; GADELHA, C.L.M.; FILGUEIRA, H.J.A. Saneamento básico e salubridade ambiental em cidades do litoral do estado da Paraíba. **Revista DAE**, v. 67, n. 219, p. 9-23, 2019.

COUTINHO, R.P.A. Trajetória político-institucional do saneamento básico no Brasil: do PLANASA à Lei 14.026/2020. **Revista de Direito da Administração Pública**. v. 1, n. 3, p. 100-129, 2021.

CUNHA, M.A.; BORJA, P.C. O programa de aceleração do crescimento no estado da Bahia e os desafios da universalização do saneamento básico. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. v. 10, n. Supl. 1, p. 173-185, 2018.

DANELUZ, D.; TESSARO, D. Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná. **Arq. Inst. Biol.**, v.82 p. 1-5, 2015.

DANIEL, L.A. et al. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável.** Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB. São Carlos, 2001.

FEITOSA, F.A.C.; et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008.312 p.

FERNANDES, R.A. **Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para definição e caracterização de áreas estratégicas de**

abastecimento. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

FERREIRA, F.S.; QUEIROZ, T.M.; SILVA, T.V.; ANDRADE, A.C.O. À margem do rio e da sociedade: a qualidade da água em uma comunidade quilombola no estado de Mato Grosso. **Saúde e Sociedade [online]**. v. 26, n. 3, pp. 822-828, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902017166542>

FORTES, A.C.C.; BARROCAS, P.R.G.; KLIGERMAN, D.C. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**. v. 43, n. spe3, p. 20-34, 2019.

FREITAS, M.B.; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L.M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**. v. 17, n. 3, p.651-660, 2001.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Programa Saneamento Brasil Rural**. Brasília, 2019.

FUNASA. Fundação Nacional da Saúde, 2014 apud Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). 2010 e Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). 2012. Disponível em [<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamentorural/>](http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamentorural/).

GALVÃO JÚNIOR, A.C.; MONTEIRO, M.A.P. Análise de contratos de concessão para a prestação de serviços de água e esgoto no Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 11, n. 4, p. 353-361, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000400008>

GALVÃO JÚNIOR, A.C.; PAGANINI, W.S. Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14, n. 1, p. 79-88, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000100009>

GAO, C. et al. The impact of individual life style and status on the acquisition of COVID-19: A case – Control study. **PLoS ONE**, v. 15, n. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241540>

GARCEZ, L. N. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Laboratório de Saneamento, 2004.

GONTIJO, H. M.; RAMOS, A.M; ÂNGELO, F.A. Saneamento rural: uma abordagem da comunidade de Amadeu Lacerda, Divinópolis, Minas Gerais. **Research, Society and Development**. v. 9, n. 3, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2530>

GRADES, Z.E.A. **Modelling and simulation of CO2 release in multiple-effect distillers for seawater desalination**. Dissertation (Doktor-Ingenieur). Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Tafilah. Jordanien, 2004.

GROTT, S.L.; et al. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]**. v. 23, n. 04, p. 645-654, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018162018>

GUERRERO-LATORRE, L; BALLESTEROS, I.; VILLACRÉS, I.M.; GRANDA, M.G.; FREIRE- PASPUEL, B.; RÍOS-TOUMA, B. SARSCoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries, **Science of the Total Environment** (2020), DOI: [//doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832)

GUIMARÃES, A.B. **Medidor de vazão proporcional para a quantificação do consumo de água na irrigação**. Dissertação (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

GUIMARÃES, A.J.A.; CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/54519/R%20->

%20E%20%20GABRIELA%20BORIM%20VIEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Acesso em: 28 mar. 2021.

HÉLLER, L.; PÁDUA, L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª edição – Belo Horizonte – Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. 418p.

HIRATA, R. et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. **Instituto Geociências**. Universidade de São Paulo, 2019. 64p.

HIRATA, R. et al. Nitrate Contamination in Brazilian Urban Aquifers: A Tenacious Problem. **Water**, v. 12, n. 2709, p. 1-20, 2020.

HOLLAS, C.E. **Avaliação da qualidade da água subterrânea utilizada para abastecimento na zona rural do município de Francisco Beltrão – Paraná**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2015.

HUEB, J.A.; KAPPAZ, A.P. Medidor de vazão proporcional. **Revista DAE**, edição nº 126, 1981.

LAUREANO, J.J. et al. Análise da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso na micro-bacia do Igarapé Nazaré (Rondônia, Amazônia ocidental). **Águas subterrâneas** – Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.29972>

LAZZERINI, F.T.; BONOTTO, D.M. O silício em águas subterrâneas no Brasil. **Ciência e natura**, v.36, n.2, p. 159-168, 2014.

LEITE, B.J.M.S.; ANTUNES, A.F.N.R. Mapeamento de regiões de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes de postos de revenda de combustíveis em João Pessoa -Paraíba. **Águas Subterrâneas**-Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas. 2021.

LIMA, M.M.G. **O PMSB e os desafios da universalização do saneamento em áreas rurais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2021.

LORDELO, L.M.K.; PORSANI, J.M.; BORJA, P.C. Qualidade físico-química da água para abastecimento humano em municípios do sertão da Bahia: um estudo considerando diversas fontes de suprimento. **Águas Subterrâneas**. v. 32, n. 1, p. 97-105, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28896>

MACEDO, J. A. B. et al. Formação de trihalometanos em soluções sanificantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação. **Revista do instituto de laticínios Cândido Tostes**, v.54, n.309, p. 216-230. 1999.

MACÊDO, J.A.B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 2a. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2003.

MANOEL FILHO, J. **Ocorrência das águas subterrâneas** in: Fernando A.C. Feitosa et al (org. e coord.) Hidreologia: conceitos e aplicações. 3.ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.

MARTINS NETTO, J.P.G.; et al. Problemas associados à cloração de água de poços para atendimento da Portaria 518, e coluções aplicadas. **Anais**: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2006.

MEDEIROS, C.M.; BARBOSA, D.L.; CEBALLOS, B.S.O.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T. Qualidade das águas subterrâneas na porção sedimentar da região do baixo curso do rio paraíba. **Anais**: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Campo Grande, 2009.

MELO, M.S.; FORMIGA, K.T.M. Modelagem de cloro residual em sistemas de distribuição de água: exemplo de aplicação em rede da região metropolitana de Goiânia. **Anais**: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007.

MENEZES, L.C.C. Considerações sobre saneamento básico, saúde pública e qualidade de vida. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 55-61, 1984.

MESQUITA, A.P.; KELLNER, E. Avaliação do índice de Langelier em sistema de distribuição de água de São Carlos (SP), suprido por manancial subterrâneo: estudo de estabilização. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 14, p. 193-204, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17271/2318847231420151031>

MEYER, S.T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, jan/mar, 1994.

MONTEIRO, G.F. **Análises físico-químicas das águas de poços tipo cacimba na cidade de Areia – PB**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

MORAES, L.R.S; BORJA, P.C. Revisitando o conceito de Saneamento Básico no Brasil e em Portugal. **Revista do Instituto Politécnico da Bahia**, v. 7, n. 20, p. 5-11, 2014.

MURTHA, N.A.; CASTRO, J.E.; HELLER, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**. v. 18, n. 3, p. 193-210, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1047V1832015>

OLIVEIRA, A.F. et al. Avaliação da contaminação de nitrato e Escherichia coli em água subterrânea no município de Carapicuíba (SP). **J Health Sci Inst**. v. 38, n. 2, p. 107-116, 2020.

OLIVEIRA, C.B. **Entre rios: estudo de caso da composição histórica e conhecimento local da comunidade Forte Velho, PB**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2019.

OTÊNIO, M.H. et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Como montar e usar o clorador de pastilhas em residências rurais**. Brasília, 2014.

PÁDUA, V. L. D. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. 1^a. Belo Horizonte: PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, 2009.

PAGININI, W.S.; BOCCHIGLIERI, M.M. O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública. **Revista USP**, n. 128, p. 45-60, 2021.

PEIXOTO, C.V.A. do V.; JOHANN, L.. Avaliação da qualidade da água de poços tabulares do lençol freático na cidade de Paracuru-Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v.35, n.1, p.1-5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30002>

PEZENTE, Á. W. **Análise Microbiológica, Física e Química da Água dos Bebedouros e Torneiras Consumida na E. E. B Timbé do Sul, Localizada no Centro do Município de Timbé do Sul – SC**. Trabalho de conclusão de curso (Farmácia) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

PNAD. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, 2012**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2008/brasilpnad2013.pdf>>.

PONCE, V. M. Total dissolved solids (TDS) based on electrical conductivity (EC). **Anais: Online Salinity Calculator**, 2014. Disponível em: <http://ponce.sdsu.edu/onlinesalinity.php>.

PORTO, K.F. **Redução do índice de saturação Langelier para produção de águas de consumo humano e industriais**. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

PULHEZ, M.M.; MARQUES, E. **A evolução das políticas de saneamento básico**. 2020. Disponível em: <https://pp.nexojournal.com.br/linha-do-tempo/2020/A->

evolu%C3%A7%C3%A3o-das-pol%C3%ADticas-de-saneamento-b%C3%A1sico.

Acesso em: 26 mai. 2021.

RAID, M.A.M. **Soluções técnicas de abastecimento de água e modelos de gestão: um estudo em quinze localidades rurais brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.

RAZZOLINI, M.T.P.; GUNTHER, W.M.R. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde e Sociedade [online]**. 2008, v. 17, n. 1, pp. 21-32, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902008000100003>

RÊGO, R.L.C.M. **Análise da qualidade da água de poços no entorno de um açude urbano em Campina Grande – PB.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2018.

REZENDE, S.C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil: políticas e interfaces.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de Água, Tecnologia Atualizada.** Editora Edgard Blücher Ltda. 1991.

ROCHA, W.S. **Estudo de caso do sistema integrado de saneamento rural (SISAR) no Brasil.** Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2013.

ROHDEN, F. Monitoramento microbiológico de águas subterrâneas em cidades do Extremo Oeste de Santa Catarina. **Ciência & Saúde Coletiva**. v.14, n. 6, p. 2199-2203, 2009.

RUBINGER, S.D. **Desvendando o conceito de saneamento no Brasil: uma análise da percepção da população e do discurso técnico contemporâneo.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

SALES, B.M. **Caracterização dos determinantes da exclusão sanitária nos domicílios rurais brasileiros**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

SCALIZE, P.S.; et al. Reflexão acerca dos critérios que podem contribuir para a disseminação da COVID-19 em comunidades quilombolas rurais do estado de Goiás, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]**. v. 26, n. 6, p. 1191-1204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210006>.

SFALCIN, I.C.; KIST, E.; FREITAS, N.C.W. Monitoramento da Qualidade da Água de Poço Artesiano em São João das Missões, São Miguel das Missões-RS. **Jornadas de Investigación Desarrollo Tecnológico Extensión y Vinculación**, 1., 2019, São Miguel da Missões, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2019. p. 1-8

SILVA, A.B.; BRITO, J.M.; SILVA FILHO, E.D. Inspeção microbiológica da água de um poço artesiano localizado no sítio macacos na zona rural de Areia-PB, Brasil. **Águas Subterrâneas** - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29770>

SILVA, A.B.; BRITO, J.M.; SILVA FILHO, E.D.. Monitoramento bacteriológico da água de um poço artesiano localizado na zona urbana da cidade de Remígio-PB. **Águas Subterrâneas**, v.35, n.1, p.1-5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30034>

SILVA, A.S. **Qualidade de água de abastecimento na zona rural de Santa Rita – PB e propostas de melhoria**. Dissertação (Gerenciamento Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SILVA, J.B. **Modelagem da demanda de água de abastecimento para a cidade de Pirassununga – SP**. Dissertação (Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019.

SILVA, J.J.F.; MIGLIORINI, R.B. Caracterização das Águas Subterrâneas do Aquífero Furnas na Região Sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Geociências**, v. 33, n. 2, p.261-77, 2014.

SILVA, M.H.M. **Análise do perfil de consumo de água e correlações socioeconômicas de municípios em mesorregiões distintas da Paraíba, Brasil.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2021.

SILVEIRA, R.B.; HELLER, L.; REZENDE, S. Identificando correntes teóricas de planejamento: uma avaliação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). **Rev. Adm. Pública**. v. 47, n.3, p. 601-622, 2013.

Siqueira, L.P.; et al. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva [online]**. v. 15, n. 1, p. 63-66, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232010000100011>

SIQUEIRA, N.A.; SOUZA, P.A. Medidor de vazão de água com configuração prismática hexagonal. **Revista DAE**, v. 68, n. 221, P. 06-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.001>

SISAR – Sistema Integrado de Saneamento Rural. **Uma história de muitos desafios e grandes vitórias.** Disponível em: <http://www.sisar.org.br/institucional/#quem-somos>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico Temático Serviços de água e Esgoto.** Brasília: 2020.

SOARES, S.S. et al. Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina**, v. 37, n. 1, p. 119-130, 2016. DOI: 10.5433/1679-0375.2016v37n1p119

SOUSA, A.C.A. O que esperar do novo marco do saneamento? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n.12, p. 1-4, 2020.

SOUSA, A.C.A; COSTA, N.R. Política de saneamento básico no Brasil: discussão de uma trajetória. **História, Ciências, Saúde [online]**. v. 23, n. 3, p. 615-634, 2016.

SOUSA, A.P. O saneamento básico após a implementação da lei 11.445/2007 e a necessidade da regulação do setor. **Anais** - Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação, Ensino e Extensão do CCSEH – SEPE, 2016.

TEDESCO, A.M.; OLIVEIRA, G.A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190322>

TRATA BRASIL. **10 anos da Lei do Saneamento Básico: de quantas décadas mais precisaremos?** 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/10-anos-da-lei-do-saneamento-basico-de-quantas-decadas-mais-precisaremos>. Acesso em: 29 jul. 2021.

TRATA BRASIL. **O que é saneamento?** 2021. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>. Acesso em: 02 fev. 2021.

TRATA BRASIL. **Painel do Saneamento**. 2019. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2019>. Acesso em: 03 jun. 2021.

TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento**. GO Associados. 2021. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 3ª edição – São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643p.

TUROLLA, F.A. **Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas**. Texto para discussão nº 922. Brasília: IPEA, 2002. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2818/1/TD_922.pdf. Acesso em: 25 mai. 2021.

VARNIER, C. et al. Nitrato nas águas subterrâneas no estado de São Paulo: como desarmar essa bomba relógio? **Anais: XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2019.

VASCONCELOS, M.B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **Anais: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Águas subterrâneas**. 2015.

VIEIRA, I.F.B. et al. Qualidade da água em área rural sob influência antrópica na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista DAE**, v. 68, n 227, p 152-165, 2020.

WHO, World Health Organization. **Guidelines on sanitation and health**. Geneva, 2018.

WHO, World Health Organization. **Water and Sanitation for Health Facility Improvement Tool (WASH FIT)**. Geneva, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Parâmetros físico, químico e organolépticos.

Parâmetro	Características	Implicações sanitárias e operacionais	Unidade	VMP ^(a)	
				MS	CONAMA
pH	Indica a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H ⁺).	Influência na distribuição de compostos químicos, e mitiga problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição.	adimensional	6,0 - 9,0	-
Dureza total	Mede a concentração de cátions multimetálicos em solução, geralmente cálcio e magnésio.	Sem implicação sanitária. Formação de incrustações nas tubulações, redução de espumas.	mg/L de CaCO ₃	300,0	-
Cloretos	Provêm da dissolução de minerais ou da intrusão de água do mar com a mistura de águas residuárias.	Sabor, efeito laxativo e indicador auxiliar de contaminação.	mg/L de Cl ⁻	250,0	250,0
Nitrito	Forma intermediária do processo de oxidação, apresentando uma forte instabilidade no meio aquoso. Não precisa passar por transformações para ser tóxico ao homem.	Metahebobglobina, independente da faixa etária do consumidor.	mg/L de N-(NO ₂) ⁻	1,0	1,0
Nitrato	Forma oxidada de nitrogênio.	Metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, consumo de oxigênio.	mg/L de N-(NO ₃) ⁻	10,0	10,0
STD ^(b)	Avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água.	Afeta a qualidade organoléptica da água.	mg/L	500,0	1.000,0
Turbidez	Mede o grau de interferência à passagem da luz causada por sólidos em suspensão.	Podem atuar como escudo a patógenos, mitigando-o a ação do desinfetante, aspecto estético.	uT ^(c)	5,0	-

Alcalinidade	Indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar íons de hidrogênio.	Não possui.	mg/L de CaCO ₃	--	-
Sódio	Elemento necessário aos organismos vivos.	Sem significado sanitário.	mg/L de Na ⁺	200,0	200,0
Potássio	Ocorre na água potável devido ao uso de permanganato de potássio como oxidante no tratamento da água.	Sem significado sanitário.	mg/L de K ⁺	-	-
Alumínio	Ocorre em diferentes formas e sua concentração depende de fatores físicos, químicos e geológicos.	Alguns estudos associam que altas concentrações contribuem para o desenvolvimento do Alzheimer.	mg/L de Al ³⁺	0,2	0,2
Ferro	Presente de formas solúveis originado por meio natural (rochas e solo) ou antropogênica (esgotos).	Sem significado sanitário. Pode causar cor na água, além de manchar roupas durante a lavagem.	mg/L	0,3	0,3
Sulfato	Surge nas águas subterrâneas através da dissolução de solos e rochas, como o gesso, sulfato de magnésio e oxidação de sulfetos.	Podem alterar o sabor das águas, tornando-a salgada ou amarga. Além disso, em altas concentrações pode produzir efeito laxativo, principalmente em crianças.	mg/L de SO ₄ ⁻	250,0	250,0
Fósforo total	Importante para os processos biológicos	Sem significado sanitário. Em elevadas concentrações pode conduzir à eutrofização de corpos hídricos.	mg/L	-	-
Amônia	Produz efeito significativo no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas.	Efeito tóxicos.	mg/L de NH ₃	1,2	-

Sílica	Encontrada sob as formas solúvel (sílica reativa), coloidal (sílica não-reativa) ou particulada (sílica cristalina).	Em teores adequadas, são benéficas aos tecidos e estruturas ósseas dos seres vivos.	mg/L de SiO ₂	-	-
Condutividade elétrica	Capacidade da água conduzir eletricidade.	Não oferece riscos à saúde humana.	µmho/cm	-	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2006); Brasil (2008); Oliveira (2016); Braga *et al.*, (2018) e Brasil (2021).

NOTAS:

- (a) VMP- valor máximo permitido, recomendado pela Portaria nº 888/2021 do MS e pela Resolução nº 396/2008 do CONAMA;
- (b) Sólidos totais dissolvidos
- (c) Unidade de turbidez;
- (d) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

APÊNDICE 2. Protocolo utilizado para a coleta de amostras em campo

- A. Lavar as mãos e colocar luvas de proteção;
- B. Desinfetar a torneira com álcool a 70%;
- C. Abrir a torneira e deixar escoar a água por um período de 2 minutos;
- D. Realizar coleta manual, utilizando garrafa tipo PET esterilizada;
- E. Tampar a amostra, identificando-a com localização, horário e data da coleta;
- F. Destinar a amostra aos laboratórios. No tocante às análises microbiológicas, acondicionar as amostras em caixa de isopor com gelo, de forma que sua temperatura interna fique aproximadamente 4º C, e encaminhá-las imediatamente ao LABDES, de forma que a realização da análise não ultrapasse um período de 24 horas.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados dos parâmetros microbiológicos do LABDES

a)


LABDES
 Laboratório de Referência em Dessalinização

Lauda N ^o .:282/2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Frasco estéril
Procedência: Reservatório P1	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais (NMP/100 mL) (*)	1,00.10⁰	0,0/100mL
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 mL) (*)	0,00.10⁰	0,0/100mL

(*) NMP – Número Mais Provável

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.**LAUDO:**

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade, no que se refere aos parâmetros microbiológicos.

Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.

OBSERVAÇÕES:

1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.

2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRO-9.19.3.1303118)

b)


LABDES
 Laboratório de Referência em Dessalinização

Lauda N ^o .:281/2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Frasco estéril
Procedência: Residência P2	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais (NMP/100 mL) (*)	2,04.10¹	0,0/100mL
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 mL) (*)	1,00.10⁰	0,0/100mL

(*) NMP – Número Mais Provável

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.**LAUDO:**

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade, no que se refere aos parâmetros microbiológicos.

Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.

OBSERVAÇÕES:

1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.

2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRO-9.19.3.1303118)

c)



LABDES
Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N ^o .:280/2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Frasco estéril
Procedência: Praça P3	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais (NMP/100 mL) (*)	4,10.10⁰	0,0/100mL
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 mL) (*)	1,00.10⁰	0,0/100mL

(*) NMP – Número Mais Provável

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade, no que se refere aos parâmetros microbiológicos.

Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.

OBSERVAÇÕES:

1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.

2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRO - A 195-1303118)

ANEXO 2. Resultados dos parâmetros físico, químico e organolépticos do LABDES

a)



LABDES
Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N ^o ./2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Reservatório P1	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, µmho/cm a 25 °C	564,9	---
Potencial Hidrogeniônico, pH a 24,5°C	7,5	6,0 a 9,5
Turbidez. (uT)	0,7	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	9,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	79,6	---
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	18,4	---
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	275,5	500,0
Sódio (Na ⁺), mg/L	24,5	200,0
Potássio (K ⁺), mg/L	2,1	---
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,01	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	251,2	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	251,2	---
CO ₂ livre (mg/L)	13,5	---
Sulfato (SO ₄ ⁻), mg/L	19,7	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	48,3	250,0
Nitrato (N-NO ₃ ⁻), mg/L	0,04	10,0
Nitrito (N-NO ₂ ⁻), mg/L	0,001	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,03	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	16,9	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,21	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	515,9	1.000,0

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.

LAUDO: De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
- 3- As análises dos parâmetros foram realizadas em triplicata.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ - 9.49.3.1303/18)

b)


LABDES

Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N ^o .:/2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Residência P2	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	623,9	---
Potencial Hidrogeniônico, pH a 24,4°C	7,3	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,7	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	6,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	87,4	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	11,9	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	268,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	29,3	200,0
Potássio (K^+), mg/L	1,1	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	223,6	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	223,6	---
CO_2 livre (mg/L)	19,8	---
Sulfato (SO_4^-), mg/L	15,0	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	74,6	250,0
Nitrato (N-NO_3^-), mg/L	0,09	10,0
Nitrito (N-NO_2^-), mg/L	0,002	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,01	1,5
Silica, mg/L (SiO_2)	20,6	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,02	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	512,8	1.000,0

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.

LAUDO: De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
- 3- As análises dos parâmetros foram realizadas em triplicata.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ - 019.3-1303118)



Laudo N ^o ./2021	Data da Coleta: 14/07/2021
Interessado: Henrique	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Santa Rita - PB	Data da Entrega da Amostra: 14/07/2021
Localidade: Comunidade Forte Velho	Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Praça P3	Data da Análise: 14/07/2021

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	529,5	---
Potencial Hidrogeniônico, pH a 24,3°C	7,4	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,1	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	11,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	79,8	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	8,0	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	233,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	19,6	200,0
Potássio (K^+), mg/L	0,9	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,04	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	240,8	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	240,8	---
CO_2 livre (mg/L)	15,1	---
Sulfato (SO_4^{-}), mg/L	11,1	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	23,4	250,0
Nitrato (N-NO_3^-), mg/L	0,05	10,0
Nitrito (N-NO_2^-), mg/L	0,001	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,11	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	16,4	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,16	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	453,1	1.000,0

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 2914/11 MS incorporada pela Portaria de Consolidação n^o 5, no Anexo XX.

LAUDO: De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
- 3- As análises dos parâmetros foram realizadas em triplicata.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ 9.19.3.13031/8)