



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAURO CAVALCANTE ALVES JUNIOR**

**POÇOS TUBULARES COMO SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O  
CASO DO MUNICÍPIO DE TAMBORIL – CE.**

**FORTALEZA**

**2021**

MAURO CAVALCANTE ALVES JUNIOR

POÇOS TUBULARES COMO SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO  
DO MUNICÍPIO DE TAMBORIL – CE.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Christus, como requisito  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Paula Nobre de  
Andrade.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

J95p Junior, Mauro Cavalcante Alves.  
Poços tubulares como solução de abastecimento de água : O caso do município de Tamboril - CE / Mauro Cavalcante Alves Junior. - 2021.  
85 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Profa. Ma. Paula Nobre de Andrade.

1. Poços tubulares. 2. Abastecimento de água. 3. Tamboril-CE. I. Título.

CDD 624

MAURO CAVALCANTE ALVES JUNIOR

POÇOS TUBULARES COMO SOLUÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO  
DO MUNICÍPIO DE TAMBORIL – CE.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Christus, como requisito  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Paula Nobre de  
Andrade.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Ma. Paula Nobre de Andrade (Orientadora)  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Dr. José Itamar Frota Junior  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Mauro e Alcimeire, que me apoiaram em todos os momentos da minha vida, incentivaram-me e que sempre me dão força e discernimento para continuar em busca dos meus sonhos. Amo vocês.

À minha irmã, Dayse Alves, pelo companheirismo e por ter me ajudado em todos os momentos da graduação do curso. Amo-te.

Ao meu amigo e cunhado, Josualdo Ribeiro, pelos momentos de descontração e alívio dos estresses.

À Professora Paula Nobre, minha orientadora, por todo apoio, paciência e compreensão nesse período de trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, Eliezer Abdala e Itamar Frota, que disponibilizaram seu tempo para acrescentar suas contribuições ao meu trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Unichristus, por todo conhecimento transmitido.

Ao Gestor de Núcleo da CAGECE de Tamboril, Henrique Farias, por todo apoio técnico e dados disponibilizados para realização desse TCC.

Aos amigos Rochelly Rocha, Maria Karoline, Evelyn Timbó e Hemerson Hebert, que me ajudaram direto e indiretamente. Obrigado por todo companheirismo e amizade.

A Unichristus, por toda estrutura e apoio oferecido durante a graduação do curso.

## RESUMO

A utilização de poços tubulares surge como relevante alternativa de abastecimento em municípios do Nordeste brasileiro, que sofrem com os efeitos da estiagem e com os recursos hídricos insuficientes para atender sua demanda populacional. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar os poços tubulares profundos utilizados como solução de abastecimento de água e contribuir com a melhoria da gestão, distribuição e tratamento da água subterrânea disponibilizada para a população da Sede do município de Tamboril. Trata-se de uma pesquisa descritiva, do tipo estudo de caso. Como objeto de estudo, tem-se o referido município, de pequeno porte, localizado no Ceará, o qual possui clima semiárido e apresenta, geralmente, precipitação deficitária. A realização desse trabalho ocorreu em quatro etapas: referencial teórico, caracterização do ambiente de pesquisa, coleta de dados e análise dos dados. A coleta de dados foi realizada a partir de dados secundários produzidos pela CAGECE. As variáveis coletadas foram: quantidade de poços, vazão dos poços, volume de água coletado e qualidade da água. Por fim, os dados foram organizados e analisados no Microsoft Excel. Os parâmetros foram: incidência de problemas na rede, índice de perdas na rede, pressão na rede e demanda atendida. A discussão foi embasada na literatura científica da área. Na Sede, há o registro de 42 poços perfurados de domínio público. Os resultados apontaram: falta de planejamento dos gestores públicos, ineficiência do tratamento da água e falta de estrutura adequada dos poços. Ressalta-se que a qualidade da água distribuída à população tamborilense, durante a utilização dos poços, obteve os piores dados registrados de relevância sanitária, como CRL, *Escherichia Coli*, turbidez, cor e coliformes totais. Portanto, cabe aos gestores públicos, responsáveis pelo controle e gestão dos recursos hídricos, acompanharem e planejarem, com antecedência, medidas de enfrentamento a seca ou estiagem, para que o município garanta um abastecimento hídrico de qualidade para toda população.

**Palavras-chave:** Poços tubulares. Abastecimento de água. Tamboril-CE.

## ABSTRACT

The use of tubular wells emerges as a relevant alternative for supply in municipalities in the Northeast of Brazil, which suffer from the effects of drought and with insufficient water resources to meet their population demand. Thus, this work aims to evaluate the deep tubular wells used as a water supply solution and to contribute to the improvement of the management, distribution and treatment of groundwater available to the population of the Headquarters of the municipality of Tamboril. This is a descriptive, case study type research. As a subject of study, there is the aforementioned small municipality, located in Ceará, which has a semi-arid climate and generally presents deficient rainfall. This work was carried out in four stages: 1. Theoretical framework; 2. Characterization of the research environment; 3. Data collection; 4. Data analysis. Data collection was carried out using secondary data produced by CAGECE. The variables collected were: quantity of wells, flow of wells, volume of water collected and water quality. Finally, the data were organized and analyzed using Microsoft Excel. The parameters were: incidence of network problems, network loss index, network pressure and demand met. The discussion was based on the scientific literature in the area. At Headquarters, 42 public wells have been drilled. The results showed: lack of planning by public managers, inefficiency of water treatment and lack of adequate well structure. It is noteworthy that the quality of the water distributed to the tamborilense population, during the use of the wells, obtained the worst recorded data of sanitary relevance, such as CRL, *Escherichia Coli*, turbidity, color and total coliforms. Therefore, it is up to public managers, responsible for the control and management of water resources, to monitor and plan, in advance, measures to deal with drought or drought, so that the municipality guarantees a quality water supply for the entire population.

**Keywords:** Tubular wells. Water supply. Tamboril-CE.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação geológica de um aquífero poroso.....	19
Figura 2 – Representação geológica de um aquífero fissural ou cristalino.....	19
Figura 3 – Representação geológica de um aquífero cárstico.....	20
Figura 4 – Localização geológica dos aquíferos.....	20
Figura 5 – Classificação dos aquíferos de acordo com sua posição e estrutura.....	21
Figura 6 – Poço tubular em rochas sedimentares e cristalinas.....	22
Figura 7 – Tipos de poços tubulares.....	23
Figura 8 – Esquemas construtivos de poços sedimentares e cristalinos.....	25
Figura 9 – Representação da instalação final do poço tubular.....	26
Figura 10 – Características Hidrodinâmicas de um poço.....	27
Figura 11 – Utilização do eletrorresistivímetro in loco.....	29
Figura 12 – Representação da máquina de perfuração percussiva.....	29
Figura 13 – Representação da máquina de perfuração roto-pneumática.....	30
Figura 14 – Representação da máquina de perfuração roto-pneumática.....	31
Figura 15 – Exemplo de tubulação de PVC geomecânica.....	32
Figura 16 – Exemplo de tubos metálicos.....	32
Figura 17 – Filtro de poço metálico.....	33
Figura 18 – Representação do Pré-filtro dentro do poço tubular.....	34
Figura 19 – Representação da instalação da bomba submersa.....	37
Figura 20 – Representação da instalação da bomba injetora.....	37
Figura 21 – Teste de bombeamento.....	38
Figura 22 – Hipoclorito de cálcio.....	47
Figura 23 – Localização de Tamboril no mapa do Ceará.....	48
Figura 24 – Tamboril: limites políticos.....	49
Figura 25 – Cobertura da CAGECE no Estado do Ceará.....	50
Figura 26 – Atendimento total de água em Tamboril.....	52
Figura 27 – Série Histórica da precipitação anual total em Tamboril.....	54
Figura 28 – Localização do reservatório Carão.....	54
Figura 29 – Registro diário do volume armazenado do Açude Carão de 1986 a 2020.....	55
Figura 30 – Fluxograma simplificado da metodologia.....	56
Figura 31 – Poço tubular em Tamboril equipado com clorador e quadro de comando.....	58
Figura 32 – Clorador equipado ao poço tubular.....	59

Figura 33 – Quadro de comando de um poço tubular. ....	60
Figura 34 – Reservatório elevado de distribuição de água em Tamboril. ....	61
Figura 35 – Amostras de turbidez fora do padrão. ....	66
Figura 36 – Amostras de coliformes totais fora do padrão.....	67
Figura 37 – Chuveiro esbranquiçado devido à presença de magnésio e cálcio.....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições competentes ao processo de construção de poços tubulares. ....	24
Quadro 2 – Características técnicas hidráulicas de poços tubulares. ....	27
Quadro 3 – Características técnicas construtivas de poços em Rochas Sedimentares. ....	28
Quadro 4 – Características técnicas construtivas de poços em Rochas Cristalinas.....	28
Quadro 5 – Classificação das vazões em poços tubulares.....	40
Quadro 6 – Análises fora do padrão. ....	52
Quadro 7 – Características técnicas do açude Carão.....	53
Quadro 8 – Localização dos Poços Profundos público em Tamboril.....	57
Quadro 9 – Classificação dos poços tubulares em relação à vazão.....	63
Quadro 10 – Parâmetros analisados nas amostras coletadas nos poços em Tamboril. ....	64
Quadro 11 – Amostras coletadas e analisadas de turbidez da água distribuída. ....	65
Quadro 12 – Amostras coletadas e analisadas de coliformes totais da água distribuída.....	67
Quadro 13 – Cadastro de poços com SSD.....	68

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<i>1.1.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>15</i>
<b>1.2 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Hidrogeologia .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Poços tubulares: captação de águas subterrâneas.....</b>	<b>22</b>
<i>2.2.1 Características Técnicas .....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.1.1 Etapas construtivas .....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.1.2 Características técnicas hidráulicas construtivas.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.2 Tipos de Perfuração .....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.2.1 Métodos de Perfuração .....</i>	<i>29</i>
<i>2.2.3 Completação.....</i>	<i>31</i>
<i>2.2.3.1 Revestimento .....</i>	<i>31</i>
<i>2.2.3.2 Filtro .....</i>	<i>33</i>
<i>2.2.3.3 Pré-Filtro.....</i>	<i>34</i>
<i>2.2.3.4 Cimentação .....</i>	<i>34</i>
<i>2.2.4 Desenvolvimento de Poços .....</i>	<i>35</i>
<i>2.2.5 Instalações de Poços .....</i>	<i>36</i>
<i>2.2.6 Classificação dos poços tubulares quanto à vazão .....</i>	<i>39</i>
<i>2.2.7 Roteiro para a contratação, construção e instalação de poços tubulares profundos.....</i>	<i>40</i>
<i>2.2.7.1 Anteprojeto e Projeto.....</i>	<i>41</i>
<i>2.2.7.2 Licença de obra ou serviço de interferência hídrica .....</i>	<i>42</i>
<i>2.2.7.3 Contratação do Poço.....</i>	<i>43</i>
<i>2.2.7.4 Construção do Poço .....</i>	<i>43</i>
<i>2.2.7.5 Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos.....</i>	<i>43</i>
<b>2.3 Parâmetros de qualidade da água.....</b>	<b>44</b>
<b>2.4 Tratamento de águas provenientes de poços tubulares .....</b>	<b>46</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Procedimento metodológico.....</b>	<b>55</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1 Poços Profundos Públicos em Tamboril – CE .....</b>	<b>57</b>

<b>4.2 Classificação dos poços tubulares de Tamboril quanto à vazão .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Parâmetros de qualidade da água dos poços tubulares de Tamboril .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4 Tratamento das águas dos poços tubulares do município de Tamboril .....</b>	<b>68</b>
<b>4.5 Análise e discussão dos resultados .....</b>	<b>69</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO A – Parâmetros de qualidade da água .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO B – Características das amostragens .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é composto por cinco processos principais: precipitação, evaporação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial. Os aquíferos subterrâneos são formações geológicas permeáveis, oriundos da infiltração das águas de chuvas que percorrem as camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020a).

Em termos gerais, a água do planeta terra é constante há 500 milhões de anos, sendo renovada por ciclos hidrológicos que vão desde a precipitação em forma de chuva, até sua evaporação, dando continuidade ao ciclo. A água salgada representa cerca de 97,5% da quantidade total de água existente no planeta. O restante, de 2,5% de água doce, é dividido entre geleiras, lagos, rios e aquíferos. Excluindo as geleiras, sobram 0,6% do total de água doce e 98% dessa água doce estão concentradas em aquíferos, tornando-se a principal fonte de água doce disponível no mundo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020a; SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007).

A utilização de águas subterrâneas surge como alternativa de abastecimento em países que sofrem com os efeitos da estiagem e com os recursos hídricos insuficientes para atender sua demanda populacional. Ante a este contexto, as águas subterrâneas tornam-se o meio mais acessível e disponível para esses países em virtude da sua qualidade, quantidade e relativo baixo custo de captação, em comparação a outras tecnologias, como dessalinização de água do mar. A Dinamarca, a título de exemplo, é referência em abastecimento, distribuição e consumo consciente e sustentável da água. Desde a seca ocorrida na década de 1970, o país passou a captar toda a água que consome dos lençóis freáticos. Isso gerou uma grande modernização em todo o sistema distributivo de água, assim como no seu tratamento (AGÊNCIA BRASIL, 2015).

No Brasil, em relação à disponibilidade e à distribuição das águas subterrâneas, há uma reserva estimada em cerca de 112.000 km<sup>3</sup>, considerando uma profundidade de até 1000 metros, com um volume de reabastecimento (recarga) de 3.500 km<sup>3</sup> anuais (REBOUÇAS; BENEDITO; TUNDISI, 1999). De acordo com a Gerência de Águas Subterrâneas da Agência Nacional de Águas, no Brasil, 47% dos municípios são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais, enquanto 39% das sedes municipais (2.153 municípios) são integralmente abastecidos por água subterrânea e outros 14% são abastecidos tanto por água superficial, quanto por água subterrânea (ECODEBATE, 2011).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo do uso das águas subterrâneas, bem como uma ampliação do interesse por pesquisas e na captação desses recursos por empresas privadas e órgãos públicos. Por conta disso, gerou-se a necessidade de um maior controle efetivo e gestão integrada e sustentável desses recursos hídricos. No Brasil, de acordo com a Lei Nº9.433, de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, da Constituição Federal, a gestão e a outorga para a utilização de águas subterrâneas, inclusive para a perfuração de poços tubulares, são competências dos estados.

A região Nordeste do Brasil necessita do emprego de águas subterrâneas, devido sua localização geográfica e características climáticas com baixos índices pluviométricos. A maioria dos estados nordestinos é classificada como pobre em relação à disponibilidade hídrica tanto superficial como subterrânea. O estado do Ceará, por possuir um armazenamento de água no cristalino ou fissural, que são as águas que circulam entre as fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis, apresenta alta resistência à infiltração, ou seja, em geral, regiões de cristalino são consideradas inviáveis ou péssimas fontes de água subterrânea. Não obstante, vazões médias apresentadas em alguns estudos sugerem que vários municípios cearenses podem dispor do recurso de maneira significativa (BRASIL, 2007; SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007).

No Estado do Ceará, o controle e gestão das águas subterrâneas ficam a cargo de três órgãos públicos: Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). A SRH, criada pela Lei Nº 11.306, de 01 de abril de 1987, é um órgão administrativo direto do Estado, que tem por função coordenar e gerenciar atividades e articulações no que se refere aos recursos hídricos. Possui como órgãos vinculados: a COGERH, que tem como responsabilidade e finalidade promover o gerenciamento, disciplinamento e implantação do sistema gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea; e a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), responsável pela execução e fiscalização de obras hídricas públicas. A SEMACE é uma autarquia vinculada à Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), que promove sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade de vida no Ceará por meio da execução da Política Ambiental do Estado do Ceará (CEARÁ, 2020a, 2020b, 2020c; COGERG, 2019a).

O Ceará está localizado, em sua totalidade, em uma área caracterizada como Polígono das Secas. Por conta desse contexto, o clima predominante no Ceará é o semiárido quente, no qual as secas são periódicas e os índices pluviométricos são baixos (ARY, 2013). As secas e os impactos ocasionados pela ausência de chuva são alarmantes, o que gera a

necessidade de um adequado planejamento dos recursos hídricos. Porém, apesar desta realidade já ser conhecida por todos e estudada pelo campo científico há tempos, as gestões estaduais e municipais ainda não realizam a gestão adequada desses recursos. Além disso, falta conscientização da população sobre o problema, para que exija de seus representantes intervenções, baseadas em evidências, em prol da resolução da questão da água.

Atualmente, cerca de 44% dos reservatórios superficiais cearenses estão com capacidade abaixo de 30% do volume. Ressalta-se que maior parte das regiões cearenses está vivenciando períodos de escassez nos últimos anos. O uso de poços tubulares como alternativa de abastecimento de água nessas regiões de insuficiência hídrica tem se mostrado uma relevante estratégia, pois é uma tecnologia acessível e que facilitaria a captação de água para suprir a falta d'água nessas regiões (CEARÁ, 2020c).

No município de Tamboril, localizado na região do Sertão de Crateús do Estado do Ceará, o uso de poços tubulares como alternativa de abastecimento de água é bastante difundido. Esta cidade, localizada a 288 Km da capital Fortaleza, com área de 2014,543 Km<sup>2</sup> e população estimada em 26.251 habitantes (IBGE, 2020), apresenta um quadro socioeconômico empobrecido e um clima marcado pela irregularidade das chuvas (CEARÁ, 2020d; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998a).

Tamboril encontra-se em crise hídrica desde 2011, quando o seu principal reservatório, denominado Carão, começou a perder volume considerável, chegando a atingir colapso de aporte em 2016. Como intenção de solucionar esse problema, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que gerencia as águas do município, passou a utilizar, em 2014, poços tubulares como suporte de abastecimento de água. Em 2019, o reservatório Carão recebeu aporte mínimo e passou a reintegrar o sistema de abastecimento servindo a uma parte da sede municipal. Atualmente, existem mais de 170 poços perfurados distribuídos em todo território tamborilense. Precisamente na sede do município, foram perfurados 42 poços para suprir a demanda hídrica populacional (CEARÁ, 2020d; TAMBORIL, 2020).

A recarga no reservatório Carão permanece dependente da quadra chuvosa irregular do estado, tornando as águas subterrâneas a principal alternativa de abastecimento do município de Tamboril. Neste contexto, para asseverar um abastecimento de água seguro e eficaz para o município, é necessário que se efetive os cuidados essenciais para evitar a contaminação de poços e distribuição da qualidade da água fora da garantia de potabilidade, o que exigido no anexo XX da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde do Brasil, de 03 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017).

Diante da grande potencialidade do uso de poços tubulares para o abastecimento de água e dos problemas ocasionados, caso a utilização desses poços ocorra sem o devido planejamento e fiscalização, torna-se importante investigar a eficiência e a qualidade da água do abastecimento do município de Tamboril, Ceará, proveniente de poços tubulares profundos.

Destaca-se que o uso de poços tubulares são cruciais para subsistência dos aspectos econômicos e sociais de Tamboril, pois as principais atividades econômicas exercidas na região são a agricultura e pecuária. Ressalta-se que a precipitação deficitária gera graves consequências ambientais, sociais, econômicas e de saúde ao referido município.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo Geral*

Tem-se como objetivo geral denotar e avaliar os poços tubulares profundos utilizados como solução de abastecimento de água e contribuir com a melhoria da gestão, distribuição e tratamento da água subterrânea disponibilizada para a população da sede do município de Tamboril.

### *1.1.2 Objetivos Específicos*

- Constatar o funcionamento dos poços tubulares públicos utilizados no abastecimento de água de Tamboril;
- Analisar a capacidade de vazão dos poços profundos públicos utilizados no abastecimento de água de Tamboril;
- Diagnosticar se a qualidade do aquífero está em acordo com os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos exigidos no anexo XX da Portaria do Ministério da Saúde do Brasil;
- Analisar o tratamento aplicado à água antes de ser fornecida para a população;
- Verificar a eficácia dos poços profundos como solução hidráulica aplicada ao enfrentamento da crise hídrica pela gestão do município de Tamboril.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

Na seção 01, a introdução, é apresentado o tema de estudo do projeto e a justificativa para a escolha em uma abordagem geral dos tópicos a serem estudados.

Na seção 02, apresenta-se o referencial teórico utilizado como embasamento para o desenvolvimento das ideias.

O procedimento metodológico, com ênfase nas bases teóricas aplicadas para o desenvolvimento do trabalho, assim como possíveis materiais e métodos utilizados durante a pesquisa serão apresentados na Seção 03 desse trabalho.

Na seção 04, trata-se de todo detalhamento dos resultados extraídos e obtidos referentes a utilização de poços como solução de abastecimento de água no município de Tamboril, assim como as análises e discussões desses resultados.

Na seção 05, apresenta as considerações finais do trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Hidrogeologia

#### A Hidrogeologia

é a ciência que estuda as águas subterrâneas (aquíferos), seu movimento, ocorrência, propriedades, interações com o meio físico e biológico, bem como os impactos das ações dos seres humanos na qualidade e quantidade nessas águas (poluição, contaminação e superexploração) (BRASIL, 2007, p. 12).

O entendimento acerca das características litológicas, estratigráficas e estruturais dos solos por meio da hidrogeologia permite entender o processo geológico de armazenamento, transmissão e composição química da água subterrânea, assim como as etapas de infiltração e percolação da água no subsolo e as influências nos seus aspectos quantitativos e qualitativos (CETESB, 2020b).

Os aquíferos são formações geológicas constituídas por rochas porosas e permeáveis que possibilitam a circulação, armazenamento e extração de água. Nesse contexto, é importante caracterizar o tipo de rocha presente nos reservatórios subterrâneos para análise desses aquíferos, pois conforme o tipo de rocha, as águas terão composição química e comportamentos diferentes. As rochas são classificadas em três tipos: ígneas, metamórficas e sedimentares (BRASIL, 2007).

A função dos aquíferos é armazenar as águas que infiltram e percolam o maciço de solo. Ressalta-se que a parcela das infiltrações e percolações das águas provenientes das precipitações pluviométricas, sendo essa a etapa mais lenta do ciclo hidrológico, beneficia-se da capacidade natural de biodegradação e filtração dos solos e das condições hidrogeológicas, que condicionam a existência ou não da necessidade de sistemas de tratamento de água como as Estações de Tratamento de Água (ETA). Destaca-se que essa camada filtrante de solo, que recobre os aquíferos, torna as contaminações e as evaporações mais lentas em comparação as águas superficiais. Essa característica da água subterrânea agrega elevado valor econômico e aumenta a demanda por águas de melhor qualidade, gerando a ocorrência de perfurações desenfreadas e extrações irregulares de poço tubulares como solução para a demanda e oferta hídrica (BARBOSA; MATTOS, 2008; SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007).

As rochas ígneas ou magmáticas (granitos, basaltos, diabásio e piroclásticas) são o resultado da formação pelo resfriamento e solidificação de um magma, que é o material em estado de fusão proveniente do extravasamento de vulcões. Sua composição depende de vários fatores, como o local onde foi expelido e o processo de resfriamento da rocha. Também

são chamadas rochas cristalinas ou embasamento cristalino, pois a água subterrânea ocorre nas fraturas e fissuras (BRASIL, 2007; CETESB, 2020b).

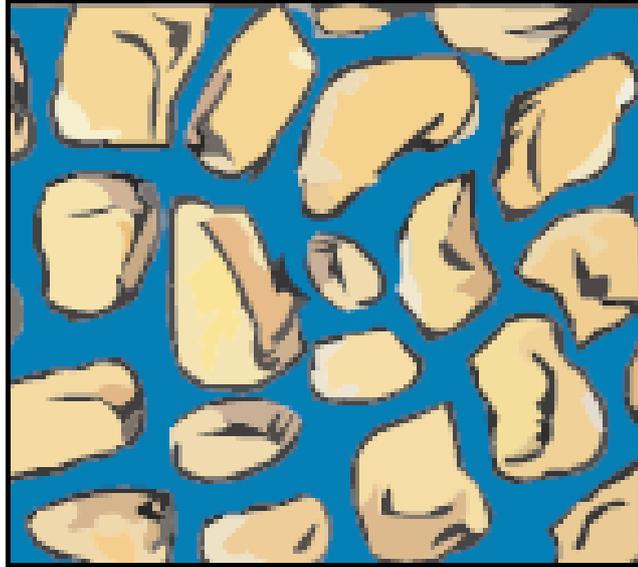
As rochas metamórficas (metassedimentos, metacalcários, mármore, gnaisses, xistos, milonitos etc.) são formadas a partir de outra rocha (ígnea, metamórfica ou sedimentar), através do metamorfismo sob ação da pressão ou temperatura. Metamorfismo é compreendido como o crescimento de cristais no estado sólido sem que ocorra fusão. A pressão e a temperatura provocam mudanças na composição mineralógica ou deformações físicas da rocha (BRASIL, 2007; CETESB, 2020b).

As rochas sedimentares (conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos, pelitos, folhelhos, sedimentos calcários, lentes, entre outras) são formadas na superfície da crosta terrestre, submetidas a temperaturas e pressões relativas baixas, oriundas da desagregação de rochas pré-existentes ocasionadas pela erosão, seguida de transporte e de deposição dos detritos ou, menos comumente, por acumulação química. Estas possuem características porosas e permeáveis e baixa resistência mecânica. São as rochas que compõem as bacias sedimentares, formando os melhores aquíferos, pois quanto maior a homogeneidade do tamanho e da distribuição dos poros, melhor capacidade de conduzir a água (BRASIL, 2007; CETESB, 2020b; CPRM, 2015).

Para caracterização dos aspectos hidráulicos de um aquífero, destacam-se três tipos de propriedades físicas importantes: condutividade hidráulica, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento. A condutividade hidráulica é a facilidade do aquífero de exercer a função de um condutor hidráulico. Ela depende de características como porosidade, distribuição, forma, tamanho, arranjo das partículas e da viscosidade do fluido. O coeficiente de armazenamento é um parâmetro hidráulico, de valor adimensional, que expressa a porcentagem do volume de água em um aquífero, em função de uma variação unitária. A transmissividade é a quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Conceitua-se isso como a taxa de escoamento da água através de uma faixa vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário (CETESB, 2020b).

Diante dessa caracterização mineralógica e hidrológica, que constitui as unidades aquíferas, os aquíferos também são classificados em três tipos em relação aos espaços vazios ou porosidade: aquífero poroso, aquífero fissural ou aquífero cársticos. Os aquíferos porosos (Figura 1) possuem água armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha ou do solo. É o caso das rochas sedimentares. Os aquíferos porosos funcionam como uma esponja, onde os espaços vazios são preenchidos por água (BRASIL, 2007).

Figura 1 – Representação geológica de um aquífero poroso.



Fonte: Brasil (2007).

Os aquíferos fissurais ou cristalinos (Figura 2) possuem fissuras resultantes do fraturamento das rochas, na qual a água circula por essas fissuras. Essas rochas são relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas) (BRASIL, 2007).

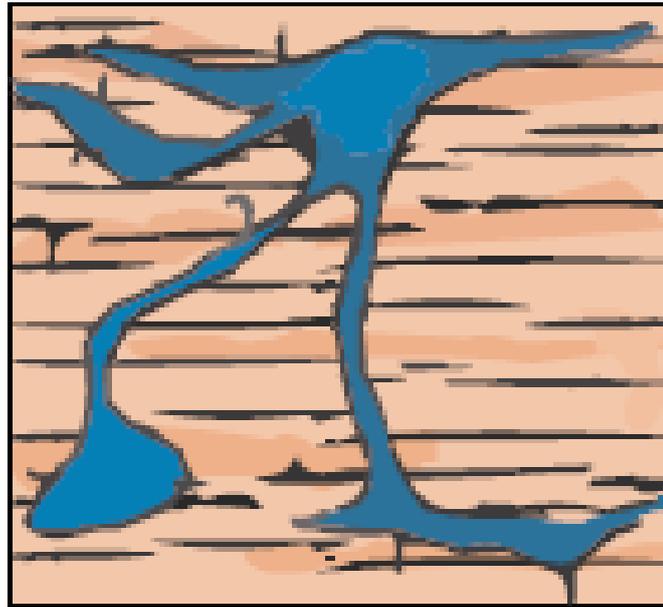
Figura 2 – Representação geológica de um aquífero fissural ou cristalino.



Fonte: Brasil (2007).

Os aquíferos cársticos (Figura 3) são formados por rochas carbonáticas (sedimentares, ígneas ou metamórficas). É um tipo peculiar de aquífero fraturado, pois a dissolução do carbonato das rochas pela água ocasiona grandes aberturas nas fraturas, formando verdadeiros rios subterrâneos (BRASIL, 2007).

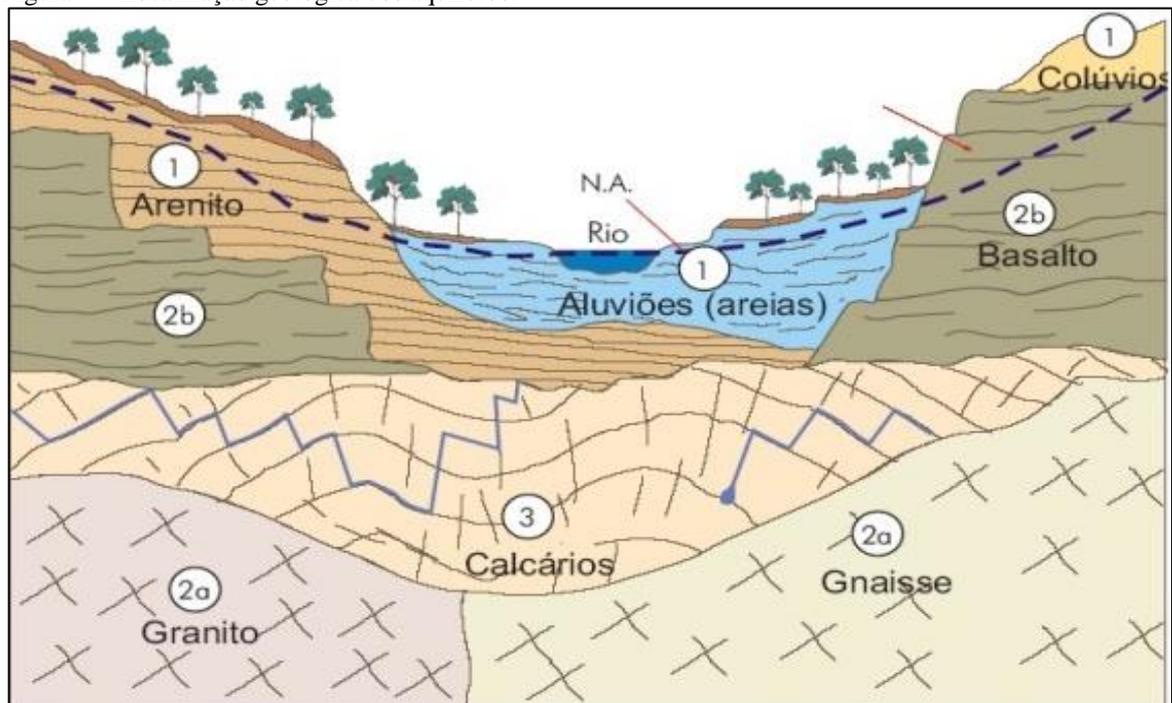
Figura 3 – Representação geológica de um aquífero cárstico.



Fonte: Brasil (2007).

A localização geográfica dos diferentes tipos de aquíferos depende das rochas da região e da profundidade considerada. A Figura 4 mostra a localização geológica dos diferentes tipos de aquífero baseado na profundidade e nas rochas que compõe a camada de solo, com os seguintes marcadores: (1) – aquífero poroso, (2) – aquífero fissural e (3) – aquífero cárstico.

Figura 4 – Localização geológica dos aquíferos.

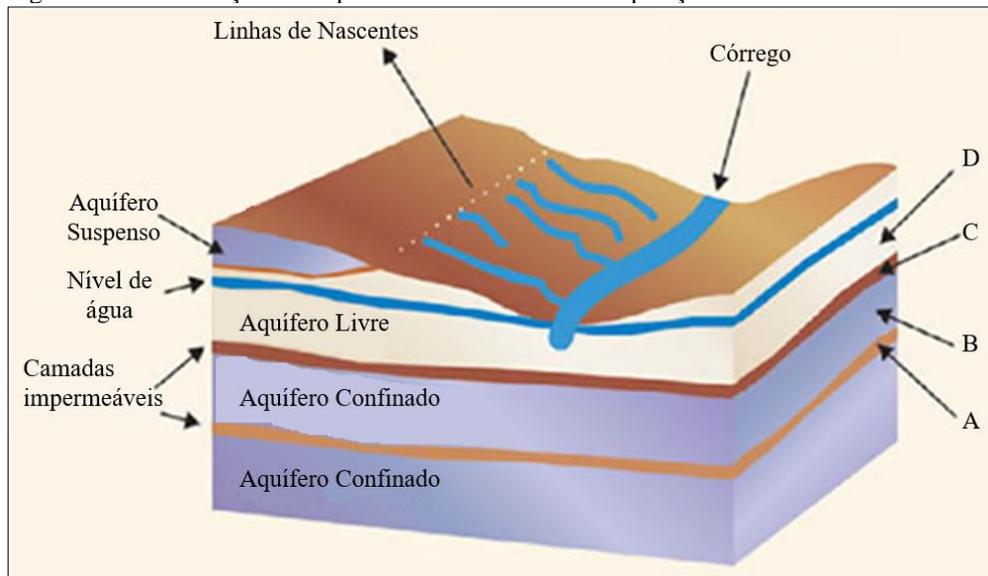


Fonte: ANA (2016a).

Destaca-se que os aquíferos do tipo poroso ficam próximos a superfície ou numa camada de solo rasa. Os aquíferos fissurais ou cristalinos ficam localizados na porção intermediária e profunda e os aquíferos cársticos são mais difíceis de serem encontrados por possuírem peculiaridade em relação as suas fraturas (CPRM, 2010).

De acordo com a sua posição e estrutura, em função da pressão das águas nas superfícies limítrofes e da capacidade de transmissão de água, os aquíferos são classificados em quatro tipos: livre, confinado, semi-confinado e suspensos, como mostra a Figura 5 (BRASIL, 2007; CPRM, 2010).

Figura 5 – Classificação dos aquíferos de acordo com sua posição e estrutura.



Fonte: Adaptado de CPRM (2010).

Os aquíferos livres são os que se localizam mais próximos à superfície, ou seja, encontra-se sob pressão atmosférica (BRASIL, 2007).

Os aquíferos confinados apresentam uma camada de menor permeabilidade e são submetidos a uma pressão superior à atmosférica. Nos aquíferos confinados, os poços tubulares profundos podem apresentar artesianismo, isto é, devido à pressão hidrostática, a água sobe até a superfície sem a necessidade de equipamento de bombeamento (BRASIL, 2007).

Os aquíferos semi-confinados ficam em situação intermediária entre livre e o confinado (BRASIL, 2007).

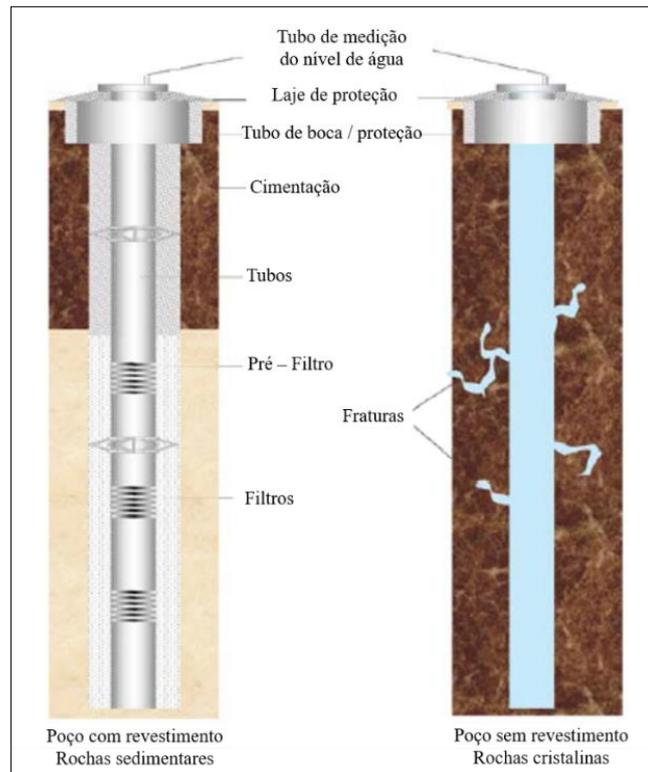
Os aquíferos suspensos são aquíferos livres que possuem uma peculiaridade por serem formados sobre uma camada impermeável ou semipermeável que nem armazena nem transmite água (CPRM, 2010).

Diante do exposto, a hidrogeologia é uma área científica de suma importância para os estudos das águas subterrâneas, pois é por meio dela que se entende a caracterização dos aquíferos. Isso permite um maior entendimento acerca da utilização dos poços tubulares como solução de abastecimento de água. Os conhecimentos produzidos por esta área contribuirão para a construção e embasamento das demais etapas da presente pesquisa.

## 2.2 Poços tubulares: captação de águas subterrâneas

Poços tubulares ou poços artesianos são perfurações verticais no solo realizados por perfuratrizes que podem ser à percussão, rotativas ou roto-pneumáticas, com um pequeno diâmetro e revestido por uma tubulação de PVC ou de ferro (CPRM, 1998b). Esses poços possuem uma característica de saída de água naturalmente dos aquíferos confinados, devido a sua pressão hidrostática, não necessitando de equipamentos para bombeamento dessas águas até a superfície. Os poços podem necessitar ou não de revestimento interno, de acordo com o tipo de rocha de origem, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Poço tubular em rochas sedimentares e cristalinas.



Fonte: Adaptado de Brasil (2007).

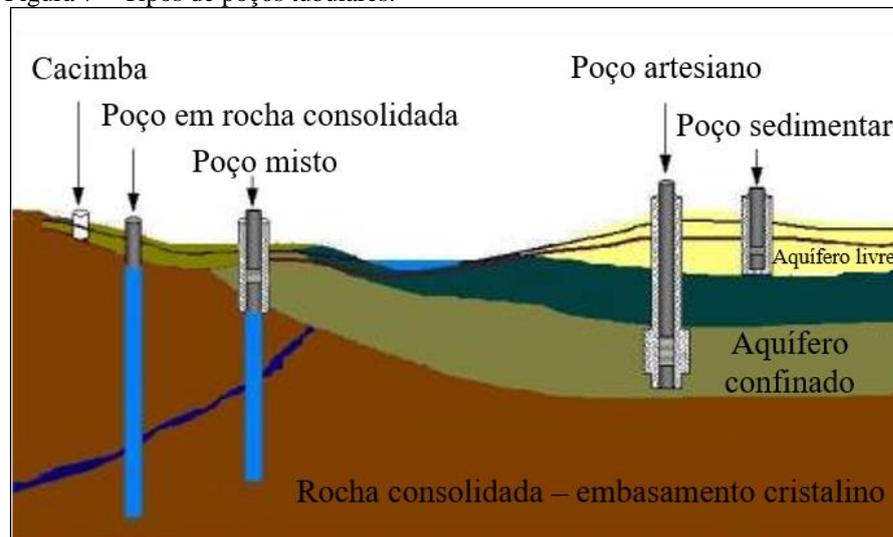
Existem outros tipos de poços para captação de água que são classificados levando em consideração a sua forma de construção. Os poços freáticos são aqueles de grandes dimensões com variações de um metro ou mais de diâmetro, escavados com

ferramentas mecânicas manuais e que são revestidos com alvenaria ou anéis de concreto pré-moldado. Esses poços extraem a água do lençol freático (aquífero livre) e possuem profundidades médias até 20 metros. São construções que não necessitam de outorga ou licença governamental dos órgãos gestores. Existem outras nomenclaturas que designam as mesmas características dos poços freáticos como: cacimba, poço raso, cisterna ou amazonas (ANA, 2016b).

A perfuração de poços sem planejamento, somada a falta de fiscalização e suporte técnico sanitário apropriado, gera diversos problemas ambientais, econômicos e de saúde. Um poço tubular construído de forma inadequada ocasiona a degradação da água captada e sendo este locado próximo a fossas sépticas, pode provocar a contaminação por compostos nitrogenados (nitrato e nitrito) e microbiológicos. Fatores geológicos da região também influenciam na qualidade da água subterrânea. Um exemplo é quando há concentração em excesso de sais dissolvidos, bem como a presença de outros compostos químicos como ferro e manganês.

Os poços tubulares se diferenciam em artesianos e semiartesianos. A Figura 7 ilustra os tipos de poços tubulares existentes.

Figura 7 – Tipos de poços tubulares.



Fonte: Adaptado de ABAS (2010).

Os poços tubulares artesianos possuem uma característica de jorrar água naturalmente dos aquíferos confinados, devido a sua pressão hidrostática, não necessitando de equipamentos para bombeamento dessas águas até a superfície. Os poços semiartesianos carecem de sistemas de bombeamento para explorar a água até a superfície. Estes também se diferenciam dependendo da rocha a ser perfurada, que podem ser em rochas consolidadas ou cristalinas. Alguns poços em rochas não consolidadas e consolidadas e poços sedimentares

podem ser considerados de característica semiartesiana. Por fim, os poços mistos são aqueles que alternam o tipo de rocha presente na perfuração. Em suma, a parte perfurada superior é constituída por rochas sedimentares e na parte inferior as rochas são de formação cristalina. Este poço, por alternar dois tipos de formação rochosa, é construído como um poço sedimentar com a presença de revestimentos e filtros na parte superior porosa e sem a presença de revestimento na parte inferior onde se caracteriza como cristalina ou fissural (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2020).

### 2.2.1 Características Técnicas

Para um melhor entendimento acerca da construção de poços tubulares para abastecimento de água, faz-se necessário definir os conceitos e abordagens técnicas que serão utilizadas no presente estudo.

#### 2.2.1.1 Etapas construtivas

Na construção de poços tubulares, é necessário seguir quatro etapas: perfuração, completção, desenvolvimento, bombeamento e instalação. No Quadro 1, encontram-se os principais termos e definições para o entendimento desse processo.

Quadro 1 – Definições competentes ao processo de construção de poços tubulares.

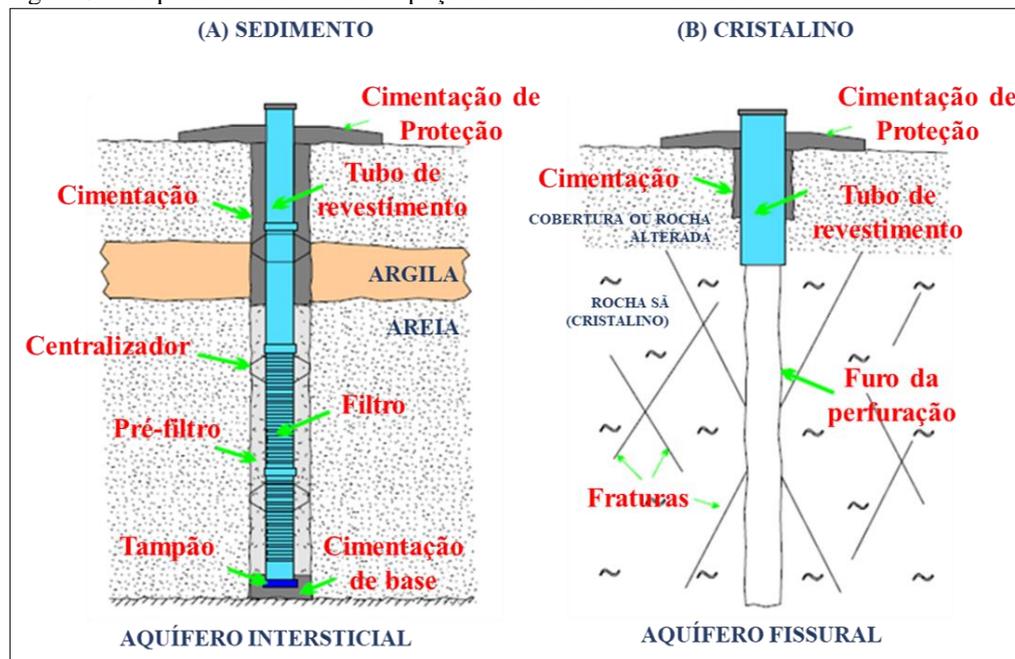
<b>DEFINIÇÕES COMPETENTES AO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES</b>	
<b>TERMOS</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
PERFURAÇÃO	Processo de perfurar as camadas de solo e o meio rochoso verticalmente até a formação aquífera através de máquinas adequadas e métodos técnicos específicos.
COMPLETAÇÃO	Ato de completar o poço adicionando a tubulação de revestimento, filtro, pré-filtro e a cimentação.
LIMPEZA	Remoção dos resíduos e partículas oriundas da perfuração por meio de processos mecânicos ou químicos.
DESENVOLVIMENTO	Remoção do material mais fino nas proximidades do poço com intuito de aumentar a permeabilidade e porosidade ao redor da perfuração.
BOMBEAMENTO	Ação de retirar a água através de uma bomba hidráulica do poço até a superfície.
INSTALAÇÃO	É a etapa final do processo de construção onde são instalados um sistema de bombeamento, tubulação de sucção e recalque, reservatório e um meio de distribuição da água.

Fonte: CPRM (1998b).

A fase de perfuração de poços tubulares constitui-se de várias etapas até a utilização final do poço. Primeiramente, é realizada a perfuração e após feito isso são executadas as outras etapas como a completção, limpeza, desenvolvimento, bombeamento e a instalação do poço (CPRM, 1998b).

A fase de completção é realizada após o aquífero perfurado, no qual é instalada a tubulação que reveste o poço, pré-filtro, filtro e o cimento. Esta etapa é realizada em poços com a prevalência de rochas sedimentares e não consolidadas, tendo como principal característica a porosidade, por isto faz-se necessário a instalação de filtros, como mostra a Figura 8 (A). Poços cristalinos compostos de fraturas e calcários são revestidos apenas na parte superior, onde o poço encontra-se sujeito a desmoronamento. Neste caso, não há necessidade de utilização de filtros, como mostra a Figura 8 (B). Vale ressaltar que quando o poço cristalino possui sua rocha extremamente fraturada, o calcário dispõe de grandes alterações ou intensa dissolução, o que torna necessário revestir todo o poço, a exemplo do poço sedimentar (CPRM, 1998b).

Figura 8 – Esquemas construtivos de poços sedimentares e cristalinos.



Fonte: Adaptado de CPRM (1998b).

A limpeza da lama do poço artesiano consiste em remover as partículas e resíduos sólidos resultantes da perfuração, para que a construção do poço prossiga. É importante a execução dessa etapa para que os resíduos gerados provenientes da perfuração não contaminem o poço ou causem acumulação de partículas sólidas na água, modificando sua turbidez, o que pode gerar futuramente o assoreamento desse poço. Esse processo pode ser realizado tanto mecanicamente, utilizando-se de ferramentas manuais, quanto quimicamente,

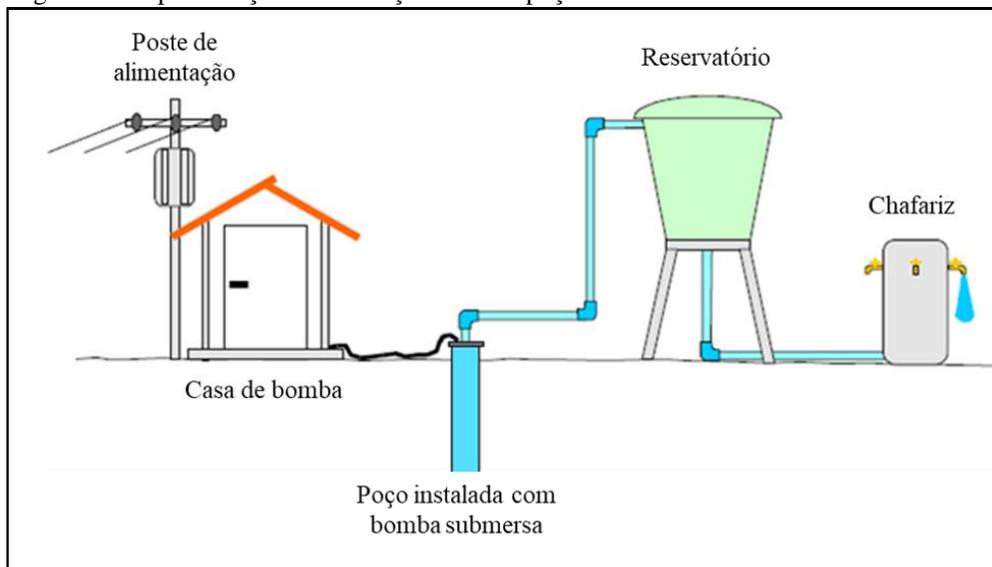
no qual há a adição de produtos químicos específicos para dissolver as partículas e facilitar sua retirada (ABNT,1992).

A etapa de desenvolvimento em rochas não consolidadas tem como principal finalidade remover e estabilizar a formação arenosa que fica localizada no entorno do poço, geralmente, de característica sedimentar, no qual contém a presença de filtro, permitindo infiltrar água isenta de areia. Nas rochas consolidadas, o desenvolvimento tem por função limpar e desobstruir as fraturas por onde circula a água. Isso permite que a água possa infiltrar e percolar com maior facilidade e limpidez no poço, melhorando sua eficiência hidráulica (CPRM, 1998b).

A fase de bombeamento destina-se a explotar a água do poço até a superfície, utilizando-se de equipamentos de bombeamento adequados. É nessa etapa que é realizado o Ensaio de Bombeamento, que determina e registra parâmetros, como o controle da vazão (Q), nível estático (NE) e nível dinâmico (ND) (CPRM, 1998b).

Por fim, a instalação consiste na etapa final na construção de um poço, deixando-o apto a funcionar normalmente para a distribuição de água. A Figura 9 mostra uma instalação típica de um poço (CPRM, 1998b).

Figura 9 – Representação da instalação final do poço tubular.



Fonte: CPRM (1998b).

### 2.2.1.2 Características técnicas hidráulicas construtivas

As características técnicas hidráulicas são de suma importância para um melhor entendimento acerca de um poço tubular. Essas informações possibilitam a classificação e análise da formação aquífera, se é apta para cumprir o que foi previamente planejado. O Quadro 2 resume os termos técnicos utilizados para caracterização do poço tubular.

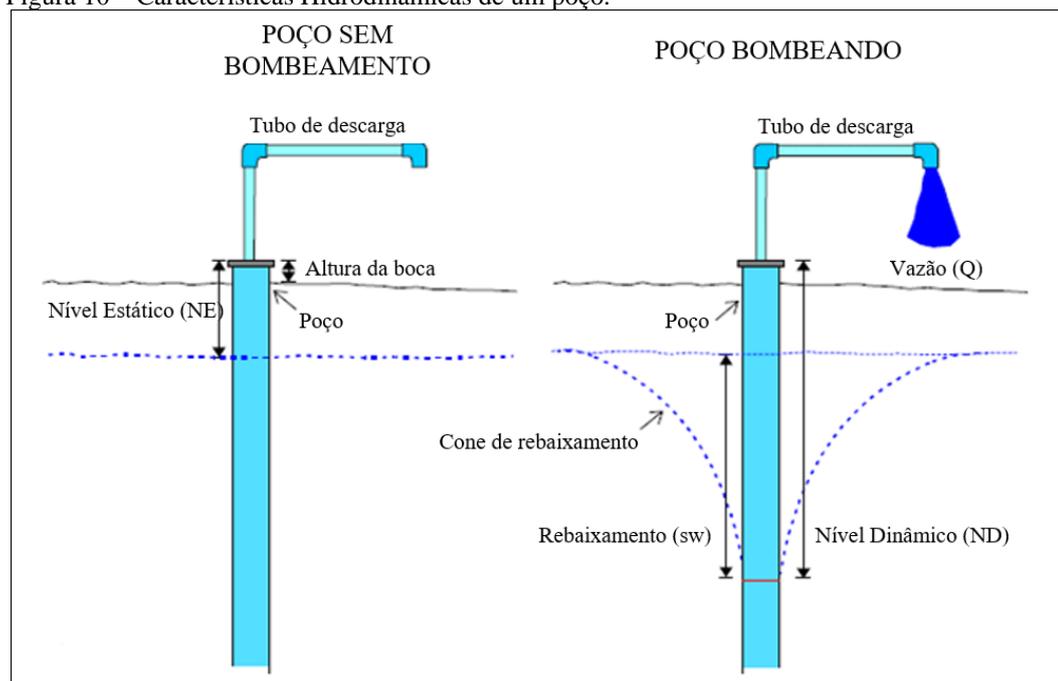
Quadro 2 – Características técnicas hidráulicas de poços tubulares.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS HIDRÁULICAS DE POÇOS TUBULARES	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	DEFINIÇÃO
Altura da Boca do Poço	É o comprimento da tubulação externa do poço.
Cone de Depressão ou Rebaixamento	É o rebaixamento da superfície equipotencial equivalente à diferença entre o nível estático e dinâmico, formando um cone invertido, curvo e centrado no poço.
Nível Dinâmico (ND)	Profundidade do nível da água dentro do poço com bombeamento. Este é medido de acordo com o nível do terreno levando em conta a vazão e tempo de bombeamento.
Nível Estático (NE)	Profundidade do nível da água em repouso dentro do poço, ou seja, sem bombeamento. Este é medido de acordo com o nível do terreno.
Rebaixamento (sw)	Diferença entre o nível estático e o dinâmico. É determinado através dessa diferença quantos metros o nível da água baixou.
Regime de Bombeamento	É um dado de tempo e frequência de bombeamento recomendados após a análise de parâmetros hidráulicos do poço.
Vazão (Q)	Volume de água extraído do poço em função do tempo.
Vazão Específica (Q/s)	É a capacidade efetiva de produção de um poço levando em consideração a vazão e o tempo.

Fonte: ABNT (1992); CPRM (1998); FIESP (2005).

Estes parâmetros hidrodinâmicos dos poços tubulares estão representados na Figura 10. O registro e a determinação desses parâmetros são realizados durante o teste de produção do poço (CPRM, 1998b).

Figura 10 – Características Hidrodinâmicas de um poço.



Fonte: Adaptado de CPRM (1998b).

### 2.2.2 Tipos de Perfuração

Dependendo da formação rochosa e do tipo de poço planejado, utilizam-se máquinas perfuratrizes diferentes e adequadas para execução da perfuração. É de suma importância considerar algumas características técnicas geológicas e hidráulicas de cada tipo de poço antes de realizar a etapa de perfuração, como é mostrado no Quadro 3 e no Quadro 4.

Quadro 3 – Características técnicas construtivas de poços em Rochas Sedimentares.

<b>POÇOS EM ROCHAS SEDIMENTARES</b>	
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>
Aquífero	Poroso
Complementação	Necessita de tubulação de revestimento, filtro e pré-filtro, na qual eleva os custos construtivos.
Diâmetro	4” a 22” polegadas.
Perfuração	Máquinas percussivas e rotativas.
Profundidade	Bastante variada podendo chegar até 1000 metros.
Vazões	Pequenas e grandes vazões podendo chegar até 1000m <sup>3</sup> /h.

Fonte: CPRM (1998b).

Quadro 4 – Características técnicas construtivas de poços em Rochas Cristalinas.

<b>POÇOS EM ROCHAS CRISTALINAS</b>	
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>
Aquífero	Cristalinos ou fissurais.
Complementação	Não necessita de revestimentos, filtros e pré-filtros.
Diâmetro	4” a 6” polegadas.
Perfuração	Máquinas percussivas e roto-pneumáticas.
Profundidade	60 a 80 metros.
Vazões	2 a 5 m <sup>3</sup> /h (Baixas vazões).

Fonte: CPRM (1998b).

A partir da determinação da rocha predominante e do tipo de poço apropriado, por meio de um mapeamento geológico e geomorfológico na região em que se quer local o furo, é realizado um estudo, geralmente, através de métodos geofísicos como o da eletrorresistividade, para determinar se a região analisada tem armazenamento de água, diminuindo, assim, as margens de erro em 90%. Basicamente o eletrorresistivímetro (Figura 11) identifica qual a resistividade elétrica dos solos ou rochas analisados, gerando uma curva que mostra qual o melhor local para fazer a perfuração do poço e sua possível profundidade. A partir disso, é escolhido qual o tipo de máquina perfuratriz adequada para executar a perfuração do poço tubular (GEOSCAN, 2020; HIDRONOVA, 2020).

Figura 11 – Utilização do eletrorresistivímetro in loco.



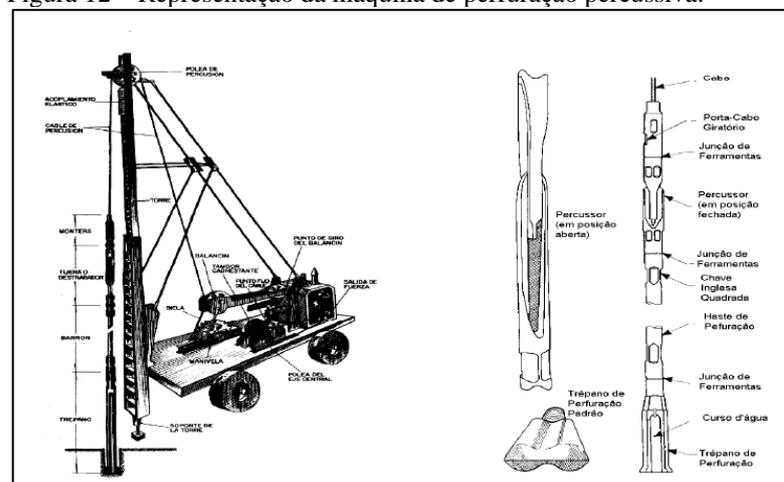
Fonte: GEOSCAN (2020).

### 2.2.2.1 Métodos de Perfuração

A perfuração à percussão é um dos métodos mais utilizados, devido a sua versatilidade. Este método é indicado tanto para rochas consolidadas, quanto para rochas não consolidadas. As vantagens da utilização das máquinas percussivas são: menor custo operacional, menor investimento, manutenção do maquinário, deslocamento e simplicidade operacional (CPRM, 1998b).

O princípio da máquina percussiva consiste em se erguer e deixar cair em queda livre um pesado conjunto de ferramentas e, com isso, perfurar o solo, como mostrado na Figura 12. Os fragmentos da perfuração ou o material solto são retirados por meio de uma caçamba, necessitando de colocar água no furo enquanto o poço não estiver produzindo. Outros métodos são mais rápidos e possuem maiores rendimento que à percussão, porém estes atingem custos operacionais e investimentos maiores (CARVALHO; ALBRECHT, 2004; CPRM, 1998b).

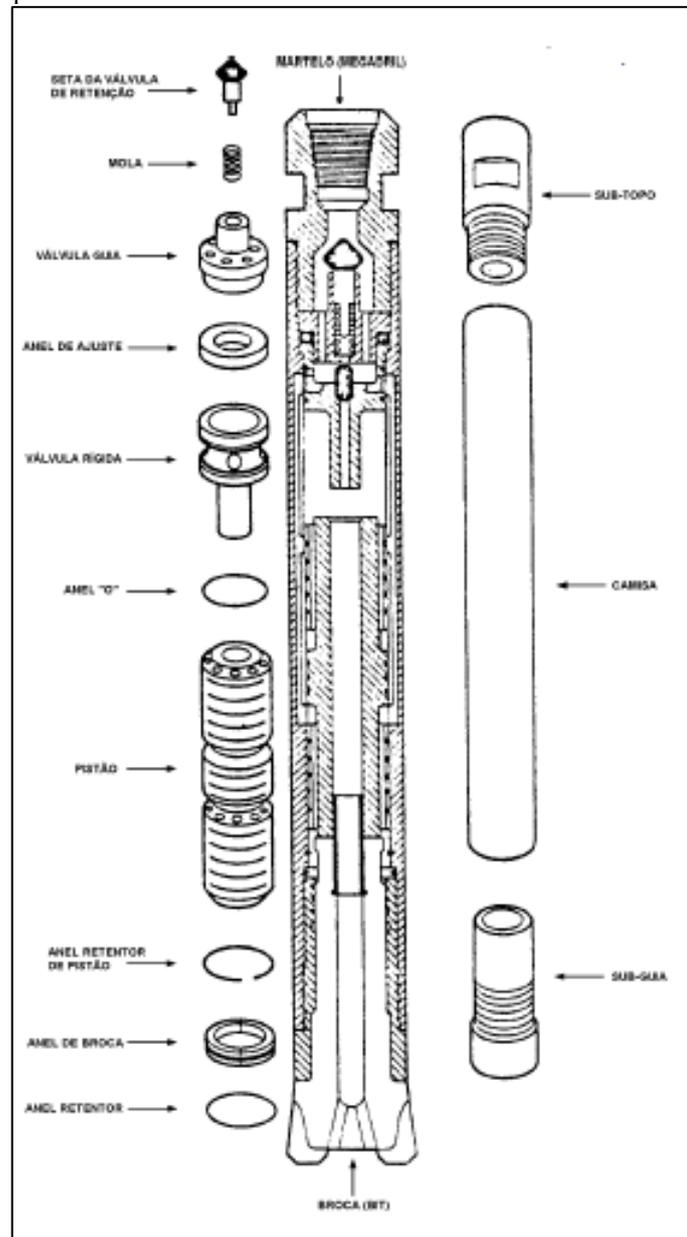
Figura 12 – Representação da máquina de perfuração percussiva.



Fonte: CPRM (1998b).

A tecnologia mais avançada de perfuração de rochas é a roto-pneumática ou também conhecida como perfuração a ar comprimido, que relaciona técnicas de perfuração de rochas não consolidadas em rochas cristalinas ou fissurais bastante resistentes, o que proporciona rapidez na perfuração. O princípio do método roto-pneumático consiste em rotacionar o equipamento, triturando e desgastando a rocha, por meio de uma percussão de alta intensidade e um pequeno curso realizado por um martelo (megadrill) e uma broca (bit), como mostrado na Figura 13. O ar comprimido é transmitido pelo compressor por dentro da coluna de perfuração, passando por dentro do martelo e da broca, e assim facilitando o furo (CARVALHO; ALBRECHT, 2004; CPRM, 1998b).

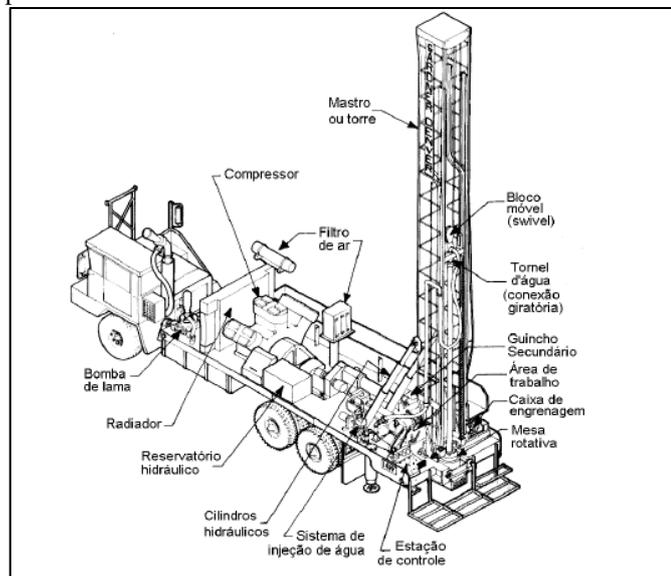
Figura 13 – Representação da máquina de perfuração roto-pneumática.



Fonte: CPRM (1998b).

O método da perfuração rotativa (Figura 14) consiste em realizar um furo, principalmente, em rochas de formações sedimentares não consolidadas com grandes profundidades e diâmetros, por meio de uma composição rotativa que incorpora mecanismos de alimentação através de um fluido e um conjunto de brocas, que realizam o procedimento de cortar, triturar e desgastar as rochas. O fluido de perfuração é injetado por dentro da haste e coluna de perfuração, saindo pelos orifícios da broca e retornando à superfície, conduzindo os fragmentos da rocha triturada, através do espaço entre a coluna e a parede do poço (CARVALHO; ALBRECHT, 2004; CPRM, 1998b).

Figura 14 – Representação da máquina de perfuração roto-pneumática.



Fonte: CPRM (1998b).

### 2.2.3 Completação

A completção de um poço tubular caracteriza-se em adicionar um conjunto de equipamentos que permitem melhorar a qualidade e o rendimento da água explotada do poço. Os principais constituintes que compõe a etapa da completção são: tubulação de revestimento, pré-filtro, filtro e a cimentação.

#### 2.2.3.1 Revestimento

O revestimento ou a tubulação de revestimento do poço são materiais utilizados para criar uma parede mecânica entre a água e o solo ou rocha perfurada. A tubulação tem por função sustentar as paredes da perfuração, para não ocorrer desmoronamento, e impedir a contaminação da água através da drenagem do solo. Como parte da condução hidráulica, é o

caminho por onde a água percorre do aquífero até a superfície. Destaca-se que, em rochas cristalinas ou fissurais, por serem rochas de natureza bastante rígida, é dispensável a utilização de tubulação de revestimento, fazendo-se necessário apenas o revestimento para proteção na parte superior. Nas rochas sedimentares, o revestimento percorre todo o furo definitivamente e são adicionados centralizadores de ferro fixados no tubo, com intuito de centralizar a tubulação na perfuração e manter o mais vertical possível (CPRM, 1998b).

Os materiais mais empregados são os PVC geomecânico e os metálicos. A tubulação de PVC geomecânica (Figura 15) possui estrias longitudinais externas em forma de cunha, com intuito de aprimorar as características mecânicas e hidráulicas tanto dos filtros, quanto da tubulação em si e possui cor predominantemente azulada. Essa tubulação deve ser fabricada conforme a norma ABNT NBR 13604. Ressalta-se que além de não possuir necessidade de utilização de cola, luvas, travas ou soldas, essa tubulação possibilita uma instalação rápida e segura (ABNT, 1996; ASPERBRAS, 2014; CPRM, 1998b).

Figura 15 – Exemplo de tubulação de PVC geomecânica.



Fonte: Tigre (2020).

Os tubos metálicos (Figura 16) são feitos de aço galvanizado, apresentando alta resistência e durabilidade. A tubulação é unida através de luvas de roscas ou soldados em suas extremidades, deixando-a mais resistente para profundidades com maiores pressões hidráulicas (BOITUHIDRO, 2020; CPRM, 1998b).

Figura 16 – Exemplo de tubos metálicos.



Fonte: Ideal Tubos (2020).

### 2.2.3.2 Filtro

Ao término da perfuração de um poço, em formações aquíferas não consolidadas ou pouco consolidadas, torna-se necessário instalar um dispositivo de admissão para a água, denominado filtro do poço. O filtro tem a função de permitir que a água entre no poço sem a perda excessiva de carga, impedir a passagem de material fino durante o bombeamento e servir como suporte estrutural, sustentando a perfuração no referido material (CPRM, 1998b).

O dimensionamento correto de um filtro é muito importante e consiste em se determinar os tamanhos ideais das aberturas, diâmetro, comprimento, profundidade, ranhuras e resistência mecânica. Compreende, ainda, a escolha do tipo de material a ser utilizado na sua construção. O comprimento e o diâmetro do filtro afetam a vazão específica do poço. A facilidade com que permite a passagem da água para o interior do poço vem determinada pelo número e tamanho das aberturas (ranhuras). A vida útil do filtro depende do tipo de material utilizado na sua construção, pois sua duração e funcionamento são afetados pelas características físico-químicas da água do aquífero (CPRM, 1998b).

Em poços sedimentares, nos quais predominam as formações aquíferas não consolidadas ou pouco consolidadas, faz-se necessário a utilização de filtros (Figura 17). As principais funcionalidades do filtro são evitar a passagem de material com diferentes granulometrias durante o processo de bombeamento, que melhora a potabilidade da água e garante uma redução na perda de carga, além de possuir função estrutural para o furo (CPRM, 1998b).

Figura 17 – Filtro de poço metálico.

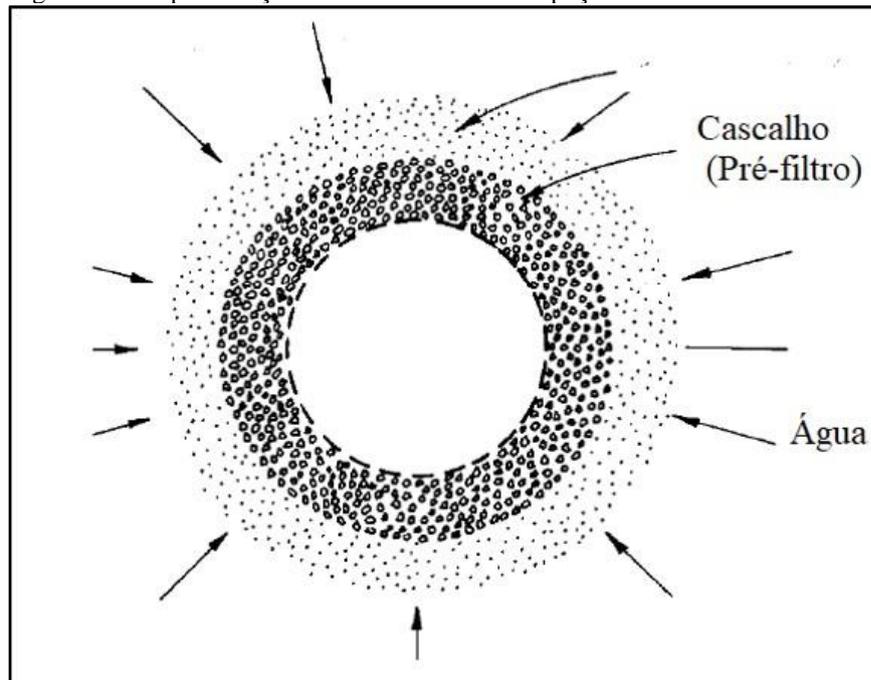


Fonte: AGUACENTER (2020).

### 2.2.3.3 Pré-Filtro

O uso dos pré-filtros (Figura 18) faz-se necessário exclusivamente em poços sedimentares, ou seja, em poços que apresentam litologias representadas por areias finas e partículas de granulometria variável, pois aumenta sua produtividade e eficiência. Após a instalação do filtro, recomenda-se a adição de um pré-filtro em todo seu entorno, formando um anel cilíndrico contínuo entre a parte externa da tubulação de revestimento do poço e a parede do furo. O pré-filtro constitui-se de rochas ou cascalhos granulares adicionados no espaço compreendido entre as paredes da perfuração até a tubulação filtrante (filtros). O cascalho é o material mais empregado e sua aplicação é denominada de encascalhamento artificial. Existem diversas vantagens acerca da utilização do encascalhamento como pré-filtro, pois esse processo aumenta a área de captação da água com aumento do diâmetro efetivo do poço, diminui o rebaixamento da água, aumenta a vida útil do filtro e do poço tubular e reduz os custos operacionais de tubulação e bombas para o recalque da água, dentre outros (ABAS, 2001; CPRM, 1998b).

Figura 18 – Representação do Pré-filtro dentro do poço tubular.



Fonte: CPRM (1998b).

### 2.2.3.4 Cimentação

A cimentação é a etapa final do processo de completção de um poço tubular. O processo ocorre com a implantação de uma pasta de cimento entre o revestimento e a parede do poço perfurado, na parte superior, a qual faz união dos materiais, vedando e corrigindo os

desvios do furo definitivamente. A principal função é evitar a contaminação e mineralização da água do poço tubular. A argila pode ser empregada na vedação da cimentação, desde que se utilize em uma profundidade que evite a contração e o endurecimento do material e onde o movimento da água não arraste as partículas. Utilizam-se, também, suspensões de cimento e bentonita, que são muito instáveis com maiores quantidades de água, produzindo-se uma rápida sedimentação. Na parte superficial do poço, é realizada uma cimentação de proteção. Essa cimentação consiste na execução de uma laje de proteção sanitária em concreto, a qual envolve a boca do poço (ABNT, 1992; ANA, 2016b; CPRM, 1998b).

#### *2.2.4 Desenvolvimento de Poços*

O desenvolvimento em poços tubulares tem como finalidade aumentar a eficiência hidráulica e hidro geoquímicas no entorno do poço, através da retirada e estabilização de materiais finos arenosos e com a correção dos danos causados pela perfuração na formação aquífera. Outro processo que envolve o desenvolvimento de poços é a limpeza da água até eliminar a sua turbidez, retirando a lama das camadas sedimentares, possibilitando que a água infiltre isenta de areia. Em rochas consolidadas, a limpeza é realizada nas fraturas por onde a água é circulada (ANA, 2016b; CPRM, 1998b; HIDROSUPRIMENTOS, 2016; SAUBER SYSTEM, 2020).

As vantagens do desenvolvimento em rochas não consolidadas são a de remoção de todas as partículas menores que as ranhuras do filtro durante a limpeza, que o torna mais eficiente, melhorando a potabilidade da água. Na etapa de perfuração do poço, há formação de uma camada quase impermeável originada através da lama residuária da perfuração. Isso faz com que se crie uma barreira entre as paredes do furo e o pré-filtro. Uma parcela da lama é removida durante a execução do pré-filtro, se este for executado por métodos de desenvolvimento adequados. Entretanto, faz-se necessário que o fluido residual da perfuração seja completamente retirado para que não interfira nas condições hidráulicas do poço (CPRM, 1998b).

Um dos métodos de desenvolvimento mais empregado em perfurações de poços tubulares sedimentares é o de pistoneamento. Esse método consiste em utilizar um pistão cilíndrico de metal com anéis de borracha e com furos verticais para alívio de pressão dentro do poço, executando movimentos de fluxo e contrafluxo continuamente. Este processo provoca a remoção de partículas finas presente no furo, melhorando as condições hidráulicas do poço (CPRM, 1998b; DH ÁGUAS, 2020).

Em perfurações nas rochas cristalinas, os resíduos gerados podem preencher as fissuras e fraturas. A máquina perfuratriz à percussão, utilizada para realização do furo, ocasiona a quebra da rocha em partículas de pequena granulometria, as quais, quando misturadas com o fluido da máquina, criam uma pasta residuária que pode ser retirada durante o processo. Entretanto, quando a máquina golpeia a rocha, uma parcela da pasta penetra nas fissuras e fraturas, obstruindo-as. Esse fato também ocorre na utilização de máquina perfuratriz rotativa, a diferença é que há presença de lama de perfuração que penetra nas aberturas do poço. O método de desenvolvimento adequado para solucionar esse problema é o mesmo das rochas não consolidadas supracitado acima, melhorando a condutividade hidráulica do poço tubular (CPRM, 1998b; DH ÁGUAS, 2020).

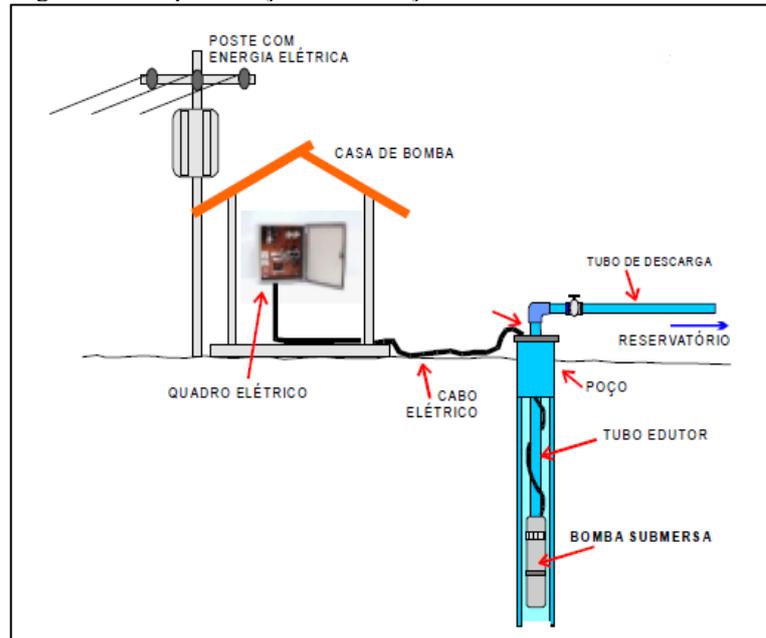
### *2.2.5 Instalações de Poços*

A instalação de poço é a fase final de construção de um poço tubular. Essa etapa é compreendida pela locação da unidade de bombeamento, com as tubulações de sucção e recalque equivalentes, e pela efetivação de um reservatório para acumulação da água e de um sistema de distribuição (CPRM, 1998b).

A unidade de bombeamento é o conjunto de equipamentos responsáveis por retirar e impulsionar a água no sentido das tubulações. Em poços tubulares, existem vários tipos de bombas de água que se diferenciam de acordo com sua utilização. As mais utilizadas são a bombas submersas e injetoras (CPRM, 1998b).

A bomba submersa (Figura 19) atende poços com vazões de médio a grande porte, com variadas profundidades, e é necessário ter alimentação elétrica trifásica para seu funcionamento. A instalação é simples, primeiramente, a bomba é colocada dentro do poço tubular apenas com uma tubulação de PVC edutora acoplada, responsável pela exploração da água, e é posto o fio que vem do quadro trifásico, responsável pelo fornecimento elétrico necessário para o perfeito funcionamento. O quadro elétrico trifásico deve ficar próximo ao poço, geralmente, em uma casa de bomba (CPRM, 1998b).

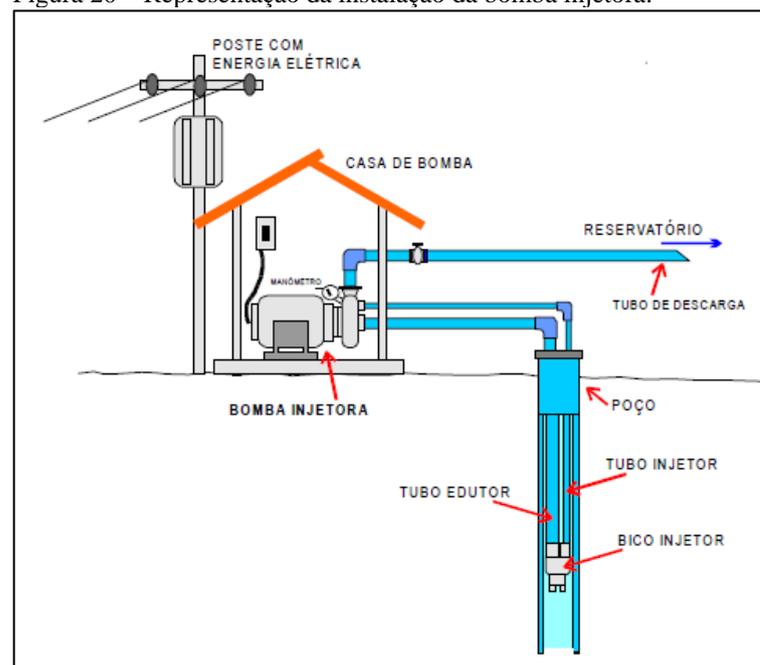
Figura 19 – Representação da instalação da bomba submersa.



Fonte: CPRM (1998b).

A bomba injetora (Figura 20) é bastante difundida para poços que possuem baixas e médias vazões. Primeiramente, em sua instalação, é colocado um bico injetor ou uma válvula de pé de crivo dentro do poço tubular, com duas tubulações acopladas à edutora de maior diâmetro e à injetora de menor diâmetro. Essa tubulação é responsável pela ligação direta do bico injetor com a bomba. A água explotada do poço é sugada para a bomba e destinada a um reservatório. Para proteção, é indicado construir uma casa de bombas para proteger o sistema (CPRM, 1998b).

Figura 20 – Representação da instalação da bomba injetora.

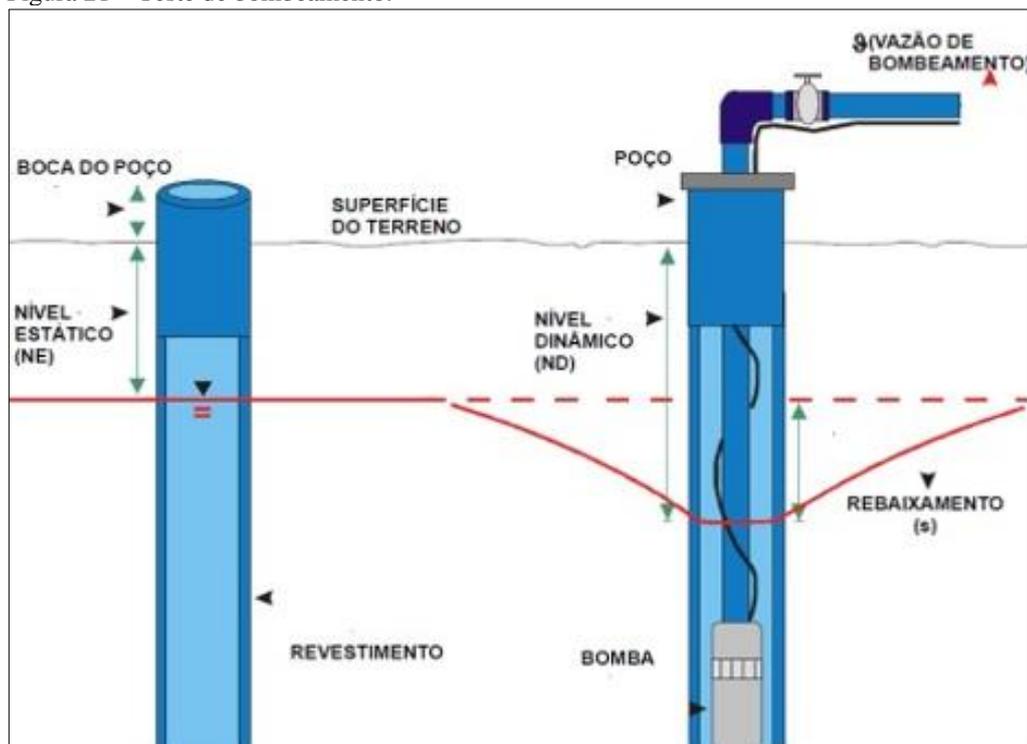


Fonte: CPRM (1998b).

Após a instalação da unidade de bombeamento, é importante fazer testes específicos para análise do poço tubular. O teste de bombeamento (Figura 21) é um dos processos utilizados para medir a vazão fornecida pelo poço. Esse método consiste no bombeamento de um poço durante um intervalo de tempo, no qual é medido o nível de rebaixamento da água do poço com uma determinada vazão. Outros testes realizados são o de produção ou vazão e aquífero, ambos com intuito de quantificação e dimensionamento (ANA, 2016b; CPRM, 1998b; CPRM, 1998c).

A produção em poços tubulares é um dos testes mais solicitados por órgãos gestores de recursos hídricos. Esse teste consiste em determinar dados como a vazão de operação, profundidade da bomba, perdas de cargas, rebaixamento do poço, dentre outros. Já o teste de aquífero tem por função caracterizar um aquífero, analisando os principais parâmetros hidrodinâmicos, como a condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S) (ANA, 2016b; CPRM, 1998b; CPRM, 1998c).

Figura 21 – Teste de bombeamento.



Fonte: CPRM (1998c).

O sistema de distribuição da água pode variar dependendo da sua utilização. Quando a bomba está localizada em uma região distante da qual será consumida ou se a água será utilizada para fornecimento de um bairro ou cidade, faz-se necessário um conjunto de tubulações ou canalizações adequadas. Outros exemplos de distribuição são quando se utiliza para irrigação ou para retirada local, como chafarizes e torneiras (CPRM, 1998b).

### 2.2.6 Classificação dos poços tubulares quanto à vazão

Segundo o CPRM (1998b), vazão é o volume de água que passa por uma área perpendicular à direção do fluxo em um dado tempo. Um aquífero subterrâneo possui poros com a presença de água, permitindo que a água escoe pelos espaços intragranulares e jorre na superfície da perfuração. Este aquífero apresenta uma vazão de saída capaz de, por exemplo, suprir o abastecimento de água de uma comunidade.

Em obras hidráulicas, a quantificação da vazão é imprescindível. Especificamente em poços tubulares profundos, após o término de sua construção, é necessário quantificá-la para determinar sua produção hídrica e os parâmetros hidrodinâmicos, além de dimensionar corretamente os equipamentos de extrações adequados. Por exemplo, em aquíferos subterrâneos, a vazão informa se o poço é capaz de suprir a demanda para qual foi anteriormente planejado. Neste caso, são realizados testes para registrar sua capacidade, como o teste de vazão e teste de bombeamento (ANA, 2016c; BARBOSA JÚNIOR, 2020).

O teste de vazão é utilizado para conhecer e determinar o comportamento hidráulico dos poços tubulares profundos. Nesse teste, são medidos: o nível estático, a vazão, os valores de rebaixamento do nível d'água em função do tempo de bombeamento e a recuperação do nível d'água após cessado o bombeamento (ANA, 2016c; BARBOSA JÚNIOR, 2020).

Para classificar a vazão ( $m^3/h$ ) de um poço tubular, utilizam-se os critérios descritos no Quadro 5, os quais são divididos em seis classes: pouco produtiva ou não aquífera ( $Q < 1,0$ ), muito baixa ( $1 \leq Q < 10$ ), baixa ( $10 \leq Q < 25$ ), moderada ( $25 \leq Q < 50$ ), alta ( $50 \leq Q < 100$ ) e muito alta ( $\geq 100$ ). Em termos de produtividade, a vazão pouca produtiva tem fornecimento de água insignificante, que é restrito ao uso de bombas manuais. A vazão classificada como muito baixa tem fornecimento contínuo dificilmente garantido. Já a vazão classificada como baixa tem a capacidade de suprir abastecimentos locais ou consumo privado. A vazão classificada como moderada consegue atender pequenas comunidades e irrigação. Enquanto a vazão classificada como alta está entre a média nacional de bons aquíferos. Por último, a vazão classificada como muito alta é de importância regional, consegue abastecer grandes cidades e grandes irrigações (ANA, 2016c).

Quadro 5 – Classificação das vazões em poços tubulares.

<b>CLASSIFICAÇÃO DE VAZÃO EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS</b>			
<b>CLASSE</b>	<b>VAZÃO (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>PRODUTIVIDADE</b>
1	< 1	POUCO PRODUTIVA OU NÃO AQUÍFERO	Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais.
2	$1 \leq Q < 10$	MUITO BAIXA	Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.
3	$10 \leq Q < 25$	BAIXA	Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.
4	$25 \leq Q < 50$	MODERADA	Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.
5	$50 \leq Q < 100$	ALTA	Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.
6	$\geq 100$	MUITO ALTA	Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.

Fonte: Adaptado de ANA (2016c).

Destaca-se que no estado do Ceará, onde os domínios hidro geológicos são de origem de rochas cristalinas, os poços, geralmente, possuem baixa vazão e a presença intensa de sais minerais, deixando assim, a água salobra. Por isso, é importante ter a manutenção preventiva dos aquíferos para efetivar sua recarga e controle efetivo da qualidade da água por meio de análises físicas, químicas e biológicas.

### *2.2.7 Roteiro para a contratação, construção e instalação de poços tubulares profundos*

Nos últimos anos, houve um aumento significativo do uso das águas subterrâneas, bem como uma ampliação do interesse por pesquisas e na captação desses recursos por empresas privadas e órgãos públicos. Por conta disso, criou-se a necessidade de um maior controle efetivo e gestão integrada e sustentável desses recursos hídricos. No Brasil, de acordo com a Lei N°9.433, de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos da Constituição Federal, a gestão e a outorga para a utilização de águas subterrâneas, inclusive para a perfuração de poços tubulares, são competências dos estados.

Os estados brasileiros e o Distrito Federal possuem órgãos específicos para a gestão da água. O gerenciamento é realizado por meio da emissão da autorização de uso dos recursos hídricos de domínio dos Estados e da fiscalização do uso da água. Além disso, os órgãos gestores são responsáveis por planejar e promover ações direcionadas à preservação da quantidade e da qualidade das águas. Esses órgãos fazem parte da estrutura do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e atuam de forma integrada e articulada com os demais entes desse sistema. Podem ser estruturados de diversas maneiras, tais como entidades autônomas (agência ou autarquia) e, em sua maioria, como administrações diretas dos Estados (secretarias específicas ou órgãos dessas secretarias) (ANA, 2017, 2020b).

No Estado do Ceará, os órgãos públicos que controlam e gerenciam as águas subterrâneas são a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). A SRH e a COGERH são os órgãos responsáveis pela licença e outorga de todas as obras de interferência hídrica do Estado (CEARÁ, 2020a, 2020b, 2020d; COGERG, 2019a).

Em termos de execução de obras hídricas públicas como perfuração de poços tubulares profundos para combate à seca, no Ceará, o órgão responsável é a SOHIDRA. Este se encontra diretamente vinculado à SRH e é responsável pela construção e fiscalização de toda infraestrutura hídrica do Estado. A SOHIDRA foi criada pela Lei nº 11.380, de 15 de dezembro de 1987, e absorveu parte das atividades exercidas pela extinta Superintendência de Obras do Estado do Ceará (SOEC) (CEARÁ, 2020c).

Para execução de qualquer obra hídrica no Ceará, faz-se necessário seguir algumas recomendações técnicas e legais, para que o usuário receba a licença e outorga do uso dos recursos hídricos. Em suma, para executar e autorizar a construção de forma correta, é imprescindível seguir um roteiro para a contratação, construção e instalação de poços tubulares profundos. São cinco etapas que têm como composição: o anteprojeto e projeto, licença de obra ou serviço de interferência hídrica, contratação do poço, construção do poço e outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos (CEARÁ, 2008, 2020d; FIESP, 2005).

#### 2.2.7.1 Anteprojeto e Projeto

Para realizar a construção de um poço tubular, é necessário seguir alguns trâmites legais para receber a licença e autorização para execução desse serviço. Antes de iniciar o processo de Licença para Obras de Exploração de Águas, elabora-se um anteprojeto técnico

construtivo. Este serviço deve ser realizado por uma empresa ou profissional capacitado, devidamente regularizado junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). O anteprojeto precisa considerar as características geológicas e geomorfológicas da região, por meio de estudos históricos, mapeamento topográfico, fotos aéreas e tecnologias que ajudam a minimizar erros, como também as características hidráulicas e físico-químicas do aquífero (CEARÁ, 2008, 2020d; FIESP, 2005).

Destaca-se que, no anteprojeto do poço tubular, deverá conter as informações e especificações técnicas necessárias para execução de todos os serviços. As especificações técnicas construtivas podem ser estimadas e apresentadas junto a solicitação de licença, como a profundidade do poço, diâmetros de perfuração e revestimento, posição e tipo de revestimento, diâmetros e tipo de ranhuras e material dos filtros (poços sedimentares), pré-filtro (poços sedimentares), cimentação, laje de proteção sanitária, método de perfuração tubo guia e as demais informações complementares (CEARÁ, 2008).

Após o encaminhamento do anteprojeto à SRH, para análise da licença para obras de exploração de águas subterrâneas, as informações, especificações técnicas e dados deverão estar registrados em definitivo no projeto de construção do poço (CEARÁ, 2008).

#### 2.2.7.2 Licença de obra ou serviço de interferência hídrica

A licença de obras ou serviços de interferência hídrica é uma autorização proferida pela SRH, que regulamenta a execução de qualquer obra ou serviço de interferência hídrica. Em suma, obras hídricas que alteram o regime hídrico ou de um aquífero de uma determinada região necessitam do documento. As obras que são sujeitas a autorização são: barragens, diques, travessias de curso d'água, adutoras, canais, poços tubulares e poços escavados (CEARÁ, 2008).

No que concerne a poços profundos, a autorização é realizada através da Licença para Obras de Exploração de Águas Subterrâneas. A finalidade é avaliar a interferência entre poços próximos ou a retirada desenfreada que levem ao esgotamento do aquífero, além de evitar esse tipo de ocorrência (CEARÁ, 2008).

Estão sujeitos à inserção poços de características freáticas com profundidade inferior a 20 metros e poços medianamente profundos, com profundidade variada entre 20 a 50 metros, ambos com vazões máximas de 2000L/h. Entretanto, há exceções, como os poços freáticos perfurados em aquíferos sedimentares, que são aprovados por serem considerados

estratégicos ou alimentados por rios perenes e poços de responsabilidade pública (CEARÁ, 2008).

#### 2.2.7.3 Contratação do Poço

Nesta etapa, é importante contratar uma empresa capacitada e registrada legalmente ao CREA, que atenda aos requisitos de ordem jurídica, financeira, legal e técnica. A contratada deve, de preferência, estar credenciada junto à Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). Antes de contratar uma empresa, recomenda-se que o contratante entre em contato com outros clientes para obter feedbacks sobre a realização do serviço de construção de poço tubular. Indica-se também que os clientes priorizem as empresas que utilizam meios mais tecnológicos, com intuito de maximizar os resultados (FIESP, 2005).

#### 2.2.7.4 Construção do Poço

A construção deve ser executada seguindo as normas da ABNT NBR 12244, que diz respeito à construção de poço para captação de água subterrânea. Estas normas têm por objetivo assegurar a realização de um serviço adequado, garantindo assim, a execução correta de todas as etapas construtivas. Recomenda-se o acompanhamento dos serviços e a exigência de informações técnicas de todas as etapas de construção do poço tubular como: perfuração, completação, limpeza, desenvolvimento, bombeamento e instalação final. É importante frisar que os testes de bombeamento, de vazão e de produção são necessários no projeto para análise e registro de todas as especificidades hidráulicas do poço tubular. Por fim, a empresa executora contratada do poço deverá apresentar o relatório final do poço. Neste documento, deverá conter o registro de todos os dados construtivos, geológicos, teste de vazão e produção, análise da química da água e os dados pertinentes ao dimensionamento ao sistema de bombeamento aquífero (ABNT, 1992; CEARÁ, 2008; FIESP, 2005).

#### 2.2.7.5 Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos

No Estado do Ceará, é necessário ter a outorga para direito de uso de recursos hídricos e de execução de obras e/ou serviços de interferência hídrica, a qual tem como base a regulamentação do decreto estadual nº 31.076 de 17 de dezembro de 2012. Essa autorização faz parte dos instrumentos de gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos, previstos no

Art. 5º da Lei 14.844 – publicada no DOE de 30 de dezembro de 2010. Segundo a SRH, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é um ato administrativo, por meio do qual será outorgado o uso de determinado recurso hídrico nos termos e condições expressas no ato respectivo, sem prejuízo das demais formas de licenciamento ambiental a cargo de instituições competentes (CEARÁ, 2020e).

Os principais objetivos da outorga são proporcionar o controle qualitativo e quantitativo do uso hídrico, além de garantir o exercício dos direitos de acesso à água. Para solicitar a outorga, primeiramente é realizado o *check-list* por um técnico do sistema de recursos hídricos e, após isso, a solicitação é encaminhada tanto para Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), quanto para a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), ambas situadas na capital Fortaleza. Ressalta-se que existem gerências regionais que integram esse sistema de controle e gestão dos recursos hídricos para atender todo Estado do Ceará. As gerências regionais atuam nas cidades de Crateús, Crato, Iguatu, Limoeiro do Norte, Pentecoste, Quixeramobim, Sobral e Fortaleza. É importante garantir uma gestão integrada, participativa e descentralizada desses recursos (CEARÁ, 2008, 2020e).

### **2.3 Parâmetros de qualidade da água**

Um dos principais pontos que deve ser analisado numa obra de construção de um poço tubular para captação hídrica é o padrão de potabilidade da água. A caracterização da água expressa suas especificações e composições físicas, químicas e biológicas. No Brasil, os parâmetros da qualidade da água são regulamentados pelo anexo XX da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde do Brasil, de 03 de outubro de 2017. Segundo esse anexo, são estabelecidos os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

Toda água que tem destinação final o consumo humano, com distribuição coletiva realizada por um sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, torna-se objeto de controle para o cumprimento do padrão de potabilidade e vigilância da qualidade da água. As águas de origem envasada ou mineral natural não se aplicam a essa norma, pois o uso e padrões de qualidade são determinados por outra legislação. Outro ponto importante é que a adoção das medidas necessárias para o cumprimento íntegro dessa portaria é de responsabilidade e competência compartilhada da União, Estados, dos Municípios e do Distrito Federal (BRASIL, 2017).

Em termo de potabilidade, existem oito categorias parametrizadas para o controle e vigilância da água: padrão microbiológico, turbidez para água pós-filtração ou pré-

desinfecção, metas progressivas para atendimento ao valor máximo permitido de 0,5 uT para filtração rápida e de 1,0 uT para filtração lenta, tempo de contato mínimo a ser observado para a desinfecção por meio da cloração, cloraminação e dióxido de cloro, substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de cianotoxinas da água, radioatividade para água potável e padrão organoléptico de potabilidade (BRASIL, 2017). Estas categorias são de suma importância, pois garantem a segurança e qualidade de vida para os usuários, garantindo assim, avanços significativos nas áreas sociais, econômicas e de saúde. Os parâmetros de qualidade da água, segundo a referida portaria, estão dispostos no ANEXO A.

Além disso, a Portaria regulamenta a frequência e a totalidade de amostras e análises laboratoriais que devem ser realizadas nos sistemas de abastecimento e captação de água. Estas análises são: a frequência de monitoramento de cianobactérias no manancial de abastecimento de água, o número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento e número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva (BRASIL, 2017). As características das amostragens, segundo a referida portaria, estão dispostas no ANEXO B.

Os parâmetros de maior relevância sanitária para garantir a qualidade da água são: Cloro Residual Livre (CRL), turbidez, cor, coliformes totais e *Escherichia coli*. O CRL é o resíduo gerado pela adição do produto para desinfecção na rede de abastecimento, que atua como barreira contra organismos indesejáveis. Deve apresentar concentração mínima de 0,2 mg/L (miligramas por litro de cloro residual livre). A turbidez está relacionada com o grau de transparência da água, ou seja, com a quantidade de partículas suspensas, sendo adotado o valor máximo, em toda água distribuída, de 5,0 uT (unidades de turbidez). A cor indica se há a presença de substâncias dissolvidas que possam alterar sua coloração. Geralmente, esse dado é registrado para fins estéticos e não apresenta risco à saúde, sendo o valor máximo permissível de 15,0 uH (unidades de Hazen). Por fim, os coliformes totais indicam a presença de bactérias na água distribuída, que deve apresentar o limite mínimo de 95% de ausência desses coliformes nas amostras coletadas, mantendo a atenção para a presença de *Escherichia coli*, que indica que há organismos causadores de doenças (CAGECE, 2019).

Ressalta-se que o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) reúne informações e indicadores sobre a prestação dos serviços de água, esgotos, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais, provenientes dos prestadores que operam no Brasil e possui diversos dados sanitários relevantes de cada município brasileiro.

Especificamente em Tamboril, os dados de qualidade da água mais relevantes são de turbidez e coliformes totais (SNIS, 2020).

#### **2.4 Tratamento de águas provenientes de poços tubulares**

O tratamento das águas para abastecimento público, no caso de mananciais, passa por diversos processos em Estações de Tratamento de Água (ETA) para garantir a potabilidade da água como coagulação, floculação, decantação, filtração etc. Contudo, para águas subterrâneas captadas através de poços tubulares, o processo de tratamento da água, dependendo de sua qualidade, pode ser mais simplificado utilizando apenas um sistema de desinfecção (TRATA BRASIL, 2020).

O processo de desinfecção em poços tubulares profundos consiste na inativação dos microrganismos patogênicos por meio de produtos ou agentes químicos, com intuito de tratar a água explorada. Destaca-se que, para águas captadas com objetivo de consumo humano, esse procedimento é obrigatório, pois é o único que garante uma água livre de organismo patogênicos, além de prevenir a proliferação e crescimento microbiológico durante o processo de distribuição da água extraída, evitando a contaminação da população abastecida (FUNASA, 2014).

Há vários meios e produtos para desinfecção da água, como o cloro, ozônio, radiação ultravioleta, iodo, dentre outros. Destes, a substância mais utilizada para tratamento de água, nos sistemas de distribuição em todo mundo, é o cloro ou produtos à base de cloro. É o recurso mais indicado por: ter um baixo custo e fácil acesso; as informações sobre seu uso são bastante difundidas; e possui uma alta capacidade oxidante da matéria orgânica e inorgânica. Além disso, usa-se o cloro quando se objetiva gerar um residual para agir caso a água seja contaminada por bactérias (FUNASA, 2014).

Outras vantagens para uso do cloro em tratamento de água são: possui um efeito residual e ampla ação germicida; previne o crescimento de algas; remove o ferro e manganês; controla a cor e sabor; e consegue manter seu efeito em toda extensão dos sistemas de distribuição. Ressalta-se que este produto é facilmente medido e monitorado durante o tratamento e distribuição da água. Tudo isso garante a inocuidade da água, desde a produção até o momento do uso, o que resulta em grande benefício para quem está consumindo a água. Todavia, o uso de cloro é eficiente somente em bactérias, e ainda carrega a possibilidade da formação de compostos organoclorados que são carcinogênicos, por isso são evitados em países desenvolvidos (FUNASA, 2014).

O uso do cloro é parametrizado pelo anexo XX da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde do Brasil, de 03 de outubro de 2017. Ela determina em seu Art. 34, “é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede)” (BRASIL, 2017; FUNASA, 2014).

Embora não seja o melhor agente desinfetante, sua disponibilidade e seu baixo custo fazem com que haja vários tipos de produtos no mercado. Os principais produtos à base de cloro disponíveis são: cloro gasoso, hipoclorito de sódio (Figura 22), cal clorada e hipoclorito de cálcio. A escolha do processo de desinfecção é responsabilidade do gestor ou da companhia de abastecimento, que deverá considerar a eficiência, confiabilidade e permanência (FUNASA, 2014).

Figura 22 – Hipoclorito de cálcio.



Fonte: Fastfiltros (2020).

Os cloradores são equipamentos acoplados ou que fazem parte do sistema de tratamento para dosar a quantidade exata e suficiente de cloro na água para desinfecção. Há diversos tipos desses equipamentos no mercado, dentre eles, destacam-se: o clorador de pastilha de cloro, as bombas dosadoras elétricas de diafragmas e de pistão, hidro ejetores a vácuo e dosadores de nível constante. A escolha por um desses cloradores dependerá da complexidade ou simplicidade de cada sistema de tratamento (FUNASA, 2014).

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, com abordagem quantitativa, do tipo estudo de caso. As pesquisas descritivas são as que têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relação entre variáveis. O estudo de caso consiste em uma investigação profunda e exaustiva de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. E tem como propósitos: explorar situações reais cujos limites não estão claramente definidos, descrever a situação do contexto em que está sendo feita a investigação e formular hipóteses (GIL, 2017).

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

Como objeto de estudo, tem-se o município de Tamboril, Estado do Ceará. Tamboril foi fundado em 1854 e está localizado na região do Sertão de Crateús (Figura 23). É dividido em oito distritos (Boa Esperança, Açudinho, Carvalho, Holanda, Curatis, Oliveira, Sucesso e Sede) e a Sede possui 13 Bairros (Centro, Pereiros, Monte Azul, Pedrinhas, Praça 11, Vila Olga, Monsenhor Holanda, Vila São Pedro, Mutirão I e II, Campo São Cristóvão, Monte Castelo e Vila Nova) (IBGE, 2010a; TAMBORIL, 2020).

Figura 23 – Localização de Tamboril no mapa do Ceará.



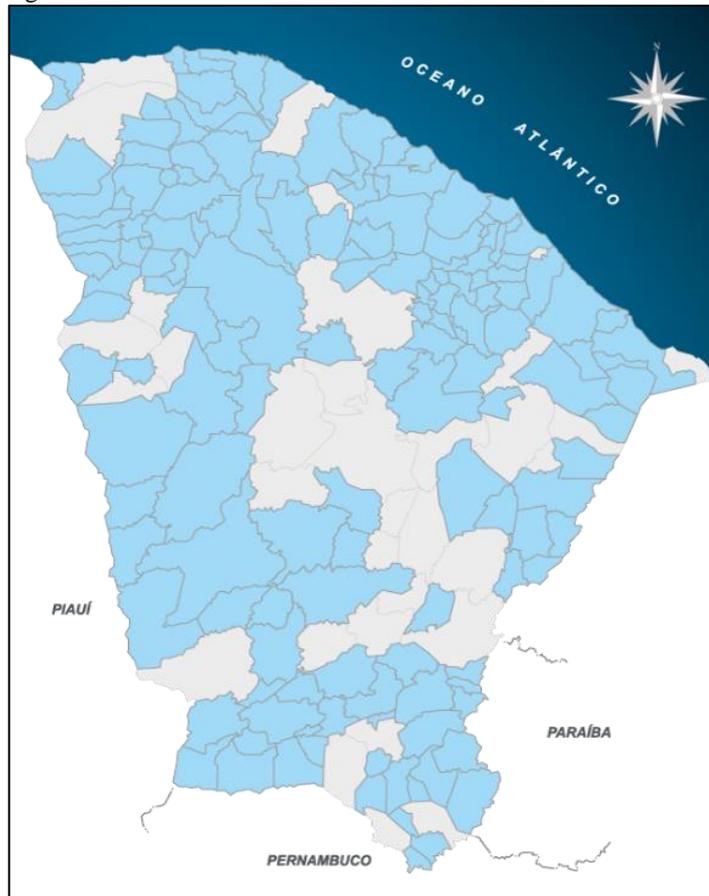
Fonte: IBGE (2020).



quais o município de Tamboril está inserido, são Acaraú e Parnaíba. Os recursos hídricos do município são provenientes dos reservatórios Carão (bacia do Acaraú) e Sucesso (bacia do Parnaíba). Além disso, possui seis dessalinizadores e 177 poços tubulares (IPECE, 2017; WEATHER SPARK, 2020).

No Estado do Ceará, a agência responsável pelo controle e gestão do abastecimento de água, na maioria dos municípios, é a CAGECE. Fundada em 1971, possui economia do tipo mista com capital aberto. Atuando em 152 municípios dos 184 totais (Figura 25), a empresa beneficia cerca de 5,5 milhões de cearenses. Em Fortaleza, atende 98,66% da população, obtendo uma cobertura de mais de 2,6 milhões de habitantes. Já no interior do Ceará, a empresa representa 98,06% da população, sendo 2,83 milhões de pessoas abastecidas por água tratada (CAGECE, 2020a).

Figura 25 – Cobertura da CAGECE no Estado do Ceará.



Fonte: CAGECE (2020a).

A CAGECE tem por objetivo prestar serviço de água e esgoto sanitário, em todo território cearense, de forma remunerada. Sua finalidade é executar, planejar, projetar, ampliar, explorar e manter industrialmente os sistemas públicos de água e esgoto sanitário. Além disso, ela fixa taxações e arrecada tarifas dos serviços prestados, mantendo reajustes periódicos, com intuito de manter todas as suas manutenções (CAGECE, 2020b).

Especificamente no abastecimento de água, a empresa adota medidas e segue parâmetros para garantir água de qualidade para toda população atendida. Para tornar-se apropriada ao consumo humano, é necessário tratar a água de forma adequada atestando que esta siga o padrão de potabilidade estabelecido pela PRC nº 5/GM/MS, Anexo XX (BRASIL, 2017; CAGECE, 2019).

O tratamento da água para suprimento hídrico deve ser realizado em uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Nesta, deve conter os procedimentos de adição de produtos químicos, filtração e desinfecção com cloro. Em casos de poços tubulares, o tratamento pode ser realizado no próprio poço (CAGECE, 2019).

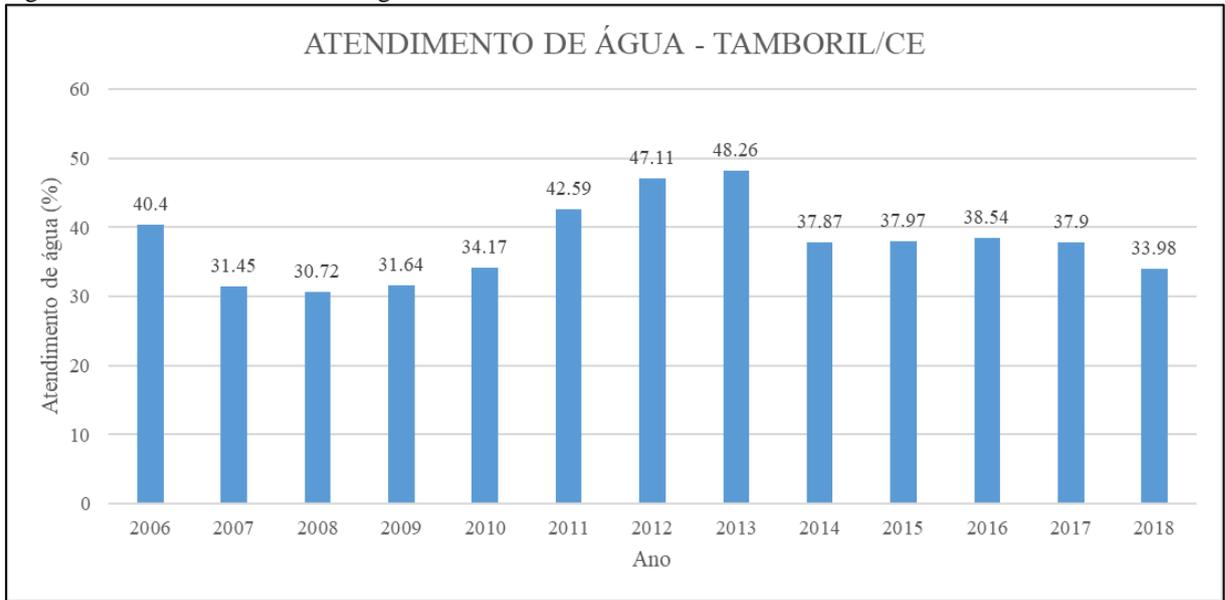
Na rede de distribuição de água, a CAGECE deve verificar semanalmente, a partir de amostras coletadas em pontos estratégicos em toda sua extensão, se o produto disponibilizado está em conformidade com PRC nº 5/GM/MS, Anexo XX. Em suma, as principais análises químicas realizadas para controle da qualidade da água são: Cloro Residual Livre (CRL), turbidez, cor e coliformes totais (CAGECE, 2019).

Caso algum resultado dos testes apresente-se fora do padrão estabelecido pela legislação vigente, são tomadas algumas medidas para detectar e avaliar o problema. Primeiramente, o laboratório responsável pelo controle de qualidade deve comunicar ao setor operacional, imediatamente, sobre a alteração dos resultados das amostras coletadas. Após a empresa tomar conhecimento sobre a situação, esta precisa realizar a efetuação de descargas de rede, com intuito de limpar a canalização. Neste contexto, é verificado se houve ocorrência próxima ao ponto onde foi coletada a amostra, com intuito de identificar alguma interferência. Por fim, coletam-se novas amostras para analisar se os procedimentos normalizaram a qualidade da água ofertada (CAGECE, 2019).

A CAGECE possui vários procedimentos para garantir que o produto oferecido aos seus consumidores seja de qualidade, não causando danos à saúde da população. É de suma importância que a empresa siga todos os parâmetros exigidos pela legislação vigente de potabilidade, para assim, afirmar sua responsabilidade e compromisso com a população.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do ano de 2018, o município de Tamboril possui uma rede de abastecimento de água com 69,33Km de extensão, atendendo apenas a uma população urbana de 8.744 habitantes, com consumo médio per capita de 118,6 L/hab/dia (SNIS, 2020). A Figura 26 mostra o percentual de atendimento total de água pela CAGECE do município entre os anos de 2006 e 2018.

Figura 26 – Atendimento total de água em Tamboril.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Quanto à qualidade da água oferecida pela CAGECE, o Quadro 6 mostra os índices da incidência de análises fora do padrão para parâmetros de turbidez e coliformes totais entre os anos de 2006 e 2018 (SNIS, 2020).

Quadro 6 – Análises fora do padrão.

<b>Incidência de análises fora do padrão</b>		
<b>Ano</b>	<b>Parâmetro (%)</b>	
	<b>Turbidez</b>	<b>Coliformes totais</b>
2006	0	0
2007	19.12	0
2008	2.98	0.31
2009	68.75	0
2010	73.6	0.98
2011	1.05	0.68
2012	18.35	4.88
2013	88.33	15.22
2014	93.24	22.78
2015	86.45	18.04
2016	47.19	3.73
2017	63.44	8.27
2018	56.35	3.51

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A disposição de saneamento básico para a população tamborilense é baixa, concentrando-se basicamente na Sede. O referido município possui apenas 11,6% de domicílios com esgotamento sanitário adequado. Em relação à urbanização, somente 4,8% dos domicílios urbanos em vias públicas são classificados como adequados. Comparado aos outros municípios do estado, ocupa a posição 123 de 184 em saneamento básico e 79 de 184

em urbanização. E tendo como referência as 5570 cidades do país, Tamboril fica na posição 4235º, em termos de saneamento básico, e em 3516º em urbanização (IBGE, 2020).

O principal reservatório da cidade, o açude Carão, é um lago artificial que foi construído em 1980, com objetivo de fornecer água com padrões de potabilidade, garantindo assim, a melhoria da saúde da população tamborilense. As características técnicas do açude Carão estão dispostas no Quadro 7 (COGERH, 2019).

Quadro 7 – Características técnicas do açude Carão.

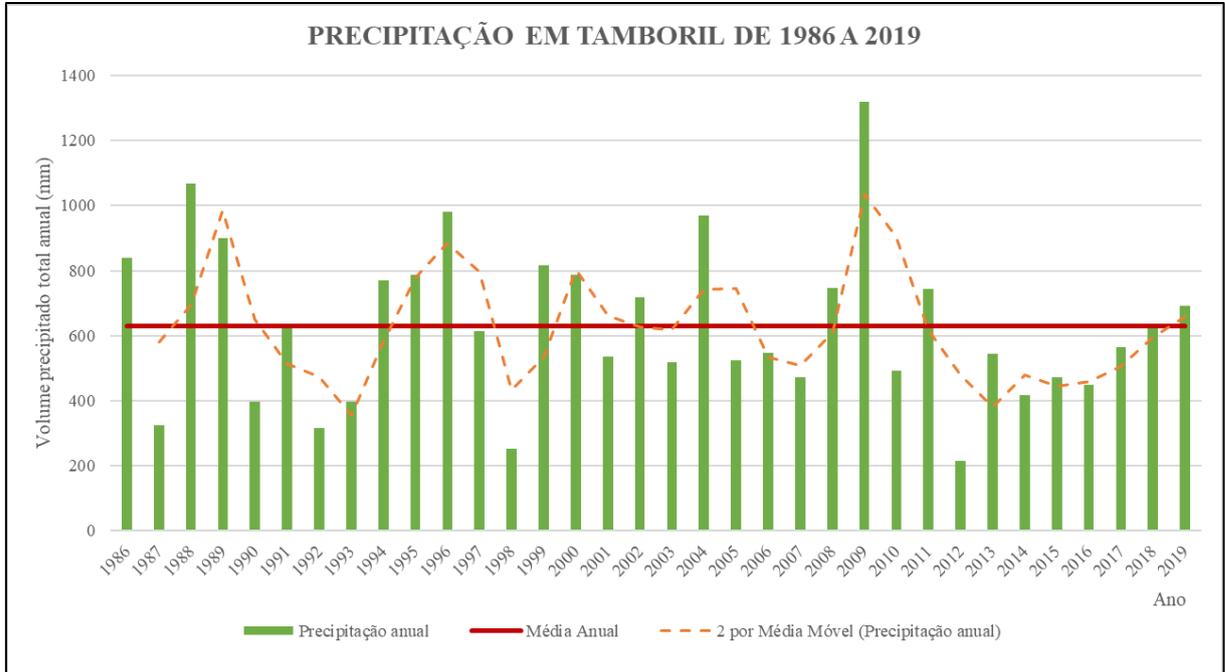
<b>Características técnicas do açude Carão</b>	
<b>Localização</b>	
Coordenada E	348,884
Coordenada N	9,467,375
Bacia	Acaraú
Rio/Riacho Barrado	Acaraú
<b>Barragem</b>	
Tipo de Barragem	Terra, tipo homogênea com tap
Capacidade (m³)	26,230,000
Bacia Hidrográfica (Km²)	289
Bacia Hidráulica (ha)	647.172
Vazão Regularizada (m³/s)	0.1
Extensão pelo Coroamento (m)	336
Largura do Coroamento (m)	60
Cota do Coroamento (m)	100
Altura Máxima (m)	18.5
<b>Sangradouro</b>	
Tipo de Sangradouro	Terra, tipo homogênea
Largura (m)	140
Lâmina Máxima (m)	1.5
Cota da Soleira (m)	96
<b>Tomada d'água</b>	
Tipo de Tomada D'água	Galeria com torre de comando
Diâmetro (mm)	800
Comprimento (m)	68

Fonte: Adaptado de COGERH (2019).

Situado na microrregião do Sertão de Crateús, o principal sistema meteorológico que atua no município de Tamboril é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que determina quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Comumente a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte para posições mais ao sul no período de março e abril, meses característicos da quadra chuvosa no município (FUNCEME, 2002). A Figura 27 mostra a série histórica de precipitação no município de

Tamboril, a partir dos registros disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), entre os anos de 1986 a 2019.

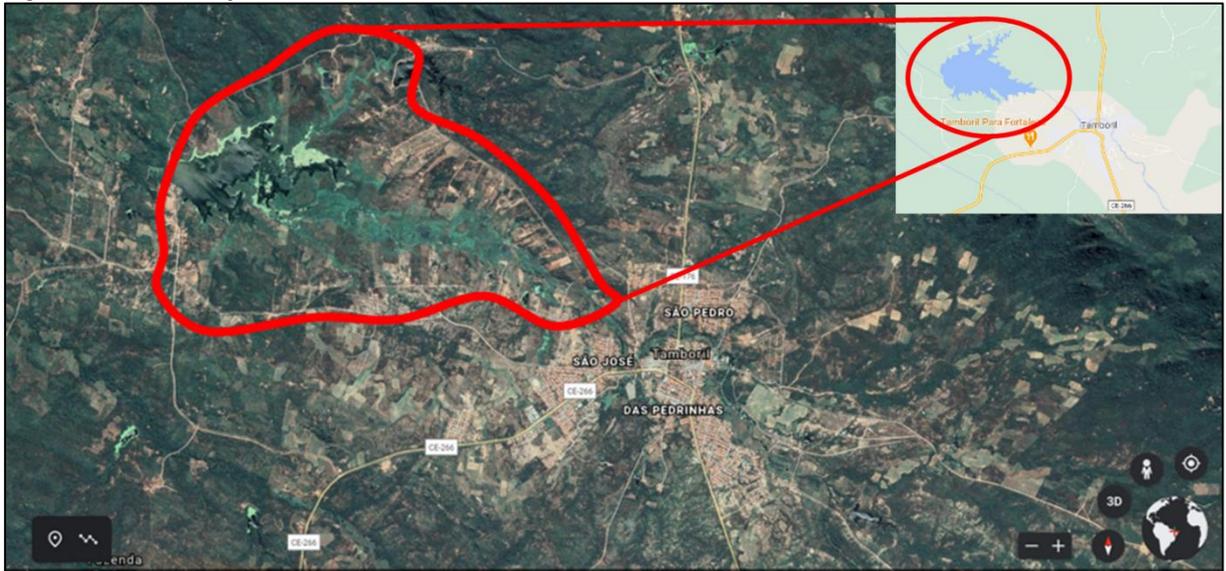
Figura 27 – Série Histórica da precipitação anual total em Tamboril.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

O reservatório Carão fica localizado a 7 Km da Sede municipal (Figura 28), represa as águas do Rio Acaraú e possui capacidade de 26,33 hm<sup>3</sup> (COGERH, 2019b).

Figura 28 – Localização do reservatório Carão.

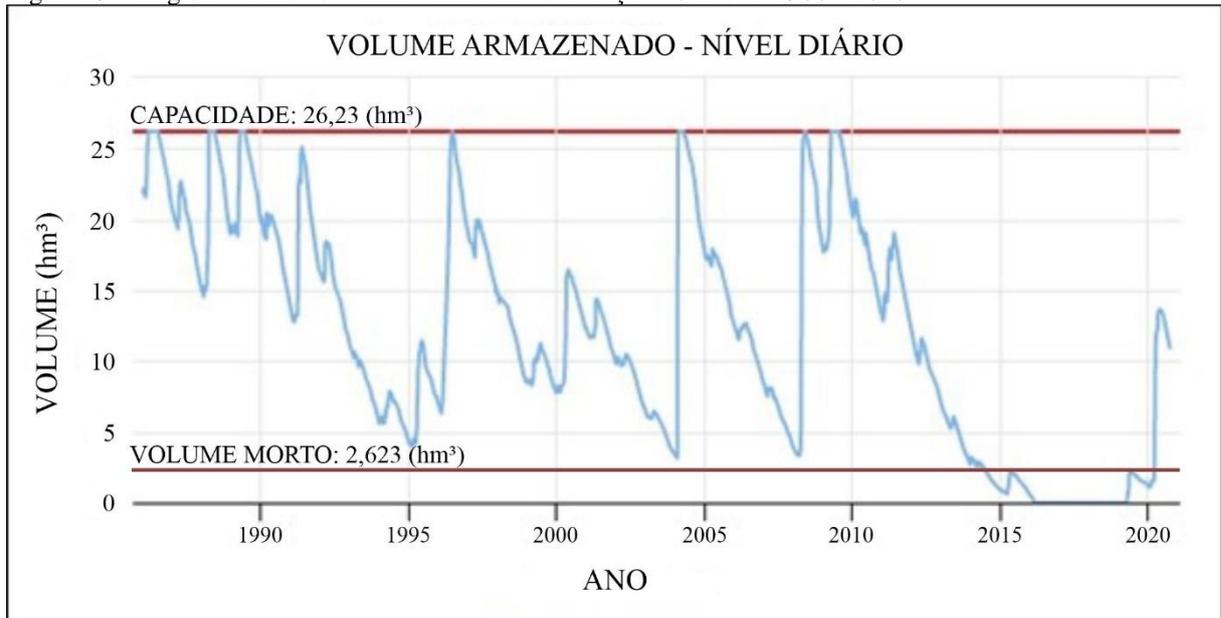


Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Desde 1986, o estado acompanha e registra, diariamente, as condições do reservatório Carão. O açude atingiu 100% de sua capacidade total apenas sete vezes, nos anos de 1986, 1988, 1989, 1996, 2004, 2008 e 2009 (Figura 29). Destaca-se que, no ano de 2012, as cotas de volume de água do Carão começaram a decrescer gradativamente, por conta da

baixa nos índices pluviométricos no Município (Figura 27). Em 2014, foi a primeira vez que o Carão entrou na cota de volume morto, cerca de 2,623hm<sup>3</sup> ou 10% de sua capacidade total. Apenas em 2020, o açude recebeu uma carga hídrica significativa, chegando até 51,40% (CEARÁ, 2020d). Segundo a CAGECE do município, este volume hídrico pode garantir o abastecimento de 100% da população da Sede de Tamboril durante um ano e meio a dois anos.

Figura 29 – Registro diário do volume armazenado do Açude Carão de 1986 a 2020.



Fonte: Adaptado de Ceará (2020d).

O açude Carão atingiu o colapso de aporte nos anos de 2016 a 2019, tornando-se um problema grave na região. Para solucionar esta situação, no final de 2014, a CAGECE passou a utilizar poços tubulares profundos, como alternativa principal de suporte ao abastecimento de água do município. Os poços são localizados em pontos estratégicos da região, garantindo assim, o fornecimento total da sua extensão de rede. Em 2019, o açude passou a reintegrar o sistema de abastecimento de uma parte da Sede municipal, pois recebeu aporte mínimo. Atualmente, o município está em um regime pluviométrico bastante significativo, porém, baseando-se no histórico da região, a recarga do reservatório é incerta (CEARÁ, 2020d; CPRM, 1999b; TAMBORIL, 2020).

### 3.2 Procedimento metodológico

A realização desse trabalho ocorreu em quatro etapas: 1. Referencial teórico; 2. Caracterização do ambiente de pesquisa; 3. Coleta de dados; 4. Análise dos dados. Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico para embasar a construção dessa

pesquisa, o qual foi organizado em três grandes tópicos, que abordaram a caracterização da hidrogeologia, dos poços tubulares e dos parâmetros de qualidade da água.

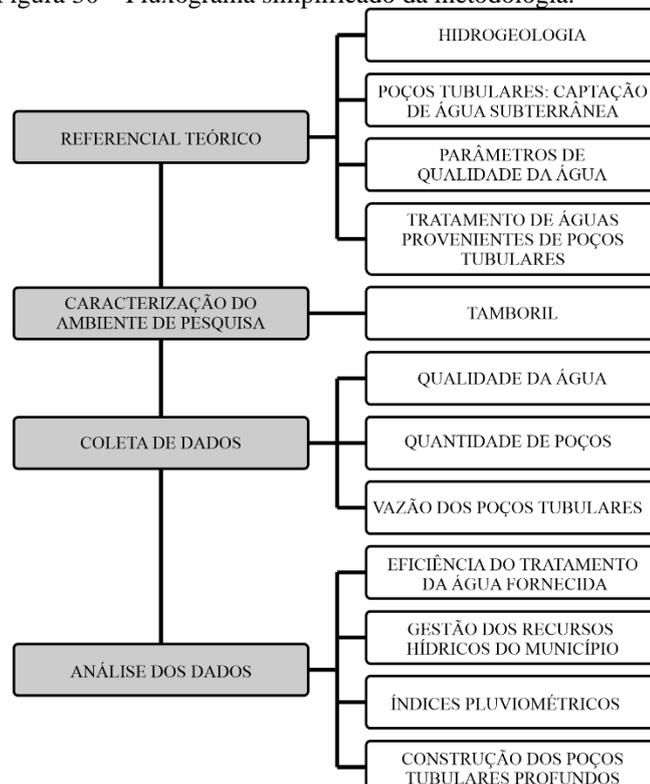
Em seguida, deu-se a caracterização do ambiente de pesquisa, no caso, do município de Tamboril e de seus recursos hídricos. Os dados sobre este município foram obtidos, principalmente, pelos *sites* e documentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, da Prefeitura Municipal de Tamboril, da CAGECE de Tamboril e do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.

A coleta de dados foi realizada a partir de dados secundários produzidos pela CAGECE de Tamboril. As variáveis coletadas foram quantidade de poços, vazão dos poços e qualidade da água. Para isso, o pesquisador entrou em contato com o gestor de núcleo desta instituição e solicitou acesso ao conjunto de bancos de dados sobre os recursos hídricos do referido município.

Por fim, os dados foram analisados com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema de abastecimento por poços tubulares em Tamboril. Os parâmetros foram eficiência do tratamento de água fornecida, gestão dos recursos hídricos, índices pluviométricos e construção dos poços tubulares profundos. A discussão foi embasada na literatura científica da área. Os dados foram organizados e analisados no *Microsoft Excel*.

A Figura 30 mostra o fluxograma simplificado do procedimento metodológico.

Figura 30 – Fluxograma simplificado da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Poços Profundos Públicos em Tamboril – CE

Na Sede do município de Tamboril, há o registro de 42 poços perfurados de domínio público (Quadro 8). Desde 2014, iniciou-se um processo de aplicação de medidas de enfrentamento ao período de estiagem no município. A medida crucial foi o início das perfurações em busca de água em aquíferos subterrâneos próximo ao Carão e nos demais bairros que compõem a região. O Quadro 8 mostra os 42 poços perfurados na sede até o ano de 2020, conforme registrado pela CAGECE de Tamboril.

Quadro 8 – Localização dos Poços Profundos público em Tamboril.

LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS PROFUNDOS PÚBLICOS			
ORDEM	ENDEREÇO	DATA DE ATIVAÇÃO	SITUAÇÃO
PT 01	Babosa	-	Desativado
PT 02	Rua João Pinto De Mesquita (Monte Azul)	-	Desativado
PT 03	Mercado Central	-	Desativado
PT 04	Mercado Central	-	Desativado
PT 05	Riacho Da Cachoeira	-	Desativado
PT 06	Conjunto Novo Tamboril	-	Desativado
PT 07	Carão	-	Desativado
PT 08	Carão	-	Desativado
PT 09	Carão	-	Desativado
PT 10	Carão	-	Desativado
PT 11	Carão	-	Desativado
PT 12	Carão	-	Desativado
PT 13	Carão	-	Desativado
PT 14	Monte Azul (Próximo Ao Mercadinho Do George)	-	Desativado
PT 15	Rua Da Taciana (Monte Azul)	-	Desativado
PT 16	Loteamento Tamboril Ville	-	Desativado
PT 17	Rua Franklin Cavalcante (Frente Ao Ramiro)	-	Desativado
PT 18	Loteamento Tamboril Ville	-	Desativado
PT 19	Rua Jovina Moreira De Araújo (Monte Azul)	-	Desativado
PT 20	Rua Jovina Moreira De Araújo (Monte Azul)	-	Desativado
PT 21	Rua Adriano F. Dos Santos (Monte Azul)	-	Desativado
PT 22	Rua Coronel Salustiano (Fazenda Jurema)	-	Desativado
PT 23	Loteamento Tamboril Ville	-	Desativado
PT 24	Hospital (Abastece O Monte Castelo)	-	Desativado
PT 25	Loteamento Tamboril Ville	14/09/2016	Desativado
PT 26	Anástacio Nego	13/11/2016	Desativado
PT 27	Anástacio Nego	14/11/2016	Desativado
PT 28	Lagoa Grande	-	Ativo
PT 29	Cacimbinha	-	Desativado
PT 30	Cacimbinha	-	Desativado
PT 31	Lagoa Grande	16/08/2018	Ativo
PT 32	Tamboril Ville	-	Desativado
PT 33	Tamboril Ville	-	Desativado
PT 34	Babosa (Mambira)	22/08/2018	Desativado
PT 35	Babosa (Mambira)	22/08/2018	Desativado
PT 36	Babosa (Mambira)	22/08/2018	Desativado
PT 37	Babosa (Mambira)	22/08/2018	Desativado
PT 38	Conjunto Novo Tamboril	29/05/2019	Desativado
PT 39	Acampamento Sem Terras	-	Desativado
PT 40	Alto Da Torre (Vila Olga)	-	Desativado
PT 41	Comunidade Irmã Doroti	-	Desativado
PT 42	Vazante Diassis	-	Desativado

Fonte: Adaptado do Autor (2020).

Devido à urgência, segundo a CAGECE, muito dos poços foram furados e construídos sem estudo prévio ou qualquer tipo de projeto. Essa operação contava com um geólogo, especialista em perfurações de poços, e com a SOHIDRA, empresa responsável pela execução e construção do poço. Não se tem o registro de quantos furos foram feitos e nem a porcentagem de eficiência para encontrar água.

O geólogo responsável possuía parceria com o governo do Estado do Ceará. Este profissional procurava regiões que tinham a presença ou histórico de cacimbões, lagoas, poços, locais estes que possuíam maiores probabilidades de encontrar fendas ou fraturas de aquíferos. Após isso, locava-se a região e a SOHIDRA executava o furo e toda construção do poço, bem como serviços de limpeza e o teste de vazão dos poços.

Em seguida, a CAGECE montava o remanente da estrutura (Figura 31), como quadro de comando, bombas e o Sistema de Simples Desinfecção (SSD), o clorador. Antes de injetar o poço na rede de distribuição de água municipal, eram realizadas as análises químicas e biológicas para analisar se estava de acordo com os padrões de potabilidade, por meio de parâmetros de sais minerais, manganês, ferro, nitrato, nitrito, dentre outros. A água era tratada e inserida diretamente na rede de distribuição.

Figura 31 – Poço tubular em Tamboril equipado com clorador e quadro de comando.



Fonte: Autor (2021).

Os poços que apresentaram análises com presença de compostos nitrogenados foram prontamente desativados. A exemplo disso, dois poços, localizados no Centro da cidade, PT03 e PT04, apresentaram a presença de coliformes termotolerantes, ou seja, havia indícios de contaminação por esgoto doméstico. Em decorrência disso, foram desativados.

Além disso, semestralmente, eram realizadas análises completas em todos os poços. Essa metodologia foi realizada até 2019. A partir da segunda metade de 2020, passou a se fazer tanto essas análises semestrais, quanto a coleta de água diariamente, para determinar a turbidez dos poços que estão ativados. Além disso, duas vezes por semana são realizados testes de pH, cor e concentração de cloro, com intuito de monitorar a qualidade da água extraída.

Todos os poços possuem clorador (Figura 32) para desinfecção na saída da água para rede de distribuição municipal. Este método de tratamento de água faz parte do protocolo da CAGECE para fornecimento de água potável. Efetiva-se pela instalação de uma tubulação PVC, na qual a parte superior é removível para dispor de pastilhas de hipoclorito de cálcio  $[Ca(OH)_2]$ , que são à base de cloro. Assim, a tubulação azul superior joga a água, advinda do poço, para dentro do clorador, no qual possui pastilhas de hipoclorito de cálcio. A água dissolve essas pastilhas e sai pela tubulação inferior, onde é encaminhada diretamente para rede de abastecimento municipal. O clorador deve ser abastecido, manualmente, três vezes por semana, para garantir sua eficiência.

Figura 32 – Clorador equipado ao poço tubular.



Fonte: Autor (2021).

O quadro de comando (Figura 33) tem função automática e manual para desligar e ligar o funcionamento do poço. A função automática opera de acordo com o nível dinâmico da água existente no poço. Quando o poço sofre um rebaixamento, devido a sua constante exploração de água, é desligado automaticamente. Após sua recarga, este é ligado novamente, continuando o processo de distribuição hídrica.

Figura 33 – Quadro de comando de um poço tubular.



Fonte: Autor (2021).

Em setembro de 2014, a SOHIDRA perfurou cinco poços para o enfrentamento da seca do município (SOHIDRA, 2014). No final de 2014, a prefeitura de Tamboril comunicou a interligação de quatro poços profundos, localizados no Carão, para abastecimento da Sede. Esta foi a primeira vez, em 34 anos registrados, que esse açude deixara de fornecer água ao município. Os referidos poços possuíam vazão de 50 mil litros de água por hora e eram ligados diretamente a adutora, que tinha o objetivo de levar a água dos poços até a Sede. Em fevereiro de 2015, a adutora contava com mais quatro novos poços injetados, também localizados próximo ao reservatório Carão, totalizando oito poços em atividades (BLOG DO MANOEL SALES, 2014, 2015).

As regiões com a cota piezométrica mais alta do que os reservatórios elevados de distribuição da CAGECE, como o bairro Monte Azul, possuíam maiores dificuldades para receber a água da rede. Isso gerava problemas, como a pressão baixa na rede e constantes

crises de falta d'água. A solução foi perfurar mais dois poços para abastecimento de água do bairro, PT14 e PT15.

Ressalta-se que o maior reservatório elevado de distribuição (Figura 34) está localizado no bairro Centro, próximo a igreja matriz da cidade. Este possui capacidade total de 127 m<sup>3</sup> e encontra-se em bom estado de conservação.

Figura 34 – Reservatório elevado de distribuição de água em Tamboril.



Fonte: Diocese de Crateús (2020).

Assim, o número de construções de poços foi aumentando, conforme o passar da estiagem e colapso de aporte do Carão, que perdurou por três anos. Tem-se o registro de um pico de 29 poços atuando conjuntamente para garantir o fornecimento de água para Tamboril. Essas obras hídricas supriam as necessidades dos tamborilenses, assegurando água potável durante todo período de seca (de 2016 a 2019) (CEARÁ, 2020d).

Em 2020, a quadra chuvosa no município foi favorável e o reservatório Carão chegou a 51,40% do seu volume total (CEARÁ, 2020d). Isso fez com que os poços fossem desativados, pois este reservatório conseguirá garantir o abastecimento do município por um período previsto de um ano e meio a dois anos.

Os poços foram desativados momentaneamente e preventivamente, o que contribui para a recarga dos aquíferos, e serão reativados quando o município necessitar novamente de uma alternativa de abastecimento de água. Hoje, apenas dois poços, PT28 e PT31, estão em funcionamento, localizados no povoado de Lagoa Grande. Este local fica

bastante distante da Sede, o que faz com que a rede de abastecimento de água do município não chegue até lá. Por essa razão, os poços ainda são utilizados.

#### **4.2 Classificação dos poços tubulares de Tamboril quanto à vazão**

O município de Tamboril, em termos hidro geológicos, possui dois tipos distintos de domínios: as rochas cristalinas e os depósitos aluvionares. As rochas cristalinas são predominantes em toda região tamborilense e esta compõe a principal classificação dos aquíferos existentes no município, os aquíferos fissurais ou cristalinos. Já os depósitos aluvionares são sedimentos areno-argilosos recentes, presentes nas calhas dos principais rios e riachos que drenam a região tamborilense.

Em resumo, não há existência de qualquer tipo de porosidade primária nas rochas cristalinas, ou seja, toda água provida dos aquíferos subterrâneos são condicionadas por fraturas e fendas, que são classificadas como porosidade secundária. Isso implica diretamente na formação de reservatórios subterrâneos aleatórios, descontínuos, com vazões inconstantes, com grande presença de sais minerais e de pequena extensão (CPRM, 1998a).

A água extraída desses poços, devido ao tipo de rocha predominante, dos efeitos do clima semiárido e da falta de circulação da água, por não ter porosidade efetiva, em geral, são salobras ou salinizadas e de péssima qualidade. Essas condições atribuem uma necessidade de tratamento da água, principalmente dos poços públicos que servem a população, e não obstante, a gestão e controle da qualidade da água explotada por meio da coleta de amostras e das análises químicas e biológicas (CPRM, 1998a).

Dentro deste contexto, o potencial hidro geológico das extensões hídricas subterrâneas em Tamboril é baixo. Caso este que se evidencia quando são analisadas e parametrizadas as vazões produzidas pelos 42 poços tubulares públicos perfurados, situados na Sede do município. Estes poços são classificados em termos de vazão ou produção (Quadro 9). Em geral, as construções hídricas tamborilenses apresentam vazões baixas, vazões muito baixas e vazões pouco produtivas, sendo estas detectadas após o funcionamento contínuo de extração de água em alguns poços tubulares, depois de um determinado período.

Destaca-se, no Quadro 9, que foram registradas duas vazões em períodos diferentes. A primeira foi registrada de acordo com a SOHIDRA, ao término da construção dos poços tubulares, para determinar se os poços possuíam água suficiente para atender a demanda a qual foi solicitada, e para o correto dimensionamento dos equipamentos, como o uso ou não de um sistema de bombeamento. A segunda vazão foi colhida após um determinado período de funcionamento contínuo dos poços, com intuito de analisar o

comportamento e eficiência dessas construções hídricas. É de suma importância acompanhar a produção desses poços para que eles não entrem em colapso, assim, não afetando ou prejudicando as características naturais da região.

Quadro 9 – Classificação dos poços tubulares em relação à vazão.

<b>CLASSIFICAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES EM RELAÇÃO A VAZÃO</b>				
<b>ORDEM</b>	<b>VAZÃO APÓS PERFURAÇÃO (m³/h)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DA VAZÃO APÓS PERFURAÇÃO</b>	<b>VAZÃO APÓS FUNCIONAMENTO CONTÍNUO – COGERH (m³/h)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DA VAZÃO APÓS FUNCIONAMENTO CONTÍNUO</b>
PT 01	1,20	Muito Baixa	-	-
PT 02	4,40	Muito Baixa	-	-
PT 03	-	-	-	-
PT 04	-	-	-	-
PT 05	1,20	Muito Baixa	1,08	Muito Baixa
PT 06	1,00	Muito Baixa	-	-
PT 07	17,00	Baixa	-	-
PT 08	3,00	Muito Baixa	-	-
PT 09	21,00	Baixa	-	-
PT 10	18,00	Baixa	-	-
PT 11	2,60	Muito Baixa	-	-
PT 12	2,20	Muito Baixa	-	-
PT 13	1,50	Muito Baixa	-	-
PT 14	16,20	Baixa	9,00	Muito Baixa
PT 15	13,20	Baixa	9,36	Muito Baixa
PT 16	20,80	Baixa	1,80	Muito Baixa
PT 17	2,50	-	-	-
PT 18	3,00	Pouco Produtivo	0,72	Pouco Produtivo
PT 19	1,30	Muito Baixa	-	-
PT 20	3,30	Muito Baixa	2,16	Muito Baixa
PT 21	2,40	Muito Baixa	-	-
PT 22	13,00	Baixa	9,00	Muito Baixa
PT 23	7,50	Muito Baixa	2,52	Muito Baixa
PT 24	3,50	Muito Baixa	4,32	Muito Baixa
PT 25	6,70	Muito Baixa	3,96	Muito Baixa
PT 26	3,90	Muito Baixa	4,68	Muito Baixa
PT 27	6,00	Muito Baixa	5,76	Muito Baixa
PT 28	8,00	Muito Baixa	8,64	Muito Baixa
PT 29	4,00	Muito Baixa	-	-
PT 30	6,00	Muito Baixa	-	-
PT 31	17,00	Baixa	-	-
PT 32	2,00	Muito Baixa	-	-
PT 33	1,50	Muito Baixa	-	-
PT 34	1,40	Muito Baixa	-	-
PT 35	3,33	Muito Baixa	-	-
PT 36	1,77	Muito Baixa	-	-
PT 37	1,07	Muito Baixa	-	-
PT 38	3,30	Muito Baixa	-	-
PT 39	-	-	-	-
PT 40	-	-	-	-
PT 41	-	-	-	-
PT 42	12	Baixa	-	-

Fonte: Adaptado do Autor (2021).

Percebe-se que os poços tubulares públicos tamborilenses são de pequeno porte hídrico, porém, isso não diminui a importância e utilização como alternativa de abastecimento em períodos prolongados de estiagem. Por isso, esses poços necessitam de maiores cuidados e manutenções preventivas para recarregar a água dos aquíferos subterrâneos.

### 4.3 Parâmetros de qualidade da água dos poços tubulares de Tamboril

Na Sede de Tamboril, a distribuição do sistema de abastecimento municipal de água compreende uma malha com extensão de 40,552 Km de rede hídrica, que assegura uma cobertura de 99,2% de toda população tamborilense.

É imprescindível que a CAGECE do município monitore toda água que é ofertada para a população. Isso é possibilitado através das amostras coletadas em pontos estratégicos da rede. Nos poços tubulares, são retiradas amostras de cada poço que é injetado na rede de distribuição municipal e são analisados os parâmetros de maior relevância sanitária, como os de *Escherichia coli*, coliformes totais, CRL, cor e turbidez.

No ano de 2018, quando a cidade possuía abastecimento de água garantido em 100% por poços tubulares, foram registradas, de janeiro a dezembro, 157 amostras coletadas na rede, nas quais foram realizadas 748 análises (Quadro 10). Em relação aos resultados destas, 84,36% estavam conforme os padrões estabelecidos pelo anexo XX da Portaria do Ministério da Saúde do Brasil. Segundo a CAGECE, a qualidade da água dos poços tubulares que abastecem o sistema de Tamboril é apropriada para adequá-la aos padrões de potabilidade (CAGECE, 2019).

Quadro 10 – Parâmetros analisados nas amostras coletadas nos poços em Tamboril.

PARÂMETROS ANALISADOS A PARTIR DAS AMOSTRAS COLETADAS EM TAMBORIL													
MÊS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<i>Escherichia Coli</i>	Nº De Amostras Exigidas	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Efetuadas	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Em Conformidade	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
COLIFORMES TOTAIS	Nº De Amostras Exigidas	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Efetuadas	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Em Conformidade	14	10	13	12	10	11	13	13	13	13	13	13
CLORO RESIDUAL LIVRE (CRL)	Nº De Amostras Exigidas	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Efetuadas	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Em Conformidade	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
COR	Nº De Amostras Exigidas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Nº De Amostras Efetuadas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Nº De Amostras Em Conformidade	6	3	8	6	5	4	6	2	4	3	4	1
TURBIDEZ	Nº De Amostras Exigidas	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Efetuadas	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	Nº De Amostras Em Conformidade	7	9	12	10	8	7	11	7	12	11	11	12

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Percebe-se, analisando o Quadro 10, que os parâmetros de *Escherichia Coli* e CRL permaneceram em conformidade em toda sua totalidade. Enquanto as amostras de coliformes totais, cor e turbidez deram alterados. As amostras analisadas de coliformes totais ficaram em desconformidade entre os meses de fevereiro e junho. Em referência a cor, não se alcançou o percentual de 100% de conformidade durante o período de coleta das amostras. Destaca-se que a alteração da cor não trará problemas à saúde quando detectada sua causa, porém, é um dos principais focos de reclamações dos usuários. Por fim, a turbidez também

não atingiu 100% de conformidade. Isso está ligado diretamente a não presença de filtros na saída da água do poço.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), entre os anos de 2006 a 2018, em termos de turbidez da água distribuída em Tamboril (Quadro 11), foram coletadas e analisadas o total de 62.053 amostras. Desse total, 31.299 amostras obtiveram resultados fora do padrão de potabilidade exigido, o que representa 50,44% dos 100% de amostras analisadas (SNIS, 2020).

Quadro 11 – Amostras coletadas e analisadas de turbidez da água distribuída.

<b>TURBIDEZ</b>		
<b>ANO</b>	<b>QUANTIDADE DE AMOSTRAS PARA TURBIDEZ (ANALISADAS)</b>	<b>QUANTIDADE DE AMOSTRAS PARA TURBIDEZ FORA DO PADRÃO</b>
2006	242	0
2007	3.457	661
2008	1.947	58
2009	96	66
2010	3.935	2.896
2011	8.359	88
2012	7.276	1.335
2013	5.766	5.093
2014	5.752	5.363
2015	5.836	5.045
2016	6.666	3.146
2017	5.355	3.397
2018	7.366	4.151

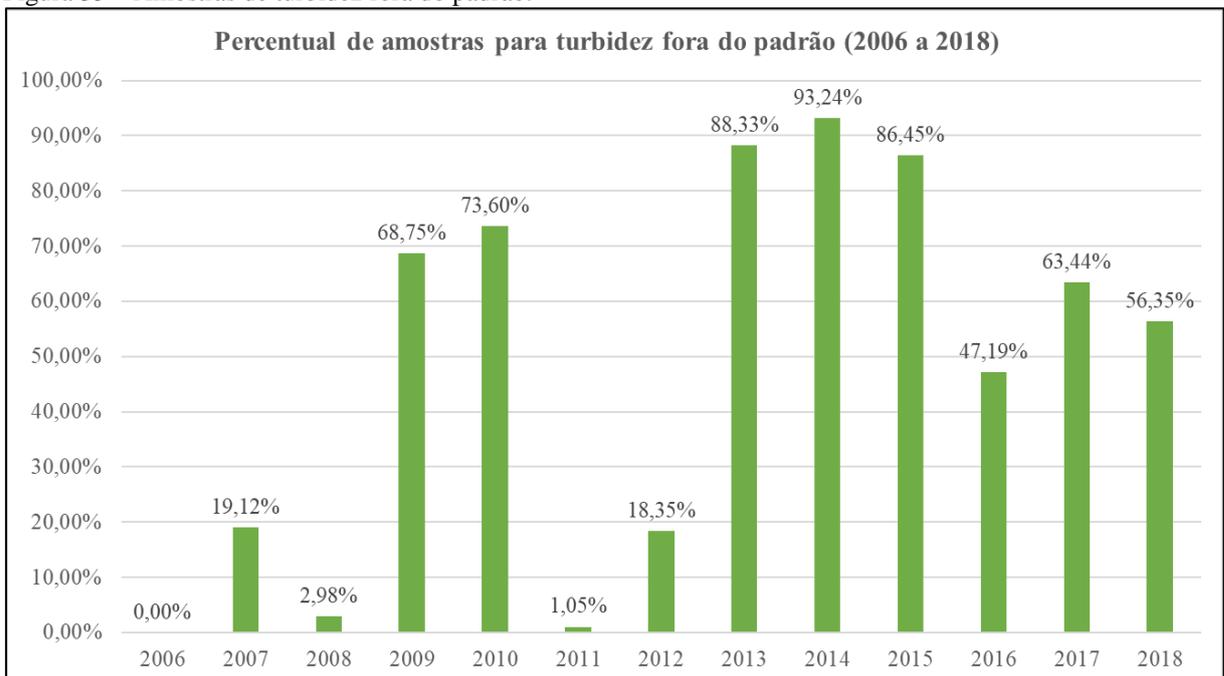
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Entre os anos de 2006 e 2010, período em que Tamboril era abastecido somente pelo Carão, destacaram-se os anos de 2007, 2009 e 2010, por apresentarem o maior número de análises fora do padrão (Quadro 11). Em 2007, o volume do Carão atingiu 3,91 hm<sup>3</sup>, ou seja, 14,91% de seu volume total, além disso, houve um grande número de amostras coletadas nesse período, sendo que 19,12% de amostras encontraram-se fora do padrão de turbidez. Nos anos de 2009 e 2010, o açude apresentou volume acima de 50% do volume total. Contudo, em 2009, houve o menor número de água coletada em comparação a todos os anos registrados no SNIS.

Durante o período de 2011 a 2014 (Figura 35), quando o volume do reservatório Carão começou a perder volume significativamente, o número de amostras fora do padrão de turbidez atingiu seu pico. Especificamente, nos anos de 2013 e 2014, quando a carga hídrica do açude estava bastante defasada, a porcentagem de amostras com inconformidade atingiu 88,33% e 93,24%, respectivamente. Ao final do ano de 2014, o Carão foi desativado e poços tubulares profundos passaram a suprir totalmente a rede de abastecimento do município.

Em 2015 e 2018 (Figura 35), quando Tamboril possuía 100% de rede de distribuição municipal alimentada por poços tubulares, os índices de amostras fora do padrão de turbidez continuaram elevados. Isso se dá principalmente pela falta de tratamento adequado da água explotada. Segundo a CAGECE do município, se um poço apresenta alteração na turbidez no período de recarga do aquífero, não se faz a retirada de água, ou seja, a água permanece estática até atingir seu nível operacional novamente. A solução mais simples é captar a água de forma intermitente até os sais minerais e partículas suspensas no poço se solubilizaram e diluírem devido à grande retirada de água.

Figura 35 – Amostras de turbidez fora do padrão.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Em termos de coliformes totais, de 2006 a 2018, foram registradas 5199 amostras no SNIS, dentre as quais, apenas 368 (7,08%) amostras estavam fora do padrão de potabilidade. Salienta-se que os índices de inconformidade de coliformes totais estiveram mais acentuados nos anos de 2014 a 2018, período que o município foi abastecido por poços tubulares profundos. Esse período representa 72,55% das amostras fora do padrão, ou seja, no total de 368 amostras fora do padrão, 267 amostras foram no período de 2014 a 2018. Nos anos de 2012 e 2013, quando o reservatório Carão estava em período de estiagem, os índices de coliformes totais foram maiores em comparação aos anos anteriores, devido ao volume hídrico baixo do reservatório (Quadro 13).

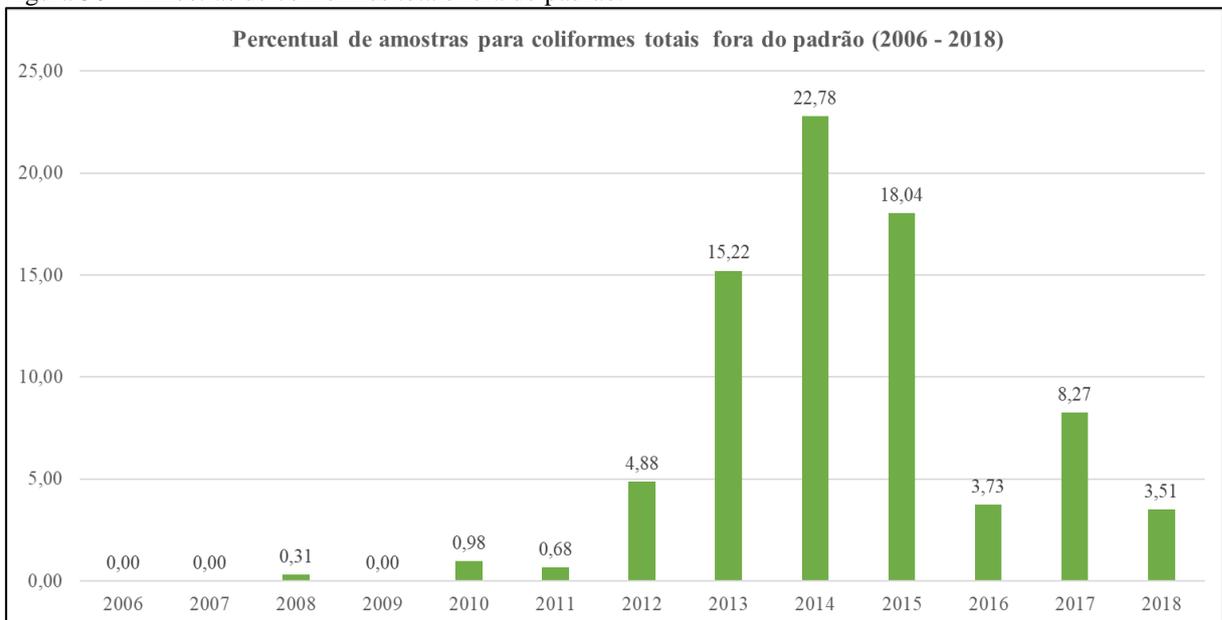
Quadro 12 – Amostras coletadas e analisadas de coliformes totais da água distribuída.

COLIFORMES TOTAIS		
ANO	QUANTIDADE DE AMOSTRAS PARA COLIFORMES TOTAIS (ANALISADAS)	QUANTIDADE DE AMOSTRAS PARA COLIFORMES TOTAIS COM RESULTADOS FORA DO PADRÃO
2006	120	0
2007	316	0
2008	321	1
2009	96	0
2010	305	3
2011	734	5
2012	451	22
2013	460	70
2014	474	108
2015	460	83
2016	482	18
2017	496	41
2018	484	17

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Observa-se que o pico de amostras fora do padrão para coliformes totais foi no ano de 2014 (Figura 36), atingindo 22,78%. Este período corresponde à mudança de fonte abastecedora, quando o reservatório Carão entrou na cota de volume mínimo operacional e desintegrou a rede de distribuição municipal, havendo o início da utilização de poços tubulares profundos como solução de abastecimento de água do município. Entre os anos de 2015 e 2018, os índices de coliformes totais obtiveram uma redução gradativa, porém, permaneceram elevados, de acordo com os parâmetros de potabilidade de coliformes totais.

Figura 36 – Amostras de coliformes totais fora do padrão.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Por possuir aquíferos de características predominantemente cristalinas, com intensa presença de sais minerais e partículas suspensas, faz-se necessário maior efetivação na desinfecção e filtração na saída da água dos poços tubulares profundos com intuito de melhorar o produto fornecido a população de Tamboril.

#### 4.4 Tratamento das águas dos poços tubulares do município de Tamboril

Como citado anteriormente, na Sede de Tamboril, o principal processo de desinfecção é realizado por meio dos cloradores de pastilhas de hipoclorito de cálcio (SSD). Dentre os 42 poços públicos perfurados e registrados na Sede, todos os que foram utilizados para suprir uma demanda hídrica foram contemplados com clorador de pastilha de cloro na saída da água do poço (Quadro 13).

Quadro 13 – Cadastro de poços com SSD.

POÇOS COM SISTEMAS DE SIMPLES DESINFECÇÃO (SSD) DURANTE FUNCIONAMENTO							
ORDEM	NOMENCLATURA	PRESEÇA DE CLORADOR	QUALIDADE DA ÁGUA	ORDEM	NOMENCLATURA	PRESEÇA DE CLORADOR	QUALIDADE DA ÁGUA
PT 01	SSD 2	Sim	Apropriada	PT 22	SSD 23	Sim	Apropriada
PT 02	SSD 5	Sim	Apropriada	PT 23	SSD 24	Sim	Apropriada
PT 03	-	Não	Imprópria	PT 24	SSD 25	Sim	Apropriada
PT 04	-	Não	Imprópria	PT 25	SSD 26	Sim	Apropriada
PT 05	SSD 6	Sim	Apropriada	PT 26	SSD 27	Sim	Apropriada
PT 06	SSD 14	Sim	Apropriada	PT 27	SSD 28	Sim	Apropriada
PT 07	-	Não	Imprópria	PT 28	SSD 29	Sim	Apropriada
PT 08	-	Não	Imprópria	PT 29	SSD 30	Sim	Apropriada
PT 09	-	Não	Imprópria	PT 30	SSD 31	Sim	Apropriada
PT 10	-	Não	Imprópria	PT 31	-	Não	Imprópria
PT 11	-	Não	Imprópria	PT 32	-	Não	Imprópria
PT 12	-	Não	Imprópria	PT 33	SSD 34	Sim	Apropriada
PT 13	-	Não	Imprópria	PT 34	-	Não	Apropriada
PT 14	SSD 15	Sim	Apropriada	PT 35	-	Não	Imprópria
PT 15	SSD 16	Sim	Apropriada	PT 36	-	Não	Imprópria
PT 16	SSD 17	Sim	Apropriada	PT 37	SSD 38	Sim	Apropriada
PT 17	SSD 18	Sim	Apropriada	PT 38	SSD 39	Sim	Apropriada
PT 18	SSD 19	Sim	Apropriada	PT 39	SSD 40	Sim	Apropriada
PT 19	SSD 20	Sim	Apropriada	PT 40	SSD 41	Sim	Apropriada
PT 20	SSD 21	Sim	Apropriada	PT 41	-	Não	Imprópria
PT 21	SSD 22	Sim	Apropriada	PT 42	-	Não	Imprópria

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

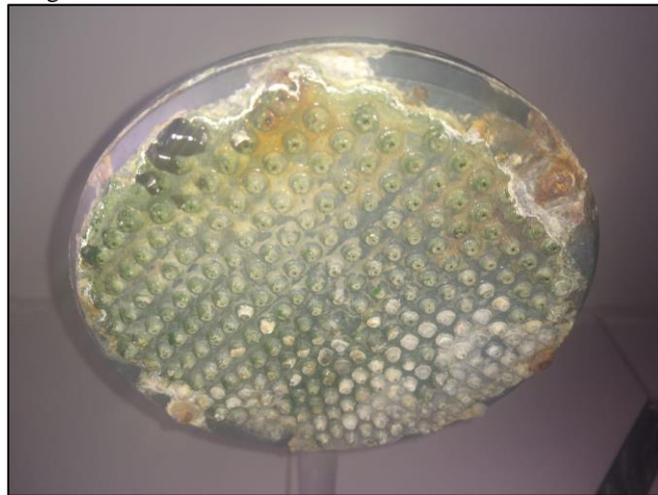
A CAGECE do município passou a utilizar o mesmo clorador em poços que foram integrados na mesma rede local de distribuição. Esse fato reduziu o número de cloradores acoplados nos poços tubulares e aumentou o uso de pastilhas de hipoclorito de cálcio, com intuito de compensar a desintegração delas.

Contudo, o clorador não garante total qualidade da água. A água captada pelos poços contém partículas suspensas de finos residuais do solo e sais minerais como ferro e manganês, dentre outros, que acabam sendo injetados na rede de distribuição municipal de água sem qualquer tipo de filtração na saída do fluxo hídrico. Isso está diretamente relacionado com a cor e turbidez da água explotada.

O excesso de uso de cloro ou de produtos à base de cloro para tratamento da água bruta proveniente dos poços tubulares geram diversos problemas no produto entregue aos usuários. As principais alterações são no odor e sabor, além de interferir na cor e turbidez,

sendo estes relacionados à reação do cloro com o ferro existente no aquífero. Ressalta-se que o excesso de cloração, em contato com sais minerais presentes na água extraída de poços cristalinos ou fissurais como cálcio e magnésio, provocam aparecimento de manchas esbranquiçadas em chuveiros (Figura 37), mancham roupas, materiais utilizados em cozinha e louças e metais de banheiros, incrustam tubulações de revestimento de poços e de distribuição de água, dentre outros (MARTINS NETO et al., 2006).

Figura 37 – Chuveiro esbranquiçado devido à presença de magnésio e cálcio.



Fonte: Autor (2021).

Segundo a CAGEGE do município, os poços que apresentaram água imprópria, ou seja, a presença de coliformes totais na sua composição, foram desativados, pois o sistema de simples desinfecção (SSD) não é o mais efetivo e apropriado para esses casos. Portanto, a empresa não utiliza esses poços por estarem incompatíveis com o método de desinfecção utilizado pela companhia.

#### **4.5 Análise e discussão dos resultados**

O Estado do Ceará, por possuir clima predominantemente semiárido, sofre com constantes crises hídricas, devido, principalmente, aos baixos índices de precipitação pluviométrica. Isso é um fato que faz com que os mananciais superficiais, que são responsáveis por reservar as águas para abastecimento público, tenham sua recarga hídrica incerta e não confiável.

As crises hídricas vivenciadas em alguns territórios cearenses, principalmente aqueles que apresentam características de sertão, são historicamente constantes. É de domínio público os registros pluviométricos diários, volumes diários dos reservatórios superficiais, séries históricas de dados hídricos de cada região cearense. Isso implica que situações de seca

e longos períodos de estiagem, a qual provocam problemas de abastecimento de água por mananciais superficiais, possam ser identificados, planejados e solucionados com antecedência.

É de total responsabilidade dos órgãos encarregados pelo controle e gestão dos recursos hídricos, seja ele de âmbito nacional ou estadual, analisarem os dados hídricos históricos e preverem uma possível falta d'água com intuito de traçar estratégias e planos de contingências para o enfrentamento desse problema. Por isso, quando se há uma tardia identificação de crise hídrica de uma determinada cidade e isso gera uma urgência em sua solução, é em decorrência de uma gestão dos recursos hídricos deficiente ou até inexistente. Assim, é necessário que, principalmente, os gestores municipais juntamente com os gestores estaduais, acompanhem de perto a situação dos mananciais superficiais de sua região, para que, quando houver um possível período de estiagem ou um colapso de aporte do reservatório de abastecimento público, o município não sofra tanto e tenha suporte para manter sua população abastecida.

Em Tamboril, a partir do ano de 2012, os índices pluviométricos registrados foram muito baixos, quando comparados ao ano anterior (Figura 27). Observou-se que a média pluviométrica na cidade é 630,28 mm, comparando os índices pluviométricos entre os anos de 1986 e 2019. Assim, 56% dos anos obtiveram regime pluviométrico abaixo da média do município e estes estão relacionados aos anos que o município mais sofreu com o período de estiagem (Figura 29). Destaca-se, que os anos que registraram a pluviometria igual ou acima da média, 44% dos anos contabilizados, correspondem aos registros de volume em que o reservatório Carão mais recebeu aporte hídrico, como demonstrado na Figura 29. Portanto, para que Tamboril garanta fornecimento seguro de água para sua população, é preciso que o município tenha uma boa quadra chuvosa com registros acima da média pluviométrica.

Nesse sentido, a linha de tendência móvel é um dos parâmetros mais importantes para prever um futuro período de estiagem (Figura 27). Esta informa a tendência do município a registrar regimes pluviométricos altos ou baixos. Historicamente, Tamboril possui oscilações nos seus registros de chuva e períodos de estiagem maiores que períodos chuvosos. Isso implica que existem picos de chuvas e após esse pico, o município vai diminuindo gradativamente seus índices pluviométricos anuais até estes começarem a aumentar novamente, formando um ciclo pluviométrico bastante oscilatório.

Em 2009, foi o ano que obteve o maior regime pluviométrico em todos os anos registrados e monitorados pelo município, 1319,50 mm (Figura 27). Esse fato é justificado pelo fenômeno *La Niña*, que é resultado do esfriamento das águas do pacífico e isso altera as

características climatológicas das zonas de convergência intertropicais que estão diretamente ligadas as regiões de semiárido, como o Estado do Ceará. Ressalta-se que esse fenômeno acontece em intervalos médios de 2 a 7 anos, contudo, devido aos efeitos climáticos no mundo, esse intervalo pode se tornar maior, afetando a incidência de um regime pluviométrico alto nessas regiões.

Assim, após o pico de chuva em 2009, a tendência de chuva no município teve redução progressiva. Não obstante, o Carão começou a apresentar perdas significativas em seu volume d'água, dando início a pior seca do reservatório. As cotas de volume foram reduzindo gradativamente, até que em 2014, o açude atingiu pela primeira vez, a cota de volume morto. Como o município tem uma série histórica de dados pluviométricos bastante irregulares e oscilatórios (Figura 27), a recarga do açude Carão, em seus 34 anos de história, mostra-se incerta e cabe aos gestores públicos municipais, responsáveis pelos recursos hídricos da cidade, acompanharem as tendências climatológicas e pluviométricas para anteceder uma possível crise hídrica.

Diante dessa realidade, alternativas para abastecimento de água e suprimento da demanda hídrica da população tornaram-se urgentes em Tamboril. O uso de poços tubulares profundos sobressaiu-se como uma das soluções mais viáveis para convívio com a seca, pois as águas subterrâneas representam 98% da água doce disponível no mundo e até mesmo em regiões com climas semiáridos, possuem essa disponibilidade hídrica.

Contudo, deve-se ter os devidos cuidados ao se construir uma obra hidráulica subterrânea, que possui como principal finalidade o consumo humano. Como os domínios hidro geológicos da região tamborilense são compostos, em quase sua totalidade, por rochas cristalinas, faz-se necessário construir os poços tubulares de forma adequada para evitar contaminações, equipá-los com sistemas de bombeamento, desinfecção e filtragem da água na saída do poço, bem como a realização de análises químicas, para garantir que a água do aquífero subterrâneo potável, dentro dos parâmetros de potabilidade estabelecidos pelo Anexo XX da portaria do Ministério da Saúde do Brasil.

Em termos construtivos, os poços tubulares em aquíferos cristalinos necessitam da implantação de um revestimento de PVC geomecânico (Figura 15) até atingir a rocha perfurada, do processo de cimentação entre o revestimento e a parede da perfuração, além da execução de uma laje de proteção sanitária no entorno da boca do poço (Figura 8). A cimentação e a laje de proteção sanitária minimizam a contaminação da água presente no poço tubular, pois quando há o processo de infiltração e percolação da água no solo, alguns componentes tóxicos ou matéria orgânica que estão na superfície podem ser absorvidos

juntamente com essa água e posteriormente, quando há o processo de recarga do aquífero, poderão tornar a água subterrânea imprópria para uso.

Notou-se que, na cidade de Tamboril, os poços tubulares não possuem a cimentação e laje de proteção sanitária. Isso evidencia que estas construções hídricas subterrâneas estão suscetíveis a contaminação, na qual, dependendo do nível de concentração e do tipo de contaminante, podem tornar a água imprópria para consumo. Além disso, os poços tubulares públicos tamborilenses não possuem nenhum tipo de proteção em seu entorno (Figura 31). É necessário ter um perímetro cercado por grades de segurança para evitar a contaminação da água tanto por pessoas quanto por animais, além de garantir um espaço seguro e limpo para desenvolvimento do poço.

Outros equipamentos devem ser instalados para aumentar a eficiência da qualidade e tratamento da água que será posteriormente fornecida para consumo humano. São estes, bombas submersas; sistema de desinfecção que geralmente é a base de cloro e filtro na saída da água do poço para reter as partículas suspensas. A bomba submersa (Figura 19), principalmente em poços tubulares de abastecimento público, são utilizadas para aumentar a vazão fazendo que a água consiga atingir pontos com cotas piezométricas maiores do que a do poço. O sistema de desinfecção tem como objetivo combater as matérias orgânicas presentes na água do poço.

Os produtos à base de cloro são excelentes para desinfecção, pois tem como característica principal, a alta capacidade oxidante da matéria orgânica e inorgânica, além de ter ação germicida, como o hipoclorito de cálcio (Figura 22). O filtro na saída da água do poço possui o potencial de reter as partículas suspensas, bem como os sais minerais em excesso que, em contato com o cloro, podem provocar reações químicas gerando problemas como incrustações de tubulações, esbranquiçamento de chuveiros (Figura 37) e louças sanitárias. Os filtros auxiliam, portanto, no melhoramento da turbidez e na cor da água do poço.

Em Tamboril, percebeu-se que o procedimento utilizado para tratamento da água é ineficiente levando em conta os dados registrados no SNIS entre os anos de 2006 e 2018 e da CAGECE no ano de 2018 (Quadro 10). Por possuir apenas um sistema de desinfecção simples (Figura 32) sem a presença de um filtro na saída do poço, observou-se que a água fornecida a população durante o período de utilização dos poços tubulares para abastecimento público, apresentava muitas amostras fora do padrão de potabilidade. As análises químicas realizadas pela CAGECE do município priorizam os parâmetros de maior relevância sanitária como o cloro Residual Livre (CRL), turbidez, cor, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Contudo, no SNIS, os dados referente a qualidade água são a turbidez e coliformes totais. Portanto, quando o município presenciou o início do processo de colapso de aporte do reservatório Carão, em meados de 2013, a CAGECE não conseguiu manter a qualidade de água que anteriormente era fornecida.

Assim, em dezembro de 2014, após o desligamento do açude Carão na rede de distribuição municipal e a integração de poços tubulares para suprir a demanda hídrica populacional, tornou-se urgente a perfuração de poços sem ter havido qualquer planejamento para anteceder essa crise hídrica. Isso implicou em perfurações sem projeto, sem estudo prévio e com condições mínimas de projeto e qualidade da água.

Os impactos gerados pela transição do Carão para os poços tubulares foram bastante significativos. A qualidade da água fornecida a população tamborilense, que já estava ruim em 2013, piorou nos anos de 2014 e 2015. Observa-se que, no Quadro 11 e Quadro 12, entre 2013 e 2015, a qualidade da água do abastecimento de Tamboril foi a pior já entregue à população tamborilense. Em 2013, o açude Carão estava funcionando com volume de água baixo e, por isso, os resíduos orgânicos presentes na água do reservatório estavam bastante concentrados. Isso dificulta o tratamento, pois é necessário aumentar a eficiência na estação de tratamento. Entre 2014 e 2015, os poços obtiveram os índices de turbidez e coliformes totais bastante alterados.

Quando não existe planejamento e gestão adequada, as dificuldades para implantação de uma alternativa de abastecimento de água se tornam mais complexas. Dessa forma, apenas quando o Carão atingiu seu volume morto, iniciou-se o processo de perfuração dos poços com obtivo de evitar a paralisação de abastecimento de água. Quando se injetaram os poços tubulares, não houve um período para teste ou para planejar uma instalação adequada para evitar que a fornecida fosse considerada de péssima qualidade.

Após dois anos de funcionamento dos poços tubulares, conseguiu-se reduzir os níveis de coliformes (Figura 36) e turbidez (Figura 35). A grande quantidade de coliformes totais na água pode ser justificada pelo fato da estrutura do poço tubular não estar adequada, estando sujeita à contaminação e por não possuir nenhum sistema de filtragem. Sendo assim, a água é injetada na rede de distribuição municipal com a várias partículas suspensas. Destaca-se que um dos principais motivos de reclamação da população tamborilense para com a água fornecida era a falta de filtragem e a alta utilização de hipoclorito de cálcio para tentar combater a presença de coliformes totais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de Tamboril sofre constantemente com a imprevisibilidade pluviométrica e com os extensos períodos de estiagem que afetam, diretamente, as condições de vida e trabalho da sua população. Devido a sua localização geográfica, onde predomina o clima semiárido, o regime pluviométrico é bastante oscilatório. Quando uma região possui essas condições climáticas e geográficas, o armazenamento e distribuição de água em mananciais superficiais tornam-se cada vez mais complexos.

A recarga hídrica anual do principal reservatório público da cidade de Tamboril, Açude Carão, é incerta e, desta forma, a cidade necessita de soluções para diminuir os impactos causados pela irregularidade das chuvas. Nesse sentido, cabe aos gestores públicos, responsáveis pelo controle e gestão dos recursos hídricos, acompanharem e planejarem medidas de enfrentamento a seca ou estiagem, para que o município garanta o abastecimento hídrico para toda população.

No período de 2014 a 2019, o Carão atingiu, pela primeira vez na história, o nível de volume morto e posteriormente entrou em colapso de aporte, o que tornou urgente a implementação de medidas para evitar que a cidade ficasse sem o fornecimento de água. Nesse ínterim, o município de Tamboril passou a ser abastecido por poços tubulares profundos, como principal alternativa para suprimento hídrico.

Diante desse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar os poços tubulares profundos utilizados como solução de abastecimento de água de Tamboril. Os resultados apontaram que a falta de planejamento dos gestores públicos, somada a ineficiência do tratamento da água e a falta de estrutura adequada dos poços tubulares, são os principais causadores dos problemas encontrados nessa pesquisa. Isso pode ter ocorrido em decorrência da urgência da situação e a tardia identificação do problema. Dessa forma, os poços públicos municipais não contam com a presença da cimentação, laje de proteção sanitária, filtros na saída da água do poço, grades de segurança, limpeza da área de recarga do aquífero e proteção do quadro de comando e sua fiação. Ademais, os poços tubulares profundos também se encontram expostos a qualquer tipo de intervenção, seja por pessoas ou animais.

Ressalta-se que a qualidade da água distribuída à população tamborilense, durante a utilização dos poços, obteve os piores dados registrados de relevância sanitária pela CAGECE do município, como CRL, *Escherichia Coli*, turbidez, cor e coliformes totais. Além disso, as reações químicas causadas pela utilização de hipoclorito de cálcio, com a intensa presença de sais minerais que não são filtrados na saída da água dos poços, geram transtornos

à população, por conta das incrustações de tubulações e o esbranquiçamento dos aparelhos sanitários e utensílios culinários.

Apesar de todas as dificuldades encontradas no abastecimento público municipal durante a utilização dos poços tubulares profundos, a CAGECE de Tamboril conseguiu atender toda população durante o período crítico em que o Carão esteve em colapso de aporte. Contudo, com maior planejamento e gestão dos recursos hídricos municipais, os períodos de crises hídricas poderiam ter sido identificados com antecedência. Esse contexto poderia ter fornecido um maior tempo para realização de estudos hidro geológicos e ter garantido: uma maior eficiência para encontrar água nos aquíferos subterrâneos; a construção de uma estrutura adequada para os poços tubulares profundos; e uma maior qualidade da água.

Ressalta-se que esta pesquisa possuiu limitações, no que concerne ao acesso às informações sobre a etapa construtiva dos poços tubulares, devido à pouca quantidade de relatórios técnicos referentes à execução dessa etapa em Tamboril, constando as informações gerais da perfuração, dos aquíferos e dados hidrodinâmicos dos aquíferos perfurados, além das etapas construtivas que foram realizadas. Além disso, destaca-se que as informações sobre o acompanhamento das ocorrências dos poços, durante o período que foram utilizados, são pouco conclusivas, em virtude da falta de organização e detalhamento. Por fim, a literatura acerca da construção dos poços tubulares ainda é escassa, o que dificultou a discussão dos resultados.

Evidencia-se que este trabalho poderá contribuir para o enriquecimento do arcabouço teórico e científico sobre utilização de poços profundos e planejamento hídrico em regiões do semiárido nordestino. Além disso, os resultados encontrados poderão colaborar com a melhoria da gestão, distribuição e tratamento da água subterrânea disponibilizada na Sede do município, por meio do compartilhamento dos resultados encontrados, acerca da utilização dos poços tubulares profundos como solução de abastecimento de água, com a gestão municipal vigente, além de tornar as informações acessíveis a toda população, para uma melhor fiscalização das ações governamentais.

Como continuação dessa pesquisa, sugere-se que sejam desenvolvidas rotinas de análises para verificação de contaminação do lençol freático por esgoto doméstico e, além disso, é imprescindível que se busque soluções alternativas para tratamento da água distribuída, pois a imprevisibilidade hídrica da região exige um bom plano de gestão de recursos hídricos que garanta o abastecimento de água da população tamborilense.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. **Dinamarca reduziu consumo per capita de água em 35% nos últimos 20 anos.** 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/dinamarca-reduziu-consumo-capita-de-agua-em-35-nos-ultimos-20-anos>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidrogeologia conceitos básicos.** 2016a. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-1-hidrogeologia-leonardo-de-almeida.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Poços para Captação das Águas Subterrâneas.** 2016b. Disponível em: <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-2-hidrogeologia-pocos-fabricio-bueno.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **CNARH 40.** Dados do poço. 2016c. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-5-campos-dados-dos-pocos-no-cnarh-40-leticia-moraes.pdf/view>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Órgãos gestores.** 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/orgaos-gestores>. Acesso em: 23 maio 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Água subterrânea.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>. Acesso em: 04 mar. 2020a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Poços e águas subterrâneas.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/regulacao/saiba-quem-regula/aguas-subterraneas/aguas-subterraneas>>. Acesso em: 04 mar. 2020b.
- AGUACENTER. **Filtros de aço de carbono tipo Nold.** Disponível em: <https://www.aguacenter.com.br/produtos/filtros-de-aco-carbono-tipo-nold>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- ARY, J. C. A. FNE e o Semiárido: Da Obrigação à Otimização. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 44, n. especial, p. 199-212, jun. 2013.
- ASPERBRAS. **Tudo revestimento geomecânico.** Disponível em: <https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/TUBO-REVESTIMENTO-GEOMEC%C3%82NICO/147/>. Acesso em: 05 mai. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS -ABAS. Perfuração de poços. **Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**, n. 116, jul. 2001. Disponível em: <https://www.abas.org/abasinforma/116/paginas/21.htm>. Acesso em 06 mai. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. **Poços para captação de águas**. Disponível em: <https://www.abas.org/pocos-para-captacao-de-agua/>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12244**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.244-Construc%C3%A3o-de-po%C3%A7o-para-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-subterr%C3%A2nea.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13604**: filtros e tubos de revestimento em pvc para poços tubulares profundos. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/159263083/NBR-13604-Filtros-e-Tubos-de-Revestimento-Em-PVC-Para-Pocos-Tubulares-Profundos>. Acesso em: 22 mai. 2020.

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A. Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. **Anais [...]**. Natal: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. p. 1-12.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Água Subterrânea: Hidráulica de Poços**. Disponível em: [http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/Hidraulica%20de%20Pocos\\_Anteor%20R%20Barbosa%20Jr.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/Hidraulica%20de%20Pocos_Anteor%20R%20Barbosa%20Jr.pdf). Acesso em: 02 nove. 2020.

BLOG DO MANUEL518 SALES. **Tamboril** – Prefeito Ramiro comunica a interligação de poços profundos para garantir abastecimento da sede. Tamboril, 2014. Disponível em: <https://blogdomanuelsales.com.br/2014/12/18/tamboril-prefeito-ramiro-comunica-a-interligacao-de-pocos-profundos-pata-garantir-abastecimento-da-sede/>. Acesso em: 24 set. 2020.

BLOG DO MANUEL SALES. **Com mais dois poços perfurados na sede Tamboril terá 10 poços interligados na rede de abastecimento**. 2015. Disponível em: <https://blogdomanuelsales.com.br/2015/02/09/com-mais-dois-pocos-perfurados-na-sede-tamboril-tera-10-pocos-interligados-na-rede-de-abastecimento/>. Acesso em: 24 set. 2020.

BOITUHIDRO. **Revestimento de poço artesiano**. Disponível em: <https://boituhidro.com.br/perfuracao-poco-artesiano-preco-valor/revestimento-poco-artesiano/>. Acesso em: 04 jun. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

BRASIL. Lei Nº 9433, de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamente 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 7990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: Sessão 1, Brasília, p. 470, 8 jan. 1997.

BRASIL. **Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 03, de 03 de outubro de 2017.** Dispõe sobre o controle e a vigilância da qualidade da água. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/uploads/4/14-png-sumare/portaria-consolidacao-5-anexo-xx.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2020.

CARVALHO, M. A.; ALBRECT, K. J. Métodos de perfuração e vazão dos poços tubulares profundos na área urbana de Cuiabá – MT. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2004, Mato Grosso. **Anais...** Mato Grosso: CBAS, 2004. p. 1-14.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Coordenadoria de Gestão dos Recursos Hídricos. **Outorga e licença de obras hídricas.** Manual de procedimentos. Fortaleza: SRH, 2008.

CEARÁ. **Apresentação.** Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará – SRH. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/apresentacao/>. Acesso em: 04 mar. 2020a.

CEARÁ. **Secretaria do Meio Ambiente.** Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/>. Acesso em: 04 mar. 2020b.

CEARÁ. **SOHIDRA.** Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/institucional/>. Acesso em: 02 nov. 2020c.

CEARÁ. Portal Hidrológico do Ceará. **Nível diário por reservatório.** Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/volume>. Acesso em: 04 mar. 2020d.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará – SRH. **Outorga.** Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/outorga/>. Acesso em: 22 maio. 2020e.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Águas subterrâneas.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>. Acesso em 04 Mar. 2020a.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Hidrogeologia.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/hidrogeologia/>. Acesso em: 04 mar. 2020b.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ – CAGECE. **Relatório anual para informação ao consumidor.** 2019. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Flores.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2020.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ – CAGECE. **Quem somos.** Nossa história. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/quem-somos/historia/>. Acesso em: 02 nov. 2020a.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ – CAGECE. **Organograma Estadual.** Nossa história. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/organograma/cagece/>. Acesso em: 02 nov. 2020b.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – COGERH. **Atlas dos recursos hídricos do Ceará**. 2019a. Disponível em: <http://atlas.cogerh.com.br/>. Acesso em: 04 mar. 2020.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – COGERH. **Histórico**. 2019b. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/historico/>. Acesso em 27 mai. 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Diagnóstico do Município de Tamboril**. Brasília – DF: CPRM, 1998a.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Minas e Metalurgia. Ministério do Meio Ambiente, Recursos hídricos e da Amazônia Legal. Secretaria de Recursos Hídricos. Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos das Secas. **Noções básicas sobre poços tubulares**. Brasília – DF: CPRM, 1998b.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Minas e Metalurgia. Ministério do Meio Ambiente, Recursos hídricos e da Amazônia Legal. Secretaria de Recursos Hídricos. Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos das Secas. **Execução de Testes de Bombeamento em Poços Tubulares**. Brasília – DF: CPRM, 1998c.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Aquíferos**. 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Aquiferos-1377.html>. Acesso em: 04 mar. 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Rochas**. 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html>. Acesso em: 04 mar. 2020.

DIOCESE DE CRATEÚS. **Paróquia de Santo Anastácio em Tamboril**. Disponível em: <https://www.diocesedecrateus.net.br/tamboril-paroquia-de-santo-anastacio/>. Acesso em: 24 set. 2020.

DH ÁGUAS. **Informações extras**. Conceitos básicos sobre poços artesianos. Disponível em: <http://www.dhaguas.com.br/index.php?act=info>. Acesso em: 22 Jun. 2020.

ECODEBATE. **Águas subterrâneas**: essenciais para o abastecimento público. 2011. Disponível em: <http://www.abas.org/cimas/ivcimas/iicimas/clipping/EcoDebate.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2020.

FASTFILTROS. **Balde 14 Kg Pastilhas Tablete Cloro Hypocal Consumo Humano**. Disponível em: <https://www.fastfiltros.com.br/toda-a-loja/dosador-de-cloro/balde-14-kg-pastilhas-tablete-cloro-hypocal-consumo-humano->. Acesso em: 08 ago. 2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. Departamento de Meio Ambiente. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Orientações para a utilização de Águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: FIESP, 2005.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. **Sistemas meteorológicos causadores de chuva na região nordeste do Brasil.**

Disponível em:

[http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico\\_chuvas\\_postos\\_pluviometricos/entender/entender2.htm](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/entender/entender2.htm). Acesso em: 12 nov. 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades: utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela FUNASA.**

Brasília - DF: Funasa, 2014. 36 p. Disponível: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf). Acesso em: 02 nov. 2020.

GEOSCAN. **Como definir o melhor local para a perfuração de um poço?** Disponível em:

<https://www.geoscan.com.br/blog/melhor-local-para-perfuracao-de-poco-artesiano/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HIDRONOVA. **Nossos serviços.** Serviços de perfuração, manutenção/limpeza e recuperação de poços artesianos. Disponível em: <http://www.hidronova.com.br/servicos/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

HIDROSUPRIMENTOS. **Desenvolvimento de poços de monitoramento.** Disponível em:

[http://www.hidrosuprimentos.com.br/desenvolvimento\\_poco\\_monitoramento.php](http://www.hidrosuprimentos.com.br/desenvolvimento_poco_monitoramento.php). Acesso em: 14 mai. 2020.

IDEAL TUBOS. **Tubo de aço galvanizado.** Disponível em:

<https://www.idealtubos.com.br/tubo-aco-galvanizado>. Acesso em: 20 de mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Tamboril.** 2010a.

Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/tamboril/panorama>. Acesso em: 04 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades e**

**estados.** Tamboril. 2010b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/tamboril.html>. Acesso em: 04 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama.**

Tamboril. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/tamboril/panorama>. Acesso em: 24 mai. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE.

Secretaria do Planejamento e Gestão. **Perfil Municipal 2009.** Tamboril. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE.

Secretaria do Planejamento e Gestão. **Perfil Municipal 2017.** Tamboril. 2017.

MARTINS NETO, J. P. G. et al. Problemas associados à cloração de água de poços para atendimento da Portaria 518, e soluções aplicadas. XVI Congresso Brasileiro de Águas

Subterrâneas, 2006. **Anais** [...]. Curitiba: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006. p. 1-20.

REBOUÇAS, A. C., BENEDITO, B. TUNDISI, J.G. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.

SAUBER SYSTEM. **Desenvolvimento de poços**. Conheça nossos equipamentos para desenvolvimento de poços. Disponível em: <https://www.saubersystem.com.br/desenvolvimento-de-pocos.php>. Acesso em: 30 mai. 2020.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, F. J. A.; SOUZA, R. O. **Águas subterrâneas no Ceará: poços instalados e salinidade**. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n. 2, p. 136-159, dez. 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Série Histórica**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento (SNIS). 2020. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em 12 jun. 2020.

SOHIDRA. **Perfurações de poços em setembro**. 2014. Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/2014/11/11/perfuracoes-de-pocos-em-setembro/>. Acesso em: 24 set. 2020.

OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ODS. Brasil. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>. Acesso em: 04 mai. 2020.

TAMBORIL. **O município**. Dados do município. Disponível em: <https://www.tamboril.ce.gov.br/omunicipio.php>. Acesso em: 04 mar. 2020.

TIGRE. **Tubo de revestimento geotigre**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/tubo-revestimento-geotigre>. Acesso em 02 ago. 2020.

TRATA BRASIL. **Venha conhecer as etapas para o tratamento de água**. 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/04/18/venha-conhecer-as-etapas-para-o-tratamento-de-agua/>. Acesso em 27 jan. 2021.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Tamboril**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30931/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tamboril-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 04 mai. 2020.

## ANEXO A – Parâmetros de qualidade da água

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

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.  
 (2) Indicador de contaminação fecal.  
 (3) Indicador de eficiência de tratamento.  
 (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção	
Tratamento da água	VMP <sup>(1)</sup>
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 U <sub>NT</sub> <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 U <sub>NT</sub> <sup>(2)</sup> em 95% das amostras

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.  
 (2) Unidade de Turbidez.  
 (3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30.

Tabela de metas progressivas para atendimento ao valor máximo permitido de 0,5 uT para filtração rápida e de 1,0 uT para filtração lenta		
Período após a publicação da Portaria	Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	Turbidez ≤ 1,0 uT
	Final do 1º ano	Turbidez ≤ 0,5 uT Em no mínimo 25% das amostras mensais coletadas
Final do 2º ano	Em no mínimo 50% das amostras mensais coletadas	
Final do 3º ano	Em no mínimo 75% das amostras mensais coletadas	
Final do 4º ano	Em no mínimo 95% das amostras mensais coletadas	
Período após a publicação da Portaria	Filtração Lenta	Turbidez ≤ 2,0 uT
Final do 1º ano	Turbidez ≤ 1,0 uT Em no mínimo 25% das amostras mensais coletadas	No restante das amostras mensais coletadas
Final do 2º ano	Em no mínimo 50% das amostras mensais coletadas	
Final do 3º ano	Em no mínimo 75% das amostras mensais coletadas	
Final do 4º ano	Em no mínimo 95% das amostras mensais coletadas	

C (º)	Temperatura = 5°C										Temperatura = 10°C										Temperatura = 15°C									
	Valores de pH										Valores de pH										Valores de pH									
	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0									
≤ 0,4	38	47	58	70	83	98	114	27	33	41	49	58	70	80	19	24	29	35	41	48	57									
0,6	27	34	41	49	59	69	80	19	24	29	33	41	49	57	13	17	20	25	29	34	40									
0,8	21	26	32	39	46	54	63	15	19	23	27	32	38	45	11	13	16	19	23	27	31									
1,0	17	22	26	32	38	45	52	12	15	19	23	27	32	37	9	11	13	16	19	22	26									
1,2	15	19	23	27	32	38	45	11	13	16	19	23	27	32	7	9	11	14	16	19	22									
1,4	13	16	20	24	28	34	39	9	11	14	17	20	24	28	7	8	10	12	14	17	20									
1,6	12	15	18	21	25	30	35	8	10	12	15	18	21	25	6	7	9	11	13	15	17									
1,8	11	13	16	19	23	27	32	7	9	11	14	16	19	22	5	6	7	8	10	11	14									
2,0	10	12	15	18	21	25	29	7	8	10	12	15	17	20	5	6	7	9	10	12	14									
2,2	9	11	14	16	19	23	27	6	8	10	12	14	16	19	5	6	7	8	10	11	13									
2,4	8	10	13	15	18	21	25	6	7	9	11	13	15	17	4	5	6	8	9	11	12									
2,6	8	10	12	14	17	20	23	5	7	8	10	12	14	16	4	5	6	7	8	10	12									
2,8	7	9	11	13	15	19	22	5	6	8	9	11	13	15	4	4	5	7	8	9	11									
3,0	7	9	10	13	15	18	20	5	6	7	9	11	12	14	3	4	5	6	8	9	10									

NOTAS:  
 (1) Valores intermediários aos constantes na tabela podem ser obtidos por interpolação.  
 (2) C: residual de cloro livre na saída do tanque de contato (mg/L).

C (º)	Temperatura = 20°C										Temperatura = 25°C										Temperatura = 30°C									
	Valores de pH										Valores de pH										Valores de pH									
	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	≤6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0									
≤ 0,4	14	17	20	25	29	34	40	9	12	14	18	21	24	28	6	8	10	12	15	17	20									
0,6	10	12	14	17	21	24	28	7	8	10	11	15	17	20	5	6	7	9	10	12	14									
0,8	7	9	11	14	16	19	22	5	6	8	10	11	13	16	3	5	6	7	8	10	11									
1,0	6	8	9	11	13	16	18	4	5	6	8	9	11	13	3	4	5	6	7	8	9									
1,2	5	7	8	10	11	13	16	4	5	7	8	10	11	13	3	3	3	5	6	7	8									
1,4	5	6	7	9	10	11	14	3	4	5	6	7	8	10	2	3	3	4	5	6	7									
1,6	4	5	6	8	9	11	12	3	4	4	5	6	7	9	2	3	3	4	4	5	6									
1,8	4	5	6	7	8	10	12	3	3	4	5	6	7	8	2	2	3	3	4	5	6									
2,0	3	4	5	6	7	9	10	2	3	4	4	5	6	7	2	2	3	3	4	4	5									
2,2	3	4	5	6	7	8	9	2	3	3	4	5	6	7	2	2	2	3	3	4	5									
2,4	3	4	4	5	6	8	9	2	3	3	4	4	5	6	2	2	2	3	3	4	4									
2,6	3	3	4	5	6	7	8	2	2	3	3	4	5	6	1	2	2	3	3	4	4									
2,8	3	3	4	5	6	7	8	2	2	3	3	4	5	5	1	2	2	2	3	3	4									
3,0	2	3	4	4	5	6	7	2	2	3	3	4	4	5	1	2	2	3	3	3	4									

NOTAS:  
 (1) Valores intermediários aos constantes na tabela podem ser obtidos por interpolação.  
 (2) C: residual de cloro livre na saída do tanque de contato (mg/L).

C (º)	Temperatura (°C)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
≤ 0,4	933	770	673	573	473	373	273	173	123	73
0,6	615	515	415	315	215	115	65	15	15	15
0,8	462	387	312	237	162	87	37	17	17	17
1,0	306	240	180	120	60	30	15	15	15	15
1,2	208	158	108	58	28	13	6	6	6	6
1,4	164	121	78	35	15	7	3	3	3	3
1,6	131	93	56	23	10	4	2	2	2	2
1,8	105	72	40	17	7	3	1	1	1	1
2,0	85	55	28	12	5	2	1	1	1	1
2,2	68	41	21	9	4	2	1	1	1	1
2,4	54	30	16	7	3	1	1	1	1	1
2,6	42	23	12	5	2	1	1	1	1	1
2,8	32	17	9	4	2	1	1	1	1	1
3,0	23	12	6	3	1	1	1	1	1	1

NOTAS:  
 (1) Valores intermediários aos constantes na tabela podem ser obtidos por interpolação.  
 (2) C: residual de cloro combinado na saída do tanque de contato (mg/L).

Tabela de tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção com dióxido de cloro, de acordo com concentração de dióxido de cloro e com a temperatura da água, para valores de pH da água entre 6 e 9<sup>(1)</sup>.

C (2)	Temperatura (°C)					
	5	10	15	20	25	30
≤ 0,4	12	9	8	7	6	6
0,6	9	6	5	4	4	4
0,8	7	5	4	4	3	3
1,0	5	4	3	3	3	3
1,2	4	3	3	3	3	3
1,4	4	3	2	2	2	2
1,6	3	2	2	2	2	2
1,8	3	2	2	2	1	1
2,0	3	2	2	2	1	1
2,2	2	2	2	1	1	1
2,4	2	2	1	1	1	1
2,6	2	2	1	1	1	1
2,8	2	2	1	1	1	1
3,0	2	1	1	1	1	1

NOTAS:

- (1) Valores intermediários aos constantes na tabela podem ser obtidos por interpolação.
- (2) C: residual de dióxido de cloro na saída do tanque de contato (mg/L).

Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

Parâmetro	CAS <sup>(1)</sup>	INORGÂNICAS	Unidade	VMQ <sup>(2)</sup>
Acetato	7440-36-0		mg/L	0,003
Alumínio	7440-39-2		mg/L	0,01
Ársio	7440-39-3		mg/L	0,7
Bálcio	7440-43-9		mg/L	0,003
Cálcio	7439-95-1		mg/L	0,01
Cádmio	74-12-5		mg/L	0,07
Cálcio	7440-50-8		mg/L	2
Cromo	7440-47-3		mg/L	0,05
Flúoreo	7723-14-4		mg/L	1,5
Manganês	7439-97-6		mg/L	0,001
Níquel	7440-02-0		mg/L	0,07
Nitrato (como N)	14797-55-8		mg/L	10
Nitrato (como N)	14797-65-9		mg/L	10
Sódio	7732-49-2		mg/L	0,01
Urânio	7440-61-1		mg/L	0,03
ORGÂNICAS				
Acetileno	74-06-1		mg/L	0,5
Benzeno	71-43-2		mg/L	0,7
Bromocloroetano	90-32-8		mg/L	0,7
Cloro de Vinil	75-01-4		mg/L	2
1,2 Dicloroetano	107-06-2		mg/L	10
1,1 Dicloroetano	75-35-4		mg/L	10
1,2 Dicloroetano (cis + trans)	56-59-2 (cis) 56-60-5 (trans)		mg/L	10
Diclorometano	75-09-2		mg/L	20
Di-2-etilhexil Sulfato	111-81-7		mg/L	5
Estireno	100-42-5		mg/L	20
Perclorato de Sódio	87-86-3		mg/L	9
Tetraclorato de Carbono	56-23-5		mg/L	4
Tricloroetano	127-18-4		mg/L	40
Triclorometano	75-34-4 120-82-1 133-57-3 108-76-3 120-82-1 87-61-6		mg/L	20
Tricloroetano	79-01-4		mg/L	20
AGRIOTÓXICOS				
2,4 D + 2,4,5 T	94-75-7 (2,4 D) 93-76-5 (2,4,5 T)		mg/L	10
Alcalóide	13972-96-8		mg/L	20
Allicina + Allicarbocistina + Allicarbocistina	116-46-3 (allicina) 546-88-4 (allicarbocistina) 546-87-3 (allicarbocistina)		mg/L	10
Aldeído +	105-00-2 (aldeído)		mg/L	0,03
Dieldrin	60-57-1 (dieldrin)		mg/L	2
Atrazina	1912-24-9		mg/L	2
Carbamato + benzil	10605-21-7 (carbendazim) 17804-35-2 (benzimid)		mg/L	120
Carbamato	5363-69-2		mg/L	7
Clorano	1103-74-2		mg/L	0,2
Clorpirifos + clorpirifos-oxon	3521-48-2 (clorpirifos) 5558-15-2 (clorpirifos-oxon)		mg/L	10
DDT+DDD+DDE	pp'-DDT (50-29-3) pp'-DDD (72-54-8) p,p'-DDE (72-55-9)		mg/L	1
Diazin	330-54-1		mg/L	10
Endossulfam (β e α) (3)	115-29-7, 1 320-26-8, II 3321-865-9) sulfito (1031-07-5)		mg/L	20
Endrin	28-32-8		mg/L	0,6
Glifosato + AMPA	1071-43-6 (glifosato) 1066-51-9 (AMPA)		mg/L	500
Glifosato (para BHC) (4)	33-89-9		mg/L	2
Malaxato	8018-01-7		mg/L	180
Mercaptano	1095-02-6		mg/L	12
Metaldol	51218-45-2		mg/L	10
Moltrato	2112-07-1		mg/L	5
Paratona Metilica	298-00-0		mg/L	9
Permetrina	40487-42-1		mg/L	20
Permetrina	52681-51-1		mg/L	20
Profenofos	41108-06-7		mg/L	10
Simazina	122-14-9		mg/L	2
Tebuconazol	107514-96-3		mg/L	180
Terbufos	13071-79-9		mg/L	12
Trietanolam	1582-09-8		mg/L	20
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO				
Ácido haloacético total	16		mg/L	0,08
Bromo	35481-85-8		mg/L	0,01
Cloro	7732-18-2		mg/L	12
Cloro residual livre	7732-50-5		mg/L	5
Cloro residual Total	10595-901		mg/L	10
2,4,4 Triclorofenol	88-06-2		mg/L	0,2
Trihalometano Total	75		mg/L	0,1

NOTAS:

- (1) CAS é o número de referência de compostos e substâncias químicas adotado pelo Chemical Abstract Service.
- (2) Valor Máximo Permitido
- (3) Somatório dos isômeros alfa, beta e os sais de endossulfam, como exemplo o sulfato de endossulfam.
- (4) Esse parâmetro é usualmente e equivocadamente, conhecido como BHC.
- (5) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.
- (6) Ácidos haloacéticos: Ácido monocloraacético (MCAA) - CAS = 79-11-8, Ácido monobromoaacético (MBAA) - CAS = 79-08-3, Ácido dicloroaacético (DCAA) - CAS = 79-43-6, Ácido 2,2 - dicloropropiônico (DALAPON) - CAS = 75-99-0, Ácido tricloroaacético (TCAA) - CAS = 76-03-9, Ácido bromocloroaacético (BCAA) CAS = 5589-96-3, 1,2,3, tricloraopropano (PT) - CAS = 96-18-4, Ácido dibromoaacético (DBAA) - CAS = 631-64-1, e Ácido bromodicloroaacético (BDCAA) - CAS = 7113-314-7.
- (7) Trihalometanos: Triclorometano ou Clorofórmio (TCM) - CAS = 67-66-3, Bromodiclorometano (BDCM) - CAS = 75-27-4, Dibromoclorometano (DBCM) - CAS = 124-48-1, Tribromometano ou Bromofórmio (TBM) - CAS = 75-25-2.

Tabela de padrão de cianotoxinas da água para consumo humano			
CIANOTOXINAS			
Parâmetro <sup>(1)</sup>		Unidade	VMP <sup>(2)</sup>
Microcistinas		µg/L	1,0 <sup>(3)</sup>
Saxitoxinas		µg equivalente STX/L	3,0

NOTAS:

(1) A frequência para o controle de cianotoxinas está prevista na tabela do Anexo XII.

(2) Valor Máximo Permitido.

(3) O valor representa o somatório das concentrações de todas as variantes de microcistinas.

Tabela de padrão organoléptico de potabilidade			
Parâmetro	CAS	Unidade	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	7664-41-7	mg/L	1,5
Cloro	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente <sup>(2)</sup>		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,03
Dureza total		mg/L	500
Enxofre	100-41-4	mg/L	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor <sup>(3)</sup>		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,12
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/L	1000
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)		mg/L	0,5
Tolueno	108-88-3	mg/L	0,17
Turbidez <sup>(4)</sup>		NT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5
Xilenos	1330-20-7	mg/L	0,3

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

(3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

(4) Unidade de turbidez.

## ANEXO B – Características das amostragens

Tabela de frequência de monitoramento de cianobactérias no manancial de abastecimento de água

Quando a densidade de cianobactérias (celulas/ml) for:	Frequência
≤ 10.000	Mensal
> 10.000	Semanal

Tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

Parâmetro	Tipo de Manancial	Saída do Tratamento		Sistema de distribuição (reservatórios e rede)						
		Nº Amostras	Frequência	Número de amostras:			Frequência			
				População abastecida						
		<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab.	<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab.			
Cor	Superficial	1	A cada 2 horas	10	1 para cada 5 mil hab.	40 = (1 para cada 25 mil hab.)	Mensal			
	Subterrâneo	1	Semanal	5	1 para cada 10 mil hab.	20 = (1 para cada 50 mil hab.)	Mensal			
Turbidez, Cloro Residual Livre <sup>(1)</sup> , Cloramas <sup>(2)</sup> , Dióxido de Cloro <sup>(3)</sup>	Superficial	1	A cada 2 horas	Conforme § 3º do Artigo 41			Conforme § 3º do Artigo 41			
	Subterrâneo	1	2 vezes por semana							
pH e flúoreto	Superficial	1	A cada 2 horas	Dispensada a análise			Dispensada a análise			
	Subterrâneo	1	2 vezes por semana							
Gosto e odor	Superficial	1	Tritnetral	Dispensada a análise			Dispensada a análise			
	Subterrâneo	1	Semestral							
Cianotoxinas	Superficial	1	Semanal quando n° de cianobactérias ≥ 10.000 celulas/ml.	Dispensada a análise			Dispensada a análise			
	Subterrâneo	1	Tritnetral							
Produtos secundários da desinfecção	Superficial	1	Tritnetral	1 <sup>(4)</sup>	4 <sup>(5)</sup>	4 <sup>(5)</sup>	Tritnetral			
	Subterrâneo	1	Semestral	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Anual	Semestral	Semestral	
Demais parâmetros: <sup>(6)</sup>	Superficial ou Subterrâneo	1	Semestral	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Semestral			

**NOTAS:**

- (1) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.
- (2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.
- (3) A definição da periodicidade de amostragem para o quesito de radioatividade será definido após o inventário inicial, realizado semestralmente no período de 2 anos, respeitando a sazonalidade pluviométrica.
- (4) Para agrotóxicos, observar o disposto no parágrafo 5º do artigo 41.
- (5) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela de número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida

Parâmetro	Saída do Tratamento (Número de amostras por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição (reservatórios e rede)			
		População abastecida			
		< 5.000 hab.	5.000 a 20.000 hab.	20.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Coliformes totais	Dez amostras semanais <sup>(1)</sup>	110	1 para cada 500 hab.	30 = (1 para cada 2.000 hab.)	105 = (1 para cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000
Escherichia coli					

**NOTA:**

- (1) Recomenda-se a coleta de, no mínimo, quatro amostras semanais.

Tabela de número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do tratamento (para água canalizada)	Número de amostras retiradas no ponto de consumo (para cada 500 hab.)	Frequência de amostragem
Cor, turbidez, pH e coliformes totais <sup>(1) * (2)</sup>	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
Cloro residual livre <sup>(3)</sup>	Superficial ou Subterrâneo	1	1	Diário

**NOTAS:**

- (1) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada uma análise de cloro residual livre em cada carga e uma análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.
- (2) O número e a frequência de amostras coletadas no sistema de distribuição para pesquisa de Escherichia coli devem seguir o determinado para coliformes totais.

(\*) Republicada por ter sido, no DOU Seção 1, do dia 14-12-11, . pág. 39, com incorreção no original.