



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

IGOR FURTADO TARGINO

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM CISTERNAS

Campina Grande
Junho de 2021

IGOR FURTADO TARGINO

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM CISTERNAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre.

Orientadora: Patrícia Hermínio Cunha Feitosa

Coorientadora: Dayse Luna Barbosa

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA:

Engenharia de Recursos Naturais

Campina Grande

Junho de 2021

T185s Targino, Igor Furtado.
Sistema de baixo custo para monitoramento da qualidade da
água em cisternas / Igor Furtado Targino. – Campina Grande,
2021.
96 f. : il. : color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos
Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.
"Orientação: Prof.^a Dr.^a Patrícia Herminio Cunha Feitosa;
Coorientação: Prof.^a Dr.^a Dayse Luna Barbosa".
Referências.

1. Medição Automatizada. 2. Ph. 3. Turbidez. 4. Comunidades
Rurais. I. Feitosa, Patrícia Herminio Cunha. II. Barbosa, Dayse
Luna. III. Título.

CDU 628.1(043)

FICHA DE AVALIAÇÃO

EXAME FINAL DE:

DISSERTAÇÃO

CURSO OU PROGRAMA:

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

PROCESSOS AMBIENTAIS

TÍTULO DO TRABALHO:

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CISTERNAS

ALUNO(A):

Igor Furtado Targino

ORIENTADOR:

Patrícia Hermínio Cunha Feitosa



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58109-970, Campina Grande - PB
Tel.: (0xx83) 2101 1199; Fax: (0xx83)2101 1651; E-mail: ppgegrn@setor.ufcg.edu.br




ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata da quinta sessão pública de Defesa de “Dissertação”, em 2021, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao sétimo dia do mês de junho de 2021, às **14:00 horas por meio de videoconferência** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Profa. Dr.(a) **Patrícia Herminio Cunha Feitosa/UFCG**, como orientador(a) principal e a Prof.(a.) Dr.(a.) **Dayse Luna Barbosa/UFCG** como coorientadora; Prof.(a.) Dr.(a) **Andrea Carla Lima Rodrigues/UFCG**, como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Marília Marcy Cabral de Araújo/UFCG**, como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 14/2021** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr. Igor Furtado Targino**, candidato(a) ao Grau de Mestre em Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dra. **Patrícia Herminio Cunha Feitosa**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Dissertação sob o título: “SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CISTERNAS”. Área de Concentração: Processos Ambientais, orientado pelo(a) Professor(a) Dra. **Patrícia Herminio Cunha Feitosa**. O(A) presidente concedeu à palavra ao candidato para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do candidato, a Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição da candidata. Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após o candidato, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 07 de Junho de 2021.

Assinaturas:

Coordenador do PPGEGRN 
Candidato(a) Igor Furtado Targino
Presidente _____
Co-orientadora Dayse Luna Barbosa
Examinador Marília Marcy Cabral de Araújo
Examinador Andrea Carla Lima Rodrigues

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, o Todo Poderoso, que está comigo todos os dias da minha vida. Meu sustento, minha paz, minha fortaleza, minha fonte de sabedoria, sem o qual jamais chegaria aonde cheguei. A Ele toda a honra e toda glória, sempre.

Agradeço aos meus pais, Hélder e Morgana, por toda a dedicação, investimentos e cuidados. Por me ensinarem princípios, pela educação e pelo encorajamento. Muito obrigado por muitas vezes abrirem mão de pensar em vocês para pensarem em seus filhos. Agradeço a vocês por todo o amor, por se alegrarem comigo nas alegrias e chorarem comigo nas tristezas.

À minha noiva, Eliza, por ser um porto seguro, por me incentivar, cuidar e me amar tanto. Por sonhar nossos sonhos e por me fazer ser melhor. Por acreditar e por me ajudar tanto, até quando nem imagina. Por se alegrar com minhas conquistas e ser papel essencial em cada uma delas.

À minha pastora e sogra, Graça Moreira, por todos os ensinamentos e pelo tempo dedicado a orar por mim. Pelo cuidado de mãe, conselhos e pelo exemplo de liderança que é para mim. Sem suas orientações eu não estaria concluindo mais essa etapa, muito obrigado por tudo.

À minha irmã, Thainá, pelo companheirismo, cumplicidade e amor. Sua vida é demasiadamente importante para mim.

À minha família Celebrando VIDA, família que Deus me deu e que me ajuda ser melhor. Por todo o apoio e incentivo, por acreditarem e torcerem por mim. Por todas as orações e por todo o amor. Vocês são um presente de inestimável valor na minha vida.

À toda a minha família e amigos que se fazem presentes, contribuindo para fazer os meus dias mais felizes. Sou grato à Deus por cada vida.

Às professoras Patrícia e Dayse e ao amigo Igor Antônio de Paiva Brandão, por toda a dedicação, ensinamentos, paciência e prontidão para ajudar no desenvolvimento e montagem deste trabalho.

Agradeço a todos os professores que já tive, pelos bons ensinamentos que agregam conhecimento para profissão e para a vida.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento e para a concretização deste trabalho. Muito obrigado!

RESUMO

A qualidade da água para consumo humano influencia diretamente o bem-estar dos seus consumidores. Doenças infectocontagiosas de veiculação hídrica surgem como problemas de saúde pública que poderiam ser evitados pela fiscalização contínua dos sistemas de abastecimento de água quanto ao atendimento dos padrões de potabilidade apresentados na Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Comunidades que residem em áreas mais afastadas dos centros urbanos e que fazem uso de águas advindas de sistemas alternativos de abastecimento, são muitas vezes excluídas de ações de fiscalização dos parâmetros de qualidade da água, geralmente pela dificuldade de acesso e de logística que há para coleta de amostras nesses locais. Os parâmetros pH e Turbidez, utilizados para controle da qualidade água de solução alternativa coletiva, informam sobre a presença de substâncias contaminantes que podem oferecer risco à saúde humana. O uso de sistemas de monitoramento remoto para acompanhar as variações desses parâmetros apresenta-se como solução de controle qualitativo da água que abastece tais comunidades, permitindo a verificação em tempo real de eventuais alterações na água. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo para monitorar em tempo real os parâmetros de pH, turbidez e temperatura da água. Para isso, foi criado um hardware, contendo componentes sensoriais, controladores e de alimentação, seguindo-se a programação do software em linguagem Arduino, similar à linguagem C. A calibração e validação dos sensores foram feitas mediante ensaios no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), utilizando pHmetro e turbidímetro. O sistema foi testado em duas cisternas, localizadas na zona rural da cidade de Alagoa Grande, Paraíba, enviando os dados coletados em tempo real para a plataforma *ThingSpeak*, que apresentava graficamente as informações sobre os parâmetros de interesse. Falhas nas redes locais de internet, quedas de energia e eventuais descalibrações do sistema com o manuseio, foram algumas das dificuldades encontradas com a utilização do sistema em campo. Apesar disso, os resultados obtidos comprovaram a eficiência do sistema para monitoramento remoto do pH, turbidez e temperatura da água.

Palavras-chave: medição automatizada, pH, turbidez, comunidades rurais.

ABSTRACT

The quality of water for human consumption directly influences the well-being of its final consumers. Infectious and contagious waterborne diseases emerge as public health problems that could be avoided by the continuous inspection of water supply systems regarding compliance with the drinking standards presented in Ordinance No. 888/2021 of the Brazil Ministry of Health. Communities residing in areas further away from urban centers and which make use of water from alternative supply systems, are often excluded from actions to monitor water quality parameters, generally due to the difficulty of access and logistics for collecting samples in these locations. The pH and Turbidity parameters, used to control the quality of water in a collective alternative solution, inform about the presence of contaminating substances that may pose a risk to human health. The use of remote monitoring systems to monitor variations in these parameters is a qualitative control solution for the water that supplies these communities, allowing real-time verification of any changes in water. This work aims to develop a low-cost device to monitor in real-time the pH, turbidity and water temperature parameters in real time. For this, hardware will be created, containing sensors, controllers and power components, following the programming of the software in Arduino language, similar to the C language. The calibration and validation of the sensors were made through tests at the Sanitation Laboratory of the Federal University of Campina Grande (UFCG). The system was tested in two cisterns, located in the rural area of Alagoa Grande city, sending the data collected in real time to the *ThingSpeak* platform, which graphically presented information about the parameters of interest. Failures in the local internet networks, power outages and possible system decalibrations with handling, were some of the difficulties encountered with the use of the system in the field. Despite this, the results obtained proved the efficiency of the system for remote monitoring of pH, turbidity and water temperature.

Key words: automated measurement, pH, turbidity, rural communities.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Evolução temporal das portarias de potabilidade no Brasil..... | 22 |
| Figura 2: Fluxograma metodológico | 40 |
| Figura 3: Esquema para desenvolvimento do sistema de monitoramento da qualidade da água | 41 |
| Figura 4: Esquema do monitoramento da qualidade da água..... | 43 |
| Figura 5: Esquema para montagem do hardware | 50 |
| Figura 6: Sistema de monitoramento da qualidade da água..... | 51 |
| Figura 7: Mapa de indicação da localização das cisternas | 53 |
| Figura 8: Calibração do pHmetro da UFCG | 54 |
| Figura 9: Leituras de pH com o protótipo desenvolvido | 55 |
| Figura 10: Validação da turbidez com turbidímetro Hach 2100P | 55 |
| Figura 11: Comparativo entre o sistema com módulo para conexão 3G/4G e com módulo para conexão Wi-Fi..... | 57 |
| Figura 12: Formas de alimentação energética testadas..... | 59 |
| Figura 13: Montagem do sistema com placa de circuito impresso artesanal..... | 59 |
| Figura 14: Montagem dos circuitos com fios de cobre | 60 |
| Figura 15: Médias diárias dos valores de pH durante testes de bancada..... | 61 |
| Figura 16: Médias diárias dos valores de turbidez durante testes de bancada..... | 62 |
| Figura 17: Gráfico da correlação entre turbidez e temperatura durante os testes de bancada | 62 |
| Figura 18: Registro fotográfico da cisterna 01 | 63 |
| Figura 19: Registro fotográfico da cisterna 02..... | 64 |
| Figura 20: Valores diários das leituras de pH na cisterna 01 | 66 |
| Figura 21: Histograma de frequência dos valores de pH na cisterna 01..... | 67 |
| Figura 22: Gráfico de correlação entre pH e temperatura na cisterna 01 | 67 |
| Figura 23: Valores das médias diárias das leituras de turbidez na cisterna 01..... | 68 |
| Figura 24: Histograma de frequência dos valores de turbidez na cisterna 01..... | 69 |
| Figura 25: Variação da turbidez com a temperatura | 70 |
| Figura 26: Médias diárias de pH na cisterna 02 | 71 |
| Figura 27: Histórico de precipitações durante as medições na cisterna 02 | 72 |
| Figura 28: Histograma da variação do pH na cisterna 02 | 72 |
| Figura 29: Gráfico de correlação entre a temperatura e o pH na cisterna 02 | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura 30: Médias diárias da temperatura nas cisternas 01 e 02..... | 74 |
| Figura 31: Falha identificada na criação das médias diárias pela ferramenta ThingSpeak..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Critérios e valores de referência para o monitoramento do pH e turbidez | 43 |
| Tabela 2: Coordenadas geográficas das cisternas monitoradas..... | 52 |
| Tabela 3: Valores dos materiais utilizados | 76 |
| Tabela 4: Valores médios de equipamentos similares fornecidos no mercado..... | 77 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Etapas de funcionamento do Software..... | 44 |
| Quadro 2: Componentes de Hardware..... | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 Objetivos | 12 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 12 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 12 |
| 2.1 A importância do saneamento na qualidade de vida | 12 |
| 2.2 Qualidade da água para consumo humano..... | 14 |
| 2.2.1 Fatores que exercem influência na qualidade da água..... | 17 |
| 2.2.2 Influência da educação ambiental e das práticas culturais na qualidade da água..... | 18 |
| 2.3 Controle da qualidade da água de abastecimento no Brasil..... | 19 |
| 2.3.1 pH..... | 22 |
| 2.3.2 Turbidez..... | 24 |
| 2.4 Sistemas alternativos de abastecimento de água para comunidades | 25 |
| 2.4.1 Caminhões-pipa | 28 |
| 2.4.2 Poços..... | 29 |
| 2.4.3 Cisternas | 31 |
| 2.5 Uso de automatização no controle da qualidade da água usada para o abastecimento humano..... | 33 |
| 2.5.1 Uso da ferramenta Arduino na automatização de sistemas..... | 37 |
| 3. METODOLOGIA..... | 39 |
| 3.1 Desenvolvimento do protótipo..... | 41 |
| 3.1.1 Software | 44 |
| 3.1.2 Hardware | 44 |
| 3.2 Calibração e validação dos sensores | 48 |
| 3.3 Montagem do Sistema | 49 |

| | |
|---|----|
| 3.4 Locais escolhidos para os testes de campo | 52 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 4.1 Calibração do sensor de pH..... | 53 |
| 4.2 Calibração do sensor de turbidez | 55 |
| 4.3 Conexão à internet..... | 56 |
| 4.4 Fonte de energia utilizada..... | 57 |
| 4.5 Montagem dos circuitos | 59 |
| 4.6 Testes em bancada..... | 60 |
| 4.7 Caracterização das cisternas e testes em campo | 63 |
| 4.7.1 Monitoramento da qualidade da água na cisterna 01 | 65 |
| 4.7.1.1 Monitoramento do pH na cisterna 01 | 65 |
| 4.7.1.2 Monitoramento da turbidez na cisterna 01..... | 68 |
| 4.7.2 Monitoramento da qualidade da água na cisterna 02 | 70 |
| 4.7.2.1 Monitoramento do pH na cisterna 02..... | 71 |
| 4.7.3 Monitoramento da temperatura em campo | 73 |
| 4.7.4 Dificuldades encontradas durante o monitoramento da qualidade da água em campo..... | 74 |
| 4.7.5 Falha na criação de gráficos de médias diárias no ThingSpeak..... | 75 |
| 4.8 Custos do sistema de monitoramento remoto da qualidade da água..... | 76 |
| 5. CONCLUSÕES | 78 |
| 6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 80 |
| REFERÊNCIAS | 81 |

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, as civilizações demonstram cuidados com o abastecimento e qualidade da água para consumo humano, desenvolvendo técnicas de captação, tratamento, irrigação e de transporte através de tubulações ou aquedutos. Práticas sanitárias coletivas já eram desenvolvidas pelos gregos e romanos, que relacionavam a qualidade da água de consumo com a ocorrência de doenças, mesmo antes de ser descoberto que seres microscópios eram responsáveis por tais patologias (SANTOS; SILVA, 2018).

A água é fundamental para a existência da vida e para a realização da maioria das atividades humanas. A sua ausência em quantidade ou qualidade afeta o desenvolvimento econômico de regiões e está diretamente relacionada com o aumento de casos de doenças e mortes prematuras de pessoas (ALVES *et al.*, 2017). A gestão dos processos de tratamento, distribuição e fiscalização qualitativa da água deve ser feita tanto em sistemas de abastecimento de água convencionais, que contam com estações de tratamento e redes de distribuição, como nos sistemas alternativos de abastecimento de água que suprem as necessidades das pequenas comunidades, maximizando a qualidade de vida das pessoas de forma universal e equitativa (MACHADO *et al.*, 2016).

Para uniformizar a qualidade da água que é distribuída às populações, suportes legais e normativos por meio de padrões de potabilidade da água para consumo humano são desenvolvidos em todo o mundo, os quais são geralmente fiscalizados por meio dos órgãos de vigilância sanitária locais e pelos responsáveis pelo abastecimento da água. Tais normas estabelecem parâmetros para controle microbiológico, turbidez, substâncias químicas, substâncias radioativas, desinfecção, entre outros, além de instituir processos ideais para assegurar a eficiência no tratamento e distribuição da água, variando com a legislação de cada país (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

No Brasil, 16,3% da população não tem acesso a rede geral de distribuição de água, recorrendo a soluções alternativas de abastecimento para usufruírem de água em suas residências. Na região Nordeste, 26,1% da população não possui água chegando em suas residências por meio da rede geral de abastecimento, enquanto na região Norte esse número é ainda maior, representando 42,5% da população (SNIS, 2019). Municípios com mais de 100.000 habitantes, geralmente, contam com

um sistema de tratamento convencional da água, enquanto municípios com até 20.000 habitantes são, em sua maioria, contemplados apenas com o processo de desinfecção, devido à limitação de recursos financeiros e operacionais (SOUZA; SANTOS, 2016).

Sistemas alternativos de abastecimento de água, como poços, cisternas e caminhões-pipa, são amplamente utilizados no nordeste brasileiro, principalmente nas zonas rurais, que muitas vezes não contam com ligações às redes públicas de fornecimento de água. As cisternas são utilizadas como alternativas para suprir as necessidades básicas das populações que residem nessas áreas, sendo empregadas para captação da água da chuva ou armazenamento da água advinda de caminhões-pipa. Porém, a água proveniente de sistemas alternativos de abastecimento carece de vigilância e controle da sua qualidade (GOMES; HELLER, 2016).

O uso de sistemas automatizados é uma alternativa para auxiliar nas medições de parâmetros qualitativos da água, reduzindo esforços, custos e tempo que seriam gastos com recolhimento e análise de amostras. O uso de tais tecnologias permite o acompanhamento das alterações nos parâmetros de interesse em tempo real, por meio de esforços de programação computacional e do uso de dispositivos de monitoramento e transmissão de dados, beneficiando principalmente o monitoramento da qualidade da água em zonas rurais ou em áreas de difíceis acessos.

A plataforma de prototipagem Arduino possibilita a criação de sistemas automatizados de baixo custo. Além dos baixos preços dos seus componentes eletrônicos e da gratuidade do seu software programador, a popularização desse microcontrolador cresce no meio educacional e no âmbito acadêmico para pesquisas de monitoramento de variáveis em campo, graças a sua linguagem de programação intuitiva, sua portabilidade e precisão nos resultados (SPINELLI; GOTTESMAN; DEENIK, 2019).

Para avaliar o desempenho do sistema desenvolvido neste trabalho, foram realizados testes de bancada no laboratório de Saneamento da UFCG e testes em campo, executados em cisternas da zona rural do município de Alagoa Grande, Paraíba. A testagem do sistema em campo foi exercida com objetivo de avaliar o desempenho dos sensores de monitoramento da qualidade da água quando submetidos a condições de movimentação e recarga hídrica, inerentes ao uso das cisternas em situações do dia a dia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de baixo custo – hardware e software – visando o monitoramento automatizado dos parâmetros de pH, turbidez e temperatura das águas de cisternas para maximização da segurança quanto ao seu consumo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Criar um sistema automatizado com diferentes componentes para monitoramento dos índices de pH, turbidez e temperatura em cisternas;
- Configurar um sistema de gerenciamento da informação, capaz de armazenar o histórico de medições realizadas e apresentá-lo por meio de recursos visuais ao usuário final do sistema;
- Avaliar o funcionamento do sistema desenvolvido na zona rural do município de Alagoa Grande.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância do saneamento na qualidade de vida

Saneamento básico envolve os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e limpeza urbana de um local, visando a promoção de saúde e qualidade de vida da sua população. Nos países em desenvolvimento que apresentam infraestrutura de saneamento precária, altas taxas de morbidade e mortalidade são, muitas vezes, relacionadas às doenças infectocontagiosas de veiculação hídrica, colocando em evidência a relação direta que há entre problemas sociais e degradação ambiental. Conhecer as áreas onde há maiores ocorrências de tais doenças e relacioná-las com a probabilidade de risco a que está submetida a população de determinada área, são iniciativas tanto de vigilância sanitária como de combate à precariedade de investimentos em saneamento (SILVA; OLIVEIRA; LOPES, 2019).

A falta de investimento em serviços de saneamento básico causa, além de diminuição no bem-estar da população, prejuízos econômicos e diminuição dos indicadores de desenvolvimento de uma região, ambos relacionados a degradação dos recursos naturais em quantidade e qualidade. Essa deficiência de investimento tem se mostrado uma das principais causas de contaminação das águas utilizadas para abastecimento urbano, muito devido à destinação incorreta de rejeitos urbanos, que retornam aos mananciais. Como consequência, os custos com o tratamento da água a ser distribuída sofrem elevação e o número de pessoas acometidas por doenças de veiculação hídrica aumenta nos hospitais, situações que ampliam os gastos públicos (PAIVA; SOUZA, 2018).

O ambiente urbano e o cotidiano de uma família são diretamente influenciados pela qualidade de gestão dos serviços de saneamento urbano, podendo resultar em degradação da vida social quando houver desatenção das autoridades com tais serviços. Com isso, as famílias que residem em áreas com saneamento precário, muitas vezes, desenvolvem estratégias individuais para mitigar a salubridade do ambiente, tais como construções de fossas, aberturas de valas e compra de água de caminhões-pipa. Serviços de saneamento com déficit quantitativo e qualitativo são reflexos da falta de cobrança e de participação da sociedade nos conselhos municipais, o que dificulta a detecção de problemas e posterga a implantação de medidas reparatórias (FERREIRA, RAMOS E BERNARDES, 2015).

Assim como investimentos financeiros em infraestrutura sanitária, medidas de gestão dos recursos hídricos são de fundamental importância para a manutenção do bom funcionamento de um abastecimento de água. Uma das maneiras de gerar renda a ser revertida para a melhoria da qualidade da água e preservação das bacias hidrográficas, além de contribuir para um maior rigor nas etapas de captação e de despejos de efluentes em corpos hídricos, seria a realização da cobrança pelo uso da água, como já é feita nos estados do Ceará e Paraíba (MATSUSHITA; GRANADO, 2017).

Sistemas de abastecimento de água são classificados, segundo Nascimento *et al.* (2016), como infraestruturas urbanas com objetivo de fornecer água potável com o menor índice possível de interrupção no fornecimento. As perdas nas diversas etapas do abastecimento de água, desde a captação até o consumo, constituem gastos operacionais significativos, ocorrendo por conta de vazamento em tubulações, falhas em equipamentos de medições, fraudes de usuários ou ainda por erros humanos

durante as medições. A diminuição das perdas aumentaria a verba disponível para investimento em melhorias destinadas ao sistema de tratamento e distribuição de água, através da modernização de equipamentos, capacitação técnica, obras de manutenção preventiva, entre outros (KUSTERKO *et al.*, 2018).

Historicamente, a diminuição nas taxas de mortalidade infantil nos Estados Unidos da América está diretamente relacionada com intervenções nos serviços de saneamento, onde no início do século XX, o investimento em tecnologias de tratamento de água contribuiu para a redução da taxa de mortalidade infantil em 46% (GERUSO & SPEARS, 2018). No Egito, o impacto de investimento em saneamento básico resultou no início do século XXI em uma redução média de 27% na mortalidade infantil, sendo a qualidade da água para consumo e higiene humana a maior influenciadora para tal redução (LAMBERT, 2019).

2.2 Qualidade da água para consumo humano

A água pode atuar como veículo de agentes infecciosos, transportando bactérias, vírus, fungos, protozoários entre outros tipos de patógenos que podem causar doenças, principalmente gastrointestinais e dermatoses. A qualidade das águas e a existência de um meio propício à manutenção da vida de microrganismos contaminantes sofrem influência de fatores antrópicos ligados ao desenvolvimento urbano e de atividades agrícolas, assim como de fatores naturais, tais como o clima, geografia, tipo de solo e vegetação (DUTRA *et al.*, 2016).

Devido ao processo de identificação dos microrganismos patogênicos presentes em uma água ser complexo e oneroso, a identificação da presença de determinados grupos de bactérias funciona como indicador de risco potencial para consumo (COELHO *et al.*, 2017). A espécie bacteriana *E. coli* é comumente utilizada como indicador de que houve contato direto da água com material fecal, sugerindo a presença de organismos patogênicos, inclusive com a possibilidade de existirem outras espécies bacterianas no meio analisado (SILVA; YAMANAKA; MONTEIRO, 2016). Porém, os vírus são a principal causa das doenças relacionadas à água, sendo de difícil remoção ou inativação pelos métodos convencionais de tratamento, trazendo riscos de infecção 10 a 10.000 vezes maiores do que poderia causar uma bactéria ou protozoário (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

O consumo e contato direto com uma água contaminada são algumas das causas principais de ocorrência das doenças hídricas. Doenças como cólera, malária, esquistossomose e diarreia acometem um grande número de pessoas, principalmente em países em desenvolvimento, atingindo maiores índices em épocas chuvosas, onde a infraestrutura urbana precária permite o escoamento superficial de águas poluídas pelas ruas. Na ausência de sistemas de distribuição ou de soluções alternativas que atendam às normas vigentes de potabilidade da água, muitas pessoas ainda se sentem obrigadas a fazer o uso de águas sem nenhum tipo de controle qualitativo, além de muitas dessas não receberem o mínimo de instruções a respeito dos riscos que tal situação pode oferecer (SALLA *et al.*, 2019).

Além das doenças infecciosas e parasitárias adquiridas por contato com um corpo hídrico poluído, uma população pode estar sujeita a outros tipos de riscos causados por disruptores endócrinos, contaminantes capazes de gerar disfunções endócrinas e perturbação hormonal. Substâncias como fármacos, hormônios e pesticidas diluídos na água, imunes às técnicas convencionais de tratamento de esgotos, retornam às estações convencionais de tratamento da água bruta, que não dispõem de métodos de tratamento para eliminação de tais contaminantes, assim alcançando os consumidores finais. Em humanos, o contato com os disruptores endócrinos está ligado com alterações na qualidade de esperma e geração de abortos espontâneos, além de alterações neurológicas em fetos durante a gestação. Bactérias presentes na água sofrem mutações e tornam-se mais resistentes a determinados antibióticos (CRUZ; MIERZWA, 2020).

A água pode fornecer determinadas substâncias ao corpo humano que, em quantidades ideais, seriam benéficas e necessárias, porém em grandes quantidades trariam efeitos nocivos. É o caso do cálcio, elemento vital que é encontrado no corpo humano em ossos e dentes, contudo se ingerido em excesso, pode potencializar os riscos de osteoporose, câncer de colo, aumento da pressão sanguínea, resistência à insulina e até a obesidade. O excesso de fluoreto pode ocasionar fluorose, assim como o aumento do nível de cloreto nas águas pode ser prejudicial às pessoas que sofrem de problemas nos rins ou coração (NADIKATLA; MUSHINI; MUDUMBA, 2019).

Sweileh *et al.* (2016), estudaram ainda a relação entre doenças como câncer, Alzheimer e distúrbios cardiovasculares ou neurais com a contaminação hídrica, principalmente por exposição a metais pesados. Os autores mostram ainda que os efeitos da toxicidade de contaminantes e micróbios na água de beber são

preocupações mais intensas nos países em desenvolvimento, enquanto os efeitos negativos de contaminação por doenças hídricas em atividades recreativas, como piscinas, estão sendo motivos de discussões mais comuns nos países desenvolvidos.

O monitoramento da qualidade da água para consumo humano deve ser realizado tanto pela vigilância em saúde ambiental como pela concessionária responsável pelo abastecimento. As Secretarias de Saúde buscam a prevenção de agravos que poderiam ser transmitidos pela água, enquanto é cabível aos responsáveis pelo sistema de distribuição da água o controle do produto em oferta. O consumidor final, que paga uma taxa para o uso do recurso hídrico, possui uma importante função fiscalizadora da qualidade da água, acionando algum desses órgãos quando percebe alterações na cor, sabor ou cheiro da água (CASTRO; CRUVINEL; OLIVEIRA, 2019).

Segundo Nascimento *et al.* (2016), a segurança do fornecimento de água para a população depende da quantidade de potenciais fontes contaminantes, das limitações laboratoriais no controle qualitativo da água, da integridade física dos componentes do sistema e dos métodos de controles operacionais utilizados pela liderança das instituições gestoras e distribuidoras das águas.

Além do controle qualitativo das águas, a distribuição desse recurso em quantidade suficiente para atendimento de todas as populações é um fator de grande importância. Situações de escassez de água influenciam na sua qualidade por meio da eutrofização e proliferação de algas nos mananciais, assim como estão relacionadas com o aumento dos casos de fome, pobreza, desnutrição, de surtos de doenças infectocontagiosas, doenças respiratórias e até com transtornos psicossociais (GRIGOLETTO *et al.*, 2016).

A descoberta de novos tipos de contaminantes aumenta cada vez mais a necessidade de criação de novas metodologias para monitoramento da qualidade da água, visando a eliminação dos perigos por contaminação física, química, microbiológica e radiológica. Além de cuidados nas etapas de captação e de tratamento em sistemas de abastecimento de água, são importantes cuidados e observações contínuas aos modos de armazenamento e distribuição do recurso hídrico para que sejam reduzidos os riscos de recontaminação (COLLIVIGNARELLI, 2017).

As águas provenientes de sistemas de abastecimento público necessitam seguir os critérios estabelecidos por padrões de potabilidade locais no intuito de

reduzir os riscos de contaminação de uma população por doenças de veiculação hídrica. A importância de tais regulamentações torna-se mais evidente a partir de dados numéricos que mostram o potencial de contaminação que a água pode oferecer caso seja utilizada em condições impróprias. Nos Estados Unidos, por exemplo, é estimado que anualmente 900 mil pessoas são acometidas por alguma doença transmitida pela água; a nível mundial, 2 milhões de pessoas morrem anualmente como consequência de doenças de veiculação hídrica (MORAIS *et al.*, 2016).

2.2.1 Fatores que exercem influência na qualidade da água

No estudo das condições que exercem influência sobre a qualidade das águas, características locais e sazonais da região onde se concentra um manancial devem ser levadas em consideração. O conhecimento dos períodos chuvosos e de seca é um dos fatores que tem que ser levado em consideração para a compreensão da dinâmica de um sistema de abastecimento de água. Nas regiões tropicais, por exemplo, a contaminação dos mananciais tende a aumentar na estação chuvosa, principalmente como consequência do escoamento superficial e da subsequente introdução de nutrientes e bactérias ao sistema, apontando a relação direta que há entre a dinâmica da natureza e a qualidade das águas (SILVA; LOPES; AMARAL, 2016).

Alterações de temperatura, fortes chuvas, secas e inundações são eventos que influenciam na ocorrência de doenças entéricas, atuando sobre o ciclo de vida e de reprodução dos patógenos, sensíveis a fatores como calor, agitação da água, níveis de oxigênio, luz e quantidade de nutrientes disponíveis. A declividade dos cursos d'água, vegetação, vazão, taxa de infiltração e sobrecarga dos sistemas de tratamento de água influenciam no transporte e suspensão de patógenos que estavam confinados em sedimentos, por meio da movimentação das águas de fundo (LEVY *et al.*, 2016).

A poluição de poços ocorre em grande parte pelo descarte inadequado de dejetos humanos ou animais em corpos hídricos, além de haver influência do uso de agrotóxicos entre outros produtos agrícolas que contaminam as águas subterrâneas ou são transportados para águas superficiais pela ação do escoamento das águas de chuva. Além disso, pode ocorrer contaminação por meio de despejos industriais, atividades mineradoras, lixiviação de chorume de aterros sanitários, etc. Como

consequência, além do risco de aparecimento de doenças em humanos, a flora e fauna têm suas saúdes prejudicadas (MEDEIROS; LIMA; GUIMARÃES, 2016).

As águas dos sistemas de distribuição podem sofrer contaminação diretamente nas fontes de água bruta ou na etapa de adução, entre o manancial e o tratamento ou entre o tratamento e o consumidor final, devido a existência de tubulações quebradas ou corroídas. As substâncias poluidoras e potencialmente prejudiciais à saúde humana atingem a água como consequência de acidentes, ações de irresponsabilidade dos operadores ou ainda de sabotagem, podendo afetar tubulações, tanques de armazenamento de água e até os próprios mananciais (RUTKOWSKI; PROKOPIUK, 2018).

Além das condições da água bruta e da dinâmica local na região onde se encontra o recurso hídrico, segundo Hamdan, Libânio e Costa (2019), a qualidade de um sistema de abastecimento de água está intimamente ligada a fatores que derivam da quantidade monetária disponível para investimento no setor de saneamento, o que influencia diretamente na eficiência dos serviços de operação e manutenção.

Silva et al. (2019) cita que a evaporação do cloro residual na água e mudanças na temperatura são fatores determinantes no ciclo de vida de seres fotossintetizantes e de microrganismos patógenos presentes na água, influenciando em sua qualidade. Para famílias que fazem o uso de águas de soluções alternativas de abastecimento, águas armazenadas por longos períodos devem ser periodicamente tratadas.

2.2.2 Influência da educação ambiental e das práticas culturais na qualidade da água

Práticas culturais e regionais de captação e uso da água podem ter conexão com os índices de doenças de veiculação hídrica. Seja através do uso para lavagem de roupas, para higiene pessoal ou para beber, o modo como uma água é ou não tratada varia de acordo com a confiabilidade dada por uma certa população à sua qualidade. Pessoas que tiveram parentes ou conhecidos afetados por algum tipo de doença em sua localidade tendem a adotar medidas preventivas e receberem melhor as políticas governamentais de suporte e orientação (GUEDES *et al.*, 2015).

A educação ambiental se mostra como forte aliada da saúde no controle das doenças infectocontagiosas, ensinando às pessoas como se protegerem dos perigos da contaminação. O campo de ação das medidas educativas são as comunidades,

sendo de grande importância a adaptação de abordagem para cada realidade cultural e social. Métodos de comunicação persuasiva são comumente utilizados para ensinar sobre estilo de vida saudável e higiene, de forma que atividades do dia a dia sejam executadas de maneira consciente pela população e contribuam para melhorias nas suas condições de vida (LIMACHI *et al.*, 2019).

Para que a população usufrua de uma água de boa qualidade, além das Secretarias Municipais de Saúde e da comunidade exercerem seus papéis de fiscalização da qualidade das águas distribuídas pelas concessionárias, através da exigência e acompanhamento de laudos, faz-se importante o cuidado com o armazenamento dessas nas residências. Para isso, a limpeza periódica das caixas d'água e cisternas é essencial para que haja a garantia de consumo de uma água potável, diminuindo riscos de contaminação que poderiam ser potencializados nos períodos de inércia da água nos reservatórios. Todavia, é notável a falta de conhecimento da população em relação a higienização dos seus reservatórios de água, evidenciando uma necessidade de medidas de conscientização nessa linha (SOUZA; SANTOS, 2019).

Dentro de tais atividades educacionais, ações que façam as comunidades conhecerem os prejuízos que recaem sobre elas quando existem danos físicos às tubulações de abastecimento de água, muitas vezes causadas de forma proposital para desvios ilícitos da água, são de grande importância. Perfurações nas tubulações de adução causam danos de pressurização e outros prejuízos às estações elevatórias, que necessitam por vezes até realizar o recálculo de bombeamento para correção das vazões (FERREIRA, 2017). Caracterizadas no Artigo 155 do Código Penal Brasileiro como crime, essas práticas geram riscos de explosões das tubulações, o que demanda ainda custos para correção das falhas e interrupção dos serviços de abastecimento, havendo prejuízo para os usuários do sistema que deixam de receber água regularmente em suas residências (AESBE, 2015).

2.3 Controle da qualidade da água de abastecimento no Brasil

Segundo Simões *et al.* (2018), do ponto de vista tecnológico, qualquer água pode ser transformada em água potável. Porém, os custos operacionais que permitem a realização de tal feito podem ser economicamente inviáveis, devido ao tempo e recursos que seriam demandados. Portanto, para a escolha de mananciais e

metodologias de tratamento de água, análises laboratoriais e simulações de custos são imprescindíveis, permitindo assim que certas tecnologias sejam consideradas ou não para o tratamento de uma água.

Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019) concluíram que o risco de contaminação humana ou animal por problemas com a qualidade da água está associado ao nível de perigo a qual uma determinada população está exposta. A avaliação do risco que um recurso hídrico pode oferecer a uma população e ao meio ambiente pode ser mensurado com auxílio de ferramentas de probabilidade de ocorrência de eventos e de amostragens realizadas com frequências predeterminadas, sendo de grande importância a existência de uma base de dados históricos para efeito de comparação e validação. Para a compreensão dessas análises, características inerentes a cada localidade do estudo devem ser levadas em consideração, como os usos do solo, pluviometria local, composição geomorfológica, condições da cobertura vegetal e vulnerabilidade à poluição antrópica (BOJARCZUK; JELONKIEWICZ; LENART-BOROń, 2018).

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, de 04 de maio de 2021, atualização da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017, estabelece normas sobre as ações e os serviços do Sistema Único de Saúde (SUS), dispondo sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, sem, porém, ter modificado os valores de controles qualitativos da água estabelecidos pela portaria de 2017. Através dessa portaria, são estabelecidos padrões da água para consumo humano, válidos tanto para as águas provenientes dos sistemas de abastecimento convencionais como para as demais soluções alternativas de abastecimento. Além de estabelecer parâmetros qualitativos, a portaria abrange diretrizes sobre o tratamento da água, manuseio, transporte, coleta de amostras, entre outras atividades que visam a segurança do consumidor final quanto ao consumo de uma determinada água (BRASIL, 2021).

Compete às Secretarias de Saúde dos Municípios a vigilância da qualidade da água, em articulação com os responsáveis pelo abastecimento da qualidade da água para consumo humano. Para isso, as secretarias de saúde devem realizar a inspeção da qualidade da água produzida e distribuída e a identificação de eventuais surtos de doenças e outros agravos relacionados à qualidade da água. Os responsáveis pelo sistema de distribuição ou solução alternativa de abastecimento são responsáveis

pelo controle da qualidade da água por meio de análises laboratoriais, pela operação e manutenção das instalações e pelo encaminhamento dos relatórios das análises dos parâmetros às autoridades de saúde pública (BRASIL, 2021).

A delegação de tarefas dentro das etapas de monitoramento é uma ferramenta de gestão de grande importância. Saber quem realizará as coletas em campo, como estas serão verificadas, qual será a frequência de verificação, onde a verificação ocorrerá e quem fará as verificações são medidas organizacionais simples que contribuirão para o sucesso de um sistema de abastecimento (SORLINI *et al.*, 2017).

A existência de diálogo entre os órgãos responsáveis pelas vigilâncias epidemiológicas, em saúde ambiental, saúde do trabalho, entre outras, além da contribuição com informações por parte dos órgãos responsáveis pelo planejamento urbano e das unidades de saúde básica, por exemplo, são de grande importância para maximizar a eficiência do monitoramento qualitativo da água e a identificação de focos de doenças de veiculação hídrica (SOARES; CARMO; BEVILACQUA, 2017).

O Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) é um instrumento do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) e visa auxiliar o gerenciamento de riscos à saúde associados à qualidade da água por meio de ações do SUS, caracterizar o abastecimento de água no Brasil e identificar possíveis vulnerabilidades relacionadas ao consumo de água pela população. O sistema possui dados, fornecidos manualmente pelos profissionais das secretarias de saúde e pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água, que informam a respeito das formas de abastecimento de água utilizadas pela população, incluindo análises das condições de infraestrutura, operação e de monitoramento da qualidade da água (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

O anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, incluído na Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, apresenta parâmetros para controle microbiológico da água para consumo humano e planos de amostragem que variam com a quantidade de pessoas que serão abastecidas por um determinado sistema. Os parâmetros de controle variam com o tipo de manancial e são mais rigorosos para as amostras coletadas após a saída do tratamento. Para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, devem ser analisados os seguintes parâmetros: cor, turbidez, cloro residual livre, cloraminas, dióxido de cloro, pH, fluoreto, gosto e odor, coliformes totais, cianotoxinas, produtos secundários da desinfecção, substâncias

químicas que representam risco à saúde, cianotóxicas, substâncias radioativas, entre outros. Para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, os principais parâmetros são: pH, turbidez, cor aparente, coliformes totais e cloro residual livre (BRASIL, 2017).

Durante o processo de revisão da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, a sociedade pôde contribuir por meio da participação em oficinas regionais promovidas pelo Ministério da Saúde e da sugestão de alterações, exclusões ou inclusões de tópicos por meio de preenchimento de um formulário digital disponibilizado na plataforma eletrônica do SUS. Alguns dos tópicos da revisão trataram dos planos de amostragem, definição de parâmetros de controle de desinfecção, controle de aceitação da presença de substâncias químicas, como agrotóxicos, fármacos e desreguladores endócrinos, entre outros. A normatização dos padrões de potabilidade da água para consumo humano é realizada pelo Ministério da Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM) (BRASIL, 2020). A Figura 1 mostra a evolução temporal das portarias de potabilidade no Brasil.

Figura 1: Evolução temporal das portarias de potabilidade no Brasil



Fonte: Autoria Própria, 2021

2.3.1 pH

O pH, que significa Potencial Hidrogeniônico, é um índice indica a medida da concentração relativa de íons de hidrogênio numa solução, informando assim a respeito da acidez ou alcalinidade de uma solução. O valor de pH varia de 0 a 14, sendo calculado como logaritmo negativo de base 10 da concentração de íons de hidrogênio em moles por litro. Um valor de pH igual a 7 indica uma solução neutra; índices de pH maiores do que 7 são indicativos de soluções básicas, acusando um maior número de moléculas de oxigênio do que de hidrogênio, enquanto valores de pH abaixo de 7 são indicativos de soluções ácidas, acusando a presença de mais

moléculas de hidrogênio do que de oxigênio na solução (SILVA JUNIOR; CARVALHO; RAGASSI, 2019).

Para a água potável, geralmente o pH está compreendido entre a faixa de 6 a 8. Entretanto, esse índice pode sofrer variações quando há contato da água com materiais orgânicos, seres vivos fotossintetizantes, rochas, gases atmosféricos, despejos domésticos ou industriais, entre outros. Tais variações ocorrem geralmente pelo consumo ou produção de dióxido de carbono pelos organismos presentes na massa d'água, o que resulta na produção de ácidos orgânicos fracos (SILVA JUNIOR; CARVALHO; RAGASSI, 2019; CÂNDIDO *et al.*, 2015).

O fenômeno da erosão tende a alterar o pH de uma água, principalmente próximo a áreas agrícolas, por meio do transporte de nutrientes do solo para a água (BRIZZI; SOUZA; COSTA, 2017). Por sua vez, águas localizadas próximas a regiões com muita poluição no ar tendem a possuir pH mais baixo devido às chuvas ácidas (MARTINS; OLIVEIRA; SCHVEITZER, 2016). Os efeitos de substâncias químicas tóxicas na água, como os metais pesados, sofrem variação conforme o pH é alterado (FIGUR; REIS, 2017).

O pH fornece informações a respeito da qualidade das águas e é um parâmetro de grande importância para os seres vivos, uma vez que as atividades biológicas são realizadas de formas mais eficientes dentro de faixas limitadas de pH. O pH sanguíneo está diretamente ligado ao pH da água ingerida; este varia diretamente com o teor de bicarbonato ou sais de bicarbonato, que, por sua vez, devem estar presente no corpo humano na proporção de 2g/L. Observar a variação do pH de uma água em tempo real é, portanto, uma atividade que coopera para a manutenção da saúde dos seres vivos, auxiliando na prevenção de doenças cardiovasculares e da osteoporose, por exemplo (NOGUEIRA-DE-ALMEIDA; RIBAS FILHO, 2018; WANG *et al.*, 2019).

Durante o processo de tratamento da água, faixas específicas de pH são necessárias para que exista uma coagulação eficiente das impurezas existentes, uma vez que os valores de pH afetam as cargas e formas superficiais dos coagulantes e impurezas a ser removidas. As células provenientes das algas são efetivamente coaguladas a valores de pH compreendidos na faixa entre levemente ácidos a neutros, devido a interações entre essas e os coagulantes à base de ferro e alumínio, enquanto partículas inorgânicas sofrem coagulação preferencialmente em valores de pH neutros (NACERADSKA; PIVOKONSKA; PIVOKONSKY, 2019).

A Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, em seu Art. 39 do Anexo XX, estabelece que a faixa ideal de pH deve estar compreendida entre os valores de 6,0 a 9,0 no sistema de distribuição. A medição do pH deve ser feita na saída do tratamento a cada duas horas para águas provenientes de mananciais superficiais. Para o controle da qualidade da água de solução alternativa coletiva, a análise do pH da água deve ser feita diretamente no ponto de consumo, devendo as amostras ser coletadas semanalmente, na proporção de uma para cada 500 habitantes (BRASIL, 2017).

2.3.2 Turbidez

Turbidez é um parâmetro de indicação qualitativa da água de abastecimento que quantifica a interferência à passagem de um feixe de luz por uma amostra de água, causada por partículas sólidas em suspensão, como areia, argila, silte, materiais orgânicos, rejeitos de mineração, bactérias, algas, etc., que desviam ou absorvem os raios luminosos que penetram na água, conferindo uma aparência turva à mesma. As medições são feitas em equipamentos denominados turbidímetros e os resultados das medições são expressos em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (SILVA JUNIOR; CARVALHO; RAGASSI, 2019).

Uma elevada turbidez evidencia uma grande quantidade de sedimentos em uma água. A chegada de sedimentos a um manancial, antes da etapa de tratamento, se dá principalmente pela erosão dos solos, intensificada em períodos de maior intensidade pluviométrica (VISCHI FILHO *et al.*, 2016). Nesses períodos, as Estações de Tratamento de Água devem realizar adaptações operacionais nas dosagens de coagulantes e nos processos de decantação e filtração, conforme for identificado o tipo de material que está em maior suspensão na água (KEOGH *et al.*, 2017).

Além de apresentar aparência, sabor e cheiro desagradáveis, a água de beber com elevados índices de turbidez pode ser prejudicial à saúde humana. Caso a turbidez não seja removida, a água pode se tornar um meio propício ao crescimento de microrganismos patógenos, causando doenças gastrointestinais, por exemplo. A remoção da turbidez se constitui gradativamente por cada uma das etapas convencionais de tratamento da água, desde a coagulação até a desinfecção. Os processos de coagulação e floculação são de grande importância na separação de partículas sólidas da água, podendo reduzir a intensidade da cor e diminuir os níveis

de turbidez por meio da remoção de compostos orgânicos, bactérias, algas e de partículas argilosas. Já nas comunidades que não possuem acesso à água de abastecimento, os métodos de desinfecção são os mais acessíveis e utilizados para a clarificação da água (ABOUBARAKA; ABOELFETOH; EBEID, 2017).

Em todo o mundo, a turbidez é frequentemente utilizada como indicador da qualidade da água potável, pois esse parâmetro, embora por si só não represente risco à saúde humana, pode revelar a presença de contaminação da água por microrganismos patogênicos (STEVENSON; BRAVO, 2019). Muoio *et al.* (2020) afirmaram que a probabilidade de contração de doenças gastrointestinais por meio do consumo da água de beber aumenta conforme maior for o nível de turbidez dessa.

No Brasil, a Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde estabelece em seu Artigo 30, no 2º parágrafo, um valor máximo de 5,0 UNT a ser encontrado em toda a extensão do sistema de distribuição, incluindo reservatório e rede. Porém, o Anexo II da mesma portaria informa ainda que após a etapa de filtração rápida, o valor máximo permitido em 95% das amostras, coletadas no mínimo a cada duas horas, é de 0,5 UNT; caso seja empregada a filtração lenta, 95% das amostras, coletadas no mínimo uma vez ao dia, devem apresentar valor máximo de 1,0 UNT após essa etapa de tratamento. Já para fontes de abastecimento alternativo de água, as amostras devem ser coletadas no mínimo uma vez por semana, na quantidade de uma para cada 500 habitantes que fizerem o uso dessa água, sendo o limite aceitável de turbidez igual a 5,0 UNT (BRASIL, 2021).

2.4 Sistemas alternativos de abastecimento de água para comunidades

O abastecimento de água para comunidades pode acontecer através de sistemas convencionais de abastecimento, compostos por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, que são responsáveis pela captação, produção de água potável e ligações das redes de abastecimento. Pode ser feito por meio de soluções alternativas coletivas, modalidade de abastecimento coletivo para fornecimento de água captada superficialmente ou subterraneamente, com ou sem rede de distribuição. Existem ainda as soluções alternativas individuais, modalidade para abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A grande maioria dos municípios brasileiros são abastecidos com águas provenientes de Estações de Tratamento de Água (ETAs) e de sistemas convencionais de adução da água, principalmente aqueles com mais de 100 mil habitantes (BARTIKO; JULIO, 2015). Diante dos custos elevados de implantação e operação de ETAs convencionais, por muitas vezes a construção de tais unidades em locais onde existe baixo adensamento populacional são inviabilizadas, uma vez que a demanda por abastecimento nas pequenas comunidades não é vista como oportunidade de lucro para as concessionárias de água (GUEDES *et al.*, 2019).

As longas distâncias que deveriam ser percorridas pelas tubulações de adução entre as ETAs já existentes e as comunidades mais distantes dos grandes centros urbanos, implicariam em altos custos de investimento que dificilmente seriam cobertos pelo consumo regular da água ofertada para os seus habitantes. Motivações políticas ou financeiras, como a existência de áreas de produção industrial ou agrícola, influenciariam na expansão das redes de abastecimento de água para localidades remotas.

Além de ser possibilitado por meio das redes de abastecimento público, o acesso à água se dá através de veículos transportadores, de sistemas de captação de água de chuva em cisternas, por captação direta de recursos hídricos com auxílio de baldes, através da coleta em poços, entre outros. Em todas essas formas de acesso, a vigilância da qualidade da água se faz necessária para garantir boa qualidade de vida aos seus usuários (MACHADO *et al.*, 2016).

Fontes alternativas de água, como bicas, poços rasos e pequenos córregos, são utilizadas com frequência pela população por serem classificadas equivocadamente como limpas e melhores do que as águas fornecidas pelas companhias de saneamento, devido ao fato de serem águas não manipuladas. Tal pensamento deriva de questões culturais, passadas por gerações, de que águas de fontes naturais teriam qualidade superior às águas que chegam nas residências por não receberem aditivos químicos, como o cloro. Em tais fontes, protozoários, vírus ou bactérias podem estar presentes devido a contaminação por esgotos domésticos, agrotóxicos ou decomposição de matéria orgânica, se fazendo necessário a avaliação qualitativa da água para que seja averiguada sua segurança quanto ao consumo humano (SILVA; YAMANAKA; MONTEIRO, 2016).

Bezerra *et al.* (2017), estudaram o comportamento de comunidades em bairros de Fortaleza, no Estado do Ceará, quanto a aceitação de águas de chafarizes.

Segundo alguns moradores do bairro, a preferência pela água de chafarizes ao invés da opção pelas águas que chegam às torneiras das casas, se dá pela ausência do sabor de cloro. Os autores citam exemplos de outras comunidades que consideram as águas distribuídas por estações de tratamento inferiores em qualidade do que as águas subterrâneas coletadas em poços, rejeitando fatores como cor, sabor e turbidez daquelas.

Existem casos de populações que possuem suas casas conectadas às redes de abastecimento, mas optam por comprar água de caminhões pipa, seja por problemas como baixa pressão na distribuição, interrupção do abastecimento durante alguns dias da semana ou ainda pela percepção negativa do sabor da água proveniente de estações de tratamento. Casos como este ocorrem em localidades supridas pela existência de poços que fornecem águas duras ou salgadas. Há situações onde a população opta por não consumir a água das redes de distribuição devido às altas taxas cobradas pelas companhias de distribuição de água (GÓMEZ-VALDEZ; PALERM-VIQUEIRA, 2016).

Quando há captação da água diretamente de mananciais, técnicas de tratamento da água se fazem necessárias nas pequenas comunidades, muitas das quais podem ser realizadas sem grandes investimentos financeiros. A fervura, método físico de desinfecção bastante difundido pelo mundo, assegura a inativação dos microrganismos após a água atingir o seu tempo de ebulição e manter-se sob contato de uma fonte de calor, sendo indicada para consumos domésticos e situações de emergência quando a água não oferece confiabilidade ao consumidor. Métodos adicionais de tratamento, como adição de cloro e a filtração, são indicados para que haja melhoramento no gosto, cor e odor da água (BRASIL, 2005; PINTO *et al.*, 2017).

A cloração, porém, é o método de desinfecção mais utilizado pelo mundo no tratamento de água, tendo como principal objetivo a eliminação ou inativação de microrganismos patogênicos que possam existir na água, sendo a inativação através da interrupção do ciclo reprodutivo dos patógenos. Sua fácil operação contribui para os processos de desinfecção de reservatórios de água nas comunidades que não são abastecidas pelas redes de distribuição (LIMA *et al.*, 2018).

Além de esforços tecnológicos para o tratamento da água nas pequenas comunidades, a gestão e o uso consciente da água são de grande importância para a existência de um bom sistema de captação, armazenamento e distribuição. Embora existam problemas de disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, outras regiões

semiáridas pelo mundo apresentam menores índices pluviométricos e mesmo assim garantem abastecimento às suas populações (CARVALHO; LIMA; SILVA, 2017). Exemplo de eficiência na utilização de fontes de água não convencionais, como águas recicladas ou salobras, para suprir inclusive a irrigação, pode ser visto em Israel, país com muitas regiões de seca que tem recebido investimentos científicos e tecnológicos nessa área (RAVEH; BEN-GAL, 2018).

2.4.1 Caminhões-pipa

A água transportada por caminhões-pipa, seja para suprir uma falta de água momentânea ou como forma rotineira e única de abastecimento de água potável à uma comunidade, deve garantir condições de qualidade que assegurem a inexistência de riscos à saúde. Para isso, a coleta das águas é geralmente feita diretamente nas Estações de Tratamento de Água, tendo-se garantia de que estas sigam as recomendações da Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (CARVALHO, 2015; BRASIL, 2021).

Para cada caminhão-pipa de água, deve ser requerido, junto aos fornecedores, um laudo do atendimento aos requisitos de saúde, estabelecidos na Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, contendo análises laboratoriais segundo os planos de amostragem contidos na mesma portaria em vigência. Os profissionais que trabalham de forma direta no fornecimento e controle da qualidade da água para consumo humano devem ser capacitados e atualizados quantos às técnicas de segurança (BRASIL, 2021).

Conforme a Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, uma análise de cloro residual livre deve ser realizada para cada carga de água transportada, enquanto análises de cor, turbidez, pH e coliformes totais devem ser feitas na fonte de fornecimento da água com frequência mensal. A autoridade de saúde pública pode determinar outra forma de amostragem, de maneira a sempre existir o controle dos veículos transportadores de água para consumo humano (BRASIL, 2021).

Além da qualidade da água presente na fonte de captação, outra preocupação quanto ao comércio da água em caminhões-pipa é referente aos diversos riscos de contaminações aos quais os veículos estão expostos, sejam durante o abastecimento, descarga ou transporte. Fatores como a temperatura da água no interior do container de armazenamento, que quando elevada pode evaporar o cloro presente na água, a

idade da água transportada, o material do qual é feito o container e a ausência de higienização desses, o que acaba constituindo ambientes propícios a criação de biofilmes, influenciam diretamente na qualidade da água. Um estudo realizado na cidade de Caruaru analisou dez amostras de água de cinco caminhões-pipa, coletadas em diferentes pontos da cidade, identificando que 90% dessas possuíam contagem de coliformes totais e bactérias heterotróficas em desacordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente da época (MENDONÇA *et al.*, 2017).

Lucena (2018) analisou laboratorialmente as águas de cinco caminhões-pipa e cinco cisternas que fazem parte dos sistemas alternativos de abastecimento de água da cidade de Campina Grande, Paraíba. As águas transportadas pelos caminhões-pipa não eram potáveis, de acordo com os parâmetros mínimos da normativa vigente, tendo como única medida de tratamento a cloração. Misturas de águas de diversas fontes, como açudes, poços e provenientes do sistema convencional de abastecimento, eram distribuídas para a população. Foi identificado ainda que após o abastecimento de cisternas com águas de caminhões pipa, não há mais controle da qualidade, evidenciando a ausência de ações de monitoramento e tratamento da água por parte dos órgãos gestores.

O monitoramento automatizado e em tempo real da qualidade da água em caminhões-pipa, contribuiria para majorar a segurança do usuário final quanto ao seu consumo. Medições inteligentes via sensores acoplados nos tanques de armazenamento de água desses veículos, com o auxílio de dispositivos de transmissão de dados 3G/4G, poderiam auxiliar no controle de eventuais alterações nos parâmetros de potabilidade. As dificuldades de captação de sinal de internet em localidades remotas poderiam ser supridas pelo uso de cartões de memória, que armazenariam o histórico de monitoramento ao longo do dia para posteriores análises.

2.4.2 Poços

A água subterrânea é uma fonte utilizada em todo o mundo para consumo humano principalmente em comunidades que não possuem acesso à rede pública de abastecimento, ou que o possuem, mas com irregularidade no fornecimento. Por não estarem visualmente expostas às fontes de contaminação, existe a falsa ideia da isenção total de contaminação das águas de poços por microrganismos patógenos.

Porém, essa fonte de abastecimento não está isenta da contaminação que se propaga pelo solo em contato com fezes, agrotóxicos ou contaminantes de origens industriais, por exemplo, carecendo de cuidados e controle de qualidade para garantir a saúde dos seus consumidores (BAGATINI; BONZANINI; OLIVEIRA, 2017).

Soares, Carmo e Bevilacqua (2017) relatam, por meio de entrevistas feitas com pessoas de pequenas comunidades, a relação de carinho e confiabilidade que há entre elas e as águas de poços. Os poços são vistos como parte integrante da casa e da história da família, influenciando na preservação da percepção da boa qualidade de sua água.

Porém, estudos comprovam a vulnerabilidade da água captada em poços. Bortoli *et al.* (2017) analisaram a qualidade da água em dez poços particulares no município de Encantado-RS, identificando valores de cor e turbidez superiores aos recomendados pela legislação, além de análises microbiológicas em desacordo com os padrões de potabilidade. Os autores sugerem como soluções para minimização da contaminação das águas o revestimento das bordas, paredes e tampas dos poços com alvenaria ou concreto, o afastamento de animais das proximidades onde ficam os poços e a não utilização de adubos orgânicos de origem animal próximo ao recurso hídrico.

A contaminação da água superficial, agravada pelos fenômenos de crescimento populacional e expansão industrial, tem feito um número cada vez maior de poços serem perfurados para suprir a demanda de água no abastecimento. Apesar de terem maior proteção natural aos agentes contaminantes do que as águas superficiais, as águas de poços não estão imunes à contaminação, sendo de grande importância a realização de serviços de impermeabilização e cuidados com as tubulações que eventualmente existam. Os processos de desinfecção são essenciais, devendo ser realizados após a verificação dos testes microbiológicos, que informarão a respeito dos contaminantes e servirão como guia na tomada de decisão sobre qual o método de desinfecção mais apropriado para ser utilizado (SOUZA *et al.*, 2018).

O uso de sistemas automatizados para monitoramento da qualidade da água de poços de comunidades rurais, apresenta-se como alternativa às coletas de amostras de água de forma convencional. A economia de tempo, recursos financeiros e de mobilização de pessoal em campo, justificaria a implantação de sensores e dispositivos para transmissão de dados de forma remota, objetivando a medição de parâmetros de potabilidade da água de poços. De posse dos valores medidos, os

órgãos de vigilância poderiam fazer ações reparatórias na qualidade da água de forma mais pontual.

2.4.3 Cisternas

Em locais onde há longos períodos de estiagem, o uso das cisternas se popularizou e estas acabaram por estar, convencionalmente, presentes nas construções de casas e prédios de múltiplos usos. A captação das águas das chuvas utilizando-se das áreas dos telhados das casas, de calhas e tubulações que as direcionem até as cisternas, é de grande importância para locais que não são beneficiados com o acesso à rede pública de abastecimento. As cisternas são grandes reservatórios construídos em concreto armado, alvenaria de tijolos ou até mesmo feitas de polietileno ou fibra de vidro que permitem o armazenamento de água das chuvas mesmo nos períodos de estiagem, garantindo primeiramente o acesso à água para beber e para manutenção das atividades de higiene de uma família (GRIS; BERTOLINI; JOHANN, 2017).

No Brasil, o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), financiado a partir de 2003 pelo Governo Federal, consistiu na construção de cisternas de 16.000L que viessem a beneficiar comunidades, famílias e organizações da sociedade civil que não tivessem acesso à água encanada em quantidade e qualidade suficiente para consumo humano, produção de alimentos e criação de animais. As cisternas do P1MC seriam, teoricamente, suficientes para o armazenamento de água para suprir, pelo menos, as necessidades básicas de uma família de até cinco pessoas pelo período de um ano (SOARES JUNIOR; LEITÃO, 2017)

Porém, o controle qualitativo das águas armazenadas nas cisternas do P1MC é muitas vezes negligenciado pelos órgãos de vigilância e pelos próprios usuários, que não são corretamente instruídos a realizarem os processos de desinfecção ou não recebem constantemente os produtos desinfetantes que deveriam ser distribuídos como ação do próprio programa. O volume das cisternas é tido muitas vezes como insuficientes para a realização das atividades diárias pelas famílias, que despejam águas de outras fontes não tratadas nas cisternas. Além disso, a falta de manutenção nas cisternas possibilita o aparecimento de defeitos estruturais como a formação de trincas, expondo a água aos agentes contaminantes externos, causando prejuízo à saúde dos seus usuários (GOMES; HELLER, 2016).

A qualidade da água de cisternas rurais pode ser afetada por fatores como localização geográfica da propriedade, estações do ano, presença de vegetação no entorno da área de captação, movimentações do solo em épocas de plantio, tipo de cobertura dos telhados e tipo do material de construção da cisterna. Em regiões agropecuárias, a chuva pode apresentar maiores concentrações de nitrato, devido ao uso de fertilizantes, motivo que aumenta a necessidade de monitoramento qualitativo da água armazenada (PALHARES, 2016).

Em cisternas para captação de água da chuva, a filtração é de grande importância ao auxiliar na retenção de sedimentos, geralmente acontecendo entre o telhado e o tanque de armazenamento. Como medida de segurança, as águas das primeiras chuvas devem ser descartadas, pois essas apresentam maiores concentrações de partículas sólidas contaminantes, como restos vegetais, fezes de pássaros e de pequenos animais, insetos, poeiras, restos do revestimento do telhado, entre outros. Alguns filtros domésticos apresentam ainda dispositivos de desinfecção microbiológica da água, sejam esses por meio da adição de agentes desinfetantes ou através dos próprios materiais que constituem os filtros (DALPAZ *et al.*, 2019).

Para maximizar a conservação da qualidade da água armazenada em cisternas, é recomendada a impermeabilização da sua estrutura. Além disso, as cisternas devem ser construídas com materiais opacos, de forma a evitar a entrada e luz e diminuir o crescimento de algas, como também não devem conter materiais e pinturas que liberem substâncias prejudiciais à saúde de humanos e animais. A entrada de água e o extravasor devem ser protegidos com telas, evitando a entrada de insetos e pequenos animais, devendo haver uma abertura na cobertura das cisternas para ações de inspeção e limpeza (PALHARES, 2016).

As formas de transporte da água, desde a captação nas cisternas até os locais de uso, podem se constituir meios de contaminação. Para isso, o uso de bombas para a retirada da água das cisternas é mais apropriado do que a coleta feita em baldes, evitando o contato direto dos usuários com os reservatórios. Uma pesquisa realizada na cidade de Campina Grande com 54 famílias, constatou que 57% dos entrevistados apenas filtram as águas das cisternas antes de beberem, 17% realizam a cloração, 17% não fazem nenhum tipo de tratamento, 6% apenas coam a água antes do consumo e 4% realizam a coação e cloração das águas. Além do uso das cisternas para captar a água das chuvas, os entrevistados alegaram o uso dessas para armazenar as águas provenientes de caminhões-pipa (ALVES, 2016).

Um estudo realizado na cidade de San Miguel Tulancingo, México, identificou que a água de chuva armazenada em seis cisternas diferentes excedeu os limites estabelecidos pela potabilidade local para consumo humano nos parâmetros de sabor, turbidez, alumínio, ferro e mercúrio, necessitando receber posterior tratamento (HERNÁNDEZ *et al.*, 2017).

Carvalho e Silva (2014) avaliaram que oito cisternas, localizadas no município de Cuité, Paraíba, quando abastecidas pelas chuvas e tratadas por meio de processos de filtração e cloração, apresentaram valores dentro do estabelecido pelo Ministério da Saúde para os parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, dureza e alcalinidade, apresentando apenas níveis de cloreto abaixo do recomendado. Quando as cisternas eram abastecidas com água de caminhões-pipa, os valores de condutividade elétrica aumentavam, evidenciando a necessidade de controle da água nessa modalidade de abastecimento. Os autores identificaram ainda que cisternas construídas a partir de folhas de zinco favoreciam a entrada de partículas e pequenos animais, enquanto as construídas de madeira favoreciam o desenvolvimento de microrganismos poluidores.

Cunha (2014) estabeleceu um estudo direto entre as condições de higienização de cisternas de placas e o atendimento aos parâmetros de potabilidade das águas armazenadas. Nesse trabalho, 25 cisternas foram analisadas, dentre as quais cinco se destacaram negativamente, apresentando altos valores de condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos. A falta de limpeza periódica dessas cisternas, presença de aberturas em suas estruturas e falta de higienização de componentes dos sistemas de captação da água da chuva, como calhas e bombas, foram os maiores responsáveis pela contaminação das águas.

2.5 Uso de automatização no controle da qualidade da água usada para o abastecimento humano

O monitoramento convencional da água, realizado através do recolhimento de amostras e da realização de testes qualitativos por meio de planos de amostragem, é a forma mais comum para avaliação de parâmetros de segurança que uma água fornece quanto ao consumo humano. Porém, tecnologias têm sido desenvolvidas para minimizar os custos e o tempo de coleta e análise de amostras, contando com

sensores para medição de propriedades da água e ferramentas computacionais para validação do modelo criado (ROCHA; ITO; LAUTENSCHLAGER, 2018).

Segundo Pasika e Gandla (2020), *Smart Water Quality Monitoring (SWQM)* ou monitoramento inteligente da qualidade da água são sistemas compostos por microcontroladores e sensores, montados de forma compacta para verificação de parâmetros como pH, turbidez, nível da água, temperatura e umidade atmosférica, funcionando continuamente e enviando dados em tempo real para estações de monitoramento via tecnologias *wireless*. Aplicações como *ThingSpeak* e *Temboo* são comumente usadas como interface de interpretação e apresentação dos dados recebidos, podendo ser usadas em computadores ou dispositivos móveis.

A redução de tempo gasto em operações de controle qualitativo da água, redução de custos energéticos, de deslocamento e a possibilidade de aumento do rendimento na produção de água tratada, são alguns dos benefícios que os sistemas de tratamento e distribuição de água obtêm com o uso de automatização em suas etapas de produção e monitoramento. Um investimento inicial em uma Unidade Terminal Remota (UTR), que envolve a aquisição, processamento e transmissão de dados, além de treinamentos das equipes de operação dos instrumentos de coleta em campo e dos responsáveis pelo tratamento e envio dos dados, se faz necessário. A eficácia do uso da automatização é possível por meio da inserção de parâmetros pré-determinados nos dispositivos de controle e da capacidade dos controladores de tomarem decisões após terem posse dos dados coletados (VASCONCELOS; ROCHA; ALEXANDRIA, 2018).

Sistemas automatizados de monitoramento de contaminação mostram-se como grandes aliados no controle e manutenção da qualidade das águas, diminuindo o tempo de detecção de eventuais contaminantes e reduzindo o trabalho de equipes de campo. Exemplo disso, o *Contamination Monitoring System (CMS)* funciona como um ambiente de trabalho e interação on-line entre as equipes que compõem uma estação de tratamento de água, utilizando-se de sensores para medições de vários parâmetros na água, o que possibilita a identificação de mudanças na sua qualidade. Após a identificação de uma possível contaminação, o CMS pode ainda ser programado, com o auxílio de algoritmos avançados, para identificar as possíveis fontes de contaminação e como essa se dá dentro de um sistema de distribuição, facilitando ações de contingência no abastecimento em situações de emergência (RUTKOWSKI; PROKOPIUK, 2018).

Outro aliado no controle qualitativo da água é o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), um método utilizado para identificar e prevenir sistemas, produtos ou processos de ser acometidos por falhas antes que essas ocorram, sendo realizado através de análises sistemáticas e contribuindo com a saúde e segurança de uma população envolvida (SHARMA; SRIVASTAVA, 2018). Nos estudos de avaliações de risco de contaminação da água, o FMEA mostrou-se útil na identificação da degradação da qualidade de água no Sistema de Abastecimento Público de Campina Grande (Nascimento, 2016) e na avaliação de risco de contaminação pela utilização de galões de 5 litros como refis para comercialização de água para consumo humano no distrito de Rungkut, Surabaya (WICAKSONO; KARNANINGROEM, 2019).

Porém, a implantação de sistemas de automatizados requer investimentos iniciais, tanto financeiros como de tempo, que irão variar dependendo das características da bacia hidrográfica local, da experiência da equipe de apoio, da existência de uma base de dados a respeito do recurso hídrico em estudo, do tamanho e complexidade do sistema e da eficiência dos sistemas de controle já existentes (RONDI; SORLINI; COLLIVIGNARELLI, 2015).

Os altos custos de alguns sensores já existentes no mercado para monitoramento da qualidade, temperatura, vazão e outros parâmetros relacionados à água, são obstáculos à implantação dessas tecnologias em ETAs de menor porte, que contam com arrecadações financeiras insuficientes para patrocinarem a implantação da automatização em seus sistemas. Diante disso, dispositivos de baixo custo têm sido desenvolvidos para auxiliar nas leituras de dados em campo e testados para o monitoramento de pequenos corpos hídricos ou reservatórios. Tais leituras realizadas pelos sensores podem ser acessadas por usuários através de softwares instalados em computadores ou dispositivos móveis, que fornecem dados visuais e gráficos a respeito de determinados parâmetros de interesse (ALVES; MANERA; CAMPOS, 2019).

Para o desenvolvimento de sensores inteligentes, a elaboração do hardware, que diz respeito aos componentes físicos sensoriais e ao local onde os dados coletados são pré-processados, constitui a primeira etapa de sua criação. A transmissão de dados e o software de processamento são as etapas a serem desenvolvidas a seguir na elaboração da arquitetura da rede de monitoramento.

Diante dos elevados custos de muitos medidores de parâmetros da qualidade da água comercializados, algumas tecnologias têm se tornado aliadas no

desenvolvimento de sensores inteligentes de baixo custo, tais como o armazenamento de dados em nuvens, o uso de pequenas baterias para alimentação dos hardwares e as redes de transmissão de dados com boas velocidades, obtidas via operadoras telefônicas que fornecem serviços de internet com 4G e 5G (ZHANG *et al.*, 2019).

No âmbito do desenvolvimento de sistemas automatizados para monitoramento do uso sustentável da água, Luciani *et al.* (2019) criaram um sistema de monitoramento e processamento dos dados de consumo da água em tempo real para residências utilizando de componentes de hardware facilmente disponíveis no mercado, a fim de informar aos usuários finais a respeito de eventuais perdas no sistema de abastecimento, utilizando um computador de placa única e programação com sistema operacional Linux. Nesse sistema, os sensores de medição de vazão coletam dados de consumo da água e realizam a transmissão desses, via módulo de rádio, para o sistema de monitoramento, que por sua vez encaminha esses dados para uma plataforma em nuvem, via módulo Wifi/3G/4G. Esta processa os dados a fim de retornar informações úteis em tempo real para os usuários finais, que podem ser os consumidores ou a concessionária de água.

Zin *et al.* (2019) desenvolveram um sistema de monitoramento da qualidade da água por meio de cinco sensores, responsáveis pela leitura de dados de temperatura da água, nível da água, pH, turbidez e dióxido de carbono presente na superfície da mesma. O sistema foi montado em uma placa mãe de alta velocidade e a linguagem C++ foi escolhida para projetar o software do dispositivo. Os dados são coletados em tempo real em cada um dos cinco sensores que foram postos em contato com a água, sendo a seguir transmitidos via um módulo de transmissão wireless para uma estação de controle, que permite então o acesso remoto às informações por outros dispositivos. Após a coleta e análise dos dados, experimentos laboratoriais foram realizados para validar as leituras desse novo sistema de monitoramento. Diferenças muito pequenas foram identificadas entre os resultados das medições por sensores e por testes laboratoriais, atestando a eficiência da tecnologia sensorial na minimização de tempo de operação, custo e consumo de energia.

A avaliação da qualidade da água por meio de sensores de baixo custo ainda enfrenta alguns desafios, como a programação para leituras de baixa potência, a transferência automática de dados, principalmente em áreas que contam com sinais fracos de internet, alternativas de fornecimento de energia, durabilidade dos

componentes e portabilidade dos dispositivos de monitoramento. Ainda assim, o desenvolvimento de sistemas para monitoramento remoto da água de consumo humano pode beneficiar comunidades de zonas rurais e de difícil acesso, contribuindo para o melhoramento da qualidade de vida dessas populações (SRIVASTAVA; VADDADI; SADISTAP, 2018). Pule, Yahya e Chuma (2017) identificaram por meio de pesquisas bibliográficas os seguintes parâmetros da água como sendo os mais explorados pelos sistemas de monitoramento remoto: temperatura, pH, turbidez, nível da água, salinidade, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido.

2.5.1 Uso da ferramenta Arduino na automatização de sistemas

Na elaboração de sistemas automatizados de baixo custo, a plataforma de desenvolvimento Arduino é uma das mais populares e utilizadas mundialmente na prototipação rápida de projetos. Arduino é uma plataforma de hardware livre com base em uma placa simples de entrada/saída que possui uma linguagem de programação padrão, similar à linguagem C, a qual pode ser usada para controlar sensores, motores, luzes e outras diversas aplicações, conforme a necessidade dos projetistas. Sua facilidade de utilização em relação a outras plataformas é um fator impulsionador do seu uso, permitindo que pessoas de diversas áreas explorem a automatização de sistemas por meio do aprendizado em tempos relativamente curtos (SILVA *et al.*, 2017).

A plataforma Arduino possui uma rede de cooperativismo entre os usuários, que são os responsáveis por manterem o movimento de código aberto em funcionamento e impulsionarem a criação de novos protótipos baseados nesse microcontrolador. Eles compartilham informações, esquemas lógicos e resultados, além de fornecerem auxílios à eventuais problemas e dúvidas que venham a surgir por meio de fóruns, sites e redes sociais. A placa Arduino é um pequeno computador com portas de acesso aos componentes externos, como sensores, transmissores de dados, botões, potenciômetros, displays, motores, cartões de memória, entre outros componentes. A escolha desses varia com a demanda de cada protótipo a ser construído, podendo ser encontrados com certa facilidade no mercado e apresentando características que permitem fáceis manipulações e adaptações quanto a programação (RAMOS; ANDRADE, 2016).

O uso do Arduino para monitoramento qualitativo da água vem sido praticado em vários estudos pelo mundo, abrangendo uma grande diversidade de parâmetros de interesse e contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de baixo custo. Para a obtenção de dados de pH em igarapés na cidade de Manaus, Miranda *et al.* (2020) realizaram o monitoramento qualitativo das águas por meio do sistema Arduino, acoplado com um sensor de pH e ligados a um notebook. Os autores recomendaram o acréscimo de mais sensores ao sistema desenvolvido, dentro os quais foi citado o sensor de turbidez.

Santos *et al.* (2018) utilizaram sensores de pH e temperatura conectados à uma placa de Arduino para monitoramento da qualidade da água de reservatórios destinados à aquicultura, sendo esse sistema alimentado por uma fonte de 9V. Quando os resultados obtidos pelos sensores foram comparados com as leituras das mesmas amostras realizadas em equipamentos profissionais, notou-se diferenças de $\pm 0,01$ para leituras de pH e $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para leituras de temperatura. Conforme for a necessidade de acompanhamento dos parâmetros de interesse, o Arduino pode ser programado para armazenar informações ou até mesmo transmitir em tempo real os dados de leitura. Neste trabalho, para possibilitar o armazenamento dos dados, foi adicionado ao sistema um módulo de cartão SD e um cartão SD HC.

Lima (2018) desenvolveu um sistema para monitoramento dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica nas águas de dois poços da Universidade Estadual de Feira de Santana. A análise dos parâmetros por meio dos sensores era feita em laboratório, a partir de amostras coletadas, e o envio dos dados para nuvem da plataforma Temboo era realizado por meio de comunicação Ethernet, onde a placa de Arduino Mega estava conectada à um modem de internet por meio de um cabo, uma vez que foram identificadas dificuldades quanto ao uso de transmissão de dados via Wi-fi ou 3G. As variáveis foram monitoradas e organizadas em gráficos que mostraram a evolução dessas ao longo dos dias. O sistema contava com saída de armazenamento para pen drive, que possibilitava o salvamento de dados quando aconteciam eventuais problemas de internet. Os resultados obtidos pelos sensores mostraram grande precisão quando comparados à medidores de multiparâmetros.

Gavhane *et al.* (2018) utilizaram um sensor de turbidez ligado a um microcontrolador do tipo Arduino UNO para realização de leituras de turbidez e o software LabView para facilitar o monitoramento contínuo dos dados. O sistema

desenvolvido foi utilizado para análise de 9 amostras de águas diferentes em bancada de laboratório, obtendo erros que variaram entre 1,707% e 4,88%. Apesar de uma boa acurácia obtida pelo sensor de turbidez utilizado no estudo, a inclusão de mais sensores se faz necessária para a obtenção de um sistema mais completo quando se avalia a qualidade da água.

O monitoramento da qualidade da água tem sido aplicado, geralmente, em amostras controladas em laboratórios, onde há a presença de recursos para transmissão wireless dos dados coletados e fontes de energia para alimentação do sistema. Porém, o monitoramento da qualidade da água em tempo real pode beneficiar comunidades que não possuem acesso à água distribuída pelas redes públicas de abastecimento.

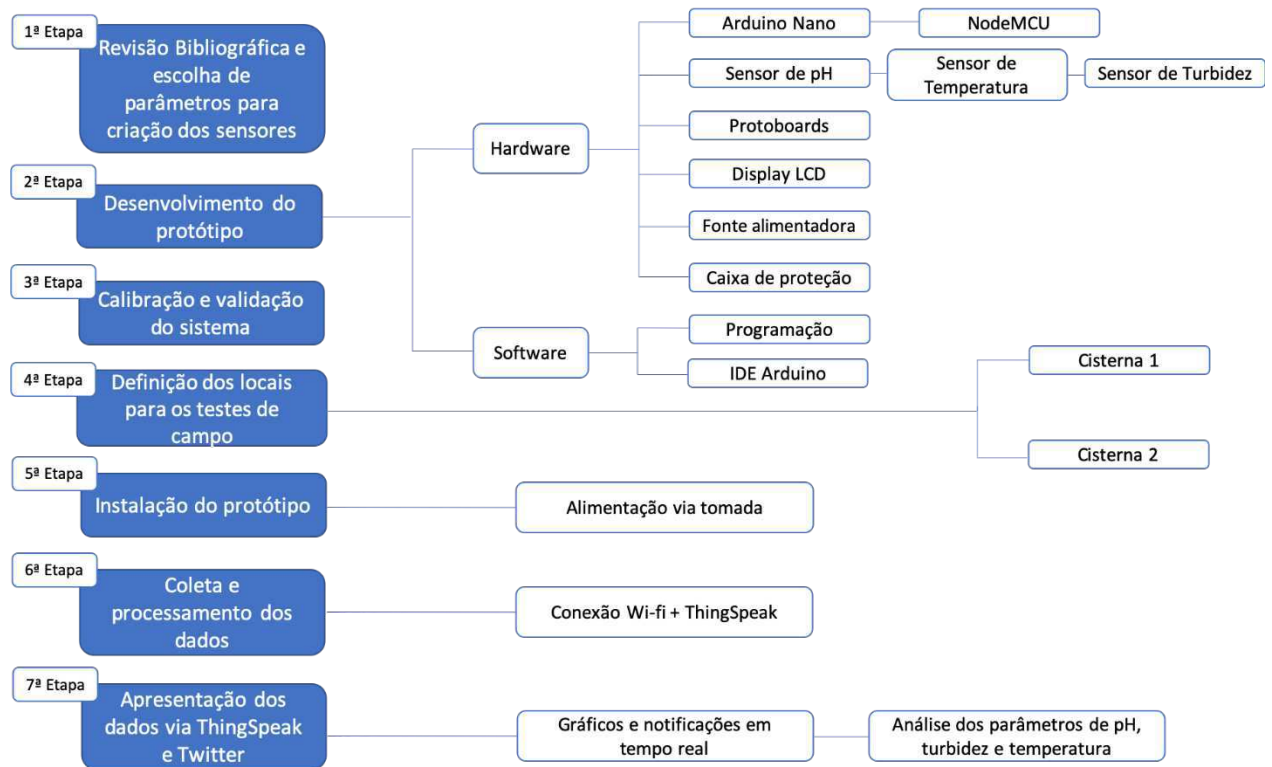
Cisternas, poços ou outras fontes alternativas de armazenamento de água, podem ter a qualidade das suas águas monitoradas por sistemas automatizados de baixo custo, compostos por microcontroladores, sensores, módulos de transmissão de dados *wireless*, placas fotovoltaicas para alimentação das baterias, entre outros componentes que garantam o acompanhamento de eventuais alterações nos parâmetros de potabilidade da água. Diante disso, este trabalho pretendeu desenvolver um sistema de baixo custo para a realização do monitoramento automatizado dos parâmetros de pH, turbidez e temperatura das águas de cisternas, visando maximizar a segurança dos seus consumidores. Mediante conexão Wi-fi, o sistema possibilitou o envio de notificações remotas e em tempo real sobre eventuais variações na qualidade da água.

3. METODOLOGIA

Este trabalho teve início a partir da definição dos parâmetros que foram analisados pelo sistema proposto, tendo como respaldo uma revisão bibliográfica relativa à temática. O desenvolvimento do sistema remoto de controle da qualidade da água partiu da criação e montagem dos componentes de hardware e de software. Após a criação e validação do sistema em laboratório, esse foi transportado até a zona rural da cidade de Alagoa Grande, Paraíba, onde foi testada a sua eficiência em duas cisternas. Os dados foram enviados em tempo real para a plataforma *ThingSpeak* por meio de conexão Wi-fi local, permitindo a análise dos parâmetros de pH, turbidez e

temperatura nas águas das cisternas avaliadas. A Figura 2 detalha o fluxograma metodológico desenvolvido neste trabalho.

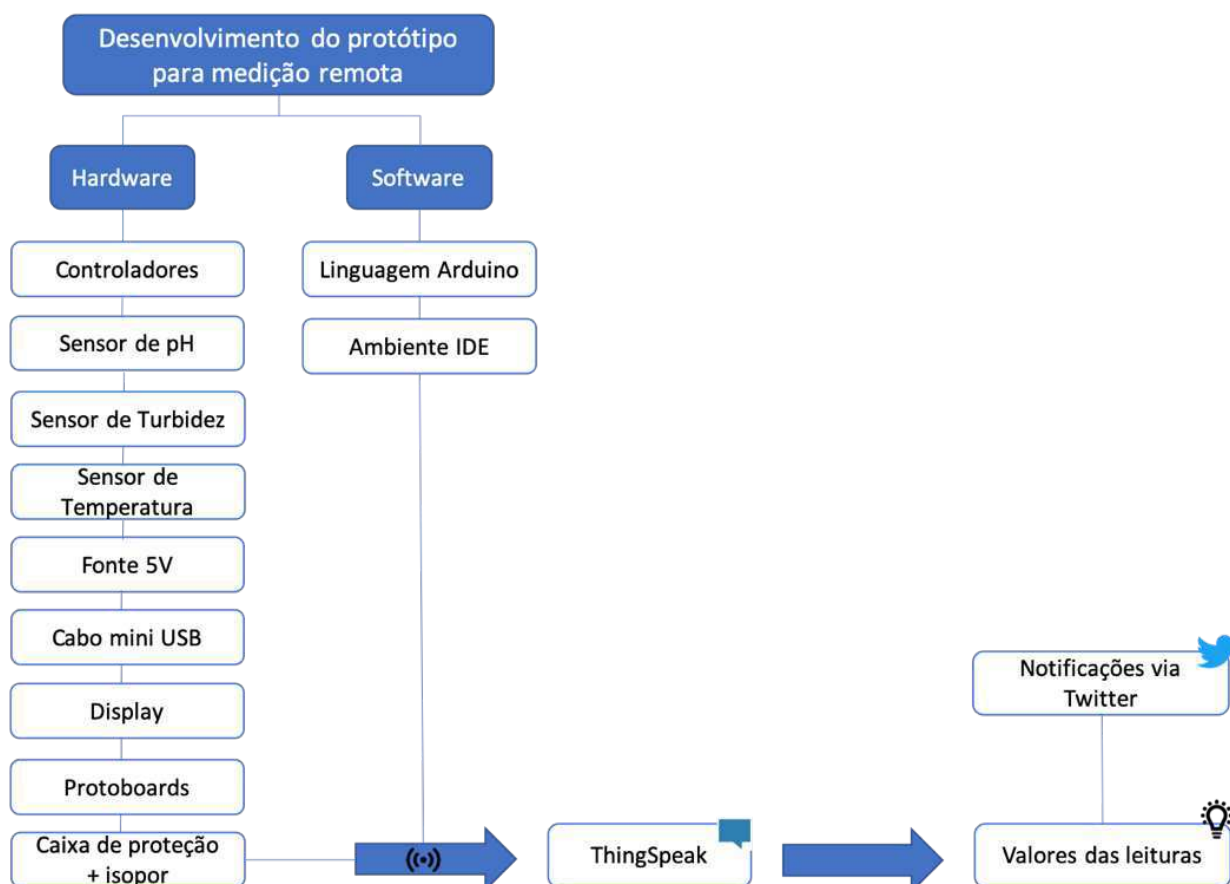
Figura 2: Fluxograma metodológico



Fonte: Autoria Própria (2020).

A Figura 3 detalha o esquema que foi utilizado para o desenvolvimento do sistema de monitoramento da qualidade da água.

Figura 3: Esquema para desenvolvimento do sistema de monitoramento da qualidade da água



Fonte: Autoria Própria (2020).

3.1 Desenvolvimento do protótipo

O sistema desenvolvido neste trabalho teve como objetivo o monitoramento remoto dos parâmetros de pH, turbidez e temperatura da água. Para isso, componentes de hardware foram utilizados para permitirem o funcionamento correto do sistema em todas as etapas propostas, desde a sua alimentação energética até a conexão com a internet. Cada parâmetro investigado possuía um sensor dedicado ao seu monitoramento, totalizando três sensores no sistema proposto.

A programação das rotinas de leitura foi realizada por meio da IDE do Arduino e transferida para o microcontrolador Arduino, que funcionava como processador dos dados de cada leitura realizada. O microcontrolador conectava-se aos sensores através de cabos. Os equipamentos eletrônicos foram envolvidos por uma caixa de proteção, flutuando dentro do reservatório com a utilização de uma estrutura de isopor, de forma que apenas as extremidades dos sensores estivessem em contato com a

água. Estando o sistema ligado a uma fonte de 5V conectada à tomada por meio de uma extensão elétrica, as rotinas de leituras dos parâmetros de qualidade em monitoramento tinham início.

O microcontrolador Arduino iniciava a rotina de medições com a leitura do pH da água, seguindo-se a medição da temperatura e depois da turbidez. Os dados das leituras de pH e turbidez eram captados na forma de pulsos elétricos pelas portas analógicas do microcontrolador, sendo em seguida convertidos para valores reais de ambos os parâmetros, a partir da programação instalada. Para isso, foi necessária a calibração em laboratório dos sensores utilizados neste trabalho.

A grande maioria dos medidores de multiparâmetros da água vendidos no mercado possuem o monitoramento da temperatura da água. Para relacionar possíveis alterações de pH ou turbidez com a variação da temperatura da água ao longo de um dia, optou-se pelo acréscimo de um sensor de temperatura ao sistema deste estudo.

Realizadas duzentas medições de cada um dos parâmetros, os resultados das médias das leituras eram apresentados na tela LCD, conectada ao Arduino. Em seguida, os dados das leituras realizadas no Arduino eram enviados para o microcontrolador NodeMCU, que tinha a função de se conectar a uma rede Wi-Fi e enviar os dados para a plataforma *ThingSpeak*. O envio dos dados para o *ThingSpeak* foi possível mediante o cadastro de uma chave, fornecida por esta plataforma, na programação do software para monitoramento da qualidade da água. A escolha quanto a utilização do *ThingSpeak* se deu pela facilidade, gratuidade e praticidade quanto ao seu uso em diversos tipos de dispositivos móveis, permitindo ainda a análise dos dados por meio de gráficos que são atualizados em tempo real.

O armazenamento e visualização dos dados ocorreu na plataforma *ThingSpeak*, onde os dados das leituras foram armazenados na nuvem e apresentados em forma de três gráficos, um para cada parâmetro analisado. Também foram criados histogramas dos dados de pH e turbidez, a fim de facilitar a visualização das entradas numéricas mais recorrentes e foram gerados gráficos que correlacionavam as variações de pH e turbidez com a temperatura. Após o envio dos dados para o *ThingSpeak*, o sistema foi programado para entrar em modo de repouso por cinco minutos, reiniciando automaticamente as leituras após esse intervalo.

Foi elaborada uma programação no *ThingSpeak* que fazia publicações via *Twitter* a respeito do funcionamento do sistema, notificando o usuário em tempo real

caso os valores de turbidez ou pH estivessem em desobediência aos valores citados na Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios e valores de referência para o monitoramento do pH e turbidez

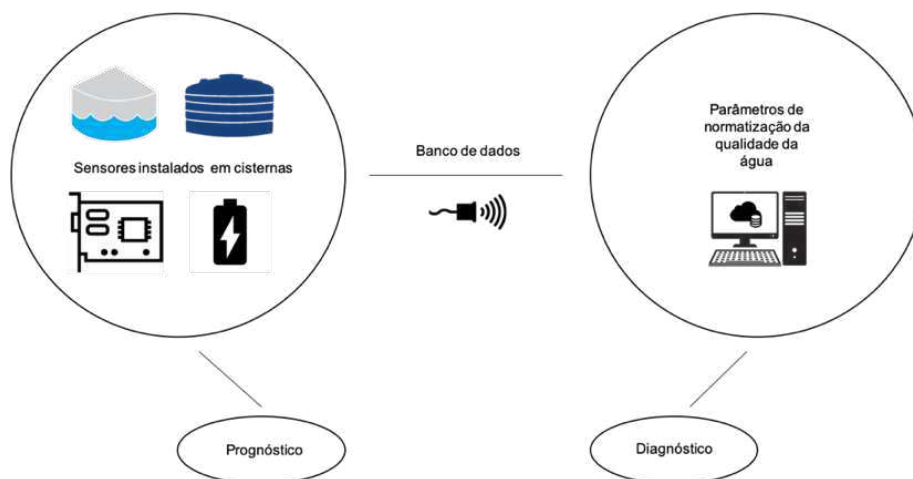
| Critérios e valores de referência para o Monitoramento da Qualidade da Água conforme valores da Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde | | | |
|--|-----------------|----------------|---------------|
| pH | | Turbidez (NTU) | |
| Ruim | pH < 6 e pH > 9 | Ruim | Turbidez >= 5 |
| Bom | 6 <= pH <= 9 | Bom | Turbidez < 5 |

Fonte: Autoria Própria (2021).

Testes de funcionamento das leituras e do envio de dados ao *ThingSpeak* foram realizados durante 11 dias contínuos, na bancada do laboratório de Saneamento da UFCG. Nesta ocasião, o sistema foi mantido dentro de um reservatório de isopor contendo água da torneira, estando esse fechado com tampa e sem contato direto com o sol.

Após a montagem e validação do sistema de monitoramento da qualidade da água proposto neste trabalho, este foi transportado até a zona rural do município de Alagoa Grande, onde realizou leituras em duas cisternas relativas aos parâmetros que foram propostos e criou-se um banco de dados de pH, turbidez e temperatura na plataforma *ThingSpeak*, que serviu para avaliar a qualidade das águas dessas cisternas. A Figura 4 apresenta o esquema de monitoramento da qualidade da água deste trabalho.

Figura 4: Esquema do monitoramento da qualidade da água



Fonte: Aatoria Própria (2020).

3.1.1 Software

O software utilizado no sistema deste estudo foi desenvolvido a partir do IDE do Arduino. As etapas de funcionamento do software são resumidas no Quadro 1.

Quadro 1: Etapas de funcionamento do Software

| | |
|----------------|---|
| Etapa 1 | Conexão do microcontrolador NodeMCU à Internet. |
| Etapa 2 | Conexão do microcontrolador ao servidor NTP, do qual foram retirados os valores de data e hora. |
| Etapa 3 | Início da programação no Arduino, em que foi ativada uma função para captura de pulsos elétricos pelos sensores sempre que estes eram ativados, de 5 em 5 minutos. |
| Etapa 4 | Os valores numéricos fornecidos pelos sensores de pH, temperatura e de turbidez eram convertidos para valores reais, que podiam ser interpretados pelo usuário final. |
| Etapa 5 | Os valores convertidos foram apresentados no display LCD. |
| Etapa 6 | A cada intervalo de 5 minutos, os valores de pH, temperatura e turbidez foram enviados e armazenados no <i>ThingSpeak</i> . O armazenamento local era zerado, permitindo assim que uma nova rotina de leitura fosse iniciada após o intervalo de repouso. |

Fonte: Aatoria Própria (2021).

3.1.2 Hardware

Os materiais utilizados para a criação do sistema de monitoramento remoto da qualidade de água desenvolvido neste trabalho estão descritos no Quadro 2. A calibração e validação dos sensores de pH, temperatura e turbidez foram realizadas

objetivando a minimização de possíveis erros e a maximização na exatidão dos resultados.

Quadro 2: Componentes de Hardware

| COMPONENTE | IMAGEM | DESCRIÇÃO |
|---------------------|---|--|
| Arduino Nano |  | <p>Controlador eletrônico programável, com pequenas dimensões. Permite a obtenção, tratamento e disponibilização de dados de acordo com a programação e com os sensores utilizados.</p> |
| NodeMCU |  | <p>Controlador eletrônico programável na mesma IDE do Arduino. Possui uma placa da família ESP 8266, que possibilita a sua conexão com a internet via Wi-Fi. Sua utilização no sistema substituiu a utilização de um módulo específico para conexão Wi-Fi.</p> |
| Sensor de pH |  | <p>Conjunto formado por um eletrodo pH, que foi utilizado imerso em água, e um módulo eletrônico que fazia a intermediação com o Arduino, este sem contato com a água.</p> |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Sensor de turbidez</p> |  | <p>Módulo eletrônico de monitoramento da turbidez. Possuía um componente que necessitava estar em contato com a água. Este emitia uma luz infravermelha, imperceptível à visão humana, capaz de detectar partículas que estivessem em suspensão na água e assim fazia a medição da taxa de dispersão de luz na água. Também contava com um componente que ficava acoplado ao controlador, sem contato com a água.</p> |
| <p>Sensor de temperatura</p> |  | <p>Termômetro digital a prova d'água, utilizado para monitoramento de temperatura em aquários ou em climatizações de ambientes.</p> |
| <p>Fios de cobre (obtidos de cabos de rede)</p> |  | <p>Cabeamento que permitiu a montagem dos circuitos, fazendo as conexões entre os sensores, a tela LCD e o microcontrolador na <i>proto-board</i>.</p> |

| | | |
|------------------------------------|--|--|
| <p>Resistor 10K Ohm</p> |  | <p>Dispositivo utilizado para controlar a passagem de corrente elétrica proveniente do sensor de temperatura. Sua finalidade foi converter energia elétrica em energia térmica.</p> |
| <p>Potenciômetro 1K Ohm</p> |  | <p>Componente eletrônico que possuía sua resistência ajustável por meio de um pino central. Foi utilizado para calibrar a tensão de entrada no módulo eletrônico de monitoramento da turbidez.</p> |
| <p>Display LCD</p> |  | <p>Teve como função apresentar instantaneamente as ações que ocorriam no microcontrolador, facilitando as operações de instalação e manutenção no sistema.</p> |
| <p>Protoboard</p> |  | <p>Placa de prototipagem. Possuía furos e conexões internas que facilitavam a montagem de circuitos, dispensando o uso de solda.</p> |
| <p>Caixa de proteção</p> |  | <p>Caixa utilizada como proteção do sistema contra umidade e exposição ao sol.</p> |

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| <p>Caixa de Isopor</p> |  | <p>Caixa de isopor utilizada para permitir a flutuação do sistema na água.</p> |
| <p>Fonte 5V</p> |  | <p>Fonte de 5V e 1A, utilizada para fornecer alimentação ao sistema.</p> |
| <p>Cabo Mini USB</p> |  | <p>Cabo do tipo mini USB, utilizado para fazer a conexão entre o Arduino e a fonte de 5V.</p> |

Fonte: Autoria Própria (2021).

3.2 Calibração e validação dos sensores

Antes da realização de leituras em campo, foram necessárias a calibração e validação dos sensores de pH e turbidez por meio de testes de bancada, objetivando a minimização de possíveis erros e a maximização na exatidão dos resultados.

O sensor de pH utilizado na montagem do sistema era formado por uma sonda com plug tipo BNC, que ficava em contato com a água, e um módulo para conexão com o microcontrolador Arduino, estando este contido dentro da caixa de proteção do sistema. O sensor de pH foi calibrado para duas faixas de valores: uma para valores entre 4 e 7 e outra para valores entre 7 e 10. Para cada faixa de valores, o microcontrolador Arduino convertia os valores dos pulsos elétricos lidos por suas portas analógicas em valores reais de pH. A validação do sensor de pH foi possível

mediante comparação com os valores lidos por um pHmetro de bancada modelo *mPa-210*.

O sensor de turbidez era formado por dois componentes: um módulo de leitura, que era responsável pela emissão de luz infravermelha para detecção de partículas suspensas na água e um módulo controlador, responsável por conectar-se ao Arduino. O sensor de turbidez foi calibrado em laboratório tomando-se como referência uma amostra de água destilada e uma amostra de água da torneira. Tais amostras serviram como padrão para converter as leituras realizadas pelas portas analógicas do microcontrolador Arduino em valores reais de turbidez. O sensor de turbidez utilizado para o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho teve seus valores validados por meio da comparação com os valores das leituras das mesmas amostras em um turbidímetro da marca *Hach*, modelo 2100P.

Por ser o único sensor que independia dos valores de tensão captadas pelo sistema, o sensor de temperatura não necessitou de calibragem, apenas de testagem e comparação com os valores lidos por um termômetro do laboratório de saneamento da UFCG. Os valores reais de temperatura eram lidos de imediato pelo Arduino.

3.3 Montagem do Sistema

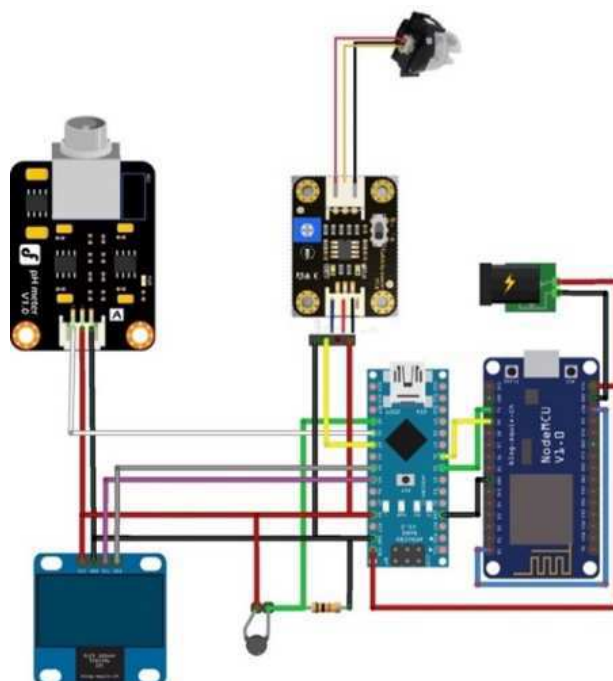
Após a calibração de cada sensor, foi necessária a montagem do sistema com todos os componentes em funcionamento simultâneo. Cada um dos sensores era conectado ao microcontrolador Arduino por meio de três portas conectoras: uma de alimentação 5V, uma porta GND, conhecida como “terra”, e outra porta analógica que recebia as leituras. Apenas o sensor de temperatura possuía um resistor antes de sua ligação com a porta de alimentação no Arduino.

A tela LCD conectava-se diretamente com o microcontrolador Arduino. O microcontrolador NodeMCU conectava-se ao Arduino por meio de duas portas digitais, que realizavam recebimento e transmissão de dados entre ambos, e uma porta GND. O NodeMCU era acionado por meio de uma rotina de programação no Arduino, realizando conexão imediata com a internet para que o envio de dados ao *ThingSpeak* fosse realizado.

O monitoramento da temperatura da água foi feito por meio de um termômetro digital, do mesmo tipo que pode ser encontrado para o monitoramento da temperatura da água em aquários. Este era ligado a um resistor de 10K Ω , que atuava como

referência para o sensor de temperatura. Quando alguma variação de resistência elétrica era identificada, o resistor entendia que houve uma variação de temperatura, fornecendo a leitura em graus Celsius ao microcontrolador. Diferentemente dos sensores de pH e turbidez, as leituras de temperatura independiam da tensão fornecida ao microcontrolador e nenhum módulo de processamento se fez necessário para intermediar a conexão entre esse e o termômetro, não sendo necessária para o sensor de temperatura a etapa de calibração. O esquema para montagem do hardware está ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Esquema para montagem do hardware



Fonte: Autoria Própria (2021).

Os componentes do sistema foram montados sobre uma caixa acrílica dentro de uma estrutura de isopor, de forma a permitir sua flutuação. Os componentes elétricos do sistema necessitavam estar dentro da caixa flutuadora e não externamente às cisternas devido ao pequeno comprimento dos cabos que conectavam os sensores ao microcontrolador Arduino. Os três sensores, que necessitavam estar em contato com a água, ficavam localizados externamente à caixa de proteção, montados sobre outra estrutura de isopor que possibilitava a flutuação dos sensores. A fonte de 5V e o cabo mini USB ficavam externos à estrutura de proteção, necessitando ser envolvidos por plástico quando levados a campo. A Figura

6 apresenta o sistema de monitoramento da qualidade da água desenvolvido neste trabalho.

Figura 6: Sistema de monitoramento da qualidade da água



Fonte: Autoria Própria (2020).

Durante o desenvolvimento do sistema abordado neste trabalho, algumas adaptações se fizeram necessárias para garantir um bom monitoramento da qualidade da água. Objetivando construir um sistema mais duradouro e resistente ao manuseio e até a eventuais impactos físicos, foi feita a tentativa de instalação do sistema utilizando-se uma placa de circuito impresso (PCI) com soldagem artesanal. Porém, optou-se pela utilização de *protoboards* e fiação de cobre para a elaboração dos circuitos do sistema desenvolvido.

O tipo de conexão à internet foi testado de duas formas distintas: uma via 3G/4G e outra através de uma rede Wi-Fi. A conexão à internet 3G/4G era possível por meio da instalação de um componente do tipo *SIM800L* acoplado ao microcontrolador. Este componente permitia a inserção de um chip de telefonia móvel, garantindo o acesso à internet em locais onde não existissem redes Wi-Fi disponíveis. Esse tipo de conexão seria ideal para o monitoramento da qualidade da água em caminhões-pipa.

A conexão do sistema à internet por meio de uma rede Wi-fi era possível com a utilização do microcontrolador NodeMCU. Esta alternativa de conexão à internet foi escolhida para aplicação no sistema desenvolvido neste trabalho, visando a redução dos custos com a manutenção de uma rede de telefonia e maior estabilidade no envio de dados.

A alimentação energética do sistema foi estudada de três maneiras diferentes. Primeiramente, foi feita a tentativa de alimentação do sistema utilizando-se de uma bateria alcalina de 9V. Posteriormente, painéis fotovoltaicos foram testados para alimentação de duas baterias de 4.2V conectadas ao sistema. Por fim, a alternativa de fornecimento de energia escolhida para montagem do sistema foi por meio de utilização de uma fonte 5V conectada na tomada.

3.4 Locais escolhidos para os testes de campo

Para este estudo, o sistema desenvolvido foi instalado em duas cisternas, localizadas na zona rural do município de Alagoa Grande, Paraíba. O número de pontos de monitoramento foi reduzido devido às limitações causadas pela pandemia do COVID-19. As cisternas selecionadas possuíam acesso à energia elétrica e estavam em áreas que possuísem sinal ativo de internet via Wi-fi. A Tabela 2 indica as coordenadas geográficas das duas cisternas monitoradas neste estudo, enquanto a Figura 7 apresenta o mapa de indicação dessas.

Tabela 2: Coordenadas geográficas das cisternas monitoradas

| Cisterna | Latitude | Longitude |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| 1 | -7.017950534820557 | -35.65825271606445 |
| 2 | -7.0383024 | -35.6172104 |

Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 7: Mapa de indicação da localização das cisternas



Fonte: Adaptado do Google Earth (2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Calibração do sensor de pH

A calibração dos sensores de pH foi realizada com o auxílio de soluções tampão em laboratório. As soluções tampão utilizadas possuíam pH de 4, 7 e 10, representando, respectivamente, soluções básicas, neutras e ácidas. O sensor de pH foi conectado ao microcontrolador por meio de uma entrada analógica, que permitia a leitura de números que variavam de 0 a 1023. Cada leitura de pH era lida então pelo microcontrolador como um número inteiro contido neste intervalo.

Com base nas faixas de valores de pH comumente encontradas para águas potáveis, foi estabelecido para este estudo a limitação da leitura de valores de pH entre 4 e 10. A restrição da faixa de leitura do pH durante a calibração do sensor,

permitiu a redução do percentual de erro obtido durante a conversão de valores lidos pelo microcontrolador para valores de pH.

Para a conversão dos dados lidos para dados reais de pH, foram elaboradas as seguintes equações de conversão:

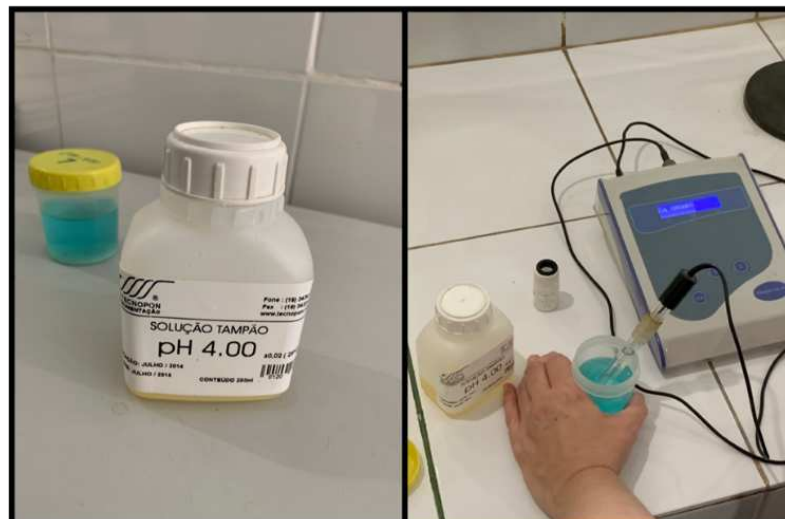
$$pH = [-0.02307692308 * (\text{valor da leitura})] + 26.2 \quad (1)$$

$$pH = [-0.01829268293 * (\text{valor da leitura})] + 22.2195122 \quad (2)$$

A equação 1 foi utilizada na programação em Arduino quando os valores das leituras obtidas nos sensores fossem menores do que 832, o que indicava que o pH real da solução estaria dentro do intervalo de 7 a 10. Caso o número obtido na leitura fosse maior ou igual a 832, a rotina de programação utilizaria a equação 2 para converter os números lidos em valores reais de pH, estando estes contidos no intervalo de 4 a 7.

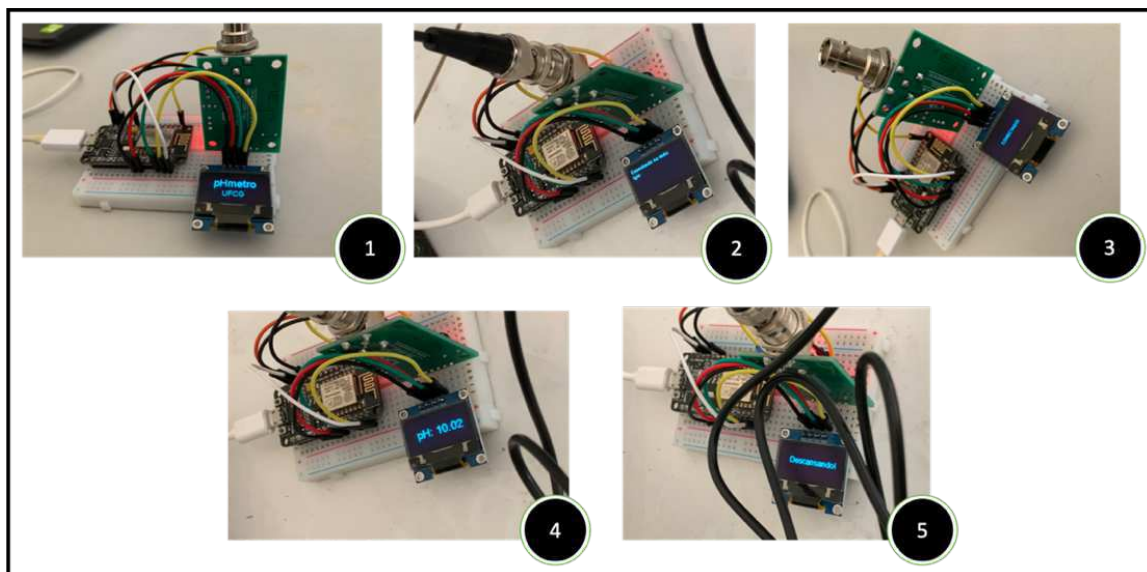
Para validação do sensor de pH deste estudo, foi utilizado um pHmetro de bancada *mPa-210* do laboratório de saneamento da Universidade Federal de Campina Grande. O pHmetro do laboratório foi calibrado com as mesmas soluções tampão utilizadas na calibração do sistema desenvolvido. Diferenças de $\pm 0,05$ foram identificadas entres os dois pHmetros. A Figura 8 mostra a calibração do pHmetro do laboratório com soluções tampão, enquanto a Figura 9 mostra as leituras de pH em funcionamento.

Figura 8: Calibração do pHmetro da UFCG



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 9: Leituras de pH com o protótipo desenvolvido

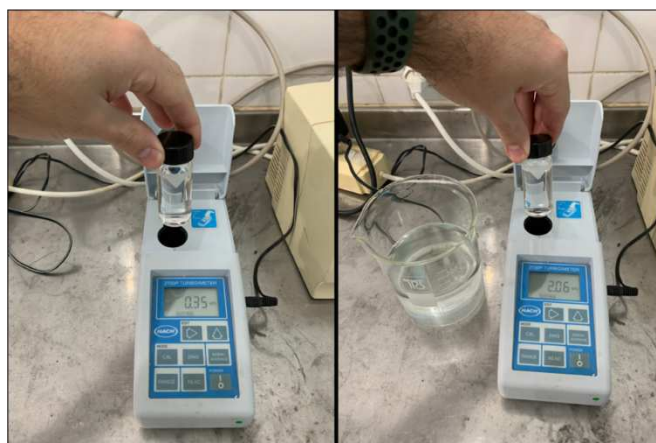


Fonte: Autoria Própria (2021)

4.2 Calibração do sensor de turbidez

O sensor de turbidez utilizado para a construção do sistema proposto neste trabalho, foi formado por uma sonda que emitia uma luz infravermelha, imperceptível à visão humana, capaz de detectar partículas que estivessem em suspensão na água e assim fazer a medição da taxa de dispersão de luz na água, além de um módulo para conexão com Arduino, este sem contato com a água. Para a calibração e validação do sensor de turbidez, foi utilizado um turbidímetro da marca *Hach*, modelo 2100P, pertencente ao laboratório de Saneamento da UFCG, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10: Validação da turbidez com turbidímetro Hach 2100P



Fonte: Autoria Própria (2020).

O turbidímetro do laboratório foi calibrado com padrões de formazina estabilizada *Stablcal*, contidos em ampolas seladas com valores de 0,1, 20, 100 e 800 UNT. Após a calibração deste turbidímetro, uma amostra de água destilada com 0,35 UNT e uma mostra de água da torneira com 2,05 UNT foram utilizadas como valor de referência para a calibração do sensor de turbidez desenvolvido neste estudo. Para a obtenção dos valores de turbidez da água destilada e da água da torneira, utilizou-se o valor médio de quatro amostras de cada tipo de água.

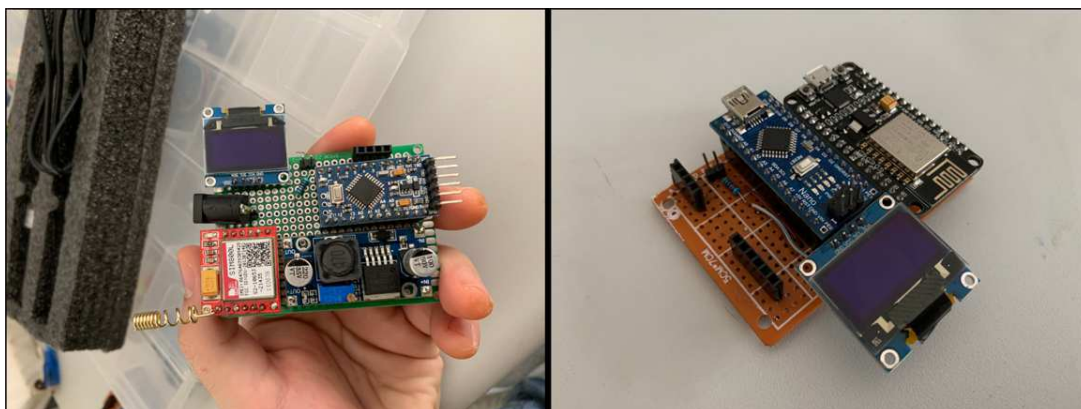
As leituras realizadas pela porta analógica do Arduino podem ter valores variando de 0 até 1023. Cada valor desse deve ser convertido para valores reais de turbidez. Foi identificado que uma de leitura analógica pelo microcontrolador com valor de 213 equivalia à turbidez de 0,35 UNT. Um valor analógico de 225 equivalia a uma turbidez real de 2,05 UNT. Tais valores serviram como referência para a conversão de valores de tensão para valores reais de turbidez na IDE do Arduino, possibilitando a calibração do sensor de turbidez deste trabalho.

Verificou-se que pequenas variações de tensão resultavam em grandes variações nos valores reais de turbidez. Para regular com mais precisão os valores de turbidez lidos pelo sensor, foi utilizado um potenciômetro de 1K Ω .

4.3 Conexão à internet

A utilização do microcontrolador NodeMCU para conexão à uma rede Wi-Fi mostrou-se mais estável do que uma conexão via chip de telefonia móvel quando submetido à testes. Conectado à rede sem fio do laboratório de Saneamento da UFCG, o microcontrolador não aprestou sinais de instabilidade no envio de dados à plataforma *ThingSpeak*. A opção por utilizar uma conexão *wireless* reduziu os custos que seriam investidos na manutenção de uma rede de telefonia móvel. A Figura 11 mostra o sistema montado de duas formas distintas: uma com o módulo para conexão 3G/4G e outra com o módulo Wi-Fi.

Figura 11: Comparativo entre o sistema com módulo para conexão 3G/4G e com módulo para conexão Wi-Fi



Fonte: Autoria Própria (2020).

Tendo em vista a necessidade de conexão com novas redes de Wi-fi sempre que o sistema fosse trocado para uma nova localidade, utilizou-se a biblioteca *Wifimanager* na programação do NodeMCU. Por meio desta, o sistema criava um ponto de acesso Wi-fi que podia ser utilizado para um smartphone conectá-lo com uma nova rede, facilitando o manuseio do sistema pelo seu operador em campo.

4.4 Fonte de energia utilizada

Inicialmente, testou-se a alimentação do sistema por meio de uma bateria de 9V alcalina, a fim de verificar a sua autonomia. Após os testes de durabilidade, observou-se por meio dos intervalos de envio dos dados à plataforma *ThingSpeak* que o sistema acoplado com a bateria durou apenas um dia e meio em funcionamento.

A eficiência máxima da bateria durou somente em torno de oito horas quando utilizada a bateria de 9V. Após esse período, a tensão fornecida pela bateria foi menor do que 5V, que é a tensão necessária para o funcionamento correto dos sensores, tendo feito com que as leituras de pH e Turbidez apresentassem valores alterados. Apenas o sensor de temperatura, que independe da tensão fornecida pela bateria, manteve o envio de dados constantes à internet.

Como alternativa ao uso de baterias de 9V, testou-se a utilização de um sistema de placas fotovoltaicas para fazer o recarregamento de duas baterias de 4.2V e 16.800mAh. Para isso, utilizou-se um total de cinco painéis solares de 5V, sendo quatro com 60mA e um com 200mA. Os painéis menores foram ligados entre si em

paralelo, para que a corrente do conjunto fosse o resultado da soma da corrente de cada painel solar e para que a tensão do conjunto fosse mantida. A seguir, os painéis foram conectados às baterias por meio de um módulo de carregamento do tipo *TP4056*.

As duas baterias de 4.2V foram ligadas entre si em série, estando totalmente carregadas no início do monitoramento, a fim de que a tensão de alimentação disponível para o sistema fosse resultada da soma de suas tensões. Entretanto, a utilização do sistema de placas fotovoltaicas resultou em um pleno funcionamento do sistema por apenas cinco horas, sendo identificado o seu desligamento após esse período. O rápido descarregamento pôde ser atribuído a grande quantidade de equipamentos a serem alimentados, dentre os quais destacaram-se os dois microcontroladores na requisição de altas correntes.

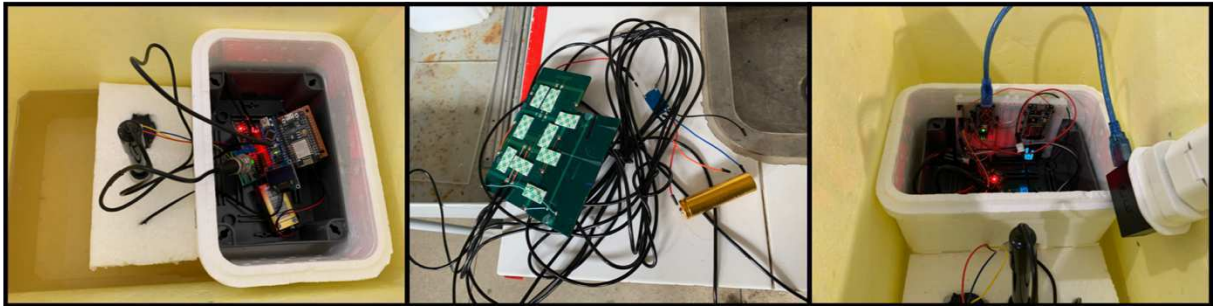
Apesar da tensão gerada pelas duas baterias ter sido suficiente para o funcionamento correto do sistema, constatado através da análise dos dados captados sem alterações durante as cinco horas de seu funcionamento, os painéis solares não foram suficientes para sustentar as cargas nas baterias por muito tempo, mesmo quando receberam alta incidência solar sobre as suas superfícies. A utilização de painéis solares maiores é uma sugestão para trabalhos futuros.

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de água deste trabalho, optou-se pela utilização de alimentação por uma fonte de 5V conectada em tomadas. A fonte utilizada é do mesmo modelo aplicado para carregamento de smartphones. A fonte se conectava ao microcontrolador Arduino por meio de um cabo mini USB.

A opção por utilizar a entrada de energia do Arduino e não a do NodeMCU ocorreu pelo fato do Arduino manter constante a tensão no sistema, enquanto a tensão no outro microcontrolador apresentava pequenas variações, que foram medidas com o uso de um multímetro. Mesmo sendo pequenas diferenças de tensão, na ordem de 0,05V, foram identificadas variações nos valores de pH e turbidez quando ligados pela porta de carregamento do NodeMCU.

Para a ligação do sistema em cisternas da zona rural, se fazia necessário, portanto, que o local contasse com acesso a energia elétrica. Foi feita uma extensão elétrica com 30 metros de comprimento para garantir a ligação do sistema em ocasiões onde a cisterna encontrava-se distante da residência. A Figura 12 mostra as três maneiras testadas neste trabalho para alimentação energética do sistema.

Figura 12: Formas de alimentação energética testadas



Fonte: Autoria Própria (2020).

4.5 Montagem dos circuitos

A alta taxa de retrabalho de soldagem caso fosse necessária alguma mudança no layout do projeto, tornou a utilização de Placas de Circuito Impresso (PCI) pouco viável quando se tratava da criação de um protótipo do sistema, submetido a diversos testes que demandavam constantes alterações na disposição dos componentes do sistema. Além disso, eventuais problemas de curto-circuito, ocasionados por contatos indevidos entre diferentes trilhas condutoras, geravam alterações nas tensões de entrada nos sensores. A montagem da PCI pode ser vista na Figura 13.

Figura 13: Montagem do sistema com placa de circuito impresso artesanal



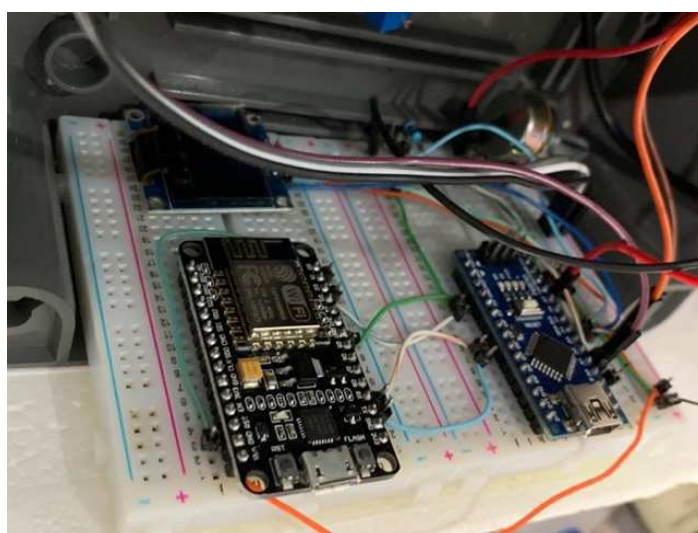
Fonte: Autoria Própria (2020)

Como os sensores deste estudo funcionam convertendo leituras de tensões para dados reais de pH e turbidez, qualquer variação de tensão poderia alterar significativamente os dados que estavam sendo medidos. Sendo assim, adotou-se *protoboards* para a montagem do sistema, o que permitiu uma velocidade maior entre cada tentativa de montagem.

Como ponto negativo da utilização do conjunto formado por *protoboards* e jumpers para criação dos circuitos, foi identificada a suscetibilidade à desconexão dos jumpers quando o sistema passasse por movimentações em seu transporte ou por eventuais impactos acidentais em campo.

Foram utilizados pequenos fios de cobre para a conexão entre os circuitos, obtidos a partir de cabos de rede desencapados. Os fios foram fixados nas *protoboards* com pinos de aço, a fim de evitar que esses se soltassem quando sujeitos ao manuseio. Os fios de cobre fizeram as conexões entre os microcontroladores, a tela LCD e os sensores. A Figura 14 mostra as conexões dos circuitos nas *protoboards*.

Figura 14: Montagem dos circuitos com fios de cobre



Fonte: Autoria Própria (2020).

4.6 Testes em bancada

Um período de testagem de 11 dias de funcionamento contínuo foi realizado no laboratório de Saneamento da UFCG antes do envio do sistema para as cisternas rurais. Durante esse período de avaliação, o sistema leu dados de pH, turbidez e temperatura em intervalos de 30 minutos, resultando em 344 leituras no total. A ausência de alguns dados de leituras ocorreu devido a falhas no sinal da internet do laboratório de Saneamento e também devido a uma queda de energia.

Analisando as médias diárias de valores de pH, identificou-se um valor médio de 7.42 no primeiro dia de medição. Os valores médios de pH tiveram aumentos

diários de 0,05, até se estabilizarem em aproximadamente 7.65, até o final do período de 11 dias de captação dos dados. Os valores de pH não apresentaram significativas alterações com as variações de temperatura. O valor de R-quadrado para o modelo que relacionava pH com a temperatura correspondeu 0,1047, revelando ter ocorrido pouca variação do pH com a variação da temperatura durante a realização dos testes de bancada. Entretanto, o curto período de testagem utilizado para a composição desse modelo, não anula a existência de correlação entre as variáveis pH e temperatura, fazendo-se necessárias análises mais detalhadas. A Figura 15 mostra os valores médios diários de pH durante o período de análise.

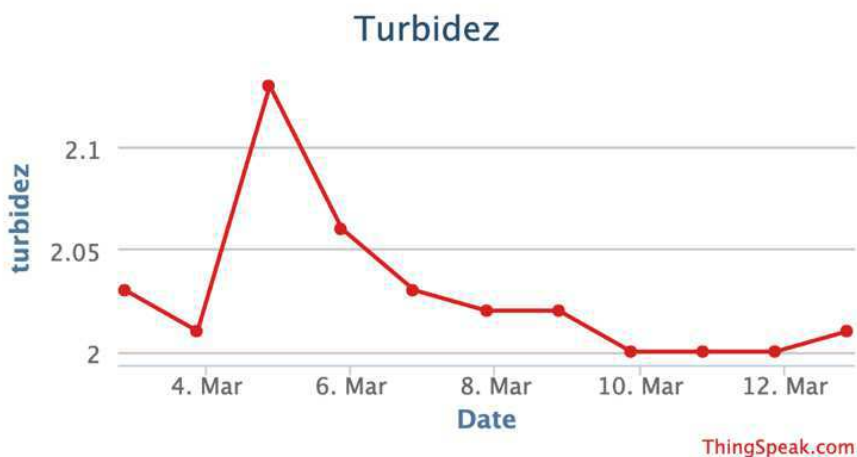
Figura 15: Médias diárias dos valores de pH durante testes de bancada



Fonte: Autoria Própria (2021)

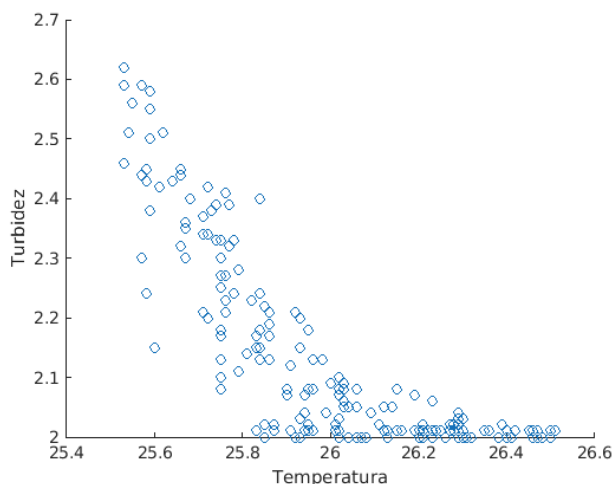
A partir das leituras da turbidez, foi possível identificar uma sensibilidade do sensor a pequenas variações de temperatura. Ao longo do período de medições, a turbidez mostrou-se estável com médias diárias entre 2,00 UNT e 2,05 UNT. Porém, valores pontuais de até 2,80 UNT, nos horários menor temperatura, entre 09:30hrs e 10:30hrs, foram identificados. A Figura 18 mostra a variação das médias diárias da turbidez e a Figura 19 mostra um gráfico de correlação entre a turbidez e a temperatura, evidenciando a tendência que a turbidez apresentou em diminuir com o aumento da temperatura. O valor de R-quadrado para o modelo que correlacionava essas variáveis foi de 0,7782, demonstrando ter ocorrido alta influência da temperatura nas variações de turbidez durante os testes de bancada neste trabalho.

Figura 16: Médias diárias dos valores de turbidez durante testes de bancada



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 17: Gráfico da correlação entre turbidez e temperatura durante os testes de bancada



Fonte: Autoria Própria (2021)

O sensor de temperatura teve seu funcionamento de maneira esperada durante os testes de bancada, servindo para analisar o comportamento das variáveis pH e turbidez com as variações de temperatura.

Tomando-se como referência os equipamentos do laboratório de Saneamento, o sistema desenvolvido apresentou durante a testagem de 11 dias, erros de 0,261% para leituras de pH e de 2,45% para leituras de turbidez quando a média de todo o período de testagem foi comparada com uma amostra retirada da água monitorada no décimo dia dos testes de bancada.

4.7 Caracterização das cisternas e testes em campo

A primeira cisterna monitorada neste estudo utilizava a estrutura de uma caixa d'água de polietileno, sendo armazenada no terraço de uma residência rural, sem incidência direta da luz solar. Sua tampa permaneceu fechada durante todo o período de testes, exceto quando os moradores precisavam retirar água da mesma. A retirada de água na primeira cisterna era feita por meio de baldes, geralmente no período da manhã.

O abastecimento de água nessa cisterna era realizado por meio de baldes, após transporte da água da chuva que era coletada em um reservatório ao lado. Esse reservatório ao lado recebia água da chuva por meio de calhas, possuindo um filtro para retenção de impurezas. O tratamento da água na cisterna 01 era realizado por meio do acréscimo de hipoclorito de sódio. A Figura 18 ilustra a cisterna 01 monitorada neste trabalho.

Figura 18: Registro fotográfico da cisterna 01



Fonte: Autoria Própria (2021).

A segunda cisterna monitorada neste estudo ficava localizada em outra propriedade rural. Essa foi construída em concreto armado, posicionada

externamente à residência que era beneficiada com sua água. A cisterna 02 era abastecida exclusivamente com água da chuva por meio de uma calha de PVC, como se pode ver na Figura 19. O tratamento da sua água era realizado por meio da adição de hipoclorito de sódio. Porém, não havia filtro na calha de coleta da água da chuva, aumentando a probabilidade de chegada de sujeiras oriundas das calhas.

A cisterna 02 era o principal reservatório de água da residência. Durante o monitoramento da qualidade da água, essa encontrou-se fechada por meio de uma tampa, a fim de evitar a entrada de insetos e materiais poluentes. Nesta, a retirada de água era realizada por meio de baldes.

Figura 19: Registro fotográfico da cisterna 02



Fonte: Autoria Própria (2021)

O período total de captação dos dados em campo, oito dias, resultou em 1382 leituras realizadas pelos sensores. As leituras de pH, temperatura e turbidez foram enviadas para a plataforma *ThingSpeak* em intervalos de cinco minutos, conforme programado. Pequenos atrasos, na ordem de 25 segundos, foram identificados entre as medições armazenadas na nuvem, o que pode ser atribuído ao tempo que o NodeMCU levava para se conectar à rede Wi-Fi local.

O intervalo de cinco minutos de repouso foi estabelecido devido ao sistema apresentar a sua melhor resposta de reinicialização. Quando testados intervalos maiores do que 30 minutos, o sistema apresentou falhas durante a etapa de reinicialização. Após os 5 minutos de descanso estabelecidos, o sistema era reiniciado automaticamente, conforme programado em seu software, refazendo toda a rotina de leitura e envio de dados.

Os gráficos de pH, temperatura e turbidez foram atualizados em tempo real durante todo o período das medições. Cada entrada nova de dados informava o valor da leitura, a data e a hora da medição. A plataforma *Thingspeak* permitia personalizar a escala de tempo no eixo x de cada gráfico, possibilitando a análise dos dados hora a hora ou ainda diariamente. Além de apresentar os dados graficamente, o *ThingSpeak* possibilitava a exportação dos dados de cada leitura para a ferramenta *Microsoft Excel*.

A ausência de alguns dados foi identificada em alguns momentos. Notificações via *Twitter* eram emitidas quando nenhum dado era recebido no *ThingSpeak* dentro de um período de 30 minutos. Quedas de energia e falhas na internet local foram as possíveis causas para a interrupção na captação dos dados. Entretanto, as leituras eram reiniciadas automaticamente após a ocorrência dessas falhas.

As notificações via *Twitter* deveriam acontecer caso os valores do pH fossem menores do que 6 ou maiores do que 9. Eram emitidas notificações quando os valores de turbidez superavam 5 UNT. Durante o monitoramento da qualidade da água da primeira cisterna, o sistema notificou sobre valores de pH inferiores a 6.

O tempo de estabilização médio para o sistema passar a ler valores constantes na água, foi de aproximadamente 3 minutos e 30 segundos. A captação dos dados na primeira cisterna ocorreu por 4 dias. No quarto dia de medição, o sistema foi retirado da cisterna 01 para ser transferido para a cisterna 02.

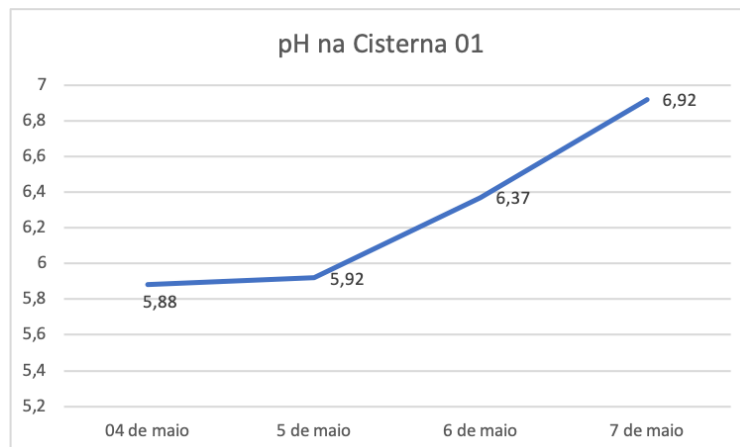
4.71 Monitoramento da qualidade da água na cisterna 01

4.7.1.1 Monitoramento do pH na cisterna 01

Analisando as médias diárias de valores de pH na primeira cisterna, identificou-se um valor médio de 5,88 no primeiro dia de medição. No segundo dia, a média dos valores de pH foi de 5,92, seguindo-se as médias de 6,37 e 6,92 no terceiro

e quarto dia, respectivamente. A Figura 20 mostra os valores médios de pH durante o monitoramento da qualidade da água na cisterna 01.

Figura 20: Valores diários das leituras de pH na cisterna 01

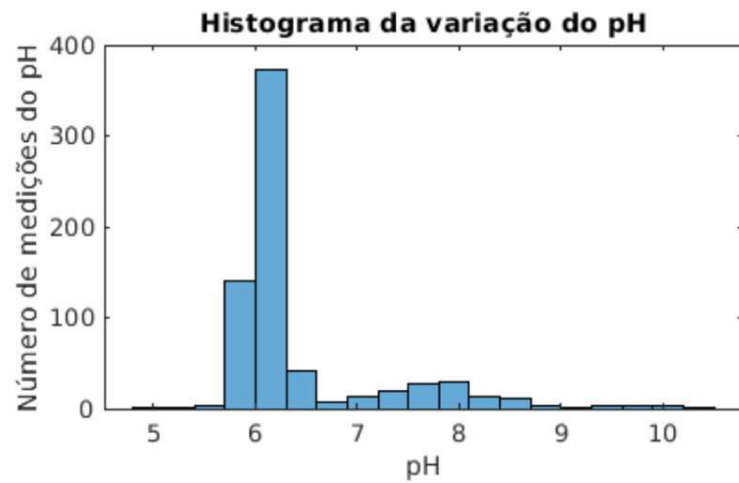


Fonte: Autoria Própria (2021).

A elevação na média de pH no terceiro e quarto dia sobreveio devido a um pico de elevação nos valores de pH entre 23hrs do dia 06 de maio e 04hrs do dia 07 de maio. Após esse intervalo, o pH voltou a estabilizar-se em valores entre 6,2 e 5,8, até o sistema ser retirado do local no dia 07 de maio. Quando os moradores foram questionados sobre algum tipo de intervenção feita na cisterna nesse horário, informaram que não ocorreu atividade incomum. É possível ter ocorrido algum tipo de variação de tensão na rede da concessionária de energia ou ainda na própria residência, o que influenciaria diretamente nos valores das leituras de pH. Porém, uma investigação mais profunda nas instalações elétricas locais se faria necessária para validar essa hipótese.

A plataforma *ThingSpeak* gerou um histograma de frequência dos dados de leituras de pH, criado através do desenvolvimento de um código, facilitando a identificação dos valores mais recorrentes para este parâmetro. O gráfico de distribuição de frequências para dados de pH está apresentado na Figura 21, evidenciando a maior quantidade de leituras com valores entre 5,8 e 6,2.

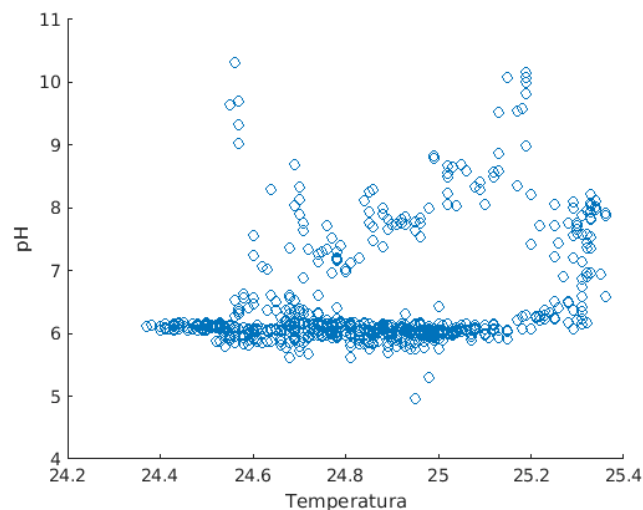
Figura 21: Histograma de frequência dos valores de pH na cisterna 01



Fonte: Autoria Própria (2021).

O *ThingSpeak* tornou possível correlacionar os dados de temperatura e pH por intermédio de um gráfico, criado a partir da programação em uma linguagem própria dessa ferramenta. Observando a Figura 22, é possível concluir que não há relevantes variações de pH com o aumento ou diminuição da temperatura. O valor do R-quadrado para o modelo que correlaciona as variáveis pH e temperatura na cisterna 01 foi igual a 0,3518, revelando ter ocorrido baixa influência da variação da temperatura nas leituras de pH durante o monitoramento da água da cisterna 01. Contudo, medições com maiores períodos de captação de dados seriam necessárias para averiguar a correlação entre o pH e a temperatura.

Figura 22: Gráfico de correlação entre pH e temperatura na cisterna 01



Fonte: Autoria Própria (2021).

Comparando os dados de pH lidos pelo sistema de monitoramento da qualidade da água com as leituras de uma amostra da mesma água, coletada no quarto dia de monitoramento, realizadas no pHmetro do laboratório de saneamento da UFCG, identificou-se um erro de 0,119%. Para tal resultado, considerou-se a média entre os quatro dias de medições de pH na cisterna 01 de 6,2725 e o valor estabilizado lido pelo pHmetro do laboratório de saneamento de 6,28.

Os valores das leituras de pH na cisterna 01 estiveram sempre próximos ao limite mínimo de 6,0 estabelecido pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, sendo informado aos usuários da cisterna sobre a necessidade de tratamento da água.

4.7.1.2 Monitoramento da turbidez na cisterna 01

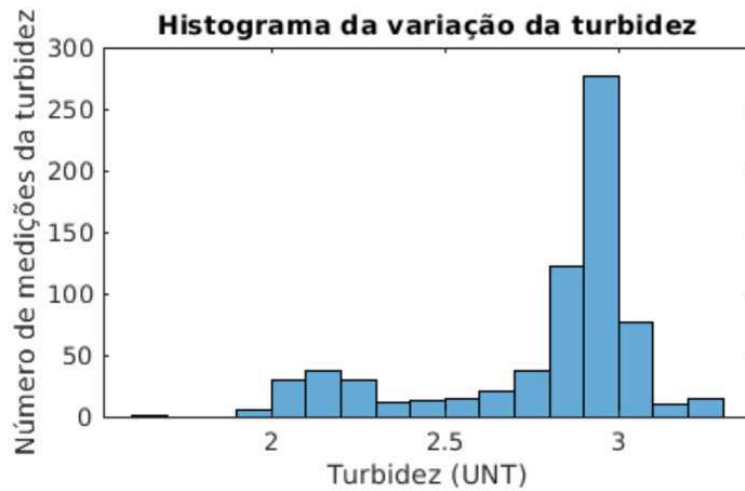
Analisando as leituras de turbidez na cisterna 01 ao longo do período de quatro dias de medições, essa mostrou-se estável com médias diárias de 2,87 UNT, 2,80 UNT, 2,80 UNT e 2,83 UNT. A Figura 23 mostra a variação das médias diárias da turbidez e a Figura 24 apresenta o histograma de frequência dos valores de turbidez. Por meio deste, é possível identificar a ocorrência de turbidez igual a 2,80 UNT na grande maioria dos dados lidos.

Figura 23: Valores das médias diárias das leituras de turbidez na cisterna 01



Fonte: Autoria Própria (2021).

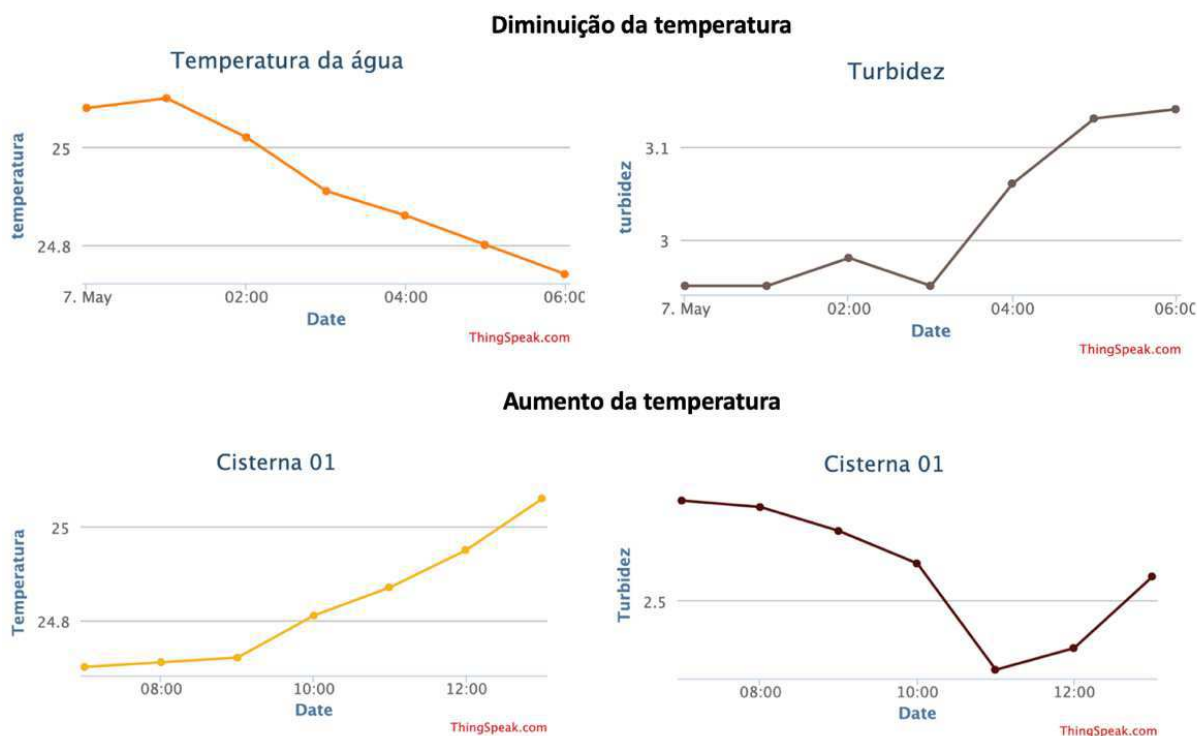
Figura 24: Histograma de frequência dos valores de turbidez na cisterna 01



Fonte: Autoria Própria (2021).

De acordo com Chagas (2015), os valores da turbidez estão diretamente relacionados com as substâncias que não estão dissolvidas na água, mas sim suspensas. Valores pontuais de até 3,30 UNT, identificados nos horários de menor temperatura, entre 06:00hrs e 08:00hrs, podem estar relacionados com a diminuição da solubilidade dos sólidos suspensos na água provenientes da queda da temperatura, resultando assim em um aumento da turvação (LAMBERTI, 2017). A Figura 25 apresenta as variações de turbidez em horários de acréscimo e decréscimo da temperatura. O valor de R-quadrado para o modelo que correlaciona essas variáveis foi de 0,4493, revelando ter corrido uma correlação entre a variação da temperatura e a variação da turbidez, porém em menor relevância do que identificado nos testes de bancada.

Figura 25: Variação da turbidez com a temperatura



Fonte: Autoria Própria (2021).

Para efeito de validação, utilizou-se o turbidímetro do laboratório de saneamento da UFCG. Neste, a partir de quatro medições da turbidez em uma amostra da água da cisterna 01, coletada no quarto dia de medições, foi identificado um valor médio de 1,07 UNT. O sistema desenvolvido apresentou uma diferença de +1,80 UNT quando comparado com as leituras realizadas no turbidímetro do laboratório, o que equivale a um erro de 161,7%. Apesar do percentual de erro identificado, o sistema se mostrou sensível a eventuais variações de turbidez. Caso o valor da turbidez fosse maior ou igual a 5, notificações via *Twitter* seriam enviadas, possibilitando que ações corretivas fossem tomadas.

4.7.2 Monitoramento da qualidade da água na cisterna 02

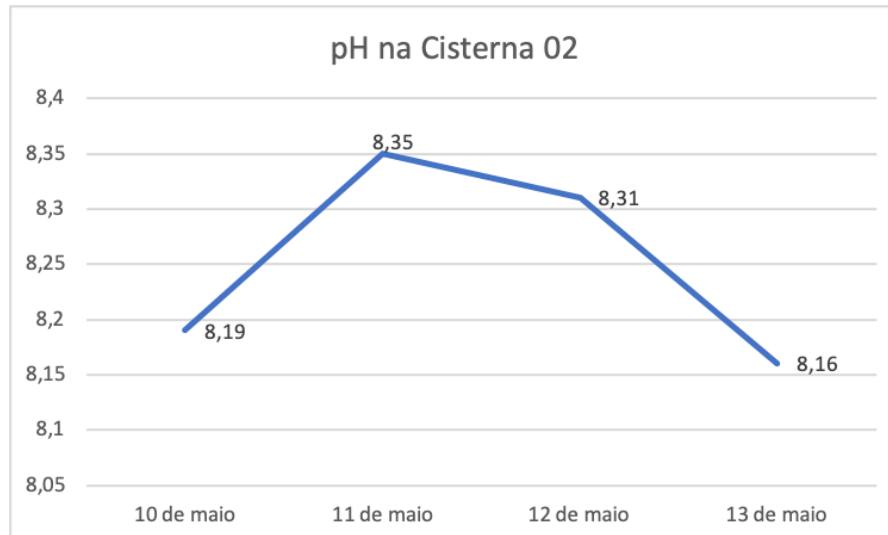
Após as medições na primeira cisterna terem sido finalizadas, o sistema foi deslocado para uma nova residência, onde ficou por mais quatro dias de medições. Durante a instalação do sistema na segunda cisterna, o potenciômetro responsável por garantir a calibração do sensor de turbidez foi desregulado, fazendo com que as

leituras de turbidez tenham sido captadas na segunda cisterna com valores incorretos. Devido a isso, os valores de turbidez na cisterna 02 foram classificados como inconclusivos, tomando-se como válidos para essa cisterna apenas as leituras de pH.

4.7.2.1 Monitoramento do pH na cisterna 02

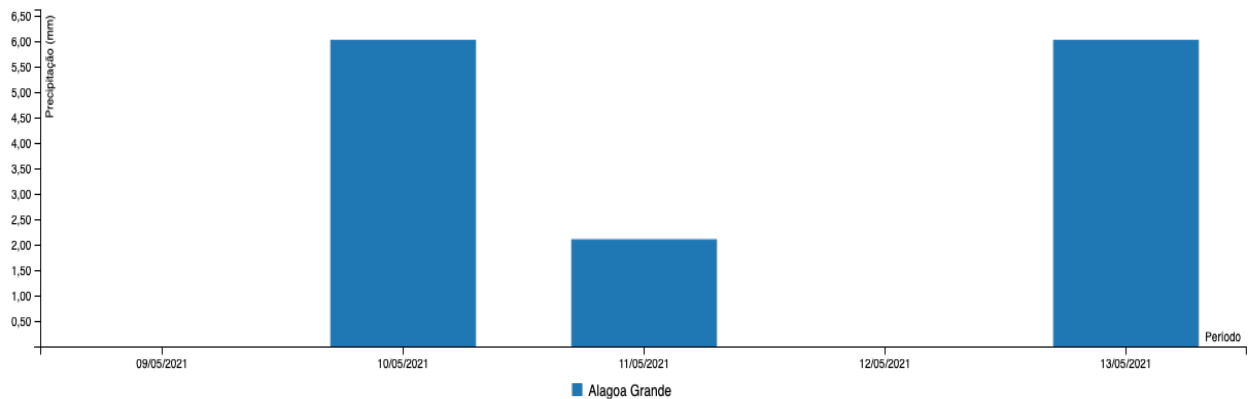
A análise das leituras de pH na cisterna 02 durante os quatro dias de medições tiveram, em ordem, os seguintes resultados: 8,19, 8,35, 8,31 e 8,16, conforme pode ser observado na Figura 26. Durante o período de medições do pH nessa cisterna, índices consideráveis de chuva ocorreram na cidade de Alagoa Grande, principalmente no dia 11 de maio. Essa recarga hídrica pode ter sido a causa de uma diferença de 0,16 na média do pH entre o primeiro e o segundo dia de medições. A Figura 27 mostra o histórico de precipitações no município de Alagoa Grande no período em que o sistema deste estudo esteve em funcionamento.

Figura 26: Médias diárias de pH na cisterna 02



Fonte: Autoria Própria (2021).

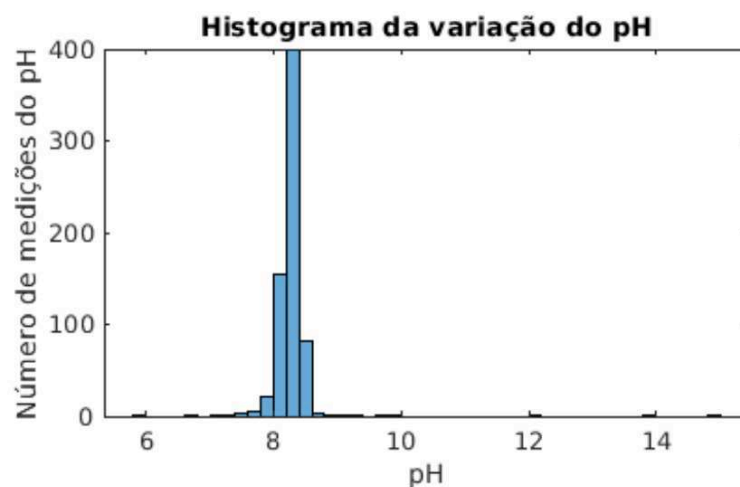
Figura 27: Histórico de precipitações durante as medições na cisterna 02



Fonte: AESA (2021).

O gráfico de distribuição de frequências para dados de pH na cisterna 02 está apresentado na Figura 28, evidenciando a maior quantidade de leituras deste parâmetro com valores entre 8,0 e 8,3.

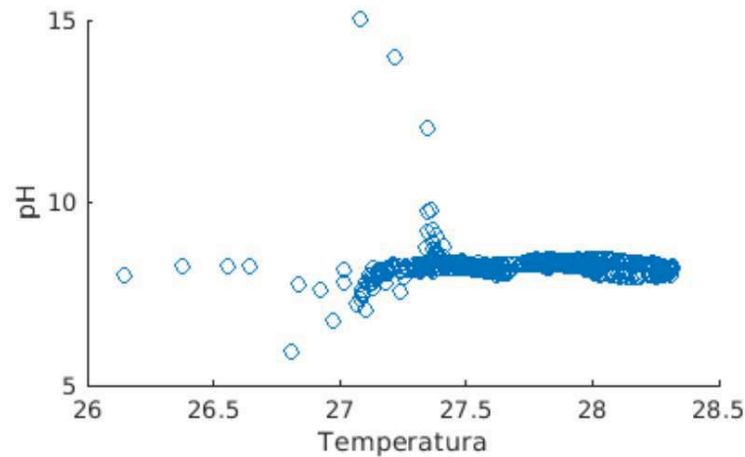
Figura 28: Histograma da variação do pH na cisterna 02



Fonte: Autoria Própria (2021).

O gráfico de correlação entre a temperatura e o pH na cisterna 02, confirmou a influência quase nula que a variação de temperatura exerce sobre a variação do pH da água. Para o modelo que correlaciona essas variáveis, o valor de R-quadrado foi de 0,0043. Por meio da Figura 29, é possível observar as alterações de pH com a variação da temperatura.

Figura 29: Gráfico de correlação entre a temperatura e o pH na cisterna 02



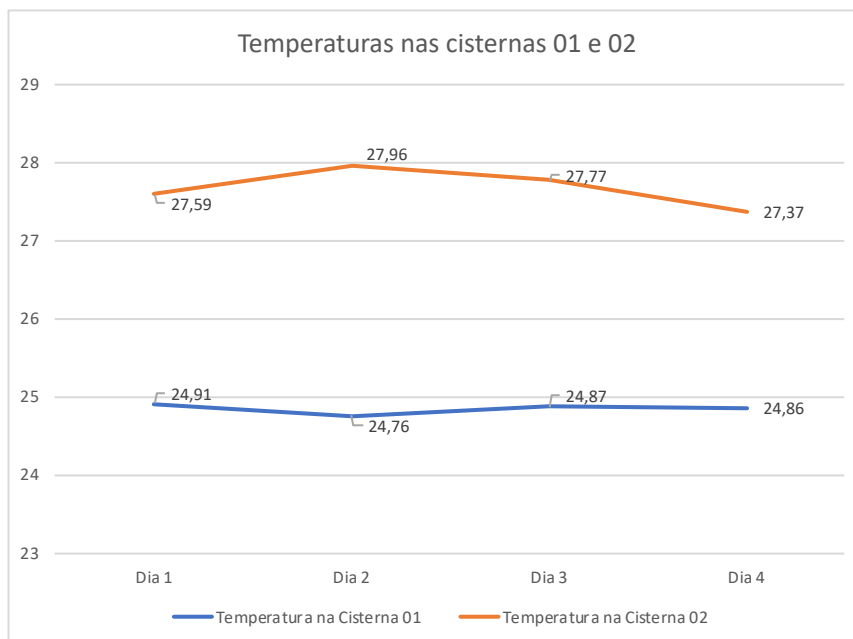
Fonte: Autoria Própria (2021).

Para efeito de validação, os valores das leituras de pH realizados em campo foram comparados com o valor da medição do pH em laboratório, utilizando-se para isso de uma amostra da água da cisterna 02. A partir dessa verificação, foi identificado que o pHmetro do sistema desenvolvido neste estudo realizou medidas descalibradas durante o período em que esteve na cisterna 02. Enquanto o pHmetro do laboratório de saneamento identificou um valor de 6,20 para a água da cisterna 02, os valores lidos em campo tiveram como média ao longo do período de medições o valor de 8,25. O sistema foi testado novamente com as soluções tampão, onde foi identificada uma diferença de +2,0 nas leituras realizadas pelo sistema.

4.7.3 Monitoramento da temperatura em campo

O monitoramento da temperatura foi realizado sem nenhuma falha em ambas as cisternas monitoradas. A Figura 30 ilustra as médias diárias de temperatura para as cisternas 01 e 02. A partir dessas médias, é possível ver que maiores temperaturas foram registradas na cisterna 02 de concreto armado, principalmente pela sua exposição direta a luz solar. A cisterna 01 ficava localizada no terraço de uma residência, sem ter incidência direta da luz do sol.

Figura 30: Médias diárias da temperatura nas cisternas 01 e 02



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.4 Dificuldades encontradas durante o monitoramento da qualidade da água em campo

Foram identificados erros nas leituras de turbidez na cisterna 01 e nas leituras de pH na cisterna 02 após comparação com as leituras feitas pelos equipamentos do laboratório. A descalibração do potenciômetro do sensor de turbidez durante a manipulação e transporte do sistema para os locais de testagem, foi o causador do elevado erro identificado nas leituras de turbidez na cisterna 01. A criação de uma ferramenta que permita o acesso remoto à programação do Arduino seria de grande contribuição ao trabalho, permitindo que tais erros fossem corrigidos a distância, sem necessidade de deslocamento de uma equipe de suporte até a localidade das cisternas.

No quarto dia de medições na cisterna 02, houve interrupção na leitura dos dados pelo período da manhã. Foi identificado que a fonte 5V que fazia a alimentação do sistema havia oxidado, após ter entrado em contato com a água proveniente das fortes chuvas que ocorreram durante o período de medições. Como os valores das leituras de pH são lidos pelo microcontrolador como pulsos elétricos para posteriormente serem convertidos para valores reais, alterações no fornecimento da

tensão de alimentação para o Arduino, causados provavelmente pela oxidação da fonte de alimentação, podem ter causado leituras falhas do pH na cisterna 02.

A longo prazo, fatores como a evaporação do cloro residual na água e mudanças na temperatura da água, poderiam ser fatores determinantes na alteração dos índices de pH e turbidez na água ao influenciarem diretamente no ciclo de vida de patógenos que viessem a existir na água (SILVA et al., 2019).

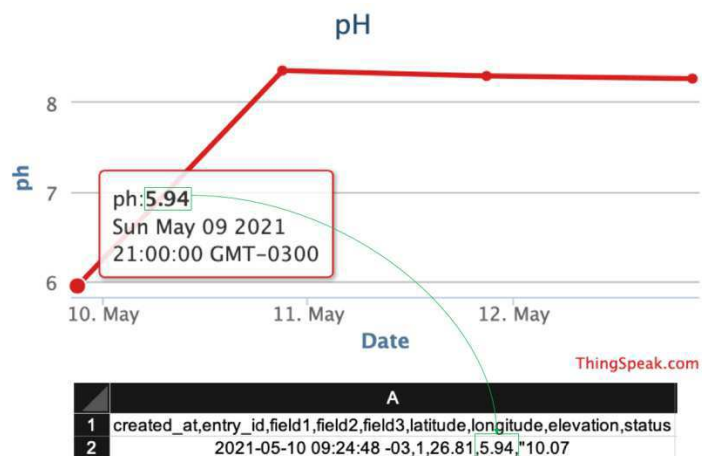
Contudo, devido ao curto prazo de análise utilizado para monitoramento de cada cisterna, as alterações nos dados lidos podem ter sido causadas também por fatores como agitação da água no processo de recarga hídrica, introdução de águas com novas composições, advindas de novas chuvas e das calhas com sujeiras, ou ainda incorporação de hipoclorito de sódio na composição da água, visando o seu tratamento. A introdução de fontes externas de contaminação, provenientes da poeira do ar ou de animais na água, eram minimizadas com os fechamentos das tampas das cisternas.

4.7.5 Falha na criação de gráficos de médias diárias no *ThingSpeak*

Durante a análise dos gráficos de médias diárias de pH, turbidez e temperatura gerados pelo *ThingSpeak*, foi possível identificar uma falha. Por meio da investigação de cada entrada dos dados em planilha do *Microsoft Excel* exportada pelo *ThingSpeak*, foi constatado que as primeiras e últimas médias diárias apresentadas pelos gráficos gerados pela ferramenta não condiziam com a realidade.

Para efeito de comprovação, tomando-se como referência o gráfico de médias diárias de pH na cisterna 02, foi possível identificar a existência de uma média diária o dia 9 de maio. Porém, as leituras na cisterna 02 somente tiveram início no dia 10 de maio. O dado apresentado como média das leituras de pH no dia 9 de maio equivale, na verdade, ao valor da primeira leitura do dia 10 de maio, realizada às 09:24hrs deste dia, conforme pode ser observado na Figura 31.

Figura 31: Falha identificada na criação das médias diárias pela ferramenta *ThingSpeak*



Fonte: Autoria Própria (2021).

Devido a existência dessa falha na criação automática dos gráficos das médias diárias, os gráficos de médias diárias obtidas em campo utilizados neste trabalho foram elaborados manualmente com o auxílio da ferramenta *Microsoft Excel*.

4.8 Custos do sistema de monitoramento remoto da qualidade da água

Apesar da existência de falhas pontuais na calibração dos sensores durante o monitoramento remoto da qualidade da água em campo, o sistema se mostrou de grande eficiência no envio de informações à distância. O custo do sistema desenvolvido neste estudo foi de R\$306,82, cujo detalhamento está descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Valores dos materiais utilizados

| Materiais | Quantidade | Preço Unitário (R\$) | Preço Total (R\$) |
|-----------------------|------------|----------------------|-------------------|
| NodeMCU | 1 | 27,90 | 27,90 |
| Arduino Nano | 1 | 22,90 | 22,90 |
| Sensor de pH | 1 | 99,14 | 99,14 |
| Sensor de Turbidez | 1 | 61,48 | 61,48 |
| Sensor de temperatura | 1 | 14,90 | 14,90 |
| Resistor 10K Ohm | 1 | 1,00 | 1,00 |

| | | | |
|----------------------|-------------------|-------|-------|
| Potenciômetro 1K Ohm | 1 | 2,00 | 2,00 |
| Display LCD | 1 | 22,90 | 22,90 |
| Protoboard | 2 | 10,90 | 21,80 |
| Fios de cobre | 1 | 1,80 | 1,80 |
| Caixa de proteção | 1 | 19,00 | 19,00 |
| Isopor | 1 | 12,00 | 12,00 |
| Custo Total | R\$ 306,82 | | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os equipamentos listados na Tabela 4 possuem propostas similares à deste trabalho, objetivando o monitoramento de parâmetros qualitativos da água. Como diferencial, o sistema de monitoramento da qualidade da água desenvolvido neste trabalho permitiu a captação e transmissão dos valores lidos via internet em tempo real, além de enviar notificações personalizadas à computadores ou dispositivos móveis a respeito do seu funcionamento. Os valores dos equipamentos portáteis de monitoramento da água citados na Tabela 4 foram consultados em julho de 2020. A partir dos valores apresentados, é possível identificar que o custo total do sistema desenvolvido neste trabalho representa um valor de 29% do custo do equipamento de monitoramento mais barato vendido no mercado.

Tabela 4: Valores médios de equipamentos similares fornecidos no mercado

| Equipamento | Sensores | | | | | | Valor |
|--|----------|----|-------|----|-----|--------|--------------|
| | pH | CE | Temp. | OD | STD | Salin. | |
| Medidor Multiparâmetro PH-026 Impac | x | x | x | | | | R\$ 1.247,62 |
| Medidor Multiparâmetro WA-2015 Lutron | x | x | x | x | | | R\$ 4.742,74 |
| Medidor Multiparâmetro HI9813-5 Hanna | x | x | x | | x | | R\$1.433,30 |
| Medidor Multiparâmetro HI98129 Hanna | x | x | x | | x | | R\$1.230,12 |

| | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|--------------|
| Medidor Multiparâmetro Combo 5 | x | x | x | | x | x | R\$ 1.515,72 |
| Medidor Multiparâmetro AK88 Akso | x | x | x | x | | | R\$2.840,00 |
| Medidor Multiparâmetro PTC-100 Instrutherm | x | x | x | | | | R\$1.228,19 |
| Legenda | <p>pH: Potencial Hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; Temp.: Temperatura da Água; OD: Oxigênio Dissolvido; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; Salin.: Salinidade.</p> | | | | | | |

Fonte: Autoria Própria (2020).

5. CONCLUSÕES

Para este trabalho, foi criado um sistema automatizado para monitoramento dos índices de pH, turbidez e temperatura em cisternas rurais. As informações coletadas pelo sistema foram armazenadas e apresentadas na plataforma *ThingSpeak*, possibilitando o acompanhamento em tempo real de cada um dos parâmetros.

Os resultados deste estudo comprovaram a eficiência no envio remoto de dados pelo sistema de baixo custo para monitoramento da qualidade de água. Entretanto, os resultados das medições de pH e turbidez evidenciaram uma diminuição na precisão dos resultados com o aumento do manuseio do sistema em campo. As leituras realizadas na cisterna 01 apresentaram menores erros do que as leituras realizadas na cisterna 02. Já os valores das leituras de temperatura, evidenciaram um correto funcionamento do termômetro digital.

Quando o sistema foi utilizado para monitoramento da qualidade da água em ambiente controlado por 11 dias, apresentou erros de 0,261% para leituras de pH e de 2,45% para leituras de turbidez. Porém, em situações de campo a acurácia do sistema diminuiu consideravelmente, exceto na medição do pH na cisterna 01. O sistema desenvolvido apresentou erros de 0,119% para leituras de pH e 161,7% para leituras de turbidez em campo na cisterna 01.

A ocorrência de descalibração do sensor de turbidez durante o monitoramento da qualidade da água, evidencia a necessidade de uma maior proteção do seu

potenciômetro contra manipulações acidentais. Pequenas movimentações neste dispositivo resultaram em grandes alterações nas leituras de turbidez, o que invalidaram as leituras deste parâmetro na cisterna 02 e causaram variações nos resultados das leituras desse parâmetro na cisterna 01. O contato com a água da chuva interrompeu a captação dos dados na cisterna 02.

O sistema mostrou-se apto a identificar variações significativas de pH e turbidez e notificá-las via *Twitter* quando estiveram em desobediência com os padrões estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Na cisterna 01, valores de pH abaixo do estabelecido pelos padrões de potabilidade foram identificados e notificados aos moradores. Os valores de turbidez na cisterna 01 mostraram-se dentro dos padrões estabelecidos pela portaria de potabilidade em vigência. Os resultados obtidos na cisterna 02 foram inconclusivos devido a descalibração do sistema.

Foi identificada uma sensibilidade do sensor de turbidez a pequenas variações de temperatura, fazendo que os valores das leituras de turbidez tenham decaído quando a temperatura foi elevada. O valor de R-quadrado para o modelo que correlacionava essas variáveis foi de 0,4493 na cisterna 01, mostrando-se condizente com a literatura apresentada. Todavia, períodos maiores de captação dos dados seriam necessários para avaliar com maior propriedade a correlação entre a turbidez e a temperatura.

A plataforma *ThingSpeak* se mostrou uma excelente alternativa gratuita para o recebimento dos dados, apesar de ter sido identificadas falhas nas criações automáticas de gráficos de médias diárias. A possibilidade de exportação dos dados em formato compatível com o *Microsoft Excel* cria novas oportunidades de estudos relacionados aos dados lidos.

As baterias testadas neste trabalho para a alimentação do sistema não foram bem-sucedidas no que se propuseram, optando-se então pela alimentação do sistema por uma tomada de 220V. A utilização de placas fotovoltaicas se mostrou uma alternativa promissora para a alimentação de baterias neste sistema. A montagem dos circuitos em *protoboards* com pequenos fios de cobre não apresentou erros de desconexão em situações de campo.

Eventuais quedas de energia e falhas na conexão Wi-fi foram causadores da interrupção no envio de dados em alguns horários. Contudo, o sistema se mostrou

rápido para reiniciar e retomar as leituras automaticamente e sem alterações assim que esses problemas eram solucionados.

O baixo custo para a criação do sistema desenvolvido neste trabalho mostra-se favorável para a aplicação do monitoramento remoto em áreas de difíceis acessos, de forma a ampliar a segurança no consumo da água em tais localidades. O sistema desenvolvido neste trabalho teve um custo total de R\$306,82, valor inferior aos preços de equipamentos semelhantes encontrados no mercado. Como diferencial com relação aos medidores de multiparâmetros convencionais, o sistema proposto permite conexão à internet para envio de dados e de notificações em tempo real, permitindo o monitoramento da qualidade da água por meio de celulares, tablets ou computadores, reduzindo assim a necessidade de deslocamento de equipes de campo.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aumento da resistência do sistema à água;
- Investigação do comportamento do sistema quando utilizadas placas solares com maior capacidade de geração de cargas;
- Utilização de placas de circuito impresso para ampliar a vida útil do hardware;
- Testagem de sensores de pH e turbidez de marcas diferentes;
- Utilização de cartões de memória para armazenamento do histórico de leituras a longo prazo;
- Calibração do sensor de turbidez sem o uso de um potenciômetro adicional;
- Acréscimo de mais sensores para a avaliação dos demais parâmetros de potabilidade da água estabelecidos pelo Portaria n °888/2021 do Ministério da Saúde.

REFERÊNCIAS

ABOUBARAKA, Abdelmeguid E.; ABOELFETOH, Eman F.; EBEID, El-zeiny M.. Coagulation effectiveness of graphene oxide for the removal of turbidity from raw surface water. **Chemosphere**, v. 181, p. 738-746, ago. 2017.

AESA, Governo da Paraíba. **Gráfico de precipitações no município de Alagoa Grande**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=3&date_chart=2021-05-13&period=week>. Acesso em 14 de maio de 2021.

AESBE, **Guia prático para estimação de consumos não autorizados e volumes não apropriados por falhas de cadastro: Série balanço hídrico**. Distrito Federal, v. 4, 48 p, 24 set. 2015.

ALVES, Arnon Jadir Rodrigues; MANERA, Leandro Tiago; CAMPOS, Marcel Veloso. Low-cost wireless sensor network applied to real-time monitoring and control of water consumption in residences. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 14, n. 6, p.1-10, nov. 2019.

ALVES, Joselma Ferreira. **Uma análise das ações do programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) no sítio Tambor em São José da Mata - PB**. 75 f., Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

ALVES, William Santana; SILVA, Toshik Iarley da; MARROM, David Antônio da Silva; SANTOS, Tainá Macêdo dos; SANTOS, Hernandes Rufino dos. Avaliação da qualidade da água do abastecimento público do município de Juazeiro do Norte, CE. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, Palmas, v. 4, n. 2, p. 112-119, maio 2017.

BAGATINI, Marília; BONZANINI, Victória; OLIVEIRA, Eniz Conceição. Análise da qualidade da água em poços artesianos na região de Roca Sales, Vale do Taquari. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p.84-91, jun. 2017.

BARTIKO, Daniel; JULIO, Marcelo de. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 1, p.72-81, mar. 2015.

BEZERRA, Antonia Diana Alves; NOGUEIRA, Elcivania Rodrigues; ARAÚJO, Francisco Gabriel Dias Mota; BRANDÃO, Maíra Gadelha Alves; CHAVES, Bruno Edson; PANTOJA, Lydia Dayanne Maia. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 8, n. 1, p.24-34, jul. 2017.

BOJARCZUK, Anna; JELONKIEWICZ, Łukasz; LENART-BOROŃ, Anna. The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 10, p.10102-10114, 3 jan. 2018.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Consulta Pública nº 3, de 3 de março de 2020**. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/aceso-a-informacao/participacao-social/46494-consulta-publica-n-3-de-3-de-marco-de-2020>. Acesso em: 12 maio 2020.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Diário Oficial da União, Brasília, 2017.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Diário Oficial da União, Brasília, 2011.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 56, de 14 de março de 1977**. Diário Oficial da União, Brasília, 1977.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. Editora, MS, Brasília, 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990**. Diário Oficial da União, Brasília, 1990.

BRIZZI, Raphael Rodrigues; SOUZA, Andréa Paula de; COSTA, Alexander Josef Sá Tobias da. Influência do manejo agrícola na suscetibilidade dos solos à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Romão, Nova Friburgo/RJ. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 15, n. 2, p. 171-191, dez. 2017.

CÂNDIDO, Tonimara de Souza; MIRANDA, João Henrique; ABREU, Marcos Vinicius Sanches; QUARTAROLI, Larissa. Avaliação da qualidade da água por meio de parâmetros físico-químicos e a influência do uso e ocupação do solo. **Revista Científica Univiçosa**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 329-334, dez. 2015.

CARVALHO, Adriana Moreira de. Qualidade da água distribuída pelos caminhões-pipa para consumo humano. In: **Anais da 45ª Assembléia Nacional da Assemae**. Poços de Caldas: ASSEMAE, p. 1 – 8, 2015.

CARVALHO, Leandro Almeida; SILVA, Denise Domingos. Avaliação da qualidade de águas de cisternas da zona rural e urbana do município de Cuité-PB. **Educação Ciência e Saúde**, v.1, n.1, p. 1-18, dez. 2014.

CARVALHO, Ronaldo Valentim de; LIMA, Francisca Elizonete de Souza; SILVA, Rafael Pereira da. O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC): uma alternativa de convivência com o semiárido na comunidade agreste de baixo – São Miguel/RN. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p.136-149, mar. 2017.

CASTRO, Rossana Santos de; CRUVINEL, Vanessa Resende Nogueira; OLIVEIRA, Jaime Lopes da Mota. Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no Distrito Federal/Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, n. especial 3, p.8-19, dez. 2019.

CHAGAS, Denize Sampaio. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico**. 78f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

COELHO, Silvio Carlos; DUARTE, Antônio Nascimento; AMARAL, Ludmila Santos; SANTOS, Paulo Medeiros dos; SALLES, Maria José; SANTOS, José Augusto Albuquerque dos; MARTINS, Adriana Sotero. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 1, p.156-167, jan. 2017.

COLLIVIGNARELLI, Carlo. Water safety: one of the primary objectives of our time. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 1, p.1-7, jan. 2017.

CRUZ, Nathalie; MIERZWA, José Carlos. Saúde pública e inovações tecnológicas para abastecimento público. **Saúde e Sociedade**, v. 29, n. 1, p.1-8, jan. 2020.

CUNHA, Gisele Souza da. **Avaliação da qualidade das águas nas cisternas da comunidade Uruçu no município de Gurinhém: uma abordagem geográfica**. 52 f. Monografia (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

DALPAZ, Leticia; BORGERT, Aline Eloize; VENDRAMI, Júlia May; GHISI, Enedir. Tipos e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p.207-231, set. 2019.

DUTRA, Maria Tereza Duarte; SILVA, Juliana Lemos da; OLIVEIRA, Cláudia Ricardo; LYRA, Marília Regina Costa Castro; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima. Relações entre condições ambientais e doenças de veiculação hídrica em áreas do assentamento rural Serra Grande, Vitória de Santo Antão, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p.1677-1689, 2016.

FERREIRA, Ana Raquel Miranda Gomes da Costa. **Deteção e avaliação de fugas e perdas em sistemas de abastecimento de água**. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2017.

FERREIRA, Hermelinda Maria Rocha; RAMOS, Alexandre Sávio Pereira; BERNARDES, Denis Antônio de Mendonça. A política de racionamento de água na cidade do Recife, Brasil: impactos e desigualdades nos assentamentos precários. In: CASTRO, José Esteban; HELLER, Léo; MORAIS, Maria da Piedade. **O Direito à Água como Política Pública na América Latina: uma exploração teórica e empírica**. Brasília: Ipea, Cap. 3. p. 83-108, 2015.

FIGUR, Cassia; REIS, Janete Teresinha. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 352-365, maio 2017.

GAVHANE, P.M.; SUTRAVE, D.S.; BACHUWAR, V.D; GOTHE, S.D.; JOSHI, P.S.. Smart Turbidity Monitoring and Data Acquisition using LabVIEW. **Journal of Xi'an Shiyu University**, Xi'An, v. 15, n. 4, p. 22-30, 2019.

GERUSO, Michael; SPEARS, Dean. Neighborhood Sanitation and Infant Mortality. **American Economic Journal: Applied Economics**, Pittsburgh, v. 10, n. 2, p.125-162, abr. 2018.

GOOGLE EARTH. Versão 7.3.3.7786. **Google LLC**. Acesso em 13 de maio de 2020.

GOMES, Uende Aparecida Figueiredo; HELLER, Léo. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p.623-633, set. 2016.

GÓMEZ-VALDEZ, Monserrat Iliana; PALERM-VIQUEIRA, Jacinta. El abasto de agua por pipa en el valle de Texcoco, México. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 3, n. 2, p.133-148, abr. 2016.

GRIGOLETTO, Jamyle Calencio; CABRAL, Adriana Rodrigues; BONFIM, Camila Vicente; ROHLFS, Daniela Buosi; SILVA, Eliane Lima e; QUEIROZ, Fernanda Barbosa de; FRANCISCHETTI, Jaqueline; DANIEL, Mariely Helena Barbosa; RESENDE, Rodrigo Matias de Sousa; ANDRADE, Rosane Cristina de; MAGALHÃES, Tiago de Brito. Gestão das ações do setor saúde em situações de seca e estiagem. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p.709-718, mar. 2016.

GRIS, Vanessa Gleica Cantú; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; JOHANN, Jerry Adriani. Cisternas rurais: viabilidade econômica e percepção de agricultores do município de Palotina-PR. **Revista Nera**, Presidente Prudente, v. 20, n. 37, p.169-194, ago. 2017.

GUEDES, Gilvan Ramalho; SIMÃO, Andréa Branco; DIAS, Carlos Alberto; BRAGA, Eliza de Oliveira. Risco de adoecimento por exposição às águas do Rio Doce: um estudo sobre a percepção da população de Tumiritinga, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, n. 6, p.1257-1268, jun. 2015.

GUEDES, Tiago Lemos; SOUZA, Fernando Hymnô de; GHISI, Diego Brunelli; PEREZ, Alondra Beatriz Alvarez; DALSSASSO, Ramon Lucas; SENS, Maurício Luiz. Aplicação da filtração em margem de rio como alternativa de tratamento de água para comunidades isoladas. **Revista DAE**, v. 67, n. 215, p.84-94, mar. 2019.

HAMDAN, Otávio Henrique Campos; LIBÂNIO, Marcelo; COSTA, Veber Afonso Figueiredo. Avaliação de indicadores aplicados a sistemas de abastecimento de água de pequeno porte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p.1183-1194, dez. 2019.

HERNÁNDEZ, Aurora Pérez; VÉLEZ, Oscar Luis Palacios; GARDUÑO, Manuel Anaya; SALINAS, Jorge Leonardo Tovar. Agua de lluvia para consumo humano y uso

doméstico em San Miguel Tulancingo, Oaxaca. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.8, n.6, p. 1427-1432, set. 2017.

KEOGH, M.B.; ELMUSHARAF, K.; BORDE, P.; MCGUIGAN, K.G.. Evaluation of the natural coagulant Moringa oleifera as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. **Solar Energy**, v. 158, p. 448-454, dez. 2017.

KUSTERKO, Sheila; ENSSLIN, Sandra Rolim; ENSSLIN, Leonardo; CHAVES, Leonardo Corrêa. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p.615-626, jun. 2018.

LAMBERT, Brian. **The Effect of Water and Sanitation Privatization on Child Mortality Rates in Guayaquil, Ecuador: a difference-in differences analysis**. **Undergraduate Honors Theses**, Boulder, Colorado, 34 p., abr. 2019.

LAMBERTI, Gisele Gavazza. **Solubilização de matéria orgânica e nutrientes do lodo algáceo de uma lagoa de estabilização através de processos hidrolíticos alcalino e térmico**. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

LEVY, Karen; WOSTER, Andrew P.; GOLDSTEIN, Rebecca S.; CARLTON, ELIZABETH J.. Untangling the Impacts of Climate Change on Waterborne Diseases: a Systematic Review of Relationships between Diarrheal Diseases and Temperature, Rainfall, Flooding, and Drought. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 10, p.4905-4922, abr. 2016.

LIMA, Ellen Lima de. **Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem**. 79f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018.

LIMA, Renata S. de; CARVALHO, Alex A. C. de; TONHOLO, Josealdo; LIMA, Phabyanno R.; ZANTA, Carmem L. P. S.. The Oxidation Efficiency of Commercial,

Electrogenerated and Electrogenerated in Situ Hypochlorite. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, p.851-862, ago. 2018.

LIMACHI, Rut Mamani; LONZOY, Ana Alberca; COLUMBIA, Christine Anne; CASTRO, Mayela Cajachagua. Estrategias para disminuir diarreas parasitosis y anemia en menores de cinco años zona altoandina Perú. **Horizonte Sanitário**, Lima, v. 18, n. 3, p.307-318, maio 2019.

LUCENA, Danyllo Vieira de. **Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural e Campina Grande – PB**. 110f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

LUCIANI, Chiara; CASELLATO, Francesco; ALVISI, Stefano; FRANCHINI, Marco. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Water Loss Identification at User Level by Using Smart Metering Systems. **Water**, v. 11, n. 3, p.405-419, fev. 2019.

MACHADO, Anna Virgínia Muniz; SANTOS, João Alberto Neves do; NOGUEIRA, Lilian Thurler; NOGUEIRA, Marina Thuerler; OLIVEIRA, Pedro Augusto Dias de. Acesso ao abastecimento de água em comunidades rurais: o desafio de garantir os direitos humanos à água. In: **Anais do XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro: Inovarse, p. 1 - 14, 2016.

MARTINS, Marizete Muller; OLIVEIRA, Leyza Paloschi de; SCHVEITZER, Bianca. Avaliação das características físico-químicas da água da chuva em diferentes pontos no município de Caçador – SC. **RIES**, Caçador, v. 5, n. 1, p. 78-93, maio 2016.

MATSUSHITA, Thiago Lopes; GRANADO, Daniel Willian. A Crise Hídrica no Brasil e seus Impactos no Desenvolvimento Econômico e Ambiental. **Revista Thesis Juris**, v. 6, n. 1, p.167-185, abr. 2017.

MEDEIROS, Adaelson Campelo; LIMA, Marcelo de Oliveira; GUIMARÃES, Raphael Mendonça. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de

Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p.695-708, mar. 2016.

MENDONÇA, Maria Helena Martins; ROSENO, Sthefany Angely Moraes; CACHOEIRA, Thayany Ruanny Leite; SILVA, Ákylla Fernanda Souza; JÁCOME, Paula Regina Luna de Araújo; JÁCOME JÚNIOR, Agenor Tavares. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 468-475, maio 2017.

MIRANDA, Adalberto Gomes; SILVA, Alícia Victória Castilho; DURRANT, Steven Frederick; SANTANA, Genilson Pereira; MIRANDA, Adailza Aparício; QUEIROZ, Gustavo Viana; MACÊDO NETO, José Costa; OLIVEIRA, Edvam Nunes. Análise do Desempenho do Protótipo Arduino com Sensor de pH para Medições da Qualidade de Água contaminada em Igarapés de Manaus. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 20145-20156, abr. 2020.

MORAIS, Wilker Alves; SALEH, Bruno Botelho; ALVES, Wellmo dos Santos; AQUINO, Davi Santiago. Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 24, n. 3, p.361-367, set. 2016.

MUOIO, Roberta; CARETTI, Cecília; ROSSI, Leonardo; SANTIANNI, Daniela; LUBELLO, Claudio. Water safety plans and risk assessment: A novel procedure applied to treated water turbidity and gastrointestinal diseases. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 223, n. 1, p. 281-288, jan. 2020.

NACERADSKA, Jana; PIVOKONSKA, Lenka; PIVOKONSKY, Martin. On the importance of pH value in coagulation. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 68, n. 3, p. 222-230, abr. 2019.

NADIKATLA, Santhosh Kumar; MUSHINI, Venkata Subbarao; MUDUMBA, Phani Surya Murali Krishna. Water quality index method in assessing groundwater quality of Palakonda mandal in Srikakulam district, Andhra Pradesh, India. **Applied Water Science**, v. 10, n. 1, p.1-14, dez. 2019.

NASCIMENTO, Felipe Tiago do; NASCIMENTO, Carlos Augusto; SPILKI, Fernando Rosado; STAGGEMEIER, Rodrigo; LAUER JÚNIOR, Cláudio Marcos. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 13, n. 4, p.1-12, 30 jul. 2018.

NASCIMENTO, Ruth Silveira do; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo; OLIVEIRA, Rui de; SANTANA, Cícero Fellipe Diniz; MEIRA, Celeide Maria Belmont Sabino. Simulação de alterações numa ETA convencional de porte médio para a produção de água segura / Changes simulation in a conventional ETA midsize to safe water production. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p.439-450, abr. 2016.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, Carlos; RIBAS FILHO, Durval. Potencial hidrogeniônico da água e sua influência no organismo humano: um artigo de revisão. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. 1, p. 16-23, set. 2018.

OLIVEIRA, Aristeu de; MAGALHÃES, Tiago de Brito; MATA, Renan Neves da; SANTOS, Fabiana Sherine Ganem dos; OLIVEIRA, Daniel Cobucci de; CARVALHO, Jonas Lotufo Brant de; ARAÚJO, Wildo Navegantes de. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 1-13, abr. 2019.

OLIVEIRA, Regina Maria Mendes; SANTOS, Ezequiel Vieira dos; LIMA, Kalyl Chaves. Avaliação da qualidade da água do riacho São Caetano, de Balsas (MA), com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 523-529, maio 2017.

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza; SOUZA, Marcela Fernanda da Paz de. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p.1-12, fev. 2018.

PALHARES, Julio Cesar Pascale. Captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso a produção animal. **Documentos**, São Carlos, v. 1, p. 1-32, ago. 2016.

PASIKA, Sathish; GANDLA, Sai Teja. Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. **Heliyon**, v. 6, n. 7, p. 1-9, jul. 2020.

PULE, Mompoloki; YAHYA, Abid; CHUMA, Joseph. Wireless sensor networks: a survey on monitoring water quality. : A survey on monitoring water quality. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 15, n. 6, p. 562-570, dez. 2017.

RAMOS, Mateus Contin.; ANDRADE, Valcimar Silva de. Desenvolvimento, construção e calibração de uma central de monitoramento de consumo de energia elétrica e de água utilizando o microcontrolador Arduíno. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 2, n. 1, p.39-50, abr. 2016.

RAVEH, Eran; BEN-GAL, Alon. Leveraging Sustainable Irrigated Agriculture via Desalination: Evidence from a Macro-Data Case Study in Israel. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p.974-982, mar. 2018.

ROCHA, Rebeca Silva; ITO, Alexandre Hitoshi; LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. Uso de sensores inteligentes com transmissão sem fio para monitoramento de cloro residual na rede de distribuição de água de Jussara-PR. In: **Anais do 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSAMAE: Alternativas de Financiamentos para o Saneamento Público**. Fortaleza, ASSAMAE, p. 259 – 265, 2018.

RONDI, Luca; SORLINI, Sabrina; COLLIVIGNARELLI, Maria. Sustainability of Water Safety Plans Developed in Sub-Saharan Africa. **Sustainability**, v. 7, n. 8, p.11139-11159, ago. 2015.

RUTKOWSKI, T.a.; PROKOPIUK, F.. Identification of the Contamination Source Location in the Drinking Water Distribution System Based on the Neural Network Classifier. **IFAC PapersOnLine**, v. 51, n. 24, p.15-22, out. 2018.

SALLA, Marcio Ricardo; SÁ, Elias; FERREIRA, Pedro Augusto Silva Costa; MELO, Nágela Aparecida de. Relação entre saneamento básico e saúde pública em Bissau, Guiné-Bissau. **Saúde e Sociedade**, v. 28, n. 4, p.284-296, dez. 2019.

SANTOS, Ana Paula Ribeiro dos; MONTEIRO, Lilyan Rosmery Luizaga de. Determinação da qualidade microbiológica da água em nascente da unidade de conservação em Filadélfia, Tocantins. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 5, n. Especial, p. 74-86, out. 2018.

SANTOS, Danielle da Costa Rubim Messeder dos; SILVA, Claudeci Martins da. Saneamento básico dentro da perspectiva das águas subterrâneas. **Agua y Saneamiento Básico en el Siglo XXI: Brasil y Costa Rica**. San José, Capítulo III, p. 73-94, 2018.

SANTOS, Monique Virões Barbosa dos; DOMICIANO, Carlos Alberto Ramos; ROCHA, Fabiano da Guia; LIMA, Cristian Jacques Bolner de; JESUS, Lázaro Alecrim de; MOURA, Joeder Rodrigues França. Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura. In: **Anais do IX Computer on the Beach**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Computação, p. 1-10, 2018.

SHARMA, Kapil Dev; SRIVASTAVA, Shobhit. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. **Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science**, v. 5, n. 1, p.1-17, abr. 2018.

SILVA, Agny Diego Cunha da; ROCHA, Leonardo Viana; MACHADO, Andrea Pereira; GUTIERREZ, Dione Margarete Gomes; SANTOS, Leonardo Sousa dos; GUTIERREZ, Carlos Benedito Barreriros. Sistema de automação para captação de águas pluviais e gerenciamento hídrico residencial utilizando aplicativo móvel. **Espacios**, Caracas, v. 38, n. 19, p.31-43, jan. 2017.

SILVA, Cesar Aparecido da; YAMANAKA, Elisa Hizuru Uemura; MONTEIRO, Cristiane Schüler. Monitoramento microbiológico da água de bicas em parques públicos de Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p.271-275, out. 2016.

SILVA, Everaldo de Santana; OLIVEIRA, Deloar Duda de; LOPES, Amanda Pontes. Acesso ao Saneamento básico e Incidência de Cólera: uma análise quantitativa entre 2010 e 2015. **Saúde em Debate**, v. 43, n. especial 3, p.121-136, dez. 2019.

SILVA, Leandro Jorge da; LOPES, Laudicéia Giacometti; AMARAL, Luiz Augusto. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p.615-622, set. 2016.

SILVA, George Antonio Belmino da; MEIRA, Celeide Maria Belmont Sabino; SANTANA, Cícero Fellipe Diniz de; COURA, Mônica de Amorim; OLIVEIRA, Rui de; NASCIMENTO, Ruth Silveira do; SANTOS, Whelton Brito dos. Simulação do decaimento de cloro residual livre em reservatórios de distribuição de água. **Revista DAE**, v. 67, n. 218, p.92-103, set. 2019.

SILVA JUNIOR, Osmar Pereira da; CARVALHO, Sérgio Luís de; RAGASSI, Bruna. Avaliação da temperatura, turbidez e pH no Córrego das Marrecas SP. **ANAP Brasil**, v. 12, n. 24, p. 61-70, 2019.

SIMÕES, Bruna Riguete Vecchi; GOULART, Douglas Salles; COMBATT, Maria Paulina Mendoza; PIMENTA, João Francisco de Paula; QUEIROZ, Maria Eliana Lopes Ribeiro; SILVA, Deusanilde de Jesus. Análise da aplicação do delineamento composto central em ensaios de tratabilidade da água. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 4, p.420-428, out. 2018.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, 2019.

SOARES JUNIOR, Dinando Antonio; LEITÃO, Maria do Rosário de Fátima Andrade. Desenvolvimento local: o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) em Tupanatinga, PE. **Interações**, Campo Grande, v. 18, n. 1, p.75-87, mar. 2017.

SOARES, Ana Carolina Cordeiro; CARMO, Rose Ferraz; BEVILACQUA, Paula Dias. Saberes sociais e a construção da preferência pela água de consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3215-3223, out. 2017.

SORLINI, Sabrina; BIASIBETTI, Michela; ABBÀ, Alessandro; COLLIVIGNARELLI, Maria Cristina; DAMIANI, Silvestro. Water Safety Plan for drinking water risk management: the case study of Mortara (Pavia, Italy). **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 4, p.513-520, jun. 2017.

SOUZA, Michelle Matos de; SANTOS, Ana Silvia Pereira. Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e na Holanda no âmbito do Programa de Visitação Holand es - DVP: Dutch Visitors Programme. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p.387-395, jun. 2016.

SOUZA, Rodrigo Rodrigues; SANTOS, Maria Mirtes Cortinhas Dos. Caixa d'água limpa: uma alternativa para garantia de saúde pública. **Revista saúde e meio ambiente – Resma**, Três lagoas, v. 8, n. 1, p. 96-113, jan. 2019.

SOUZA, Waltencir Balbino de; MELO, Lidervan de Paula; LIMA, Luana Catarina Sales; SOUZA, Débora Castro de; TEXEIRA, Tatiana Tavares. Mapeamento e avalia o da potabilidade de água provenientes de fontes alternativas de capta o na cidade de Astolfo Dutra. ** guas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p.1-7, ago. 2018.

SPINELLI, Gerardo M.; GOTTESMAN, Zach L.; DEENIK, Jonathan. A low-cost Arduino-based datalogger with cellular modem and FTP communication for irrigation water use monitoring to enable access to CropManage. **Hardwarex**, v. 6, p. 1-13, out. 2019.

SRIVASTAVA, Satyam; VADDADI, Saikrishna; SADISTAP, Shashikant. Smartphone-based System for water quality analysis. **Applied Water Science**, v. 8, n. 5, p. 1-13, ago. 2018.

STEVENSON, Matthew; BRAVO, Cristián. Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. **Decision Support Systems**, v. 119, p. 72-84, abr. 2019.

SWEILEH, Waleed M; ZYOUD, Sa'ed H.; AL-JABI, Samah W.; SAWALHA, Ansam F.; SHRAIM, Naser Y.. Drinking and recreational water-related diseases: a bibliometric analysis (1980–2015). **Annals of Occupational and Environmental Medicine**, v. 28, n. 1, p. 1-11, dez. 2016.

VASCONCELOS, Felipe Bandeira; ROCHA, Matheus Xavier; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. Automação em um Sistema de Tratamento e Distribuição de Água: Um Estudo de Caso. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 3, p.25-39, dez. 2018.

VENTURA, Katia Sakihama; VAZ FILHO, Paulo; NASCIMENTO, Simone Gonçalves. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p.109-119, fev. 2019.

VISCHI FILHO, Oswaldo Julio; CORSATO, Liatar Giorge; QUIESSI, Jorge Aparecido; KANNO, Oscar Yoshikatsu; PENTEADO, Raul Barros; ARABORI, Roberto Mikio; BELORTE, Lucia Cristina Camargo; LIMA, Márcio Emanuel de. Diagnóstico e reabilitação agroambiental de trecho de bacia hidrográfica por sensoriamento remoto e turbidez da água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1099-1109, set. 2016.

WANG, Tingyu; CHEN, Guoqing; LI, Lei; WU, Yamin. Highly Fluorescent Green Carbon Dots as a Fluorescent Probe for Detecting Mineral Water pH. **Sensors**, v. 19, n. 17, p. 3801-3811, set. 2019.

WICAKSONO, A; KARNANINGROEM, N. Minimizing failure risk of refill drinking water production in Rungkut district Surabaya using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 259, p.012013-012021, maio 2019.

ZHANG, Dian; HEERY, Brendan; O'NEIL, Maria; LITTLE, Suzanne; O'CONNOR, Noel E.; REGAN, Fiona. A Low-Cost Smart Sensor Network for Catchment Monitoring. **Sensors**, v. 19, n. 10, p.2278-2300, maio 2019.

ZIN, M Cho; LENIN, G; CHONG, L Huo; PRASSANA, Mv. Real-time water quality system in internet of things. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 495, p.012021-012028, jun. 2019.