

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TAYSON ANTONIO CERON RODRIGUES DA COSTA

**SEGURANÇA HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM COM APLICAÇÃO DO
ARDUINO**

HUMAITÁ – AM
2019

TAYSON ANTONIO CERON RODRIGUES DA COSTA

**SEGURANÇA HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM COM APLICAÇÃO DO
ARDUINO**

Projeto de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais; do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Componentes e Dinâmicas dos Ecossistemas com Ênfase no Bioma Amazônico.

ELIZABETH TAVARES PIMENTEL
Professora Orientadora do PPGCA/UFAM

ALDECY DE ALMEIDA SANTOS
Professor Co-orientador/UFMT

HUMAITÁ – AM
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C837s Costa, Tayson Antonio Ceron Rodrigues da Costa
Segurança Hidrica no Município de Humaitá-AM com aplicação
do Arduino / Tayson Antonio Ceron Rodrigues da Costa Costa.
2019
108 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Elizabeth Tavares Pimentel
Coorientadora: Aldecy de Almeida Santos
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Inovação tecnologica. 2. Microcontrolador Arduino. 3.
Qualidade da água. 4. Segurança hidrica. I. Pimentel, Elizabeth
Tavares II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

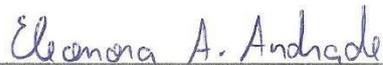
SEGURANÇA HIDRÍCA NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM COM APLICAÇÃO DO
ARDUINO

TAYSON ANTONIO CERON RODRIGUES DA COSTA
Mestrando do PPGCA/UFAM

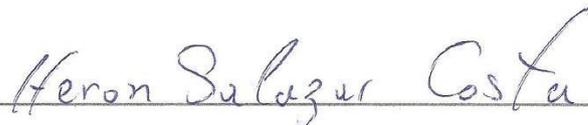
Dissertação de Mestrado defendida em: 17/10/2019 2019, com a banca examinadora:



Prof^a. Dra. Elizabeth Tavares Pimentel – Presidente



Prof^a. Dra. Eleonora Almeida de Andrade – Membro Externo 1



Prof. Dr. Heron Salazar Costa – Membro Interno 1

Dedico este trabalho a toda minha família
Rayana de Almeida Azevedo;
Isabella Azevedo da Costa.
Rosival R. da Costa; Daironete R. Rodrigues,
Thame Tuane Rodrigues da Costa
Raimundo Natalino de Almeida Azevedo

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por proporcionar fé, saúde, confiança, força e por me fazer acreditar que seria capaz de avançar mais degraus em minha vida profissional, com a conclusão deste curso de pós-graduação, o qual foi uma verdadeira batalha contra o tempo.

Em especial minha família: companheira e esposa, filha, pai, mãe e irmã, que sempre me passaram conselhos e me encorajaram em todos os momentos, principalmente no incentivo durante os momentos de tristeza e vontade de abandonar o curso.

À minha orientadora, Dra. Elizabeth Tavares Pimentel e ao meu Coorientador, Dr. Aldecy de Almeida Santos, muito obrigado pelas horas de dedicação e principalmente paciência, também por inferir informações de suma importância para conclusão desse trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Heron Salazar Costa, pelo apoio logístico durante a realização e execução do projeto, ao professor Dr. Marcelo Rodrigues dos Anjos e todos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais que contribuíram para melhorar minha formação acadêmica.

Agradeço aos meus amigos e colegas que me ajudaram durante esse projeto, em especial Domkarlykisom (compadre e amigo), Raimundo Natalino, Werleson Nery, Stefani, Anderson, Halfberg, Walesson Higor, Cristino, Judyedson, Marcelo Mota, Emerson, Oziel, Paulo Pedro, Paulo André, Daiane, Daniele, Marcelo Pebles, José Alberto, Maria do Carmo, Albanice, Maria Clécia, Cleisson Hugo, Helder, Maria José. Por fim a todos que me ajudaram para na execução deste trabalho e também no decorrer do programa.

RESUMO

A proteção dos recursos hídricos está inserida na questão ambiental, e serve de alerta para a sociedade sobre sua importância para qualidade de vida. No Brasil a exploração da água superficial e subterrânea vem crescendo nos últimos anos. É necessário ter um banco de dados sobre as reservas e a qualidade dos sistemas de aquíferos, buscando a gestão desses recursos, afim de garantir a preservação da qualidade destas águas, contra possíveis eventos das ações antrópicas, que possam tornar esses recursos mais vulneráveis à contaminação. Desse modo, surge a necessidade de implantação de monitoramento contínuo para qualidade das águas subterrâneas. Nesse contexto, este trabalho trata da investigação da segurança hídrica através de análises dos parâmetros de qualidade da água subterrânea no município de Humaitá, obtidos a partir do Sistema de Aquisição dos Parâmetros de Qualidade da Água (SAPQA), utilizado como ferramenta tecnológica para realizar o monitoramento do pH, temperatura e nível estático em um poço localizado em Humaitá-AM. Dados complementares foram obtidos *in loco* e também realizadas análises laboratoriais. Os valores obtidos através do SAPQA foram precisos e medidos em tempo real, por meio da utilização de sensores acoplados ao microcontrolador Arduino. Apresenta-se para a sociedade a importância da investigação da qualidade da água que está sendo consumida pela população, bem como o uso de novas ideias tecnológicas, por métodos que facilitem esse o monitoramento, buscando novas estratégias que diminuam o tempo e proporcionem a obtenção de informação em tempo real, na qual mantenham a população ciente da qualidade e confiabilidade no produto que estão consumindo e realizando outras atividades rotineiras.

Palavras-chave: Inovação tecnológica, Microcontrolador Arduino, Qualidade da água, Segurança Hídrica

ABSTRACT

The protection of water resources is part of the environmental issue, and serves as a warning to society about its importance for quality of life. In Brazil, the exploitation of surface and underground water has been growing in recent years. It is necessary to have a database on the reserves and the quality of aquifer systems, seeking the management of these resources in order to ensure the preservation of the quality of these waters, against possible events of anthropic actions, which may make these resources more vulnerable to contamination, soon there arises a need for the implementation of continuous monitoring for groundwater quality. The data was obtained through on-site and laboratory analysis, in addition to the analysis of the Water Quality Parameters Acquisition System (SAPQA), accurate and fast of the results obtained, through the use of sensors coupled to the Arduino microcontroller. In this context, this work deals with the investigation of water safety in relation to water quality parameters in the municipality of Humaitá and also with the application of a technological tool to monitor the pH and temperature in a well of groundwater, and the prospects are to present to society the importance of the investigation in the quality of water that is being consumed by the population, as well as the use of new technological ideas, by methods that facilitate this monitoring using sensors, seeking new strategies that reduce time and provide information in real time, in which keep the population aware of the quality and reliability of the product they are consuming and performing other routine activities.

Keywords: Technological Innovation, Arduino Microcontroller, Water quality, Hydric Security

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral:	15
2.2 Objetivos específicos:.....	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
4.1 Água subterrânea importância para a vida	16
4.2 Uso das água subterrâneas.....	17
4.3 Balanço hídrico.....	19
4.4 Problemas que afetam a qualidade das águas subterrâneas	26
4.5 Saneamento básico: impactos e benefícios à saúde humana	33
4.6 Percepção Ambiental em relação ao saneamento básico	37
4.7 Abastecimento de água e saneamento básico no Município de Humaitá-AM.....	38
4.7 Plataforma do Arduino.....	41
5. METODOLOGIA	45
5.1 Área em estudo	45
5.2 Cadastros de poços	47
5.3 Itens utilizados para montagem do Sistema de Aquisição de Parâmetros de Qualidade da Água do Arduino	47
5.4 Instalação do Sistema de Aquisição de Parâmetros de Qualidade da Água Arduino..	55
5.5 Teste do SAPQA na água subterrânea de abastecimento.....	55
5.6 Coleta e análises físico-químicas e microbiológicas das amostras	56
5.7 Informações das normas técnicas de segurança sanitária para perfuração de poços e dados sobre atendimentos na saúde de Humaitá-Am	58
5.8 Testes estatísticos.....	59
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1 Leituras do Arduino e da sonda digital TDS&EC e HANNA.	61
6.2 Matriz de correlação.....	69
6.3 Agrupamentos por Clusters.....	72
6.4 Análise de laboratório.....	74
6.5 Sintomas comuns das doenças de veiculação hídrica no município de Humaitá-Am.	76
6.6 Análise das Principais Componentes (PCA).....	81
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1. Percentual de água subterrânea no planeta Terra	20
Figura 2. Distribuição do abastecimento de água no Brasil.	22
Figura 3. Localização do município de Humaitá-AM	45
Figura 4. Esquema do Arduino.....	48
Figura 5. Arduino e o Sensor de temperatura	49
Figura 6. Eletrodo de pH e módulo controlador	49
Figura 7. Esquema do eletrodo de pH.....	51
Figura 8. Suporte com a válvula e eletrodo de pH	50
Figura 9. Materiais para construir o reservatório coletor de água.	50
Figura 10. Fios na função de eletrodos adaptado para detectar o nível da água.....	51
Figura 11. Esquema do Sensor de nível com saída analógica	52
Figura 12. Calibração do sensor de temperatura	53
Figura 13. Calibração do sensor de pH.....	53
Figura 14. Módulo para Memory Card para Arduino	54
Figura 15. Módulo RTC, módulo LCD e Caixa plástica para leitura dos dados coletados pelo Arduino	54
Figura 16. Sistema de aquisição de dados instalada no poço PT17.	55
Figura 17. Sondas digitais de CE; STD, T(°C) e pH.....	56
Figura 18. Coleta das amostras	57
Figura 19. Temperatura obtida pelo SAPQA - 30 min	62
Figura 20. Correlação de Pearson entre o pH e temperatura para 60 min.....	63
Figura 21. Correlação entre pH e temperatura obtidos pelas sondas digitais.	65
Figura 22. Temperatura e pH obtidos através das sondas digitais.....	66
Figura 23. Dados do pH obtido pela sonda digital e pelo SAPQA para 30 min e 60min.	67
Figura 24. Temperaturas obtidas pela sonda digital e pelo SAPQA para 30 e 60 minutos.....	68
Figura 25. Medições do sensor de nível.....	68
Figura 26. Prejuízos causados pelo uso prolongado das tubulações.....	72
Figura 27. Análise de Clusters entre os parâmetros de qualidade da água para o ano de 2017.	73
Figura 28. Análise de Clusters entre os parâmetros de qualidade da água para o período de chuva 2018.....	74
Figura 29. Vítimas atendidas no Hospital de Urgência e Emergência do município de Humaitá-AM.	79
Figura 30. Vítimas de diarreia atendidas no Hospital de Urgência e Emergência do município de Humaitá-AM	80
Figura 31. PCA, entre os parâmetros de qualidade da água em relação aos casos de vômitos no período seco de 2017 e 2018	83

Figura 32. PCA para sintoma de diarreia entre os parâmetros de qualidade da água no período de seca no ano de 2017 e chuva no ano 2018.85

TABELAS

Tabela 1. Estimativa do balanço hídrico mundial	20
Tabela 2. Abastecimento de água no Amazonas	25
Tabela 3. Classificação dos problemas de qualidade da água subterrânea	27
Tabela 4. Análise laboratorial de parâmetros físico-químicos e microbiológicos	58
Tabela 10. Temperatura e pH obtidos com intervalo de 30 e 60 min.....	62
Tabela 11. Correlação de Pearson entre o pH e temperatura para intervalos de 30 min e 60 min.....	63
Tabela 12. Dados das sondas digitais de pH e Temperatura.....	65
Tabela 6. Matriz de correlação, para os parâmetros analisados em laboratório 2019.	70
Tabela 7. Matriz de correlação de Pearson, período seco do ano de 2017	71
Tabela 8. Matriz de correlação de Pearson, período de chuva do ano de 2018	71
Tabela 5. Resultado laboratorial do poço raso e profundo.....	75
Tabela 9. Principais componentes para os períodos seco de 2017 e chuva 2018....	82

QUADROS

Quadro 1. Impurezas encontradas nas águas subterrâneas.....	32
Quadro 2. Número de habitantes por bairro na cidade de Humaitá-Am.....	46
Quadro 3. Teste D'Agostino, para verificar a normalidade entre os dados	70
Quadro 4. Identificação e localização dos poços analisados	72

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ainda tem um grande desafio quanto ao saneamento básico, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto em muitos municípios. Os investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), embora tenham o intuito de melhorar o saneamento no Brasil, foram inicialmente destinados a sistemas de abastecimento de água, coleta de resíduos e esgotamento sanitário.

O conjunto de tecnologias para os serviços de saneamento básico englobam o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a drenagem de águas pluviais, a coleta e tratamento de resíduos sólidos e o tratamento de águas residuárias, fortalecidos pela educação ambiental, que deve levar conhecimento à população sobre os efeitos do saneamento no meio ambiente e na saúde pública.

Os procedimentos para a coleta de dados por meio de equipamentos tecnológicos, está diversificando os processos industriais e as pesquisas científicas, pois as informações são transportadas para mundo o digital de maneira prática e confiável, sendo chaves fundamentais para auxiliar no monitoramento ambiental, inserindo a tecnologia em favor das mudanças na qualidade de vida.

Dessa forma monitorar a qualidade da água consumida aplicando novas tecnologias se faz necessário, visto que envolve a segurança hídrica tanto dos mananciais superficiais quanto os subterrâneos, que estão servindo para abastecer as aglomerações urbanas e rurais, visando melhorias nas redes de distribuição, minimizando desperdícios e contribuindo para a saúde pública.

A aplicação das políticas públicas faz-se necessária em todos os municípios brasileiros, não apenas para assegurar os direitos constitucionais e sociais adquiridos ao longo dos anos, mas precisam ser implantadas buscando o absoluto controle com relação a distribuição dos recursos hídricos nacionais e a aplicação correta dos recursos financeiros em infra-estrutura da melhor qualidade, para exploração e tratamento dos futuros efluentes gerados no país. Além desses aspectos gerais, a gestão do saneamento no Brasil está direta ou indiretamente sob ação do governo, seja federal, estadual ou municipal, pois a maioria das autarquias do setor, possuem contratos de prestação de serviços públicos vinculados aos poderes legislativos de cada município da federação.

É notório a omissão dos poderes legislativos em relação às questões de saneamento ambiental refletindo nos déficits sanitários encontrados pelo país. Dessa forma através da concretização desses direitos, as aglomerações populacionais das regiões, poderão usufruir do saneamento ambiental funcionando como tutela sanitária, envolvendo saneamento básico, educação ambiental, controle de vetores e patógenos, uso e ocupação planejada do solo entre outros aspectos sociais que estão diretamente ligados à saúde humana.

Porém essas mesmas políticas públicas envolvendo saneamento ambiental e os direitos sociais, podem gerar inconvenientes, no caso da cobrança pelos serviços prestados por empresas que eram estatais e foram privatizadas, elevando o preço pelos produtos ofertados à população, fato que obriga a sociedade menos favorecida a buscar meios para sua sobrevivência, por exemplo ocupando e explorando áreas protegidas como as margens dos rios e igarapés, e perfuração de poços sem outorga considerados clandestinos.

Uma das fontes diretas de contaminação da água subterrânea no Brasil, é a falta de saneamento básico. No entanto a Lei nº 11.445/2007, dispõe sobre o abastecimento de água potável desde a captação até seu destino final. Essa lei serve como mecanismo para que seja realizado o monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, através do desenvolvimento de métodos tecnológicos integrados que auxiliem na gestão dos recursos hídricos.

Com isso o abastecimento de água e o saneamento tem influência direta na saúde das populações, pois as doenças de origem hídrica são causadas pelo consumo de água contaminada. Isso se dá pela exploração crescente da água subterrânea e superficial, pois os métodos empregados na maioria dos municípios, não apresentam nenhuma preocupação com relação aos meios de contaminação e poluição do lençol freático, como exemplos: os poços perfurados próximos de fossa rudimentar, postos de combustíveis, indústrias, abatedouros de animais, esgotos, lixões, cemitérios, agrotóxicos, piscicultura, entre outros, fatores que podem alterar os parâmetros de qualidade da água subterrânea e superficial.

Diante desses fatores, é essencial a fiscalização dos órgãos regulamentadores e responsáveis pelos recursos hídricos principalmente no estado do Amazonas, para melhorar a gestão, gerenciamento e monitoramento da qualidade da água subterrânea, reduzindo a perfuração de poços, que possam servir de acesso para a contaminação dos aquíferos subterrâneos.

Na cidade de Humaitá-AM, também vivencia-se os mesmos problemas de saneamento básico, principalmente em relação a rede de distribuição de abastecimento de água, além da ausência de sistema de esgotos e tratamento convencional ou desinfecção da água, há interrupção no fornecimento de energia muitas vezes sem comunicação prévia aos clientes, provocando interrupção no abastecimento de água, e ainda não possui tratamento adequado na destinação final dos resíduos sólidos urbanos, os quais são despejados em lixão a céu aberto.

Portanto o problema não está na quantidade de água explorada, mas sim na sua forma de distribuição interferindo na qualidade que pode gerar dúvidas aos consumidores, podendo afetar diversas áreas socioeconômicas como na saúde, na agricultura, no abastecimento de água, entre outras atividades humanas, por isso é importante monitorar os parâmetros de qualidade da água da cidade de Humaitá-AM, usando a tecnologia disponível, aplicando o microcontrolador Arduino para leitura dos parâmetros da segurança hídrica em poços tubulares nesta cidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

➤ Investigar a qualidade da água subterrânea através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos utilizando o microcontrolador Arduino, visando contribuir para a questão da segurança hídrica da área urbana da cidade de Humaitá-AM.

2.2 Objetivos específicos:

➤ Desenvolver e instalar Sistema de Aquisição de Parâmetros de Qualidade da Água (SAPQA), baseado no microcontrolador Arduino.

➤ Monitorar os parâmetros de pH, temperatura e de nível estático da água, em um poço raso utilizando o SAPQA.

➤ Comparar os parâmetros obtidos pelo SAPQA, com dados de sondas digitais.

➤ Realizar análises físicas, químicas e microbiológicas nas águas subterrâneas de poços monitorados na área urbana de Humaitá.

➤ Relacionar os resultados obtidos da qualidade da água com problemas de saneamento básico da área urbana.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Água subterrânea importância para a vida

A água é um elemento vital para a sobrevivência do homem, pois além de sua utilização nas atividades básicas de suporte à vida, ela pode ser utilizada para inúmeras atividades e ainda como corpo receptor de efluentes, sejam industriais ou domésticos (MIERZWA, 2005). Através dela surgiram as primeiras formas de vida na superfície terrestre, as quais só sobreviveram a partir de mecanismos fisiológicos que permitem retirar a água do meio e retê-la no organismo (BRANCO,2001).

A água é fundamental para a existência dos seres vivos, atua como solvente universal, dispersando compostos orgânicos e inorgânicos, além de ser indispensável nos fenômenos químicos, físicos e microbiológicos (SOARES,1997).

As águas subterrâneas são essenciais para a vida, não apenas por abastecerem as cidades e o campo e servirem de insumo para diversas atividades econômicas, mas também por sustentarem vários sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Sem as águas subterrâneas, as florestas em regiões de clima seco ou tropical não se manteriam em pé, tampouco os ambientes aquáticos existiriam ou cumpririam as suas funções ambientais.

A exploração desses grandes reservatórios de água associada aos aspectos construtivos ou à má utilização de poços, pode estar alterando a qualidade das águas subterrâneas, direcionadas para fins mais nobres, como o consumo humano e a produção de alimento (MOTTA; FRINHANI, 2012).

Segundo Tedesco (2018), a água subterrânea é um componente do ciclo hidrológico que assegura o fluxo de água nos rios em época de estiagem, desempenhando a função de diluição de esgoto e de efluentes, transporte de sedimentos e manutenção dos ecossistemas.

As águas subterrâneas apresentam boa qualidade e melhores condições de proteção a possíveis efeitos das atividades antropogênicas ou uso e ocupação do solo, que possam alterar a qualidade e a quantidade da água (GORAI; KUMAR, 2013); (HIRATA, et al., 2016).

Sendo assim os mananciais subterrâneos têm assumido cada vez mais o papel de fonte estratégica de recurso hídrico, para as gerações atuais e para as futuras gerações, principalmente nos cenários que se apresentam com crescimento demográfico, aglomerações urbanas, pressões ambientais e mudanças climáticas,

garantindo o fluxo permanente nos cursos d'água superficiais nos períodos de estiagem (FILHO et al., 2011).

Ainda segundo o mesmo autor a água subterrânea na maioria das vezes, garante o fluxo permanente nos cursos d'água superficiais, nos períodos de estiagem, mesmo assumindo, vazões mínimas de descarga e as estratégias que permitem o uso sustentável dos mananciais subterrâneos acusam uma grande necessidade nas regiões onde os aquíferos representam a única fonte de abastecimento de água doce.

4.2 Uso das água subterrâneas

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água. Porém, grande parte desse recurso está concentrada em regiões onde há menor quantidade de pessoas. Nos grandes centros urbanos há elevada densidade populacional e forte demanda pelos recursos hídricos, que, em muitos casos, são atingidos pela poluição e, por consequência, há uma piora considerável na qualidade da água, tornando o abastecimento nas cidades um grande desafio (ANA, 2019).

A maior resiliência dos municípios por águas subterrâneas está associada aos volumes significativos de água armazenada naturalmente em aquíferos, que podem sustentar longas e contínuas extrações de água mesmo na ausência de recarga através das chuvas.

O uso das águas subterrâneas está condicionado à obediência de diversas formalidades legais que incluem: i) o registro do poço e a obtenção de autorizações no âmbito dos órgãos públicos (outorga de direito de uso de recursos hídricos, declaração de uso isento, licença de perfuração etc.); ii) a possibilidade de cobrança pelo uso do recurso hídrico, se esse instrumento estiver implantado na bacia; e iii) a necessidade de realizar monitoramento da qualidade da água (TRATA BRASIL, 2019).

Além disso usar as águas subterrâneas em desacordo com os termos da outorga é considerado infração administrativa prevista no artigo 49 da Lei Federal nº 9.433/1997. Além disso, essa conduta poderia ser enquadrada no crime do art. 60 da Lei Federal nº 9.605/98. Então, antes de se perfurar um poço é importante que o

interessado consulte o órgão gestor de recursos hídricos sobre as exigências necessárias para realizar o aproveitamento dessas águas.

Há um descompasso enorme entre o número de poços reais, o cadastrado no SIAGAS da CPRM e aquele dos efetivamente outorgados. No Relatório Conjuntura 2017, a ANA (2016) estimou a existência de 1,2 milhão de poços; o SIAGAS tem o registro de 305.415, enquanto no ano de 2015 existiam apenas 36.308 poços registrados com outorgas válidas (ANA, 2016).

A maior parte das outorgas válidas pertence ao setor de abastecimento urbano e rural, seguido pela indústria. Contudo, ao se analisar o consumo per capita dos usuários (relação de número de outorgas/vazão), o principal usuário é a agricultura (48,7 m³/h), seguido da indústria (20,9 m³/h) e do abastecimento (17,9 m³/h), ou seja, proporcionalmente, os usuários da irrigação utilizam mais água que os outros setores (ANA, 2016).

Dado o fato de que normalmente se encontram mais protegidas do que as águas superficiais, além da magnitude das reservas subterrâneas e da flexibilidade locacional para o estabelecimento de pontos de captação, observam-se o gradativo incremento na sua utilização (FILHO et al., 2011).

De acordo com d'Aguila *et al.*, (2000) os principais recursos hídricos em termos de sistemas de distribuição, estão associados a reservatórios e redes desenvolvidas para suprir as necessidades quando não há suficiência de sistemas naturais, como por exemplo, mananciais, rios etc. Nesta perspectiva, a manutenção e qualidade da água tanto de sistemas de distribuição, quanto de sistemas naturais são fundamentais para a qualidade de vida populacional mantida por esses recursos.

Deste modo, alguns dos fatores que podem comprometer a qualidade da água, e conseqüentemente da saúde, indicados por Freitas *et. al.* (2001), associa-se a qualidade química e biológica da fonte natural e a eficácia do processo de tratamento e armazenamento. A água é fundamental para o desenvolvimento e manutenção da vida, exercendo papel importante na sobrevivência e no desenvolvimento da sociedade humana (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011; ZHOU et al., 2015).

A água doce é considerada um recurso estratégico importante porque desta pequena parcela de água doce disponível, dependem a saúde humana, bem como diversas atividades, tais como produção de alimentos e energia, transporte,

recreação, turismo, desenvolvimento industrial, deposição de resíduos (GLEICK, 1993b; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

A utilização da água subterrânea, conhecida como águas invisíveis, talvez por isso ainda não às valorizou ambientalmente, tampouco foi conferido seu real valor dentro do ordenamento jurídico brasileiro, apesar de sua grande importância no abastecimento de nossa população (CUNHA et al., 2015).

Considerando a importância da água, logo o entendimento de que a sustentabilidade da água subterrânea depende da forma como se dá e dará o uso e a ocupação do solo e de uma mudança de paradigmas, no sentido de planejar e ordenar o uso do solo das cidades, a partir da presença de água em seu subsolo .

Alguns riscos podem ser esperados quando se trata do uso das águas subterrâneas por meio da perfuração de poços, pois os riscos podem ocorrer quando a não obtenção da vazão de água esperada em vista da complexidade hidrogeológica do meio; por problemas de qualidade da água pela contaminação do poço por atividades de esgotos e deposição de resíduos sólidos e por ação natural da rocha, diminuição da produção devido a superexploração do aquífero, impossibilidade de perfuração do poço por existência de restrições legais que podem levar ao seu lacre.

4.3 Balanço hídrico

De acordo com Shiklomanov, (1993) o volume total de água na Terra é de aproximadamente 1,4 bilhão de km³, dos quais apenas 2,5%, ou cerca de 35 milhões de km³, correspondem à água doce, ver tabela 1 em seguida.

Texeira et al., (2009) afirmam que o volume total de água do planeta, cerca de 97,5% é salgada, fazendo parte dos mares e oceanos, e apenas 2,5% é doce. Porém cerca de 68,9% de toda a água doce existente na Terra, formam as calotas polares, geleiras e neves eternas (que cobrem os cumes das montanhas), 0,9% corresponde à umidade do solo e pântanos, 0,3% aos rios e lagos, e os 29,9% restantes são águas subterrâneas.

Tabela 1. Estimativa do balanço hídrico mundial

Água salgada	VOLUME (1.000 km ³)	Total de água (%)	Total de água doce (%)
Oceanos	1.338.000	96,54	
Águas subterrâneas salinas/salobras	12.8710	0,93	
Lagos de água salgada	85	0,006	
Água doce			
Geleiras, cobertura de neve permanente	24.064	1,74	68,7
Água doce subterrânea	10.530	0,76	30,06
Solo congelado, camada de gelo permanente	300	0,022	0,86
Lagos de água doce	91	0,007	0,26
Umidade do solo	16,5	0,001	0,05
Vapor de água na atmosfera	12,9	0,001	0,04
Pântanos, áreas úmidas	11,5	0,001	0,03
Rios	2,12	0,0002	0,006
Incorporados à biota*	1,12	0,0001	0,003
Total hídrico	1.386.000	100	
Total de água doce	35.029		100

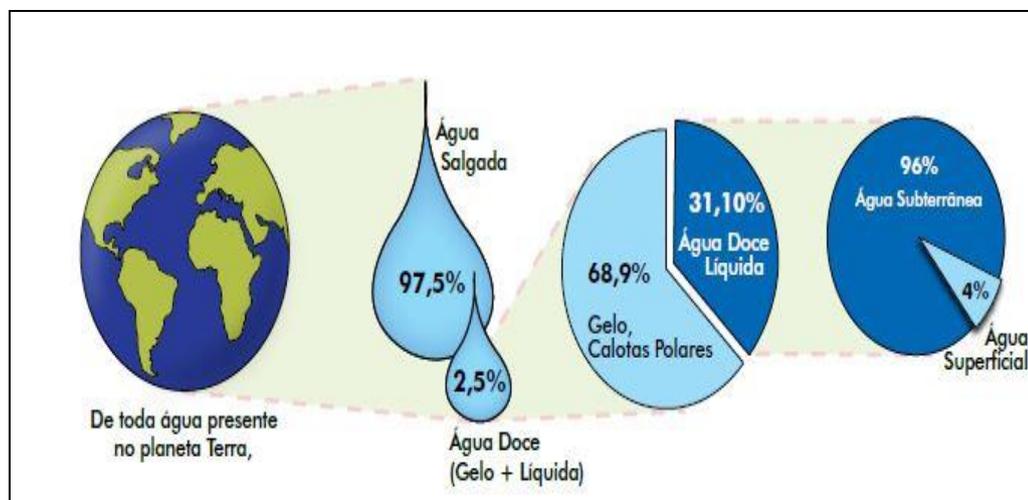
Fonte: Shiklomanov (1993).

Notas: Totais não computados mais precisamente em decorrência do uso de valores absolutos

*Pântanos, áreas úmidas e reservas hídrica, quando incorporadas à biota, com frequência são uma mistura de água doce e salgada.

Desta maneira de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, (2015) do total de água doce disponível para consumo, desconsiderando-se o percentual presente nas calotas polares, geleiras e neves eternas, representam um total de 96% constituídas por águas subterrâneas, conforme apresentado a seguir na figura 1.

Figura 1. Percentual de água subterrânea no planeta Terra.



Fonte: MMA (2015).

Segundo a ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. A exploração desse recurso hídrico é inversamente proporcional ao tamanho das cidades. As águas subterrâneas são a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes.

Em termos populacionais, dos 172 milhões de brasileiros que têm acesso à rede pública de água, somente 30,4 milhões (17,7%) são atendidos pelas águas subterrâneas, ao passo que os 141,6 milhões restantes (82,3%) são servidos por fontes superficiais.

Para Rebouças, (1996), a água subterrânea constitui a maior reserva estratégica de água doce do planeta, sendo que no Brasil essas reservas são estimadas em 112 trilhões de metros cúbicos (m^3), com uma disponibilidade de 5.000 metros cúbicos por habitantes (m^3/hab) ao ano.

Com relação à abundância e à distribuição das águas subterrâneas, a situação não é diferente. O país como um todo possui uma reserva de águas subterrâneas estimada em cerca de $112.000km^3$, considerando uma profundidade de até 1000 metros, com um volume de reabastecimento de $3.500km^3$ anuais (REBOUÇAS et al., 1999).

A atual condição das demandas por água no Brasil, revela que aproximadamente 75% do total de $1209,64 m^3/s$ que representa todo o consumo nacional é destinado à agricultura irrigada, 9% se destina à produção animal, 10% para o abastecimento humano e 6% da vazão consumida no Brasil é destinada à indústria (ANA, 2016).

Isso ocorre devido ao desenvolvimento da economia e a melhoria da qualidade de vida da população a um aumento na demanda por água (PAN et al., 2017). Em casos de déficit de água no Brasil, a prioridade do uso é assegurada às finalidades de consumo humano e animal, para Vicente (2018), esta ausência de prioridade sobre o uso da água para os setores da economia associada à crescentes demandas, têm aumentado os conflitos de interesse sobre a água.

A figura 2 mostra a atual situação do abastecimento de água sintetizada em cada região do Brasil (ANA,2019).

Figura 2. Distribuição do abastecimento de água no Brasil.

Região Geográfica/Estado	Total de Municípios Estudados	Demanda 2015 (m ³ /s)	MANANCIAIS E SISTEMAS			AVALIAÇÃO OFERTA/DEMANDA 2015			SOLUÇÕES PROPOSTAS E INVESTIMENTOS		
			Sistema Isolado		Sistema Integrado	Abastecimento Satisfatório	Requer Investimento		Demanda 2025 (m ³ /s)	Nº de Municípios que requerem investimento	Investimento total em Abastecimento de Água (R\$ milhões)
			Manancial superficial/misto	Manancial subterrâneo			Ampliação de Sistema	Novo Manancial			
Centro-Oeste	466	39,3	280	176	8	260	168	38	44,1	206	1.709,63
Nordeste	1.794	136,2	685	573	517	466	1.064	248	151,5	1.348	9.132,47
Norte	449	45,1	180	263	5	156	265	28	53,9	294	1.953,86
Sudeste	1.668	274,6	1.023	490	149	932	647	83	298,2	738	7.416,18
Sul	1.188	75,0	487	571	116	692	407	75	82,7	483	2.021,23
Brasil	5.565	570,2	2.655	2.073	795	2.506	2.551	472	630,4	3.069	22.233,36

Fonte: ANA (2019).

Na região norte no início da década de 70 o Amazonas contava com 44 municípios, mas apenas 11 sistemas de abastecimento de água funcionavam nas sedes municipais de Itacoatiara, Itapiranga, Parintins e Uruará, de forma regular; Benjamin Constant, Eirunepé, Humaitá, Coari, Tefé, Manacapuru e Maués em condições precárias (FERREIRA et al., 2015).

A facilidade de captação, que começou a partir de 1976, aliada a falta de gestão fez com que muitos poços no Amazonas fossem abandonados. Infelizmente, foram feitas muitas perfurações inadequadas, rasas, próximas a cemitérios e lixões, situação que é observada em diversos locais da cidade de Manaus, mas, sobretudo, do interior do Estado (LARGES, 2016).

No Amazonas, a reserva conhecida como aquífero Alter do Chão foi alterada para Aquífero Grande Amazônia, onde a dinâmica física dessas águas são importantes para a exploração e conservação desse manancial, mesmo que as informações sobre ciclagem de elementos, interação de íons, interfaces geoquímicas e influência do ciclo hidrológico na composição dessas águas sejam escassas (LARGES, 2016).

O SAGA é a maior reserva subterrânea de água doce do planeta, ele ocupa os territórios do Brasil, Bolívia, Peru, Equador e Venezuela, 2 milhões km² de extensão estão no Brasil, entre os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima. Seu volume total estimado no Brasil é de 124 mil km³. Com a

reserva explorada desse aquífero seria possível abastecer cerca de 14 mil anos a população brasileira.

Levantar informações sobre esse reservatório, gera conhecimento hidrogeológico estratégico para o Brasil, com informações sobre as reservas e qualidade da água, sendo assim torna-se importante a gestão desse aquífero juntamente com os países vizinhos, pois devido a ineficiência nos sistemas de saneamento urbano podem estar contaminando lentamente essa água.

Essas interações influenciam na qualidade e na composição das águas dos aquíferos, rios e igarapés do Estado do Amazonas. Para Abreu et al., (2013) esse sistema é tão amplo tanto em área como em volume que já é apontado como o maior aquífero do mundo, o Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA, possui reservas hídricas estimadas preliminarmente em 162.520 km³, caracterizando-o como um dos maiores da Terra.

Diante desse fato o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) passou a emitir outorga de uso sobre os recursos hídricos previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97) e na Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 3.167/2007), desde 30 novembro de 2016, os critérios para emissão das licenças de dispensa ou utilização da água, estão estabelecidos nas resoluções para águas subterrâneas e superficiais, nº 1 e 2 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (CERH-AM) publicada em 04 de agosto de 2016.

Essas atribuições têm por objetivo fazer a gestão dos recursos hídricos do estado, não proíbe o uso, mas requer responsabilidade quanto ao desperdício e contaminação dessas águas, para ter um controle do quantitativo que é utilizado pela concessionária.

Desse modo os poços tubulares (artesianos) que dispõe de água subterrânea a partir de 2017, precisaram ter autorização do Estado, pelo o fato de haver vários poços abertos que fazem a exploração da água sem outorga, sendo que os usuários têm até o final do ano de 2018 para realizar sua regularização no (CERH-AM).

Estão inclusos: o uso industrial, doméstico, comercial de captação de águas subterrâneas, derivação ou captação de águas superficiais, lançamento de efluentes, extração de minérios em corpos d'água, obras interferência hídrica como: canalizações e retificações, barragem, de dragagem, limpeza e desassoreamento de cursos de água e qualquer uso que altere o regime do recurso hídrico, a qualidade ou quantidade.

Essas medidas tem por finalidade contribuir para a gestão e preservação dos recursos hídricos no Estado do Amazonas, visto que os serviços de saneamento básico são inexistentes ou precários em todos os municípios dessa região. A tabela 2 apresenta as formas de abastecimento de água entre os municípios do Estado do Amazonas.

Tabela 2. Abastecimento de água no Amazonas

Solução adotada	N° de municípios	Sistema existente	Manancial atual	Sedes urbanas	Investimentos (R\$ milhões)
Novo manancial	2	Isolado	Superficial/misto	Lábrea, Santo Antônio do Içá.	7,03
Adequação do sistema existente	14	Isolado	Superficial/misto	Atalaia do Norte, Autazes, Benjamin Constant, Boca do Acre, Careiro da Várzea, Eirunepé, Manacapuru, Manaus, Novo Airão, Novo Aripuanã, Pauini, Santa Isabel do Rio Negro, São Gabriel da Cachoeira, São Paulo de Olivença.	793,18
	29	Isolado	Subterrâneo	Alvarães, Amaturá, Anamã, Anori, Apuí, Barcelos, Borba, Caapiranga, Caraurai, Careiro, Codajás, Envira, Fonte Boa, Humaitá, Iranduba, Itamarati, Itapiranga, Jutai, Manaquiri, Manicoré, Maraã, Nhamundá, Rio Preto da Eva, Silves, Tapauá, Tonantins, Urucurituba.	22,95
Sistemas satisfatórios	17	Isolado	Subterrâneo/Misto	Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Coari, Guajará, Ipixuna, Japurá, Juruá, Maués, Nova Olinda do Norte, Parintins, Presidente Figueiredo, São Sebastião do Uatumã, Tabatinga, Tefé, Uarini, Urucará.	Não informado
Total de investimentos					823,16

Fonte: Adaptado da ANA (2010).

4.4 Problemas que afetam a qualidade das águas subterrâneas

As águas subterrâneas apresentam geralmente excelente qualidade natural e, na maior parte das vezes, dispensa-se o tratamento pós-extração, como é comum às águas de rios, lagos e açudes. Um exemplo disso é a água mineral, que é naturalmente potável e corresponde a um tipo de água subterrânea, porém nem toda a água subterrânea possui as características necessárias para ser considerada mineral.

Os problemas de qualidade natural das águas subterrâneas relacionam-se aos elementos químicos que são incorporados à água vindos do intemperismo e dissolução de minerais nas rochas. Geralmente os mais comuns estão relacionados ao ferro, manganês e dureza e mais raramente ao flúor, cromo, bário e arsênio (HIRATA et al. 2006, BERTOLO et al. 2007).

A água subterrânea, além de ser econômica, é considerada mundialmente uma fonte imprescindível de abastecimento para o consumo humano, principalmente para populações que não têm acesso à rede pública de abastecimento ou mesmo para aqueles que, tendo acesso, têm o fornecimento irregular (SANTOS; MOHR, 2013).

Suas fontes de contaminação estão, em geral, associadas a despejos de resíduos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de resíduos sólidos, que, quando dispostos de forma inadequada, podem poluir e contaminar os lençóis freáticos com micro-organismos patogênicos (FREITAS et al., 2001). Assim, a forma como o homem usa e ocupa o solo reflete diretamente na qualidade da água que utiliza para suas atividades e para seu consumo.

A água subterrânea é um recurso auto renovável, porém a influência humana causa desequilíbrio ecológico diretamente no regime hidrológico de rios e de fontes naturais, muitas vezes alimentadas por lençóis de água subterrânea, tornando a água de infiltração escassa devido a destruição da cobertura vegetal (FELLENBERG, 1980).

De acordo com a Agência Nacional de Águas, o Brasil não possui uma rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas. Por isso, existe uma grande carência de informação a respeito da qualidade das águas, especialmente de abrangência regional.

Para Tedesco (2018), a proteção qualitativa das águas subterrâneas vem sendo negligenciada, apesar da sua importância econômica e estratégica. Logo necessita de proteção contra as formas de contaminação, pois o solo tem um papel muito importante na retenção dos microrganismos.

A base de informação sobre o tema tem, em geral, caráter pontual e correspondem aos trabalhos desenvolvidos nas universidades e alguns elaborados pelas secretarias estaduais. Neste quadro, de forma geral, observa-se uma maior carência de informações sobre aquíferos e qualidade de águas subterrâneas. Há várias causas possíveis para a deterioração da qualidade em um aquífero e/ou reserva de água subterrânea (FOSTER et al., 2006). Estas são classificadas segundo sua origem e encontram-se descritas a seguir na Tabela 3.

A poluição das águas subterrâneas é geralmente difícil de detectar, de monitoramento dispendioso e muito prolongado. Na maioria das vezes, a contaminação só é descoberta no momento em que substâncias nocivas aparecem nos reservatórios de água potável, quando a poluição já se espalhou sobre uma grande área (CAPUCCI et al., 2001).

Tabela 3. Classificação dos problemas de qualidade da água subterrânea

Tipo de Problema	Causa Subjacente	Principais Contaminantes
Contaminação do Aquífero	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra emissões e lixiviados provenientes de atividades urbanas/industriais e intensificação do cultivo agrícola.	Microrganismos patógenos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênico, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, certos pesticidas.
Contaminação no Próprio poço ou Captação	Poço ou captação cuja construção/projeto inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída.	Microrganismos patógenos
Intrusão Salina	Água subterrânea salina (e às vezes poluída) que, por excesso de extração, é induzida a fluir para o aquífero de água doce.	Cloreto de sódio, mas pode incluir também contaminantes persistentes produzidos antropicamente.
Contaminação Natural	Relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução	Fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio,

de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e/ou extração excessiva). arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.

Fonte: Foster et al. (2006).

As principais fontes de contaminação de acordo com Tedesco (2018), está relacionada ao crescimento da população, a urbanização e a diversificação das atividades econômicas e agrícolas contribuem para a escassez, super exploração e para a degradação qualitativa das águas subterrâneas como poluição e degradação química. Outro fator importante é o bombeamento extensivo de poços costeiros contribui para a intrusão salina e a contaminação, são fatores adicionais na degradação da qualidade das águas subterrâneas (ALLOUCHE *et al.*, 2017).

Esses problemas aparecem pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, ou seja, a capacidade do solo de degradar as substâncias tóxicas introduzidas no ambiente (KAVURMACI, 2016; NADIRI *et al.*, 2017; ALLOUCHE *et al.*, 2017).

A contaminação pode se dar por fossas rudimentar; infiltração de efluentes industriais; fugas da rede de esgoto e galerias de águas pluviais; vazamentos de postos de serviços; contaminação por água salina advinda do mar em aquíferos costeiros, por aterros sanitários e lixões; uso indevido de fertilizantes nitrogenados; entre outros (HIRATA *et al.*, 2007, TEDESCO, 2018).

A origem das condições adversas provém frequentemente do uso da terra, onde os contaminantes lançados pelas atividades vão para as zonas insaturadas através da percolação e difusão, da superfície para as águas subterrâneas e os aquíferos (KAVURMACI, 2016; NADIRI *et al.*, 2017).

Outros compostos contaminantes das águas subterrâneas em áreas urbanas são os combustíveis líquidos derivados do petróleo. Os metais pesados e solventes clorados são produtos bastante comuns nas indústrias e responsáveis pelas maiores e mais complexas plumas de contaminação em aquíferos pela deposição inadequada de resíduos sólidos (HIRATA *et al.*, 2010).

Instalações de cemitérios sem levar em consideração os critérios geológicos e hidrogeológicos, constitui uma das causas de deterioração da qualidade das águas subterrâneas, pois substâncias e microrganismos provenientes de decomposição de

cadáveres podem ter acesso às mesmas, representando um risco do ponto de vista sanitário e higiênico (NETO, 2013).

Os principais problemas que afetam a qualidade e potabilidade da água, de acordo com Tedesco (2018), são a contaminação por nitrato e coliformes totais e termotolerantes. Conforme Rebolledo et al. (2016), a crescente preocupação internacional em relação à degradação ao meio ambiente resultou na introdução de regulamentos rígidos para a proteção dos recursos hídricos, onde a contaminação das águas subterrâneas por nitratos é uma das ameaças mais difundidas em todo o mundo.

A contaminação das águas subterrâneas por nitrato tem causado uma crescente preocupação, uma vez que esse composto representa um importante indicador de contaminação antropogênica, pois apresenta grande persistência e alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas e permanecer dissolvido nas águas por várias décadas nos aquíferos (REBOLLEDO, 2016; TEDESCO, 2018).

Conforme explicito na Portaria de consolidação nº. 5/2017 do Ministério da Saúde (MS) os procedimentos e responsabilidades pelo controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade. Para estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas as águas potáveis devem apresentar limite de concentração 10,0 mg/L de N-NO₃ (BRASIL, 2017).

No estudo das águas subterrâneas os parâmetros microbiológicos têm um papel de destaque para a saúde pública, pois os aspectos sanitários devem ser focados, estudando o comportamento dos indicadores de poluição de origem fecal bem como de bactérias patogênicas (TEDESCO, 2018). Concordando com o mesmo autor, os indicadores de poluição mais comumente utilizados são os coliformes, principalmente o grupo dos Coliformes fecais ou Termotolerantes e os *Streptococcus fecalis*.

A Portaria de consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece que seja verificada, na água para consumo, a ausência de coliformes totais, de forma a garantir sua potabilidade. Em águas subterrâneas *in natura* (não desinfetadas) a presença de coliformes totais pode indicar que o sistema é vulnerável à contaminação, ou pode ser um sinal de regeneração bacteriana.

O baixo percentual de esgotamento sanitário é preocupante, pois isso representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto (ZOBY, 2008).

Portanto o município de Humaitá/AM, apresenta deficiência no sistema de esgotamento sanitário e tratamento convencional da água fornecida, à qual acaba sendo explorada através de poços tubulares, artesianos e poços cacimba, o que implica na construção de fossas rudimentares que facilitam a percolação e infiltração de impurezas no solo podendo chegar até os lençóis que abastecem os poços do município (COSTA, et al., 2018).

O abastecimento público de água é um dos serviços que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo.

Em paralelo ao Sistema de Informações sobre Águas Subterrâneas - SIAGAS, a CPRM/SGB criou, em 2003, em conjunto com outras instituições públicas, o Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM), o qual, dentre outros objetivos, visa à detecção, por meio de análises físico-químicas de amostras de água superficial e subterrânea e de sedimentos fluviais em todo o território nacional, eventuais casos de contaminação química, natural ou antrópica que possam desencadear problemas de saúde pública (CPRM, 2010).

Vale ressaltar que determinados produtos tóxicos na água, apenas se torna perceptível a olho nu, em determinada concentração. Algumas dosagens pequenas, desses produtos tóxicos podem ser utilizadas, por exemplo, no caso do selênio e do flúor, este último atuando como protetor dos dentes, podendo, no entanto, responder pela chamada fluorose dentária quando presente em condições de elevada concentração (CAJAZEIRAS, 2007; ZOBY, 2008; NETO, 2013).

De acordo com Cajazeiras (2007) a manifestação da toxicidade pode ser: aguda, quando causa a mortalidade, subaguda, sob a qual uma proporção da população pode subsistir; e crônica causada por doses fracas de produtos tóxicos na água, porém durante longos períodos.

Os tóxicos provocam nos seres humanos certas alterações as quais podem ser agrupadas da forma seguinte:

➤ **Efeitos somáticos:** são alterações das funções vegetativas, como a condução nervosa, por exemplo, (neuro tóxicos, inseticidas), a função respiratória e as funções de desintoxicação, cumprida pelos rins e pelo fígado.

➤ **Efeitos sobre a capacidade reprodutiva:** são alterações das funções de reprodução e da descendência em virtude da ação de determinados tipos de agentes tóxicos. Tais efeitos podem se apresentar sob a forma de esterilização ou modificação do potencial biótico da espécie, ou ainda sob a forma dos chamados efeitos tetratógenos, referidos a deformações congênitas.

➤ **Efeitos Oncogênicos:** são os efeitos causados por substâncias cancerígenas, que provocam ou favorecem o aparecimento de um ou mais tipos de câncer.

Os riscos à saúde, associados à água, podem ser de curto prazo quando resultam da poluição de água causada por elementos microbiológicos ou químicos, ou de médio e longo prazos quando resultam do consumo regular e contínuo, durante meses ou anos, de água contaminada com produtos químicos, como certos metais ou pesticidas (CAJAZEIRAS, 2007; ZOBY, 2008; NETO, 2013).

A ineficiência de um controle na qualidade e tratamento das águas para o consumo pode acarretar em vários problemas à saúde da população, com o aparecimento de doenças como disenteria bacilar, cólera, salmonelose, ancilostomose, ascaridíase, hepatite infecciosa, poliomielite, etc., piorando consideravelmente sua qualidade de vida, conforme salienta (FILHO, 1984).

O estudo da origem e veiculação das doenças de origem hídrica é um exemplo de tal complexidade, para o qual as primeiras tentativas de organização remontam a mais de um século (HALL, 1859). A água de consumo humano é um dos importantes veículos de enfermidades diarreicas de natureza infecciosa, o que torna primordial a avaliação de sua qualidade microbiológica (MARQUEZ et al., 1994).

As doenças de veiculação hídrica são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitidos basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes (GRABOW, 1996).

Doenças Cardiovasculares são doenças que podem ser provocadas pelo consumo de águas duras, ou seja, águas ricas em sódio, cálcio e magnésio (CAJAZEIRAS, 2007). Segundo Cortecchi (2002), existe uma relação extraordinária

entre a dureza das águas (controlada essencialmente por cálcio e magnésio) e a incidência de doenças cardiovasculares foi considerada em base a uma correlação negativa, ainda que fraca, entre esses dois parâmetros, em várias regiões do mundo industrializado e não industrializado. O quadro 2. indica as origens das impurezas na água e o resultado gerado.

Quadro 1. Impurezas encontradas nas águas subterrâneas

Origens das impurezas	Tipos de impurezas
Contato da água com os minerais do solo e rochas	Ocorre naturalmente e dependendo do litotipo gera nas águas determinadas substâncias químicas em concentrações, em geral superiores às especificações dos VMP, como por exemplo, concentrações superiores de cálcio, ferro, fosfato, sódio, zinco manganês, flúor, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, silicatos, sulfatos e magnésio, entre outros.
Decomposição de matéria orgânica	Gerando impurezas como amônia, nitratos, nitritos, cloretos, sulfitos, hidrogênio, sódio, radicais orgânicos e etc.
Organismos vivos	Ocasionalmente contaminação por excretas humanas e animais, por meio de bactérias, vírus, fungos, helmintos, vermes (amebas, giárdias) e protozoários.
Fontes antropogênicas	Principal gerador de impurezas nas águas, gerando uma grande variedade de produtos químicos (íons inorgânicos, metais pesados e moléculas orgânicas) derivados dos mais diversos fins como indústrias, postos de combustíveis e etc.

Fonte: Cajazeiras (2007).

As evidências dos efeitos nocivos à saúde provenientes do uso de água fora dos padrões adequados de potabilidade são difíceis de serem detectados, avaliados e mensurados de maneira adequada. Os aspectos envolvidos nessa relação são múltiplos e nem sempre se baseiam em associações diretas. Fator como estado nutricional, acesso aos serviços de saúde e à informação podem interferir nessa associação (CAJAZEIRAS, 2007).

Os coliformes podem estar envolvidos em infecções intestinais e diversas outras patologias, como meningites, intoxicações alimentares, infecções urinárias, pneumonias entre outras doenças. A análise bacteriológica da água é uma importante ferramenta para a determinação da qualidade da água para consumo. As

técnicas são específicas e sensíveis ao microrganismo patogênico em águas destinadas para abastecimento público (BRASIL, 2017).

Segundo Yamaguchi et al. (2013), estão associados a um elevado número de patologias e causadores da maioria das infecções intestinais humanas. E essas doenças transmitidas por estes patógenos podem ser espalhadas através da água de poços contaminados com resíduos das fossas e agentes patogênicos.

4.5 Saneamento básico: impactos e benefícios à saúde humana

A relação entre saneamento básico e saúde vem sendo palco de pesquisas científicas, trazendo grandes resultados para criação de ações de prevenção e controle de vários tipos de doenças, além da promoção da saúde (QUEIROZ, 2006).

Esse tema foi estudado por antigos pesquisadores e segundo Heller (1997); Rosen (1994) e Hespanhol (2002), diversos códigos religiosos e culturas antigas recomendavam práticas higienistas. De acordo com Miller (1966) a melhoria da qualidade da água já era praticada há mais de 4.000 anos. No ano de 2000 a.C. a Ousruta Sanghita, coleção de preceitos médicos em Sânscrito, incluiu a afirmativa que é bom manter a água em vasos de cobre, expô-la à luz do sol e filtrá-la através do carvão de madeira (QUEIROZ, 2006).

Para Neri (2004), as grandes medidas preventivas como drenagem, limpeza das ruas e das casas, através de suprimento d'água, de melhores sistemas de esgotos e, em especial, a introdução de modos mais baratos e mais eficientes de remover da cidade todos os refugos nocivos, são operações para as quais devemos buscar ajuda na ciência da engenharia e não somente no médico.

De acordo com Snow (1999), a associação e a transmissão da cólera esta relacionada com a qualidade da água consumida em meados de 1850, uma década antes da teoria de Pasteur sobre a propagação de doenças por meio de microrganismos e três décadas antes da identificação dos organismos patológicos por Koch.

O estudo epidemiológico de Snow foi a primeira contribuição científica para a compreensão da relação água-saúde, na qual sua intuição empírica indicava que a cólera estava relacionada com a água utilizada para consumo humano, ele foi capaz de provar que as residências abastecidas pela água de um rio, que recebia

descargas de esgotos domésticos a montante, apresentava uma taxa de mortalidade por cólera seis vezes maior do que outras que utilizavam da água do mesmo rio, porém antes do local de lançamento de esgotos.

Conforme Queiroz (2006), apesar dessas grandes descobertas, boa parte da população do mundo, nos dias atuais, ainda vive sem acesso à água de qualidade segura. E isso causa a exposição dessas populações aos riscos das doenças que podem ser veiculadas pela água, sobretudo nos chamados países em desenvolvimento, onde as intervenções em saneamento beneficiam somente parcela da população.

De acordo com Heller (2005), houve um esforço para compreensão das relações entre o saneamento e a saúde na década de 1980, intitulada pela Organização das Nações Unidas (ONU) de Década Internacional do Abastecimento de Água e do Esgotamento Sanitário. Ainda segundo o mesmo autor os estudos epidemiológicos possibilitaram extrair valores médios da possível redução na ocorrência de doenças devido à implantação de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

A saúde humana é influenciada pela contaminação da água e dos alimentos, a ausência de esgotamento sanitário, uma maior exposição a vetores e doenças e condições insalubres de moradia (QUEIROZ, 2006). Nos países subdesenvolvidos a falta de esgotamento sanitário, água e alimentos de baixa qualidade, a poluição do ar, o uso desordenado de produtos químicos, o manejo inapropriado dos resíduos sólidos acabam provocando um desequilíbrio influenciando diretamente nas condições de vida e saúde das pessoas.

Silva e Araújo (2003) descrevem evidências que o consumo da água fora dos padrões de potabilidade ou até mesmo o consumo de água contaminada pode resultar em efeitos adversos à saúde. No entanto a dificuldade em avaliar o impacto sobre os aspectos dos serviços de saúde, causam um viés nas informações que tratam dos estudos sobre contaminação da água, pois diversos estudos consideram a água potável, quando ela está livre de micro-organismos patogênicos, de substâncias e elementos químicos prejudiciais a saúde.

No dia 13 de setembro de 2000 a ONU estabeleceu a Declaração do Milênio com Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e um plano global definindo que os Governos nacionais e outras partes envolvidas devem assumir o

compromisso de considerar a crise do saneamento como prioridade máxima em suas agendas (ONU, 2005).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2004), cerca de 1,6 milhões de mortes foram atribuídas a águas insalubres, deficiências de esgotamento sanitário e higiene, e que 90% desse total é formado por crianças menores de 5 anos nos países em desenvolvimento. No mesmo documento, a análise das metas do ODM, sobre abastecimento de água e esgotamento sanitário, sem dúvida trariam benefícios econômicos, dependendo da região, num valor de US\$3 a US\$34 por US\$ investido.

No Brasil a maioria da população vive em centros urbanos, os quais são potenciais fontes de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, oriundos do esgoto doméstico e industrial, fossas negras, aterros sanitários e controlados, lixões a céu aberto, armazenamento de combustíveis no subsolo, cemitérios e outros (CASTRO, 2008).

E o déficit de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário sem tratamento e sem destinação adequada, por vezes dispostos diretamente nos corpos d'água, comprometem a qualidade das águas para diversos usos, com implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente.

Conforme dados do IBGE (2004), no Atlas do Saneamento, a rede de distribuição de água atinge 76,1% do número total de domicílios recenseados em 2000. Atualmente no Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário.

Na região norte a cidade de Manaus conta com um investimento por habitante no setor de saneamento básico no Amazonas corresponde a apenas 20% da média nacional, segundo levantamento da CNI (Confederação Nacional da Indústria). Enquanto no Estado a média é de R\$ 38,74, no restante do Brasil o valor supera R\$ 188.

Com apenas 7,3% dos dejetos coletados, o Amazonas é o terceiro pior Estado quando se observa o índice de coleta de esgoto no Brasil, ficando à frente apenas de Rondônia e do Amapá. O levantamento da CNI, com dados colhidos

pelo IBGE, apontou ainda que somente 15 das 62 cidades amazonenses apresentam política de saneamento básico.

Outro dado que merece destaque na pesquisa é o de municípios com ocorrências de endemias ou epidemias. De acordo com a CNI, foram registrados casos de doenças ligadas à falta de tratamento de água e esgoto em 25 cidades amazonenses como diarreia, verminoses, dengue e malária foram as mais recorrentes.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017) 15 municípios (24%) das sedes no Amazonas, informaram ter Política Municipal de Saneamento Básico em 2017. Mas, instituída por um instrumento legal, foram apenas 13 (21%), sendo 10 por lei e 3 por decreto. Essa política contempla diversos temas relacionados ao saneamento, entre os quais o plano municipal de saneamento com 13 ocorrências; os direitos e deveres do usuário (10 ocorrências); a forma de regulação e fiscalização (8 ocorrências), entre outras. Doze municípios declararam está com sua política municipal de saneamento básico em elaboração.

Então o Plano Municipal de Saneamento Básico está presente em apenas 18 dos 62 municípios amazonenses, onde apenas 15 foi instituído por lei; em 2 por decreto e em um por portaria, desse total 7 municípios ainda declararam que tiveram a colaboração da Funasa ou do Ministério da Saúde na construção de seus planos e outros 6 contaram com apoio do Governo do Estadual.

Após um levantamento no ano de 2017, realizado pelo Grupo de Trabalho do Saneamento Básico no Estado do Amazonas, formado pela Assembleia Legislativa (Aleam), para mapear os problemas de abastecimento de água potável, drenagem urbana, esgotamento sanitário e limpeza pública no Estado, seu relatório final apontou que 40 dos 61 municípios do interior amazonense, ainda não há sequer tratamento da água que é distribuída para a população.

De acordo com o Grupo de Trabalho – GT (2017), quase todas as 61 sedes municipais tem problemas, tais como a precariedade do controle operacional e manutenção, falta de controle de qualidade na distribuição, deficiência na comercialização, descontrole na arrecadação, pouca capacitação e ausência de interiorização de ideias, obras inacabadas e concorrência na oferta, são alguns dos obstáculos enfrentados pela gestão desses municípios.

Conforme levantamento das informações pelo (GT), em 40 municípios não há tratamento da água distribuída à população, enquanto que em outros 7 o tratamento

é parcialmente pela adição de cloro. Em 13 municípios operados pelos sistemas da Companhia de Saneamento do Amazonas (COSAMA), destacam-se os aspectos de melhores condições de operação e manutenção, situação de incertezas diante da possibilidade de municipalização, carencia de pessoal qualificado, estagnação na ampliação dos serviços e nível crescente de inadimplência por parte dos consumidores.

Dessa forma estima-se que as pessoas que habitam a zona rural desses municípios enfrentam anualmente, nos meses de seca, a falta de água potável, causando transtornos à saúde.

4.6 Percepção Ambiental em relação ao saneamento básico

Para Ferreira, (2017) a percepção ambiental caracteriza-se por ocorrer mediante a utilização dos órgãos sensoriais, de forma subjetiva para obter conhecimento do local onde se está inserido. Logo cada indivíduo possui uma reação diferente das ações ocorridas em relação ao meio ambiente em que ele está inserido. Ela está relacionada conforme Cavalcante e Elali, (2011) à maneira como as pessoas experienciam os aspectos ambientais que estão presentes ao seu redor, não somente os aspectos físicos, mas também os sociais, culturais e históricos. Independentemente de sua classe social, os moradores das zonas urbanas anseiam em viver em ambientes saudáveis, com melhores condições de vida, fato este que evidencia a qualidade de vida do local, sem poluição, com água potável e em abundância, dentre outras características tidas como essenciais (MUCELIN; BELLINI (2008).

Segundo a Fundação Nacional de Saúde, (2010) saneamento básico é caracterizado como o conjunto de ações que avaliam a salubridade do ambiente, por meio do abastecimento de água potável, coleta e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, drenagem urbana, entre outros serviços para proteger a população e melhorar sua qualidade de vida.

De acordo com Ferreira, (2017) a cidade de Humaitá – AM, assim como a maioria dos municípios do interior do estado do Amazonas, apresentam graves problemas relacionados ao saneamento básico. Ainda segundo o mesmo autor os trabalhos científicos relacionados à área no sul do Amazonas são escassos ou

pouco contemplativos, fazendo com que haja a necessidade do aumento de estudos de percepção ambiental, a fim de caracterizá-la e posteriormente promover ações educativas.

Isso reflete diretamente na formação dos profissionais, pois os mesmos devem solucionar os problemas ambientais para o qual estejam preparados e enfrentar os desafios da percepção, reforça a evidência de que é necessário aumentar os esforços para alcançar o desenvolvimento sustentável. Levando-se em consideração a intensidade de como as informações são assimiladas e percebidas, as mudanças podem se tornar lentas e pouco completas (DE OLIVEIRA; CORONA, 2011).

Neste viés, de acordo com Amaral et al., (2003) a captação de água em localidades sem os recursos necessários expostos a várias fontes de contaminação, aumenta consideravelmente o risco a determinados agravos ou surtos de doenças nestas localidades. Logo, análises que ultrapassam o campo patológico da doença podem contribuir para progressão de políticas públicas consistentes no âmbito possibilista de combate à falta de água e ao tratamento desta uma vez que em situação de negligência, este recurso natural pode transportar doenças que refletem na população e, portanto, no perfil do território e da paisagem.

Essas mudanças dizem que os impactos atingem diretamente na qualidade de vida, na saúde, na educação, no trabalho, no ambiente e no saneamento básico, por isso se pede o envolvimento de vários agentes, para formar uma ampla rede institucional de políticas públicas, voltadas para o meio ambiente (LEONETI, 2011). O Brasil possui uma grande deficiência na promoção do saneamento básico, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto. Logo a percepção do ser humano sobre o ambiente em que vive está intrinsecamente ligada à qualidade de vida que o mesmo possui. E Qualidade de vida é um tema subjetivo, complexo e diz respeito ao modo de pensar, a cultura e os meios disponíveis de vida das populações (FERREIRA, 2017).

4.7 Abastecimento de água e saneamento básico no Município de Humaitá-AM

Segundo a Lei n. 3.167, de 27 de agosto de 2007, as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento

de Recursos Hídricos, e estabelece outras providências para utilização dos recursos hídricos na região norte, que tem por objeto no art. 2º estimular a capacidade regional em ciência tecnológica para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos, e no art. 3º além do mapeamento hidrogeológico, o estabelecimento de cadastro de poços e racionalização da água subterrânea, e para utilização desse recurso os usuários devem estar sujeitos a outorga de direitos de uso a qual resultará na cobrança pelo uso dos recursos hídricos na região.

De acordo com a Secretaria Municipal de Infraestrutura, quanto à fiscalização dos poços que abastecem o município de Humaitá, a instituição não possui nenhum acompanhamento técnico na perfuração e monitoramento na qualidade da água dos mesmos, deixando essas funções diretamente com a Companhia Humaitaense de Água e Saneamento Básico (COHASB).

Já em relação ao saneamento, a mesma apresenta o sistema de drenagem apenas para águas pluvias, se tratando de valetas ou bueiros instalados na lateral de algumas ruas no perímetro urbano da cidade.

A Companhia Humaitaense de Água e Saneamento Básico (COHASB), afirma ter uma preocupação com relação a parte de saneamento, pois a autarquia necessita da contra partida do poder público para por em prática projetos de tratamento de água e esgoto, também alegam ter interesse nos parâmetros de qualidade da água que é fornecida para os clientes da empresa, porém a mesma não possui laboratório e equipamentos de análise o que dificulta o trabalho da empresa, que busca como alternativa uma parceria entre Universidade Federal do Amazonas e outros laboratórios localizados em Porto Velho – RO, para receber o resultado de algumas análises quando solicitado pela empresa.

Porém de acordo com o responsável pela arrecadação financeira da companhia, a mesma não recebe incentivos financeiros da prefeitura municipal, tendo que arcar com todas as despesas por meio de recursos próprios, e devido a inadimplência de cerca de 35% dos consumidores, os projetos de melhorias para a rede de distribuição acabam adiados ou ficam apenas no papel. Vale ressaltar que no município de Humaitá-AM, a cobrança pelo uso da água é realizada apenas por meio de uma taxa simbólica pelos serviços prestados, esse valor custa em média de R\$ 20,00 reais.

Em relação a saúde no Hospital Dra. Luíza da Conceição Fernandes, são atendidas em média 200 pessoas por dia, a taxa de mortalidade infantil média na

cidade é de 10,33 para 1.000 nascidos vivos e as internações devido a diarreias são de 0,7 para cada 1.000 habitantes. De acordo com o IBGE, (2018) comparado com todos os municípios do estado, Humaitá fica nas posições 53 de 62 e 38 de 62, respectivamente. Em comparação as cidades do Brasil essas posições são de 3170 de 5570 e 2889 de 5570, respectivamente.

Esses dados representam apenas a porcentagem da população que procura atendimento na unidade hospitalar do município, não estão registrados nesse estudo os atendimentos prestados nos postos de saúde distribuídos entre os 13 bairros que formam a cidade de Humaitá-AM, nem os tratamentos alternativos domiciliares, pois parte da população acredita no tratamento das doenças por meio de ervas e chá medicinais, e acabam evitando procurar atendimento médico.

A forma de distribuição da água no município de Humaitá-AM, é realizada por meio de 27 poços pertencentes a COHASB, mas existem poços privados dos tipos tubulares e cacimbas, e todos eles necessitam de cuidados e monitoramento, pois os picos e quedas de energia no município podem causar danos as bombas de sucção, e parte da rede de distribuição necessita ser substituída, pois o desgaste pelo tempo de uso causam fissuras, podendo contribuir para a contaminação do lençol explorado através da percolação e infiltração dos efluentes de natureza distintas.

Isso pode ocorrer devido a presença de fossas rudimentares nas residências visto que o município não possui coleta e tratamento de esgoto, ocorrendo o despejo diretamente no solo ou nos igarepés que cortam a zona urbana, pelos postos de combustíveis com reservatórios antigos, cemitérios próximos aos poços de abastecimento público, e pelo descarte de resíduos sólidos em locais inapropriados que também podem contribuir para a contaminação da água.

Uma alternativa sugerida pela ANA (2018), para o município de Humaitá-AM, foi elaborada no croqui do Atlas do Abastecimento de Água, onde mostra uma solução para dar segurança aos consumidores da água no município de Humaitá-AM, nele o processo seria passar por um tratamento convencional antes de ir para os consumidores, esse sistema deveria ser adotado pela Companhia Humaitaense de Água e Saneamento Básico, mas para que isso ocorra é necessário campanhas massivas para conscientizar a população e a aplicação justa dos recursos financeiros.

4.7 Plataforma do Arduino

Para Rodrigues (2012), o Arduino foi criado pelo professor Massimo Banzi na Itália, para ensinar programação de computadores e serem aplicadas em projetos de arte, automação e robótica. De acordo com Banzi et al., (2005), Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source* baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar, destinada a criar objetos ou ambientes interativos. A placa Arduino interage com o ambiente recebendo sinais dos mais variados tipos de sensores.

Trabalhando com o engenheiro espanhol David Cuartielles em 2005 na Itália, Massimo decidiu criar sua própria placa com objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos, desde os mais simples aos mais complexos, contando com ajuda de um dos alunos: David Mellis, o qual ficou responsável pela linguagem de programação do Arduino (FERRONI, et al., 2015; HACHOUCHE, 2018).

O hardware Arduino foi um sucesso, visto a ampla possibilidade de aplicações, como por exemplo, um leitor de temperatura e controle de velocidade por pulso de motores de corrente contínua (UNESP, 2012). Assim, o conceito do Arduino logo se espalha pelo mundo, atingindo a marca de mais de 50.000 placas vendidas até outubro de 2008, (BARROS, 2012).

Para MCROBERTS (2010), é um sistema embarcado, ou seja, que pode interagir com seu ambiente por hardware e software incorporados a um dispositivo com um objetivo pré-definido. Trata-se de um microcontrolador que possui hardware e software que utiliza linguagem de programação em C/C++ (BANZI, 2011).

O Arduino, assim como um CLP (controlador lógico programável), controla sistemas industriais. A plataforma tem como principal finalidade facilitar, a nível doméstico, comercial ou móvel, a automação e controle nestes ambientes (FERRONI et al., 2015).

Suas aplicações podem utilizar placas que contêm outros dispositivos conectados a ele, estas placas são chamadas de módulos ou *Shields* (escudos, em inglês) e funcionam como receptores GPS, módulos de rede ethernet ou wireless, dentre outros, (MCROBERTS, 2010). Além disso, a plataforma Arduino permite o rápido domínio de técnicas de montagens eletrônicas por usuários que tenham pouca ou nenhuma experiência com eletrônica analógica/digital (BUENO; PEREIRA FILHO, 2013).

Para quais fins o Arduino foi idealizado, deve-se fundamentalmente compreender a placa na qual a plataforma é estruturada e, principalmente, seu microcontrolador (FERRONI, et al., 2015). Segundo MONK (2010), a placa em si existe tão somente para prover o suporte estrutural para o funcionamento do microcontrolador, permitindo que seus terminais se comuniquem com outros dispositivos, além de permitir a transmissão de informação através de portas de acesso à placa.

De acordo com Ferroni et al. (2015), para o uso adequado do Arduino deve-se entender alguns componentes essenciais para seu funcionamento do hardware, são eles:

➤ **Alimentação:** próximo à porta serial universal (USB) da placa existe um regulador de tensão de 5 V, de modo que variações na tensão de entrada são ajustadas para o valor de tensão citado. Normalmente utiliza-se um regulador de tensão com grande tamanho físico quando comparado aos demais componentes da placa, com o intuito de favorecer à dissipação de calor gerado na regulagem da tensão, (MONK, 2010).

➤ **Conectores:** ao observar os cantos inferior e superior da placa, é possível identificar conectores do tipo "fêmea" para ligação do Arduino com outros periféricos.

➤ **Microcontrolador:** segundo MCROBERTS (2010), a essência do Arduino é um microcontrolador (AVR da ATMEL). MONK (2010) considera este microcontrolador o coração do Arduino por controlar todo o funcionamento e uso do dispositivo. É possível programá-lo de modo a determinar todas as tensões de entrada, saída, e a lógica dos sinais gerados em cada um de seus terminais, oportunizando o uso para quaisquer fins aos quais é direcionado (FERRONI et al., 2015).

➤ **Oscilador:** outro componente fundamental para o funcionamento do Arduino localiza-se próximo ao botão RESET, formado por um cristal de quartzo estruturalmente posicionado entre dois eletrodos que, ao emitirem impulsos elétricos alternados a uma determinada frequência, provocam a vibração (oscilação) do cristal, e esta oscilação produz um campo elétrico senoidal que controla a

impedância entre os eletrodos, (TAVARES; MATOS, 1998). O oscilador do Arduino é capaz de vibrar a aproximadamente 16 milhões de vezes por segundo (16 MHz), determinando a quantidade de operações realizadas neste intervalo de tempo (MONK, 2010).

➤ **Interface USB:** a placa apresenta uma interface USB, através da qual se pode conectar a placa a um computador de modo a possibilitar sua programação e a troca de informações. Para possibilitar esta comunicação, a placa conta com um chip ATMEL ATMEGA8U2 ou ATMEGA16U2 (cuja diferença se resume no tamanho do pacote de dados enviados e no endereçamento de bytes (ATMEL, 2012), a fim de converter os sinais emitidos pelo dispositivo conectado a esta porta, para níveis ideais para comunicação com o Arduino). MCROBERT (2010) cita ainda a possibilidade de se reprogramar o firmware deste chip de modo a fazer com que o computador identifique a placa Arduino como um outro periférico (cita-se como exemplo um mouse, ou joystick), ampliando ainda mais os potenciais de uso da plataforma.

As operações realizadas pelo Arduino se resumem em essência a sinais elétricos. A lógica por trás dos impulsos e sinais transmitidos e interpretados pela plataforma dependem de programas (software) inseridos em seu microcontrolador (FERRONI et al., 2015).

Para MARGOLIS (2011), comandos e programas são escritos no computador utilizando um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que permite escrever e alterar códigos e convertê-los em instruções que o Arduino consiga compreender e executar, além de permitir a sua gravação no microprocessador.

Em outras palavras, tudo o que será realizado pelo Arduino, seja através do próprio microcontrolador ou de periféricos a ele conectados, deverá ser programado em scripts inseridos por intermédio da IDE, onde são definidas as orientações necessárias para cada execução (FERRONI et al., 2015).

A interface da IDE do Arduino é intuitiva, mas depende da programação de comandos e execuções a mesma exige do usuário certos conhecimentos de algoritmos e linguagem de programação, em geral, C ou C++. Através da IDE é possível projetar, alterar, compilar e gravar programas que comandam o Arduino e qualquer Shield ou módulos a ele conectados. Embora a plataforma Arduino possua um número extremamente amplo de aplicações, nem sempre é necessária à

programação e a criação integral dos circuitos necessários para cada um dos projetos. (FERRONI, et al., 2015).

Para MONK (2010), a própria existência do Arduino é uma maneira de facilitar a criação de projetos. Para fins de facilitar ainda mais este processo, o Arduino conta com a possibilidade de se integrar outras placas ou dispositivos cuja programação é feita em microcontrolador independente daquele localizado na placa do Arduino. Estes dispositivos são chamados Shields ou Módulos.

O LCD utilizado é um módulo que possui microcontrolador próprio necessário para seu funcionamento, reduzindo assim o volume de trabalho e a quantidade de terminais do Arduino necessários para seu acionamento, (MONK, 2010).

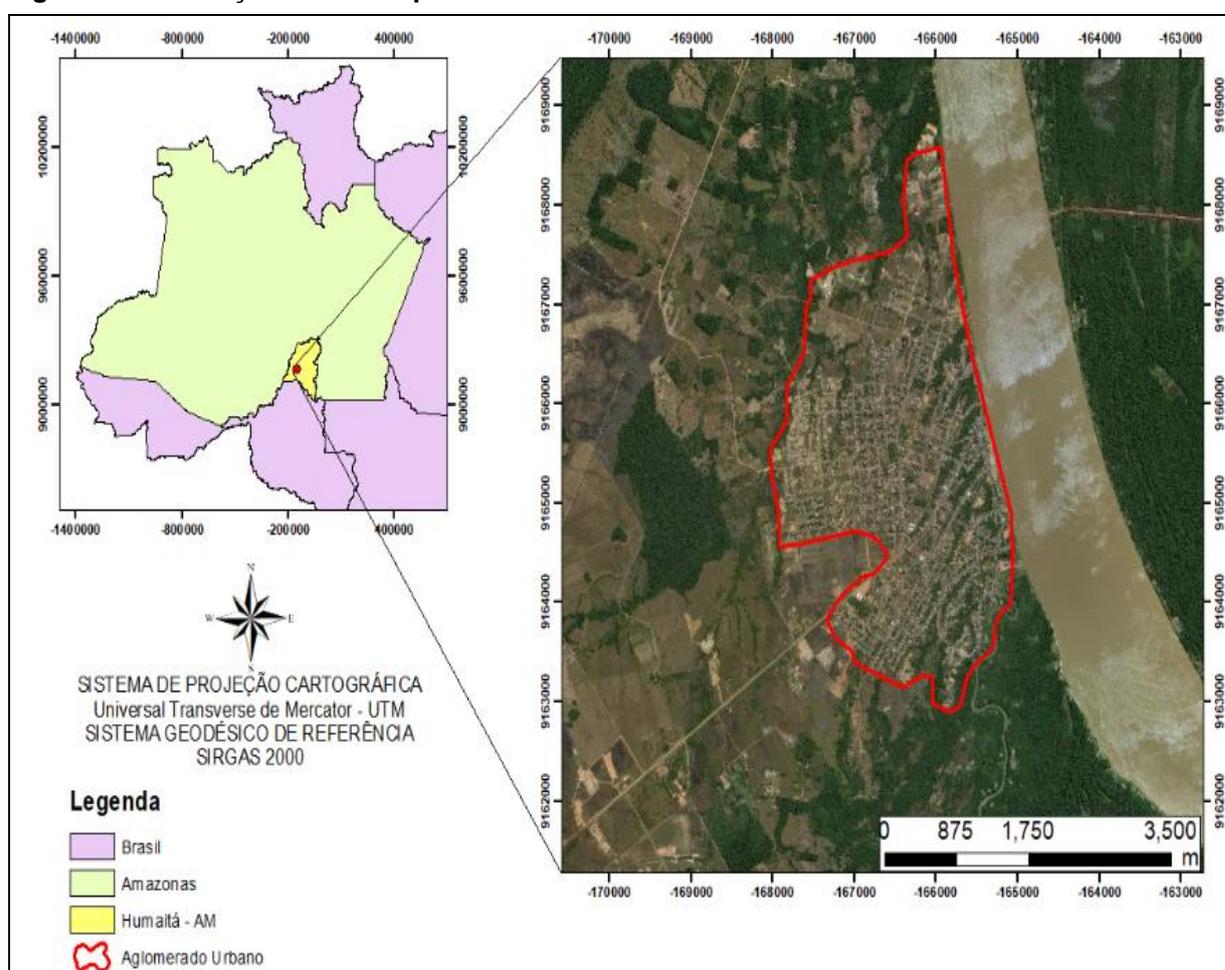
Ainda o mesmo autor MONK (2010) cita módulos utilizados para a comunicação via Ethernet (cabo de 8 vias utilizado para comunicação em rede física de computadores), comunicação Wireless (rede sem fio), Bluetooth (comunicação sem fio mais utilizada por dispositivos móveis, como celulares ou tablets), GPS (mapeamento e localização), e outras. Para utilização de Shields no Arduino, é necessária a inclusão de bibliotecas de comandos no código programado através da IDE. Estas bibliotecas tornam o Arduino capaz de reconhecer e interpretar comandos que são específicos para o módulo utilizado (FERRONI, et al. 2015).

5. METODOLOGIA

5.1 Área em estudo

A cidade de Humaitá está situada na mesorregião sul do Estado do Amazonas e pertence à microrregião do Madeira. Encontra-se nas coordenadas, 07° 30' 22" S e 63° 01' 15" W à margem esquerda do rio Madeira, com 200 km de distância da cidade de Porto Velho (RO) e 675 km da cidade de Manaus (AM), pela Rodovia BR-319 (IBGE, 2016), a seguir na figura 3.

Figura 3. Localização do município de Humaitá-AM



Fonte: Adaptado com base em dados do IBGE (2019).

O município possui uma população estimada de 52.354 habitantes, sendo 38.713 habitantes na área urbana e 13.641 na área rural (IBGE, 2019). O quadro 3 em seguida apresenta a divisão populacional entre os 13 bairros oficiais da cidade de Humaitá-AM.

Quadro 2. Dados atualizados sobre o número de habitantes por bairro na cidade de Humaitá-Am.

Bairro	Homens	Mulheres	Total	N° de domicílios
Centro	1317	1533	2850	575
Divino Pranto	1026	1135	2161	375
Nossa S ^a do Carmo	1428	1536	2964	586
Nova Esperança	826	1089	1915	200
Nova Humaitá	2528	2696	5224	1236
Novo Centenário	902	968	1870	300
Santo Antônio	1585	1672	3257	556
São Cristovão	2256	2336	4612	1053
São Domingos Sávio	1886	1985	3871	835
São Francisco	2015	2289	4304	885
São José	784	912	1696	275
São Pedro	1100	1338	2438	526
São Sebastião	730	982	1712	410

Fonte: Secretária de Saúde do município de Humaitá (2019).

A precipitação média anual varia entre 2.250 a 2.750 mm e seu clima é classificado como sendo do tipo Am, segundo o método de Köppen a temperatura média anual apresenta variação de 24 °C a 26 °C, com umidade relativa do ar bastante elevada 85 a 90% (BRASIL, 1978; EMBRAPA, 1997; MARTINS et al., 2006; INMET, 2009; CAMPOS et. al., 2012).

A área urbana do município de Humaitá-AM encontra-se sobre o sistema de aquífero Aluvionar (ANA, 2010). Esse sistema de aquífero é caracterizado pela produção de água e por apresentar boa porosidade, sendo um aquífero intergranular, com espessura média de 23,75m e apresentando espessura máxima de 40m, a transmissividade varia de $6,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $4,27 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, com valor

médio de $6,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ encontrando-se presentes nos depósitos sedimentares constituídos por areia, silte, argila e cascalho (DUARTE et al., 2016).

5.2 Cadastros de poços

Com base nas informações obtidas junto à Companhia Humaitaense de Águas e Saneamento Básico (COHASB), o sistema de abastecimento municipal é formado por 25 poços tubulares e seis reservatórios (COHASB, 2015).

Partindo de um levantamento de dados pré-existentes, obtidos junto à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), através do Sistema de Informação de Água Subterrânea (SIAGAS), foi possível identificar a profundidade, localização, tipo de captação de água e suas condições sanitárias, sendo o mais raso com 36m e o outro superior com 104m.

No mapeamento e georreferenciamento dos poços, utilizou-se a marcação das coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) com uso do receptor GPS (*Global Positioning System*), modelo Garmin MAP 76CSX, após esta etapa, o mapa georreferenciado foi sobreposto através no software (QGIS 2.8.1) anteriormente conhecido como Quantum GIS.

Diante dessas informações disponíveis na décima nona edição do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013 elaborado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, relatou-se sobre as condições de captação e distribuição do sistema de abastecimento no município de Humaitá-AM.

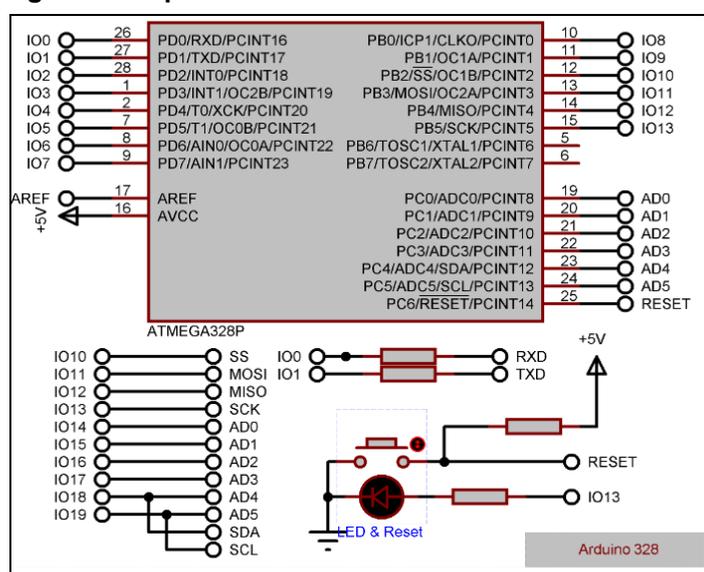
5.3 Itens utilizados para montagem do Sistema de Aquisição de Parâmetros de Qualidade da Água do Arduino

A construção do sistema de aquisição de dados baseada no microcontrolador Arduino, foi realizada no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, com apoio técnico dos Laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT. e constituiu-se de equipamentos adaptados e suas devidas calibrações. As variáveis

testadas foram temperatura, pH e nível da água de um poço raso, PT17, localizado nas coordenadas 7°30'44.73"S e 63° 1'54.87"W. E esse sistema passou pelas seguintes etapas de adaptações.

- **Plataforma Arduino:** O microcontrolador Arduino GSM Shield Modelo UNO utilizado, tem a função de aumentar a funcionalidade da placa Arduino com facilidade de conexão e para enviar os dados dos sensores via SMS, o esquema de construção é apresentado na figura 4.

Figura 4. Esquema do Arduino

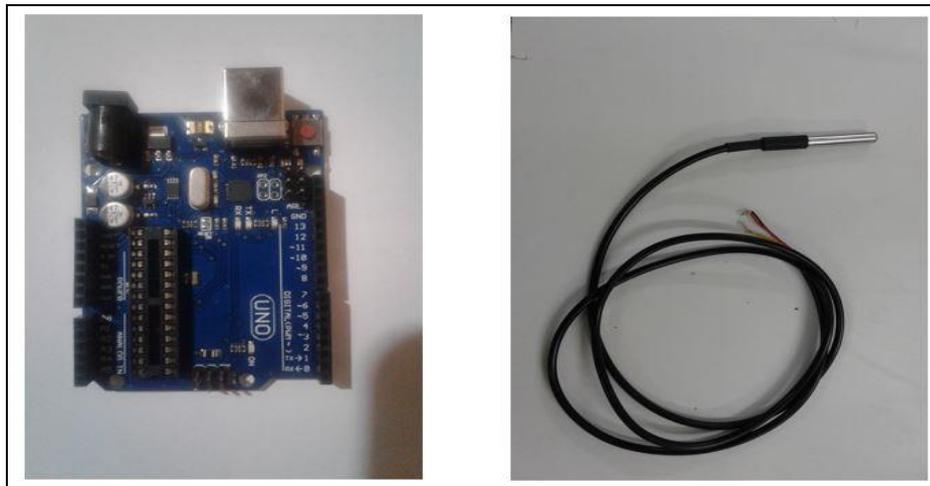


Fonte: Própria autoria (2019).

O Arduino GSM Shield funciona basicamente com uma série de comandos AT, que podem ser utilizados para configurar as chamadas, armazenar SMS, verificar a qualidade do sinal e modificar muitos outros parâmetros. Foi realizado uma biblioteca GSM-GPRS-GPS-Shield.

- **Sensor de temperatura NTC 10K:** O sensor de temperatura utilizado no monitoramento da água subterrânea foi Termistor NTC - (Negative temperature coeficiente) 10k, à prova d'água, capaz de medir a temperatura em locais úmidos, inclusive estando submerso na água, graças ao seu tipo de encapsulamento. Segundo seu fabricante o sensor é bastante preciso ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ exatidão), mede temperaturas entre -55°C a 125°C e sua tensão de alimentação pode ser entre 3.0V e 5.5V. Figura 5.

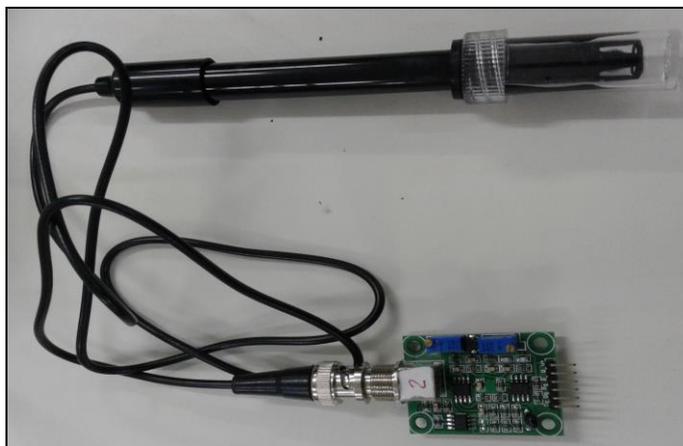
Figura 5. Arduino e o Sensor de temperatura



Fonte: Próprio autoria (2019).

- **Sensor de pH:** a coleta de informações sobre o pH, ocorreu através de um modelo de pHmetro baseado em um microcontrolador Arduino, responsável pela mensuração do valor do pH determinado por meio de artifícios eletrônicos, ou seja, uma sonda, como mostra a figura 6.

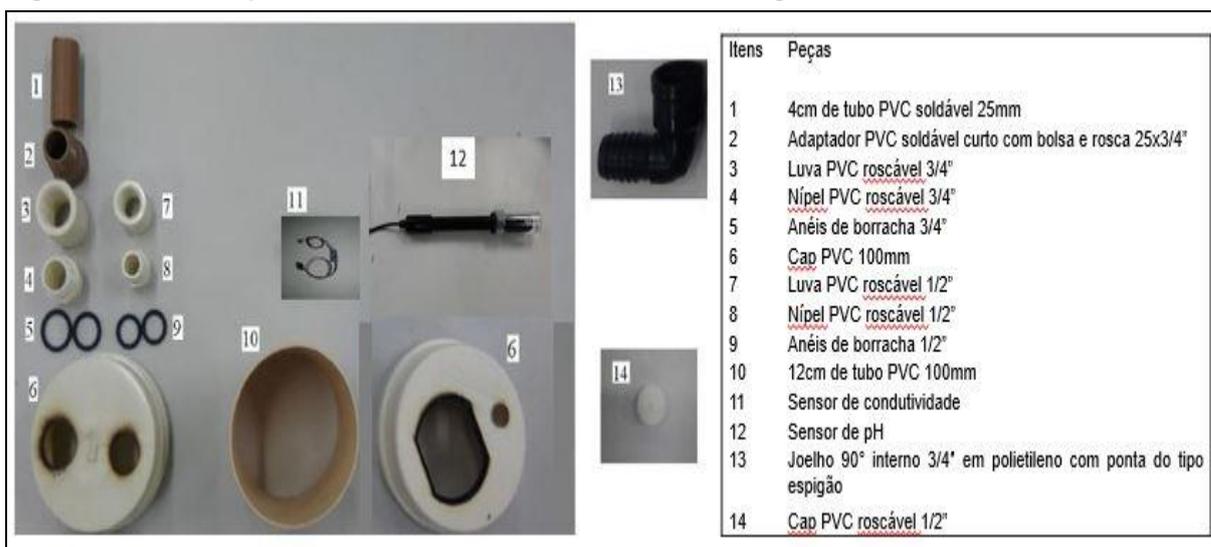
Figura 6. Eletrodo de pH e módulo controlador



Fonte: Próprio autoria (2019).

A figura 7 mostra os componentes que levaram a construção do reservatório coletor para inserção do sensor de pH.

Figura 7. Materiais para construir o reservatório coletor de água.



Fonte: Adaptado de Zaque (2018).

Foi desenvolvido suporte para o sensor de pH e a válvula solenoide para controlar a vazão e o tempo da água de acordo com a figura 8. Para a comunicação entre o sensor de pH e o microcontrolador Arduino, foi necessário criar um reservatório provisório para o sensor de pH ficar fixado na lateral superior da tampa em um cap PVC 100mm.

Em um cap de PVC 100mm, utilizado como tampa inferior, foram feitas duas aberturas, uma para entrada da água e outra para a saída. A água deve entrar pelo orifício de menor cota e saía pelo orifício de maior cota. No outro cap de PVC 100mm, utilizado como tampa superior, foram feitas duas aberturas para permitir a passagem dos sensores.

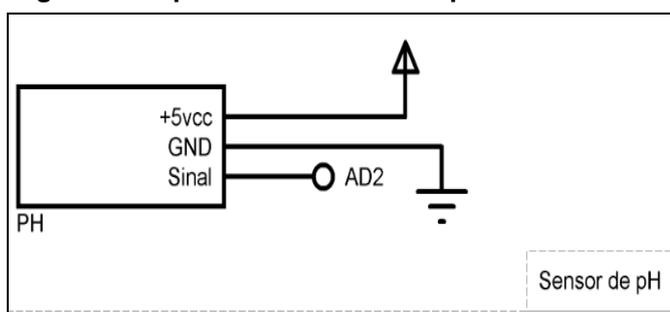
Figura 7. Suporte com a válvula e eletrodo de pH



Fonte: Própria autoria (2019).

O microcontrolador foi programado para tratar o sinal de tensão e associá-lo a um valor na escala de pH (0,0 a 14,0), ao final do processo os valores alcançados foram apresentados no monitor serial e armazenados em um cartão memória, figura 9.

Figura 9. Esquema do eletrodo de pH



Fonte: Própria autoria (2019).

- **Sensor de nível para os poços:** Os níveis da água subterrânea de um poço foram monitorados por sensores instalados a uma profundidade abaixo do nível mínimo de água estimada. O sistema foi programado para realizar medições a cada 30 segundos. Foi utilizado um cabo de internet do tipo RJ45 com 25 metros de comprimento, com oito fios que compõem o cabo funcionaram como eletrodos ligados ao Arduino, em seguida na figura 10 foram adaptadas seringas nas pontas dos fios, que estavam funcionando como eletrodos, para evitar o contato entre os fios e garantir a estabilidade do sistema.

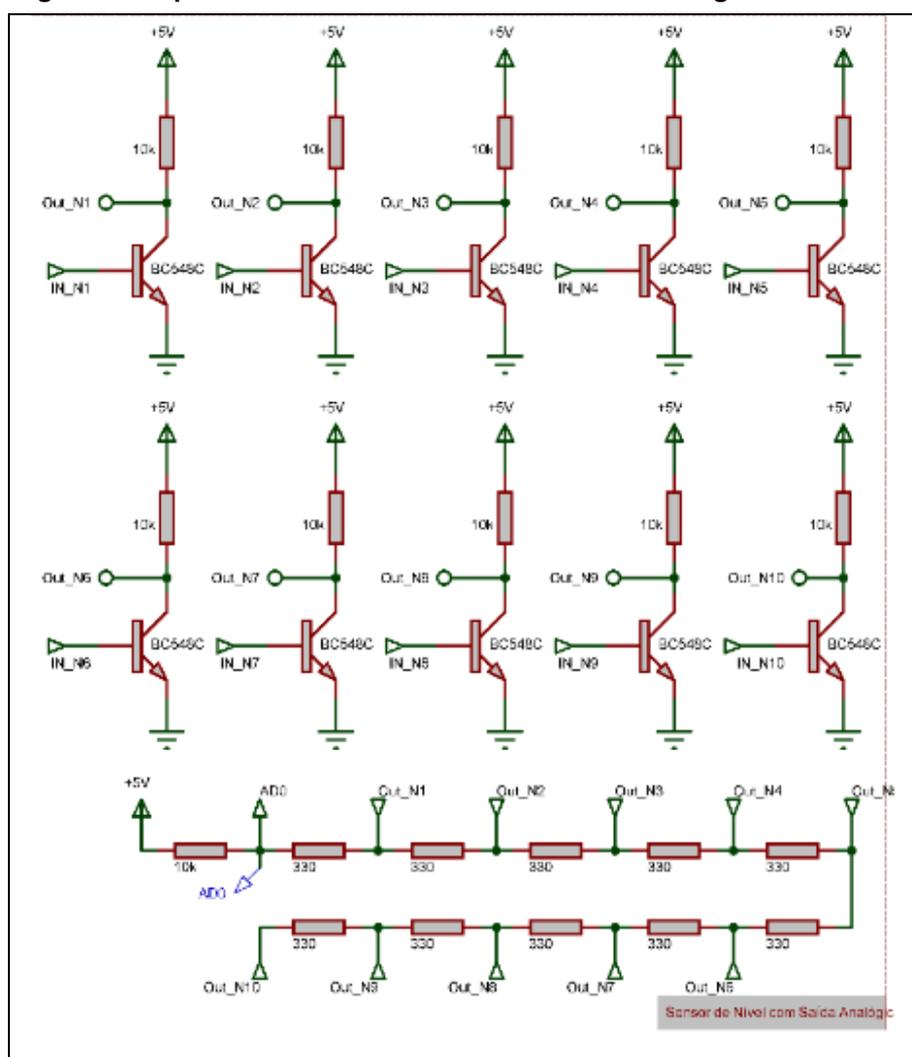
Figura 8. Fios na função de eletrodos adaptado para detectar o nível da água



Fonte: Própria autoria (2019).

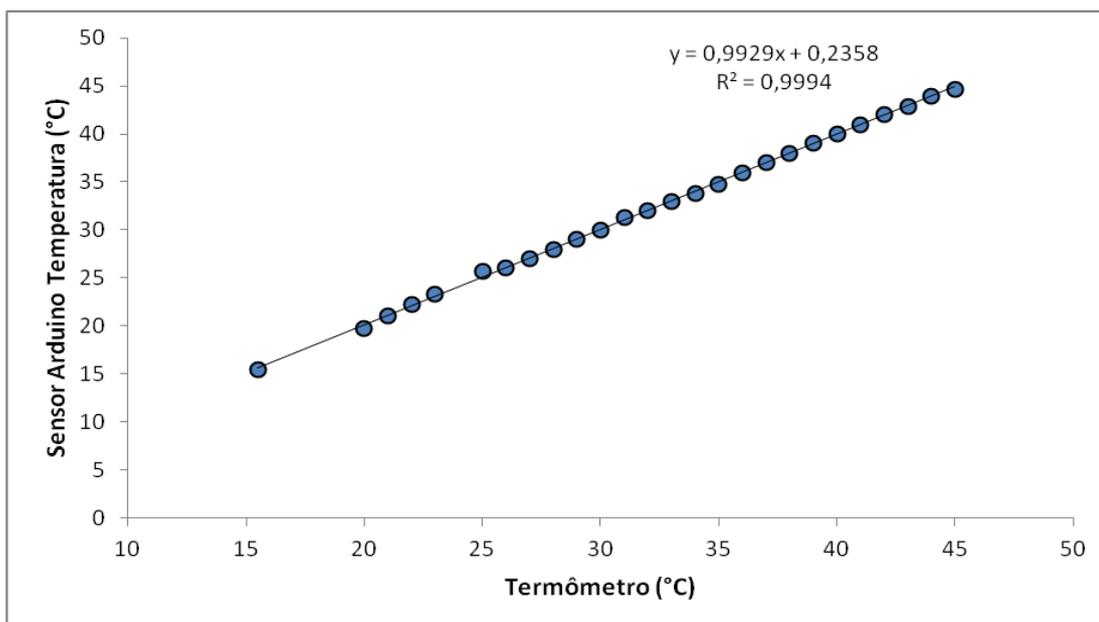
O registro dos níveis ocorre no momento em que a água atinge seu nível mínimo de operação, no qual, o sensor detecta a presença da água em tempo real. Para a calibração do sensor de nível, foi utilizado um tanque com água marcado em vários níveis com o auxílio de uma régua, foi observada a tensão correspondente na saída analógica do Arduino, a seguir apresenta-se o esquema do circuito elétrico na figura 11.

Figura 9. Esquema do Sensor de nível com saída analógica



Fonte: Própria autoria (2019).

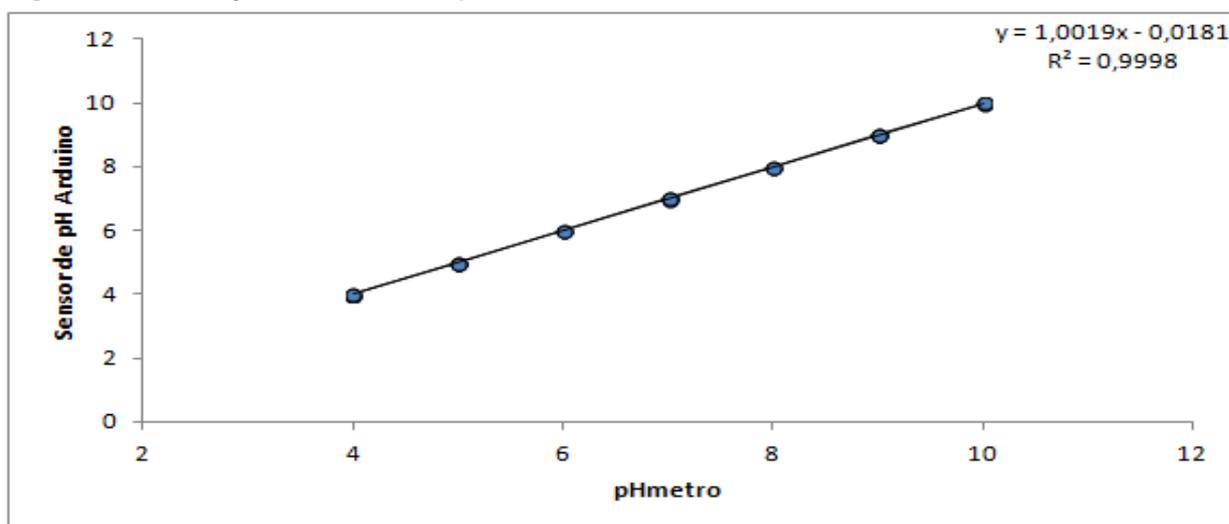
- **Calibração:** A relação entre o sensor de temperatura (DS18B20) e o termômetro (medidor *Incoterm*) calibrado de fábrica para diferentes temperaturas de água, obteve um ajuste de $R^2 = 0,9994$, quando comparados, como mostra a figura 12.

Figura 10. Calibração do sensor de temperatura

Fonte: Própria autoria (2019).

A calibração do sensor de pH, foi realizada em laboratório, com auxílio de uma pHmetro digital, inserido em concentrações com soluções tampões com pH anteriormente caracterizados (pH=4; pH=7; pH=10).

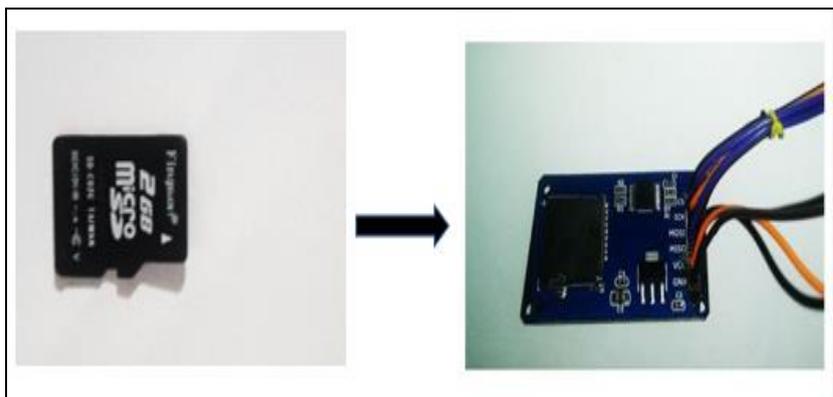
A calibração do sensor de pH foi comparada com pHmetro digital e foi ajustada através de regressão linear com $R^2=0,9998$, figura 13.

Figura 11. Calibração do sensor de pH

Fonte: Própria autoria (2019).

- **Transmissão e armazenamento de dados:** O armazenamento dos dados na parte interna foi realizado através de um módulo para cartão memória e para transmissão e envio dos dados utilizou-se um micro-Sd com capacidade para até 2GB de armazenamento, veja em seguida na figura 12.

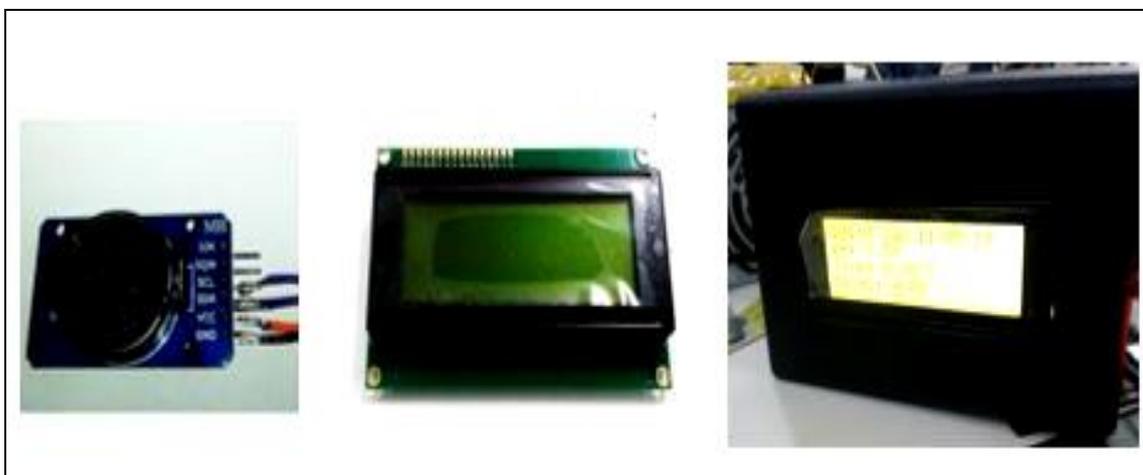
Figura 12. Módulo para Memory Card para Arduino



Fonte: Própria autoria (2019).

Os dados foram visualizados por meio de um monitor LCD, ao qual foi inserido um módulo de bateria RTC, com a função de realizar as leituras de dados em tempo real, e também esse tipo de módulo impede atraso nas informações caso seja necessário desligar o equipamento por algum tempo, ou seja, quando reiniciado o módulo atualiza de imediato as leituras dos sensores ativos, todos os componentes ficaram instalados na parte interna de uma caixa plástica de cor preto, como mostra a figura15.

Figura 13. Módulo RTC, módulo LCD e Caixa plástica para leitura dos dados coletados pelo Arduino



Fonte: Própria autoria (2019).

5.4 Instalação do Sistema de Aquisição de Parâmetros de Qualidade da Água Arduino

O processo de montagem do equipamento durou 8 dias no laboratório de Saneamento do curso de Engenharia Ambiental, em seguida o sistema foi instalado em um poço cedido pela Companhia Humaitaense de Abastecimento e Saneamento Básico (COHASB), para monitorar os parâmetros de pH, temperatura, além do nível estático do poço, conforme a figura 16 abaixo.

As variáveis obtidas pelos sensores através dos microcontroladores foram armazenados no banco dados do micro-SD e retiradas no formato .txt, esses dados foram tratados junto com os dados das sondas e usando os programas estatísticos Excel/2016 e Bioestat versão 5.3, chegou-se aos resultados.

Figura 14. Sistema de aquisição de dados instalada no poço PT17.



Fonte: Elaboração própria (2019).

5.5 Teste do SAPQA na água subterrânea de abastecimento

Foram realizados testes de funcionamento do sistema de aquisição de dados Arduino num poço raso de 36 metros, o nível estático apresenta-se a uma profundidade de 11,84 metros, já a vazão e o nível dinâmico do poço não foram considerados, este poço é revestido por tubos de aço. Além dos parâmetros monitorados pelo sistema, foram determinadas in loco os parâmetros de temperatura da água e pH, utilizando sondas digitais como mostra a figura 17, para efeitos de

comparação. Foram obtidos dados complementares de condutividade elétrica, também utilizando sonda digital.

Figura 15. Sondas digitais de CE; STD, T(°C) e pH.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

5.6 Coleta e análises físico-químicas e microbiológicas das amostras

As coletas da água dos poços PT17 e Passarão, foram coletadas em 2 etapas a primeira foi realizado no mês de maio de 2019, no período de chuva (época de enchente) e outra no período de seca (vazante), em junho de 2019. Realizou-se 4 coletas em cada poço para realização das análises físico-químico e microbiológico, respectivamente.

A captação da água subterrânea é através da sucção mecânica por uma bomba hidráulica, a água foi bombeada por tempo suficiente cerca de 15 minutos, para eliminar toda a água estagnada na tubulação e impedir a contaminação das amostras.

Os procedimentos de coleta foram executados após a realização de ação mecânica (limpeza) na tubulação, em seguida a mesma foi higienizada com aplicação de álcool etílico 70° INPM. Posteriormente para a coleta das amostras para análises físico-químicas e microbiológicas em laboratório, ocorreram da seguinte maneira:

- Primeiro as mãos foram higienizadas, antes do uso de luvas látex e máscara protetora, além do uso de sapato fechado, roupa adequada tipo jaleco.

- O registro foi aberto à meia seção para que o fluxo de água pudesse ser pequeno e não ocorressem respingos, para evitar a agitação de partículas no ar, após deixou-se a água escoar aproximadamente por 5 minutos, tempo suficiente para eliminar a água estagnada na tubulação.
- A tampa do frasco (Polietileno de 500mL) foi removida próximo do registro, sem tocar no mesmo ou na parte interna da tampa, em seguida o frasco foi homogeneizado com água do poço para em seguida coletar as amostras.
- Foi coletada nos frascos aproximadamente 1000mL de água, os mesmos não foram cheios até o gargalo, para permitir a homogeneização da amostra, porém houve um cuidado para não formar muitas bolhas na água no interior da amostra. Vale ressaltar que ao coletar uma amostra evita-se falar e tossir próximo ao frasco.
- O frasco foi selado após a coleta e adicionado em um caixa de isopor contendo bolsas de gelo para refrigeração em torno de 8°C e as amostras foram identificadas adequadamente e em seguida foram transportadas imediatamente até o laboratório Lapef, localizado na cidade de Porto Velho/RO, ver na figura 18 em seguida.

Figura 16. Coleta das amostras



Fonte: Própria autoria (2019).

A Tabela 4 apresenta os parâmetros que foram analisados, e os métodos que foram seguidos para os procedimentos adotados de análises químicas, físicas e

microbiológicas de água, de acordo com as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition, (2017) e USEPA 3810/86.

Tabela 4. Análise laboratorial de parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Parâmetros	Método	PRC Nº 5 (VMP)
pH	Potenciométrico	6,0 - 9,0
Cor aparente	Colorimétrico	≤ 15 uH
Turbidez	Espectrofotométrico	≤ 5 UT
Alumínio	Espectrofotométrico	0,2 mg/L
Nitrito	Espectrofotométrico	1,0 mg/L
Manganês	Espectrofotométrico	0,1 mg/L
Ferro	Espectrofotométrico	0,3 mg/L
Nitrato	Espectrofotométrico	10 mg/L
Condutividade	Condutivimétrico	Sem valor de referência
Coliformes Totais	Membrana Filtrante	Ausência
C.Termotolerantes	US EPA 3810/86	Sem valor de referência
<i>Escherichia Coli</i>	Membrana Filtrante	Ausência

*VMP = valor máximo permitido; *PRC = portaria de consolidação número 5/MS 2017.

Fonte: Própria autoria (2019).

5.7 Informações das normas técnicas de segurança sanitária para perfuração de poços e dados sobre atendimentos na saúde de Humaitá-Am

Por meio de requerimento direcionado a Secretaria Municipal de Infraestrutura, obteve-se informações pertinentes sobre a adoção das normas técnicas de segurança sanitária para esgoto urbano e perfuração de poços.

As quais destacam-se a NBR 9649/86, que dispõe de projetos para rede coletora de esgoto, e sobre perfuração de poços existem duas normas: a NBR 12212 (NB588) de 03/2006 – Poço tubular – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea que fixa os requisitos exigíveis para a elaboração de projetos de poço tubular para captação de água subterrânea; e a NBR 12244 (NB1290) de 03/2006 – Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea que fixa os requisitos exigíveis na construção de poço tubular para captação de água subterrânea, estabelecendo procedimentos técnicos para o acesso seguro aos mananciais subterrâneos, objetivando a extração de água de forma eficiente e sustentável.

Foi obtida por meio de requerimentos com base na Lei de acesso às informações públicas nº 12.527/11, enviados para o setor administrativo da

Secretaria Municipal de Saúde e do Hospital Dra. Luiza da Conceição Fernandes, para se verificar a média de atendimentos pelas principais doenças que possivelmente são causadas por veiculação hídrica e averiguar se podem ter relação com o consumo de água no município.

5.8 Testes estatísticos

➤ **Correlação de Pearson:** é um teste empregado em bioestatística, onde os valores das variáveis X e Y são mensurados a nível intervalar ou de razões. O coeficiente de Pearson (r) pode variar de -1 a +1, e quanto mais próximo desses valores, mais forte a associação das variáveis em exame. O escore zero desse coeficiente indica ausência de correlação.

➤ **Teste D'Agostino (k amostras):** trata-se de um teste para pequenas amostras, mas cujo valor de n deve ser igual ou superior a dez unidades. Os resultados são comparados com os valores críticos previamente estabelecidos. A hipótese de nulidade, portanto de normalidade, deve ser rejeitada quando o valor calculado é menor ou igual ao valor mínimo ou maior que o valor máximo. É recomendável que os resultados sejam fornecidos em cinco decimais, uma vez que o valor estatístico do desvio (D) pode ser muito pequeno.

➤ **Análise de Clusters:** tem por objetivo desta análise agrupa os indivíduos em conglomerados ou *clusters*. Os conglomerados são identificados como grupos que compõem a população ou a amostra que está sendo analisada. As unidades de um grupo apresentam muitas semelhanças entre si e muitas diferenças em relação às unidades dos demais grupos.

Dessa forma é um método exploratório, não um teste estatístico, contendo uma série de algoritmos para classificação dos objetos segundo o grau de similaridade, na tentativa de estabelecer uma estrutura, mesmo sendo inexistente. A análise pode ser realizada segundo alguns critérios de procedimentos, os quais são selecionados conforme as características das variáveis a serem analisadas, sendo apresentados a seguir:

- **Método de Agregação:** a medida da distância é a base da análise de conglomerados. Originalmente, cada objeto é único e, portanto, as distâncias entre os objetos são óbvias. Entretanto, à medida que os objetos são agrupados, deve-se decidir qual a forma de medir a distância entre um grupo (*cluster*) e um objeto, ou entre dois grupos. Cada método de agregação fornece um critério diferente para definir, no espaço multidimensional, o ponto dentro do grupo que servirá de referência para calcular as distâncias entre esse grupo e outros objetos ou grupos.
- **Tipo de Distância:** a distância na análise de conglomerados é um parâmetro para medir o grau de similaridade entre dois objetos. Cada variável corresponde a uma dimensão, e cada objeto é representado por um ponto no espaço multidimensional resultante. Quanto menor a distância mais similar serão os objetos e, portanto, aumenta a probabilidade de pertencerem ao mesmo grupo.
- **Estandarização das variáveis:** os resultados da análise de conglomerados poderão ter algum viés, se os dados são medidos em escalas diferentes. Dessa forma, por exemplo, se uma das variáveis for a altura do indivíduo medida em metros e a outra for a massa corporal medida em quilograma, aqueles terão um peso menor quando se compara a mesma informação medida em centímetros. A maneira de tornar as variáveis “comparáveis” será realizar a normalização padrão **z**, em outras palavras, estandarizar todas essas variáveis.

➤ **Análise das Principais Componentes:** as componentes principais tem como principal objetivo indicar a significância relativa de variáveis preditivas, e quando o número delas em um conjunto de dados muito grande, podem surgir por análise de regressão múltipla, coeficientes irracionais, dificultando uma acurada identificação da importância daquelas variáveis.

Através desse teste interpretativo, o qual consiste em examinar um grupo de variáveis como as dos sintomas das doenças e os de parâmetros da água correlacionados pela matriz, transformando-as em outro conjunto de variáveis não correlacionadas e independentes, dispostas em combinações lineares e em ordem decrescente de importância através de índices designados de Z_p , de tal maneira que a variância $var(Z_1) \geq$ variância $var(Z_2) \geq$ variância $var(Z_3) \geq \dots \geq$ variância $var(Z_p)$.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Leituras do Arduino e da sonda digital TDS&EC e HANNA.

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais como exemplo através da energia solar ou por ações antrópicas. Esse parâmetro exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias.

Em relação às águas para consumo humano, temperaturas elevadas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso. Pois as águas subterrâneas captadas a grandes profundidades frequentemente necessitam de unidades de resfriamento a fim de adequá-las ao abastecimento. Desse modo, águas com altas temperaturas são mais aproveitadas para balneários e terapias. Além da transferência de calor através da água é desejável, pois a água tem uma alta capacidade de transporte de energia devido aos seus altos valores de calor específico (BOTTI, 2016).

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas). Influencia na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural dissolução de rochas, fotossíntese ou antropogênica despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2006).

Nas águas de abastecimento, baixos valores de pH podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, enquanto valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. A relação direta com a qualidade da água para o consumo, está nas características no teor de dióxido de carbono (CO₂), na alcalinidade reduzida e um no pH muito baixo, são considerados agressivos ao organismo (PRADO, 2010).

Na tabela 5 a seguir as médias das leituras obtidas para o pH e temperatura, para os intervalos de 30 min e 60 min, realizadas entre os meses de maio e junho, com periodicidade de coleta a cada 5 dias. Foi realizada uma análise descritiva a fim de correlacionar os valores de pH e temperatura.

Tabela 5. Temperatura e pH obtidos com intervalo de 30 e 60 minutos

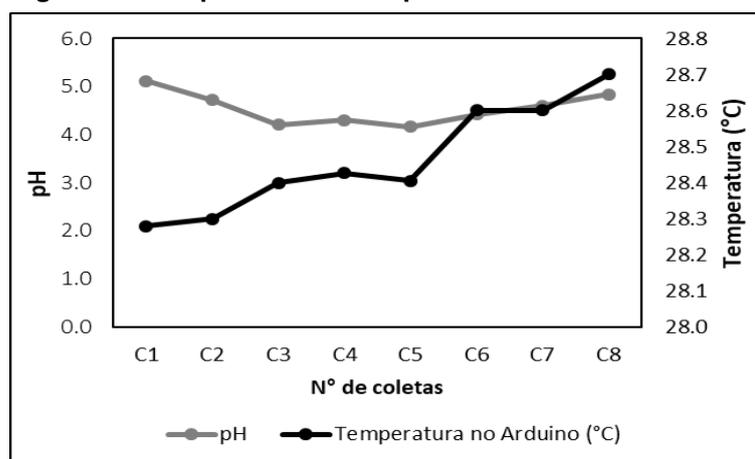
Temperatura e pH obtidos com intervalo de 30 min.																	
pH	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	T(°C)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Med.	5,1	4,7	4,2	4,3	4,1	4,4	4,6	4,8	Med.	28,2	28,2	28,4	28,4	28,4	28,5	28,5	28,5
D. P.	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	D. P.	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Máx.	6,5	7,7	4,9	5,5	5	4,6	6,6	5,0	Máx.	28,5	28,2	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Min.	3,8	4,4	3,6	3,2	3,8	4,0	4,0	4,0	Min.	28,2	28,2	28,3	28,0	28,0	28,2	28,3	28,3

Temperatura e pH obtidos com intervalo de 60 min.																	
pH	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	T(°C)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Med.	4,7	4,7	4,3	4,4	4,1	4,4	4,5	4,8	Med.	28,2	28,2	28,3	28,4	28,3	28,5	28,5	28,5
D. P.	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	4,0	1,0	D. P.	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Máx.	6,5	4,8	4,9	5,4	4,8	4,5	5,0	5,0	Máx.	28,4	28,2	28,5	28,6	28,5	28,7	28,7	28,7
Min.	3,8	4,6	3,6	3,3	3,3	4,5	4,0	4,5	Min.	28,2	28,2	28,2	28,3	28,0	28,3	28,5	28,5

C1 até C8 = número de amostras de dados coletadas; T(°C) = temperatura em graus Celsius; Med = média; D.P.= desvio padrão; Máx = número máximo coletado; Min. = número mínimo coletado.

Fonte: Própria autoria (2019).

A figura 19 mostra o comportamento do pH e da temperatura para o tempo de 30 min. Este resultado evidencia a relação entre pH e Temperatura, porém conforme registrado por Prado (2010), os fatores que alteram o equilíbrio da água e estão interligados, são o teor de CO₂, a alcalinidade e pH, a variação de qualquer um deles implica na variação do restante.

Figura 17. Temperatura obtida pelo SAPQA - 30 min

Fonte: Própria autoria (2019).

A tabela 6 apresenta os resultados da correlação linear de Pearson entre o pH versus temperatura, referente a coleta de dados realizada pela estação de

aquisição nos tempos de 30 e 60 minutos, nota-se para o tempo de 30 minutos uma correlação fraca negativa com p-valor de 0,3, o que significa que não há interferência da temperatura no pH, porém em temperaturas extremas esse comportamento pode apresentar alterações de pH.

Já a correlação entre o tempo de 60 minutos, apresenta-se fraca negativa com valor -0,02 aproximadamente e p-valor entre forte com cerca de 0,96, essas informações também apontam inexistência de alterações no pH para variações em pequenas escalas na temperatura.

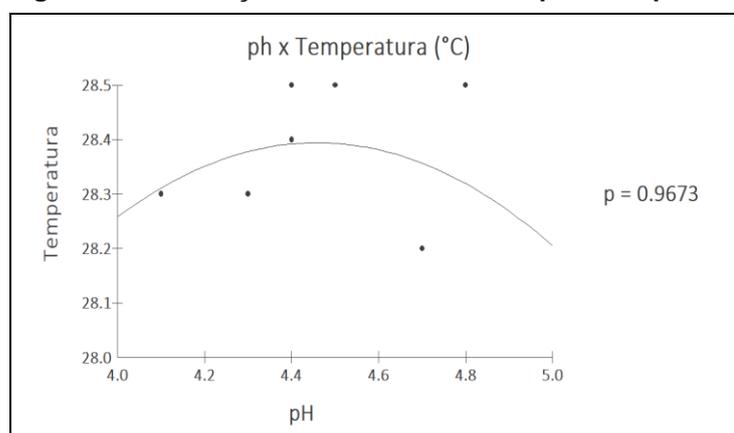
Tabela 6. Correlação de Pearson entre o pH e temperatura para intervalos de 30 min e 60 min.

pH x T(°C) – 30 min		pH x T(°C) – 60 min	
r (Pearson) =	-0.3972	r (Pearson) =	-0.0175
IC 95% =	-0.86 a 0.43	IC 95% =	-0.71 a 0.70
IC 99% =	-0.92 a 0.63	IC 99% =	-0.82 a 0.81
R2 =	0.1578	R2 =	0.0003
t =	-1.0602	t =	-0.0428
GL =	6	GL =	6
(p) =	0.3298	(p) =	0.9673
Poder 0.05 =	0.2402	Poder 0.05 =	0.0433
Poder 0.01 =	0.0780	Poder 0.01 =	0.0743

Fonte: Própria autoria (2019).

Conforme mostra a figura 20, essa correlação possui um coeficiente de Pearson = -0,01 e p-valor de 0,96, para o tempo de 60 minutos, esse resultado mostra a correlação entre esses parâmetros, porém as variáveis não apresentam um comportamento diretamente proporcional, reforçando a ideia de que não há alterações bruscas de pH em função da temperatura, para variações de pequena escala.

Figura 18. Correlação de Pearson entre o pH e temperatura para 60 min



Fonte: Própria autoria (2019).

De acordo com os valores obtidos de pH observa-se que a água avaliada se classifica como ácida, pois os valores estão abaixo de 7. Este resultado é corroborado pelo trabalho de Castro et al. (2016), onde diz que o pH da água que abastece a população de Humaitá está ácido.

Isso pode ocorrer devido ao resultado das concentrações de gás carbônico em virtude do tipo de solo, rico em ferro, e por causa da maneira de obtenção do recurso por meio de poços. Vale ressaltar que para esta região as variações de pH estão de acordo com valores obtidos para outras localidades, sugerindo que este é o padrão regional, conforme alguns dos trabalhos desenvolvidos em municípios no Amazonas por (SILVA, 2008; BARROSO, et al., 2015; SAMPAIO, 2017; COSTA, et al., 2018; UMGRIA, 2018).

No entanto, a temperatura obtida pode ser considerada normal para consumo humano e a correlação é proporcional entre esses dois parâmetros observados durante as coletas, porém C3 e C5, apresentaram divergências nas leituras provocadas possivelmente por falta de energia no local onde está instalado o SAPQA, causando erros de leituras nos sensores de pH e temperatura.

De acordo com Teixeira (2016), a temperatura da água aumenta dentro da adutora de captação, devido estar associada a uma convecção do tipo forçada, ou seja, em que é causado por uma força exterior, como por exemplo, uma bomba, e diminui devido as forças físicas e naturais na parte externa da tubulação. Os valores obtidos de temperatura também são compatíveis com valores de temperatura em subsuperfície da região, conforme consta no trabalho de Pimentel et al., 2010. Isso explica que a temperatura da água nos poços tem consequência direta da radiação solar incidente na superfície.

Nesse intervalo de transição entre os períodos de chuva e de seca a variação da temperatura em subsuperfície é menor. Parte da energia é armazenada durante todo período de seca e liberada no período de chuva aumentando a temperatura da água dos poços. De modo geral, os dados mostram sensível aumento de temperatura à medida que ocorre a transição de estação climática.

Os dados de temperatura e pH coletados com os medidores digitais para fins de comparação entre as médias estão apresentadas na tabela 7.

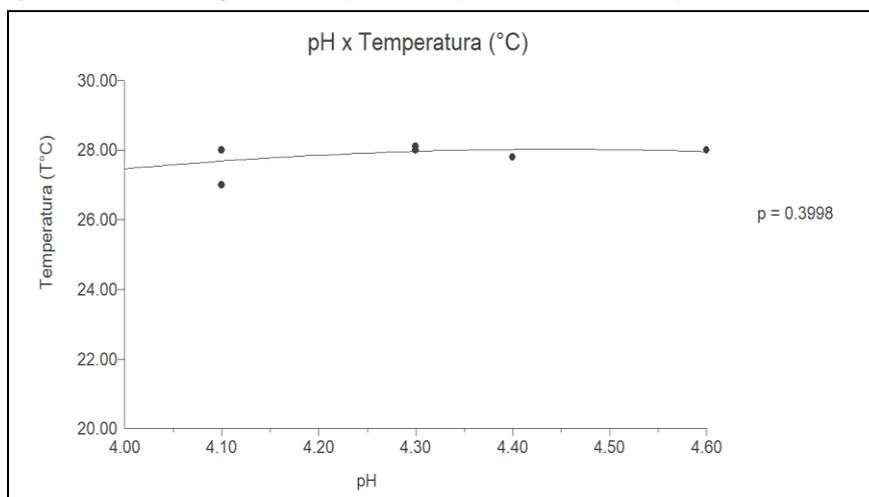
Tabela 7. Dados das sondas digitais de pH e Temperatura

pH	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	T(°C)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Med	4,1	4,1	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,3	Med	28,0	27,0	28	28,1	28,0	27,8	28,0	28,0
D.P.	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	D.P.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Máx.	4,3	4,3	4,3	5,2	4,7	5,2	5,5	4,8	Máx.	28,0	27,0	28,0	29,0	28,0	28,0	28,0	28,0
Min.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,1	Min.	28,0	27,0	27,0	28,0	27,0	27,0	28,0	28,0

C1 até C5 = número de amostras de dados coletadas; T(°C) = temperatura em graus Celsius; Med = média; D.P.= desvio padrão; Máx = número máximo coletado; Min. = número mínimo coletado.

Fonte: Própria autoria (2019).

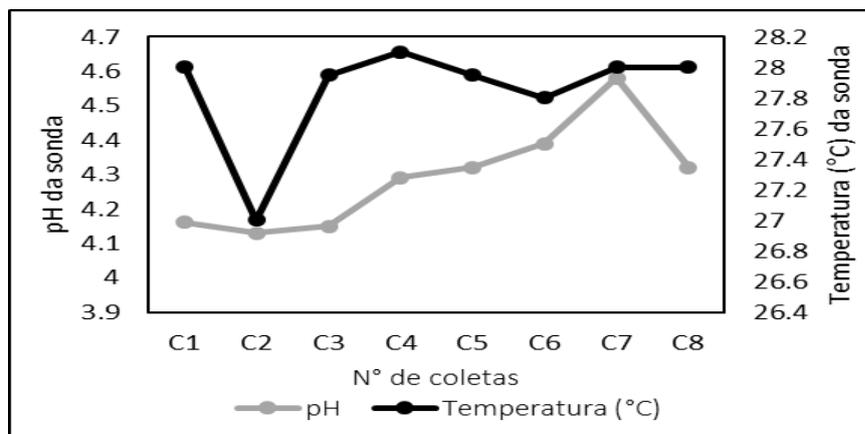
A correlação de Pearson entre os parâmetros pH e temperatura obtidos através das sondas digitais, o qual, apresenta uma correlação significativamente fraca positiva, com coeficiente de 0,34 e p-valor de 0,4 aproximadamente, indicando que a correlação entre esses parâmetros avaliados pelas sondas, possui uma conexão de similaridade, pois o pH e a temperatura apresentam-se com variações mínimas em seus valores médios, conforme mostra a figura 21.

Figura 19. Correlação entre pH e temperatura obtidos pelas sondas digitais.

Fonte: Própria autoria (2019).

Na figura 22, o resultado das coletas apresenta diminuição de temperatura em C2, possivelmente se deve ao fato de ocorrência de chuva na hora da coleta que interferiu diretamente na temperatura do ambiente afetando a água coletada, ou por ações de perda de energia térmica durante o fluxo no interior das tubulações.

Figura 20. Temperatura e pH obtidos através das sondas digitais

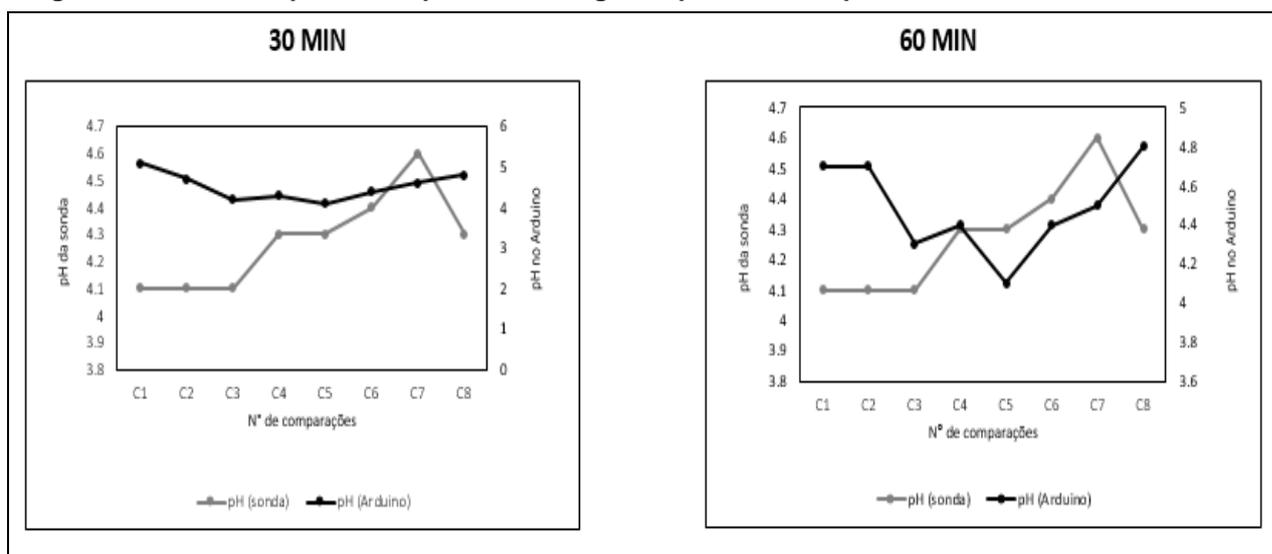


Fonte: Própria autoria (2019).

A comparação entre os valores de pH é apresentada na figura 23, onde observa-se a semelhança entre as médias de valores de pH coletadas pela sonda digital HANNA e os valores de pH obtidos pelo SAPQA, pode-se inferir que não há diferenças significativas entre os valores encontrados para o intervalo de 60 min, pois as variações dos valores médios estão na faixa, entre 0,5 e 0,7, ou seja, há diferença de apenas 0,2 entre esses valores. Isso dá validação para os resultados obtidos pelo SAPQA. Enquanto que para o tempo de 30 minutos, as comparações entre os pH's, mostram que existem variações de até 1,0 para os valores médios. O valor médio máximo de pH chegou a 5,1, diferente do ocorrido para os dados obtidos no tempo de 60 minutos, no qual os valores médios não ultrapassaram 4,8. Analisando essas comparações no tempo de 30 minutos, pode-se constatar mais uma vez que o SAPQA tem eficácia e suas medidas são confiáveis.

Vale acrescentar que as variações encontradas entre os valores dos parâmetros obtidos pelos dois métodos utilizados, podem ter ocorrido devido às condições das coletas. Para os dados obtidos pela sonda a água foi retirada da tubulação para análise *in loco*, enquanto que a leitura do sensor acoplado ao Arduino ocorreu diretamente na tubulação do poço PT17, diante desse resultado pode-se inferir que os equipamentos de coleta de dados, possuem semelhanças entre os valores obtidos.

Figura 21. Dados do pH obtido pela sonda digital e pelo SAPQA para 30 min e 60min.



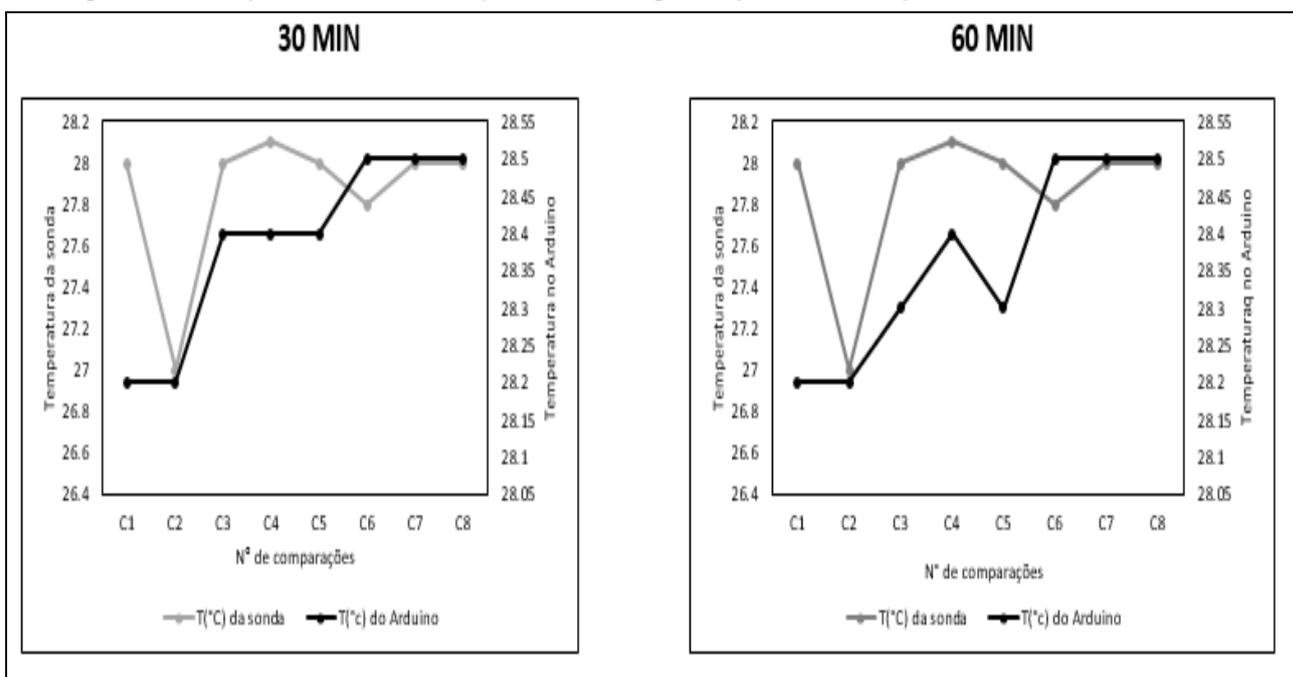
Fonte: Própria autoria (2019).

Em relação aos dados de temperatura, as variações entre os dois métodos também são mínimas. Os dados obtidos pelo SAPQA no intervalo de tempo de 60 min tem variação de 0,3 °C, enquanto que os dados obtidos pela sonda digital tem variação de 1,0 °C. Observa-se na figura 24 a diminuição de temperatura entre as coletas C2 e C6 para a leitura realizada através da sonda digital, essa diferença pode ser explicada devido a ocorrência de chuva nos dias de coleta.

Também pode ser associada a turbulência no fluxo da água dentro da tubulação, causando a retirada de calor pelas paredes da adutora (HACKENHAAR, et al., 2016). Fator atribuído também ao tempo pelo qual a bomba de sucção leva para captar e distribuir a água para superfície. Outro fator pode estar associado as chuvas ocorridas no intervalo dos cinco dias de coletas para essa amostragem, que também diminuíram o tempo de radiação solar sob a adutora causando automaticamente seu resfriamento parcial, pois a tubulação é de aço.

Portanto, pode-se dizer que as temperaturas entre as duas formas de coleta são semelhantes e apresentaram variações mínimas quando comparadas, corroborando para a validação do uso do SAPQA.

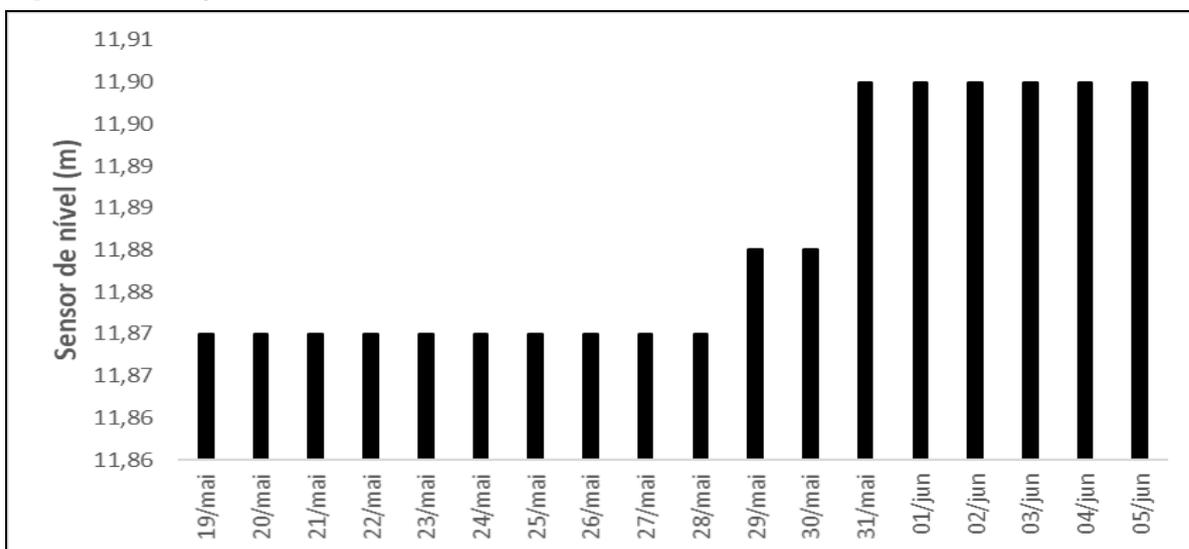
Figura 22. Temperaturas obtidas pela sonda digital e pelo SAPQA para 30 e 60 minutos



Fonte: Própria autoria (2019).

Os resultados sobre o nível estático obtidos pelo SAPQA utilizado foram eficazes, pois permitiram ter o controle do nível estático da água em tempo real. Para o período analisado e as medidas dos níveis inicial de 11,87 m e final de 12,17m em apenas 40 dias, conforme o sistema zerava no monitor LCD, havia necessidade de descer o sensor de nível até o sistema retomar as atividades, veja os níveis iniciais na figura 25.

Figura 23. Medições do sensor de nível



Fonte: Própria autoria (2019).

Contudo, a partir dos resultados obtidos, foi observado e constatado que os sensores possuem excelente precisão, sua exatidão na calibração foi minuciosamente testada juntamente com sua sensibilidade, ainda assim o protótipo construído apresentou problemas e erros de leitura quando inserido no poço, depois de certo tempo os problemas foram solucionados e o sistema obteve estabilidade.

Vale ressaltar que possivelmente os problemas apresentados podem estar relacionados aos picos de energia elétrica na cidade de Humaitá-AM, visto que no decorrer da pesquisa não foram instalados equipamentos estabilizadores de tensão e corrente ou com função de armazenar energia, para prevenir a interrupção repentina da estação de aquisição de dados. Isto pode ter contribuído para falha e perda na leitura de alguns dados dos sensores, no momento deste estudo a cidade encontrava-se com problemas nas linhas de transmissão de energia vindo a causar transtornos a pesquisa e a população em geral.

A necessidade de se monitorar os parâmetros de qualidade da água através da tecnologia de baixo custo é importante, pois no município de Humaitá-AM não há laboratórios especializados para análises desses parâmetros. Além disso, devido a situação econômica atual do país, as pesquisas têm perdido investimentos consideráveis, levando os pesquisadores a buscarem alternativas de inovação tecnológica de baixo custo, para manterem suas investigações.

6.2 Matriz de correlação

Antes de aplicar a análise de correlação, foi necessário averiguar se os dados coletados apresentam normalidade, o teste escolhido foi o D'Agostino (HONORATO; COSTANZI, 2013) ver quadro 3. Os resultados obtidos mostram a distribuição normal entre os dados, e permitem realizar a análise de matriz de correlação entre os parâmetros escolhidos, a tabela a seguir mostra o resultado do teste de D'Agostino, o qual está contido nos limites dos valores críticos tabelados ao nível alfa de 5%, traduzindo um $p = 0.05$.

Quadro 3. Teste D'Agostino, para verificar a normalidade entre os dados

	pH	STD	Turb	CE	Nit	Fe	Alc	Dur
D (Desvio)								
=	0.2644	0.2668	0.2736	0.2683	0.2552	0.2692	0.2793	0.2793
Valores	0.2529 a							
críticos 5%	0.2852	0.2852	0.2852	0.2852	0.2852	0.2852	0.2852	0.2852
Valores	0.2400 a							
críticos 1%	0.2860	0.2860	0.2860	0.2860	0.2860	0.2860	0.2860	0.2860

Fonte: Própria autoria (2019).

A matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros coletados no PT17 no poço Passarão, apresentaram correlações fortes positivas e fortes negativas ao nível de comparação escolhido com p-valor = 0,05 os resultados dessa matriz estão descritos na tabela 8 em seguida, na qual mostra correlação próxima da positiva perfeita entre os parâmetros de Nitrato e pH = 0,99269.

Tabela 8. Matriz de correlação, para os parâmetros analisados em laboratório 2019.

	pH	Turbidez	Alumínio	Manganês	Nitrito	Ferro	Nitrato	CE
pH		0.050614	0.11962	0.12646	0.597	0.70485	0.007305	0.059313
Turbidez	0.94939		0.023704	0.018092	0.3324	0.42265	0.036391	0.088078
Alumínio	-0.88038	-0.9763		0.018633	0.22052	0.33831	0.08012	0.092276
Manganês	0.87354	0.98191	-0.98137		0.21096	0.27848	0.10324	0.15952
Nitrito	-0.403	-0.6676	0.77948	-0.78904		0.038841	0.52683	0.52645
Ferro	0.29515	0.57735	-0.66169	0.72152	-0.96116		0.65673	0.71043
Nitrato	0.99269	0.96361	-0.91988	0.89676	-0.47317	0.34327		0.028717
CE	-0.94069	-0.91192	0.90772	-0.84048	0.47355	-0.28957	-0.97128	

Fonte: Própria autoria (2019).

Para efeitos de comparação foram utilizados dados de parâmetros da qualidade da água obtidos por Ferreira (2018) para o período de seca em 2017 e período de chuva em 2018. Esses dados fazem parte do banco de dados do projeto de pesquisa “Monitoramento da Potabilidade das Águas Subterrâneas e de Parâmetros Geofísicos na região Sul do Amazonas com Foco em Segurança Hídrica” executado na UFAM. Na tabela 9 apresenta-se os resultados da correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade da água no período seco do ano de 2017, o p-valor adotado para este teste é p=0,05. Nota-se que as correlações mais fortes entre os parâmetros, estão entre: CE x STD; Turbidez x Nitrato; Turbidez x Alcalinidade; Ferro x Alcalinidade e Nitrato x Dureza, formam as correlações mais fortes para o período seco do ano de 2017.

Tabela 9. Matriz de correlação de Pearson, período seco do ano de 2017

P. Seco	pH	STD	TURB	CE	NIT	FE	ALC	DU
pH								0.1108 6
STD	0.54443							0.0311
TURBIDEZ	0.59296	0.16545						0.6515
CE	0.52998	0.99839	-0.161					0.0290
NITRATO	0.17754	0.18576	0.07194	0.2064				0.8279
FERRO	0.29619	0.14615	0.27188	0.15282	0.2803			0.3458
ALCALINIDAD	0.5123	0.37768	0.01270	1	0.36312	0.6468	0.04858	0.1328
E						0.07436	0.4824	2
DUREZA	0.50772	0.64792	0.15383	-0.6539	6	0.31474	8	

Fonte: Própria autoria (2019).

Na tabela 10, apresenta-se os resultados obtidos para a matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade da água, para o período de chuva do ano de 2018, o p-valor=0,05. Nessa tabela pode-se observar a significância forte positiva entre os parâmetros: CE x STD; pH x Turbidez; STD x Ferro; Turbidez x Ferro; CE x Ferro, Turbidez x Alcalinidade; Nitrato x Dureza e Ferro x Dureza.

Tabela 10. Matriz de correlação de Pearson, período de chuva do ano de 2018

P. Chuva	pH	STD	TURB	CE	NIT	FE	ALC	DUR
pH								0.1389
STD	0.52549							0.0290
TURBIDEZ	-0.1273	0.37909						0.3013
CE	0.31355	0.9591	0.46375					0.0437
NITRATO	0.15499	0.48192	0.56038	0.60342				0.8139
FERRO	0.46183	0.11334	0.11568	0.017914	0.35616			0.7947
ALCALINIDAD	0.6458	-0.367	0.1052	-0.19643	0.3152			9
E								0.0326
DUREZA	0.47589	0.65405	0.3433	-0.61554	0.08053	0.0889	0.6434	6

Fonte: Própria autoria (2019).

A presença de ferro na água provoca a turbidez avermelhada dentro das redes de distribuição, outro fator negativo é a corrosão devido o pH baixo na água no município de Humaitá-AM, provocando fissuras e enferrujamentos nos tubos de captação de água, sendo um dos principais prejuízos causados a COHASB, além de propiciar possíveis contaminações da água no processo de distribuição, veja figura 26.

Figura 24. Prejuízos causados pelo uso prolongado das tubulações



Fonte: Própria autoria (2019).

6.3 Agrupamentos por Clusters

O quadro nº 4 a seguir, apresenta a identificação e o nome dos bairros de acordo com o trabalho de Ferreira, (2018). Foram escolhidos 11 poços distribuídos em 11 bairros no município de Humaitá-AM, com objetivo de executar análises multivariadas de conglomerados entre os parâmetros de qualidade da água nos períodos de seca de 2017 e chuva de 2018.

Quadro 4. Identificação e localização dos poços analisados

Nº	Nome do Bairro
P 02	Centro
P 11	Nossa Senhora do Carmo
P 12	Novo Centenário
P 16	Divino Pranto
P 18	São Cristóvão
P 25	São Sebastião

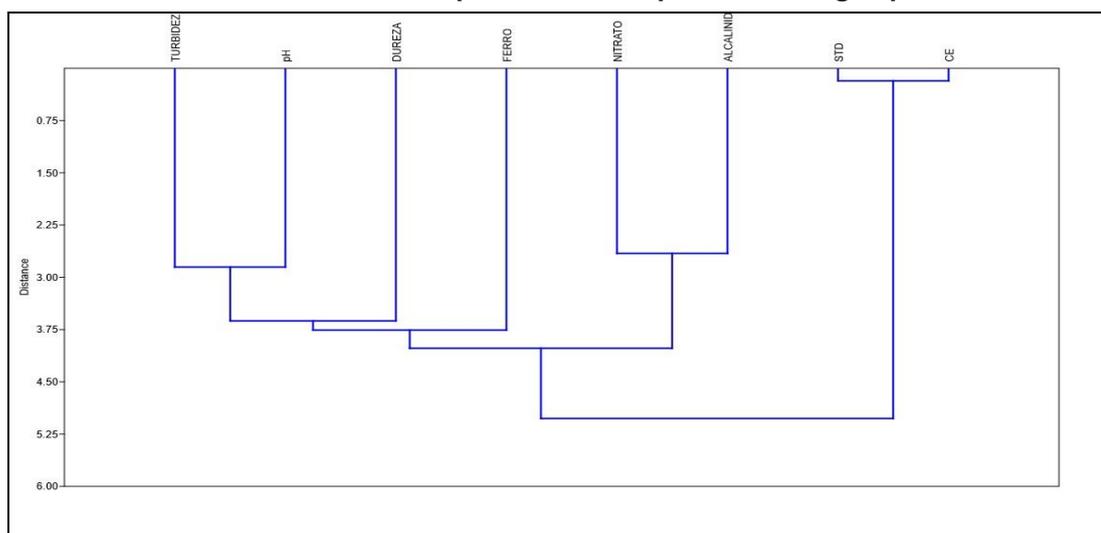
P 26	São Francisco
P 27	São Domingos Sávio
P 29	São Pedro
P 36	Nova Esperança
P 40	Conjunto Habitacional Rio Madeira

Fonte: Própria autoria (2019).

Através do teste das análises de clusters a figura 27 mostra as similaridades entre os parâmetros de qualidade da água. A Turbidez é um parâmetro estético de qualidade da água, porém pode causar o sintomas de vômito e diarreia por servir de meio para proliferação de organismos patogênicos, e ficou próxima ao pH, houve também associação entre o Nitrato x Alcalinidade e Sólidos Totais Dissolvidos x Condutividade Elétrica.

A turbidez da água na questão sanitária e de saúde, pode causar esses sintomas nos humanos, desde que às partículas sólidas em suspensão diminuam a transparência da água por processos erosivos, presença de detritos orgânicos, por ações antrópicas ou pelo contato com os esgotos domésticos. Além disso reduz a eficiência da cloração devido ao efeito escudo atribuído aos microrganismos patogênicos, impedindo a ação da desinfecção (BRASIL, 2014).

Figura 25. Análise de Clusters entre os parâmetros de qualidade da água para o ano de 2017.

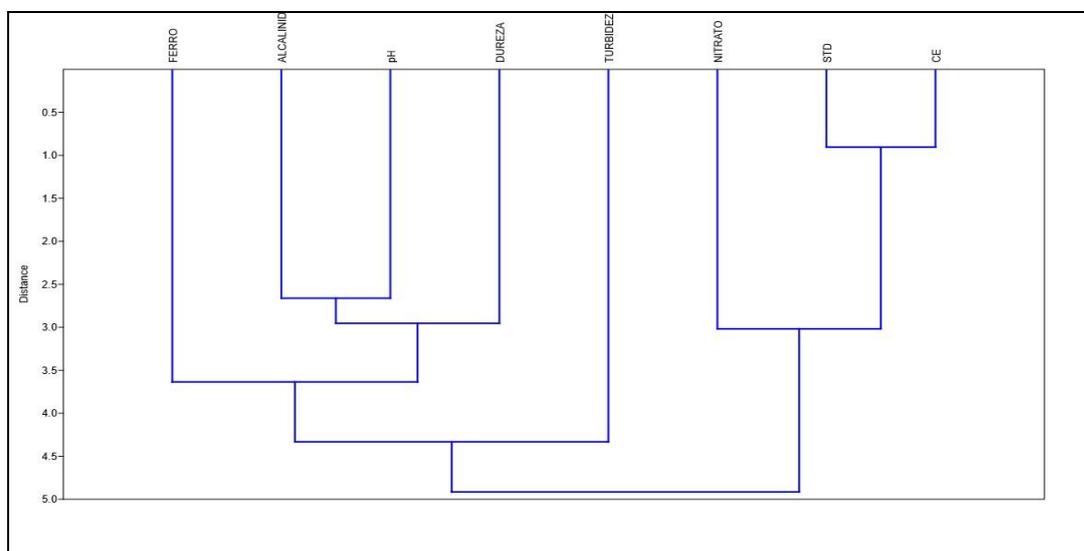


Fonte: Própria autoria (2019).

A figura 28 mostra a associação entre os parâmetros de qualidade da água para o período de chuva de 2018. Nessa figura há proximidade entre a Alcalinidade x pH e Sólidos Totais Dissolvidos x Condutividade Elétrica.

Para os valores de pH que representam a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da presença de íons hidrogênio (H⁺), observou-se que não ocorreu distinções dentre os períodos investigados, conforme tabela apresentada por Ferreira (2018), para o período de chuva de 2018.

Figura 26. Análise de Clusters entre os parâmetros de qualidade da água para o período de chuva 2018.



Fonte: Própria autoria (2019).

6.4 Análise de laboratório

Foram enviadas ao laboratório as amostras das coletas de água de dois poços um raso e um considerado profundo para o perímetro urbano do município de Humaitá-AM, com profundidade respectivamente de 36 e 104 metros. A tabela 11, apresenta os resultados das amostras coletadas no poço PT17 e poço do Porto Passarão.

De acordo com os limites permitidos pela Portaria de Consolidação N° 5/2017, o parâmetro de pH está abaixo do valor recomendado para consumo humano em todas as amostras, e na primeira coleta para o período de chuva, houve presença de Coliformes e *E. coli*, isso pode ser atribuído a falta de cuidados com a contaminação das amostras durante a coleta ou foram contaminadas durante o envio para o laboratório.

O valor de pH no período de chuva pode ser interpretado pela característica dinâmica dos lençóis freáticos que se localizam em baixas profundidades e possuem influência direta da alta precipitação pluviométrica que propicia a percolação dos contaminantes devido aos terrenos arenosos (SILVA et al, 2009). É possível deduzir que devido ao clima tropical da região norte, a degradação da matéria orgânica é mais intensa na fase anaeróbica, favorecendo a produção de ácidos orgânicos e, por conseguinte pHs mais ácidos.

Não ocorreram alterações na escala do pH devido a fraca atividade de organismos no consumo do oxigênio durante as reações com a matéria orgânica, nas quais geram gás carbônico dissolvido, ou por não ocorrer dissolução de rochas e também não haver contato com despejos domésticos, pois o valores obtidos não ultrapassaram 5,0 (SILVA et al., 2017).

Tabela 11. Resultado laboratorial do poço raso e profundo.

Parâmetros	Poço PT17 (36 m)				Passarão (104 m)				PRC n°5
	Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	
pH	4.66	4.78	4.25	4.14	4,47	4,45	4,8		6 - 9
Cor (uH)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	0,1	0,1		≤ 15
Turbidez (UNT)	0.32	0.32	0.2	0.25	0,12	0,12	0,1		≤ 5
Alumínio (mg L⁻¹)	0.04	0.06	0.04	0.04	0,18	0,15	0,19		0,2
Manganês	0.26	0.2	0.3	0.2	0,01	0,01	0,01		1,0
Nitrito (mg L⁻¹)	0.001	0.06	0.001	0.001	0,08	0,06	0,08		0,1
Ferro (mg L⁻¹)	0.07	0.01	0.06	0.05	0,01	0,01	0,01		0,3
Nitrato (mg L⁻¹)	3.14	3.23	2.25	2.24	2,94	2,96	2,28		10
Condutividade Elétrica (µScm⁻¹)	70.7	69.8	71.2	70.6	72,7	71,8	70,8		SVR
Coliformes Totais (Ausência/100 ml)	2.4 x 10 ²	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		Ause nte
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	1.6 x 10 ²	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		SVR
<i>Escherichia Coli</i> (Ausência/100ml)	8.0 x 10 ²	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		Ause nte

SRV = Sem valor de referência; PRC = Portaria de Consolidação n° 5 de 2017 do Ministério da Saúde.

Fonte: Própria autoria (2019).

6.5 Sintomas comuns das doenças de veiculação hídrica no município de Humaitá-Am.

Neste trabalho foi possível levantar informações sobre casos notificados de internações por sintomas mais comuns de infecção por suspeitas de doenças veiculadas pela água, quando a mesma está contaminada ou fora dos padrões legais para consumo, também sobre a situação do saneamento básico e abastecimento de água no município de Humaitá-AM.

Na figura 29 apresenta-se o número de atendimentos mais graves notificados para os sintomas de vômito, observa-se que durante os anos de 2014 e 2015, a cidade de Humaitá-AM apresentou um índice elevado para esse sintoma de doença que pode ser provocado por veiculação hídrica em todos os bairros. Não se pode descartar a hipótese por infecção viral, pois os sintomas da gripe também apresentam semelhanças com os sintomas de doenças de veiculação hídrica.

Nos anos seguintes houve uma redução nesses índices, fator que pode ser atribuído as ações de prevenção por meio da aplicação de hipoclorito de sódio na água a ser consumida. Outro fator relevante está no consumo de água mineral que também diminui as chances de se consumir água contaminada, bem como a fervura para matar os microrganismos que possam acarretar danos à saúde.

Já a figura 30 mostra o número de pessoas atendidas para os anos de 2014 até os meses de janeiro e fevereiro do ano de 2019, apresentando um quadro clínico de diarreia e desidratação a qual foi necessário internar esses pacientes para observação e acompanhamento médico.

No intervalo de tempo entre os anos de 2014 até os 2 primeiros meses do ano de 2019, foi observado um crescimento nos casos de internação entre os anos de 2014 e 2015, e isso pode estar associado ao fenômeno da cheia histórica ocorrida no município de Humaitá no ano de 2014.

Ou de acordo com Ferreira, (2017) pode estar relacionada a falta de saneamento básico, no município de Humaitá, que situa-se abaixo das médias nacionais e isto pode também ser evidenciado observando-se os registros do SNIS e Trata Brasil, utilizados como comparativa.

O bairro com mais vítimas é o Nossa Senhora do Carmo, está localizado as margens do Rio Beem, cujo alguns parâmetros de qualidade da água já foram

estudados por Peixoto et al., (2014) e Soares, et al., (2018), estes trabalhos encontraram valores de oxigênio dissolvido respectivamente com 7,0 e 3,9 em diferentes pontos do rio. Segundo O'Connor (1967) a presença de altas concentrações de OD indicam que não há presença de matéria orgânica. Além desse parâmetro também foi constatada concentrações de coliformes totais, termotolerantes e *E. coli*.

Segundo o IBGE, (2010) o Índice de Progresso Social Amazônia (IPS) de Humaitá apresentou um valor de 40,10, número considerado distante dos valores dos melhores municípios colocados em se tratando de água e saneamento básico para a totalidade de residências da zona urbana que recebe abastecimento de água.

Esses fatos podem estar associados ao evento da grande cheia ocorrida nos municípios banhados pelo rio Madeira, em especial o município de Humaitá – AM, no ano de 2014, no qual diversas famílias foram prejudicadas, ficando desabrigadas e dependentes da ajuda da população em geral e dos recursos provenientes do município para este fim.

Durante os anos de 2014 e 2015, algumas famílias ribeirinhas foram alojadas em escolas e casas de parentes localizadas nos bairros do município de Humaitá, como consequência dessa migração o número de atendimento hospitalar cresceu, contribuindo gradativamente para o aumento nos casos de vômito e diarreia diagnosticados para estes anos.

Na época, ficou evidente que alguma coisa deveria ser feita imediatamente após as águas invadirem as regiões centrais da cidade, mas, como ficou claro, estas ações serviram apenas para sanar o problema naquela situação. Logo após o período de cheia, várias famílias retornaram aos locais anteriormente ocupados e que foram invadidos pelas águas, expondo-se às mais diversas doenças, como leptospirose, verminoses, dentre outras doenças de veiculação hídrica.

A diminuição de casos de doenças diarreicas está relacionada ao consumo e acesso aos serviços públicos de abastecimento de água, desde que os mesmos sejam feitos de forma correta e com tratamento, diminuindo assim a probabilidade de ocorrências, já que os padrões estabelecidos garantem a qualidade da água para consumo humano. No trabalho realizado no município de Humaitá-AM, por Ferreira, (2017) também foi observado uma redução nos casos de diarreia entre os períodos de 2016 até 2017.

Com isso as ações pontuais e campanhas de saúde podem ser aplicadas no intuito de esclarecer a população sobre a importância de evitar doenças pelo consumo de água contaminada, bem como as causas dessas doenças e ações de prevenção das mesmas. Estas ações foram vistas através da vigilância epidemiológica no município, mas não apresentam nenhum dado publicado a respeito dessas informações de orientação para a população.

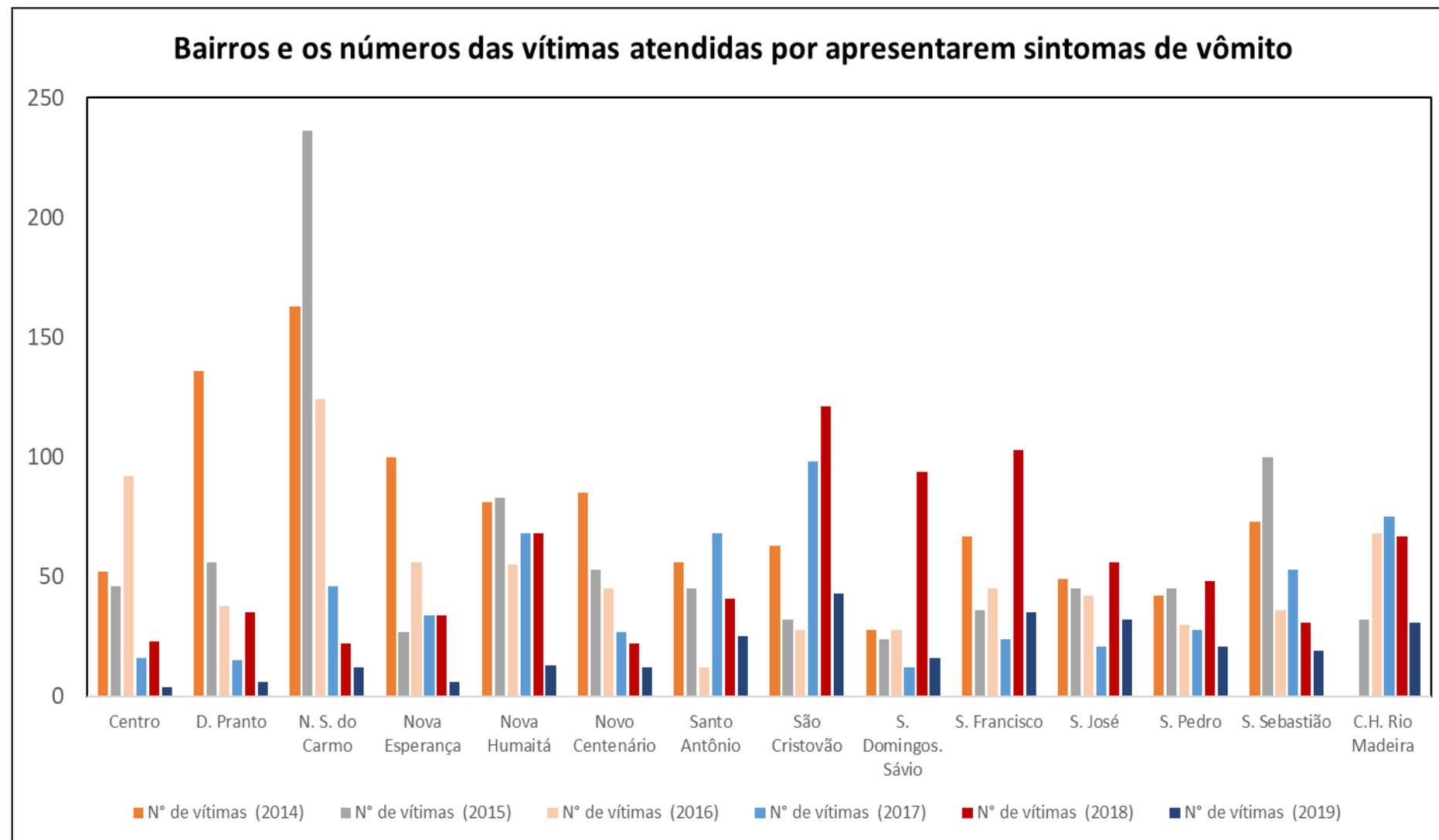
Todavia os bairros recebem água extraída do subsolo, as quais são armazenadas em caixas apoiadas e elevadas e distribuídas por sistemas de recalque. É comum o racionamento de energia no município devido à manutenção frequente do conjunto gerador da Termoelétrica, influenciando na rotatividade de distribuição de águas para as residências.

De acordo com Tartari et al., (2015) isso torna a situação preocupante, pois no perímetro urbano foi observado não haver reservatórios d'água para armazenamento em 80% das residências e os que possuem reservatório, 70,7% não têm controle de nível nas caixas de água através de boias e apenas 50,5% possuem registro geral, e ainda 12% dos reservatórios não possuíam tampa, deixando exposto ao tempo, ao livre acesso de pássaros, insetos entre outros.

Em relação à manutenção de limpeza dos reservatórios de acordo com o mesmo autor, 20% realizam a limpeza periódica a cada 6 meses, 8% mensalmente e o restante não souberam responder quando tinham limpo pela última vez. Observou-se que a rede de água de distribuição em determinados locais, possui tubulação com emendas e remendos que atravessam valas de lançamento de esgoto residencial, colocando em risco e favorecendo a contaminação da água que não é tratada antes de ser distribuída.

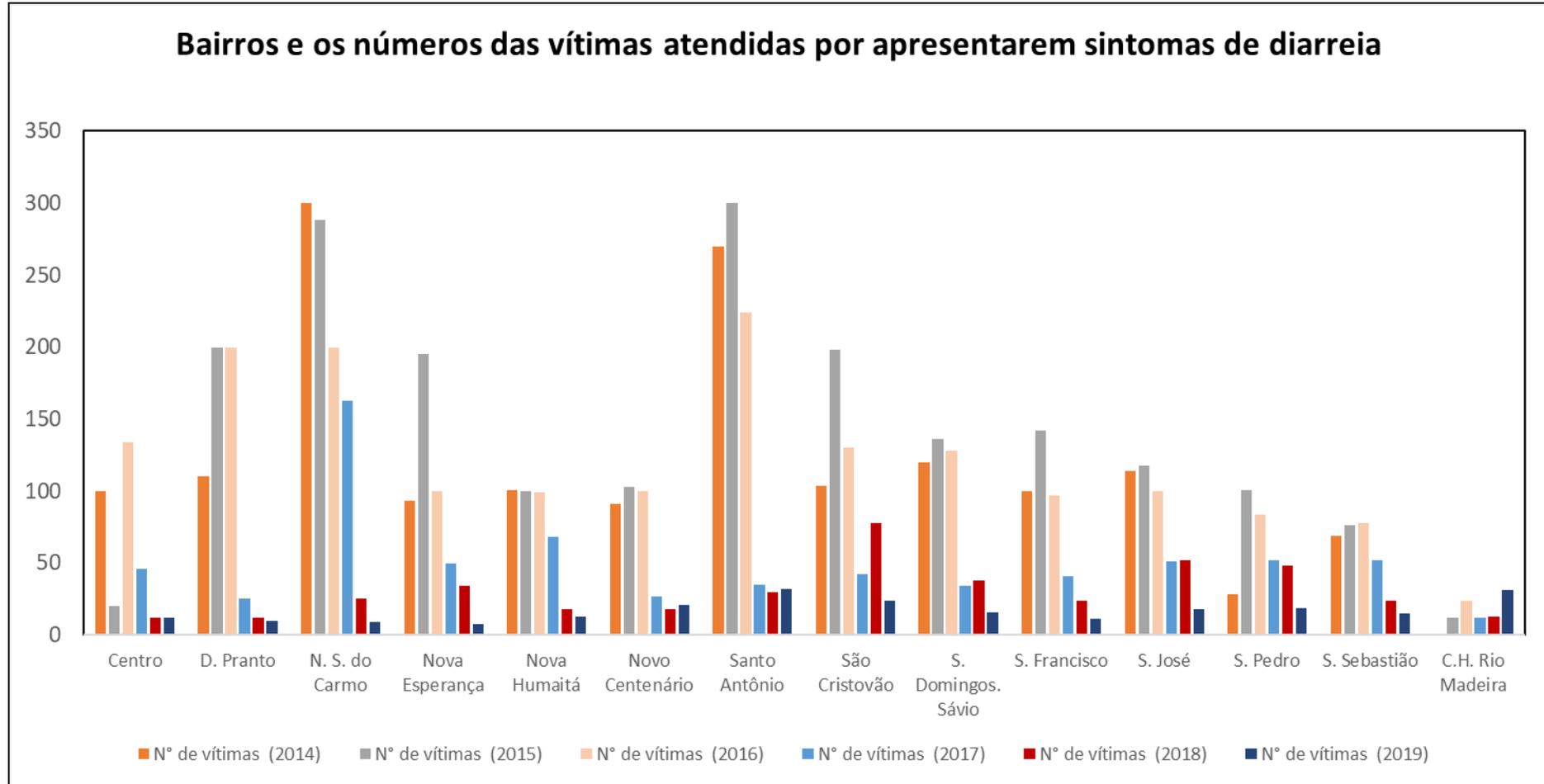
Vale ressaltar que os casos diagnosticados por suspeitas de doenças de veiculação hídrica, também podem ser atribuídos a infecção viral, além de estarem associados a falta de higiene dos munícipes, como exemplos: o simples ato de não lavar as mãos antes das refeições, não lavar os alimentos, não limparem seus reservatórios e tubulações de água frequentemente, são fatores que também contribuem para apresentação desses sintomas, podem levar a uma doenças mais graves-como a leptospirose, cólera, esquistossomose, entre outras.

Figura 27. Vítimas atendidas no Hospital de Urgência e Emergência do município de Humaitá-AM.



Fonte: Própria autoria (2019).

Figura 28. Vítimas de diarreia atendidas no Hospital de Urgência e Emergência do município de Humaitá-AM



Fonte: Própria autoria (2019).

Quando se trata do índice de doenças diarreicas por bairros, os bairros de Nossa Senhora do Carmo e Santo Antônio se destacam dos demais por apresentar alto índice de notificações. Além destes bairros, os bairros do Divino Pranto, Nova Esperança, Santo Antônio, São Cristóvão, São Domingos Sávio, São Francisco e São José apresentaram mais de 100 atendimentos por doenças diarreicas no município no ano de 2015.

A pesquisa realizada por Ferreira, (2017), afirma que no ano de 2014 os bairros que apresentaram mais de 100 casos, foram Nossa Senhora do Carmo, São Cristóvão, São Domingos Sávio e São Francisco.

Desta forma, as ações pontuais de prevenção ao sintoma de diarreia na população, são aplicadas anualmente pela vigilância epidemiológica municipal, mas os dados registrados sobre essa questão até o momento nunca foram publicados. Estes dados são fundamentais para que a tomada de decisões acerca deste problema seja feita, através de ações que incentivem a população a práticas saudáveis que irão colaborar com a diminuição das doenças diarreicas no município.

Conforme o artigo 12 da Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011, compete a Secretaria de Saúde do município medidas de fiscalização e monitoramento da qualidade da água para abastecimento humano, onde o setor de vigilância sanitária possui o programa de Vigilância da Água (VIGIAGUA), essa mesma portaria foi atualizada para a Portaria de Consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017, responsável por consolidar as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

6.6 Análise das Principais Componentes (PCA)

Foi realizada a análise PCA afim de verificar as variáveis que podem estar influenciando na qualidade da água dos poços considerando a relação com os casos de vômito e diarreia identificados.

Na tabela 12, observa-se pela análise das principais componentes entre os parâmetros estudados a soma da variância para o período seco de 62,3% e no período de chuva com 71,23%.

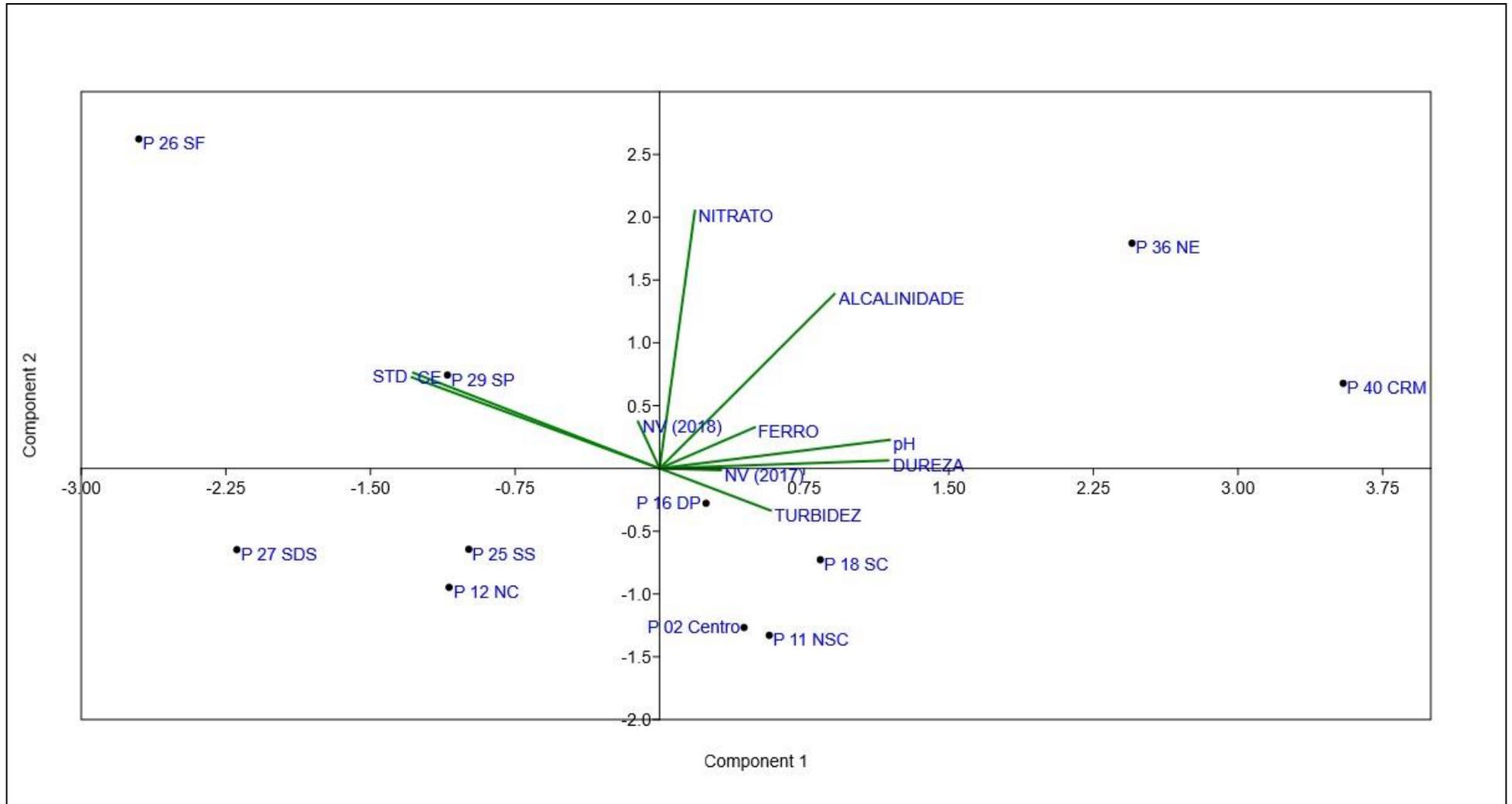
Tabela 12. Principais componentes para os períodos seco de 2017 e chuva 2018.

PC (seco)	Autovalor	% variância	PC (chuva)	Autovalor	% variância
1	3.53304	42.297		3.58113	42.873
2	1.68157	20.132		2.36935	28.366
3	1.44429	17.291		0.798524	9.5599
4	0.902011	10.799		0.707769	8.4733
5	0.407649	4.8803		0.365998	4.3817
6	0.210486	2.5199		0.276938	3.3155
7	0.084988	1.0175		0.1665	1.9933
8	0.06757	0.80894		0.057698	0.69076
9	0.020666	0.24741		0.025143	0.30101
10	0.00061	0.007302		0.003838	0.045947

Fonte: Própria autoria (2019).

A figura 31, apresenta os eixos das principais componentes entre as variáveis de qualidade da água que possivelmente tem relação aos sintomas de vômitos para os períodos de seca de 2017 e chuva de 2018. Nessa figura de acordo com a análise multivariada das principais componentes, observa-se que os parâmetros que mais se aproximam dos poços estudados, são: CE e STD para o poço P29 no bairro São Pedro e Turbidez para os poços P16 Divino Pranto e P18 São Cristóvão. Portanto, estes três parâmetros são indicadores da qualidade da água subterrânea nos respectivos poços, se os mesmos forem alterados podem vir a interferir na qualidade da água dos poços avaliados.

Figura 29. PCA, entre os parâmetros de qualidade da água em relação aos casos de vômitos no período seco de 2017 e 2018



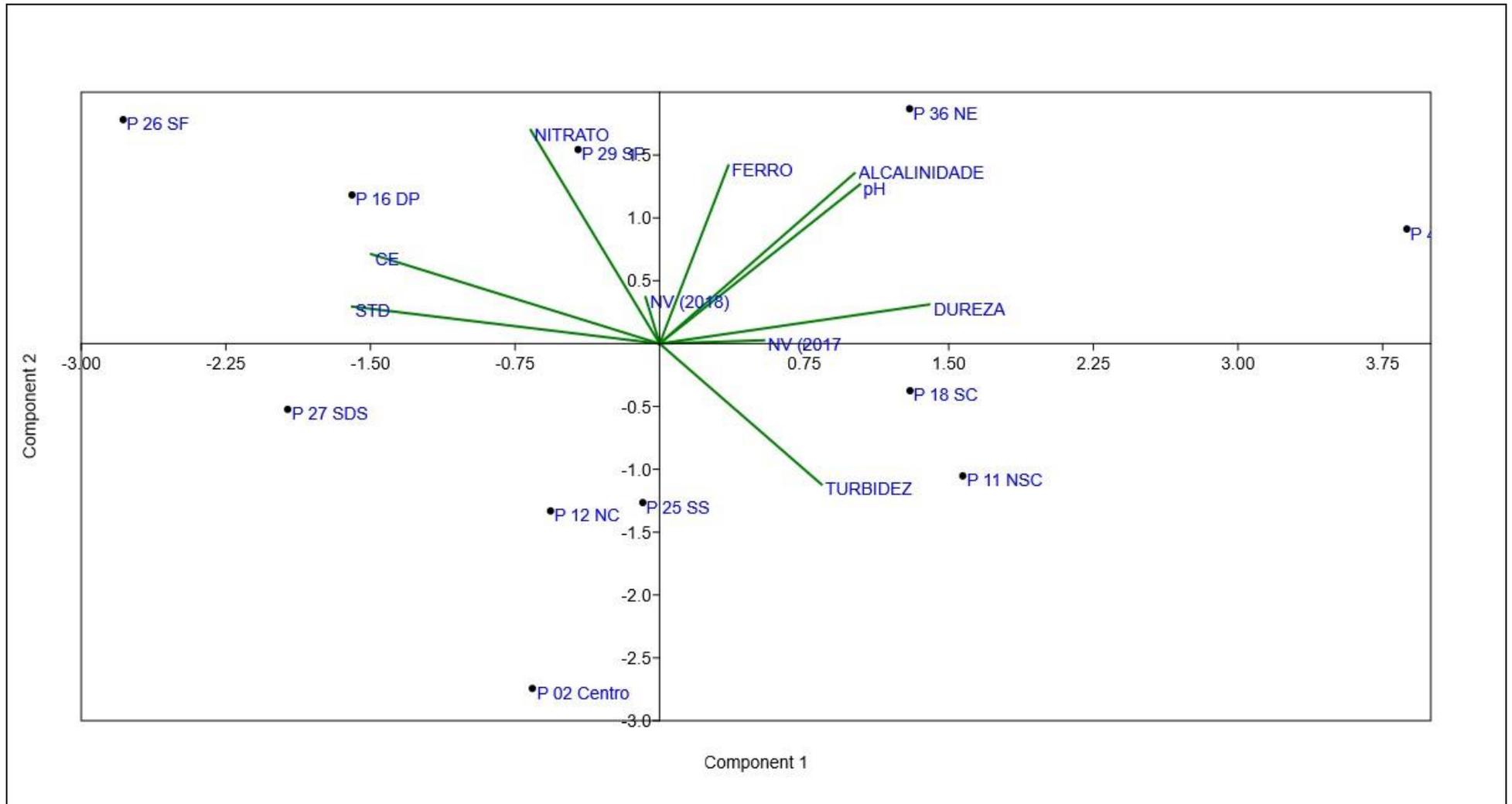
Fonte: Própria autoria (2019).

A figura 32 apresenta o resultado das componentes principais, para os possíveis casos notificados para os sintomas de diarreia, ocorridos entre os períodos de seca de 2017 e chuva de 2018, no município de Humaitá-AM. Nota-se que de acordo com a análise multivariada das principais componentes, observa-se que os parâmetros que mais se aproximam dos poços estudados, são: CE e STD para o poço P16 no bairro Divino Pranto, Nitrato P29 no bairro São Pedro; Alcalinidade e pH no P36 bairro Nova Esperança e Turbidez P11 no bairro Nossa Senhora do Carmo. Estes parâmetros são indicadores da qualidade da água nos respectivos poços, portanto se estes forem alterados podem influenciar na qualidade da água subterrânea.

De acordo com as análises realizadas não é possível associar os casos de vômito e diarreia com a qualidade da água subterrânea. No entanto, podem estar relacionados a distribuição da água, pois existem muitos problemas na tubulação como exemplo a oxidação nas tubulações de captação da água, fissuras na rede distribuição, pois as mesmas são de metal fundido, além dos problemas de saneamento básico, como exemplo falta de coleta e tratamento de esgoto na cidade de Humaitá.

A maioria dos poços de abastecimento da área urbana apresentam tampas de madeira, as paredes externas são revestidas por concreto ao redor do poço. Também foi realizado o levantamento de informações sobre o sistema de esgotamento sanitário, o qual se resume em valas abertas com tubulações de concreto, as residências que possuem fossas rudimentares estão a menos de 15 metros da localização da maioria dos poços de abastecimento do município e as que não possuem fossas, despejam seus efluentes diretamente nas valas ou nos igarapés que cruzam o perímetro urbano da cidade, aumentando o risco de contaminação da água subterrânea deste município.

Figura 30. PCA para sintoma de diarreia entre os parâmetros de qualidade da água no período de seca no ano de 2017 e chuva no ano 2018.



Fonte: Próprio autoria (2019).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do SAPQA em um período de 40 dias mostrou que é possível realizar monitoramento utilizando material de baixo custo e com boa precisão. Porém recomendam-se mais testes em campo, pois o protótipo construído apresentou instabilidade. No entanto os problemas foram solucionados e o sistema foi estabilizado automaticamente.

Existem correlações significativas fracas e fortes tanto negativas quanto positivas entre os parâmetros no períodos estudados nos anos de 2017, 2018 e 2019, reforçando a influência de cada parâmetro em relação a qualidade da água subterrânea na cidade de Humaitá.

Os valores de pH são baixos quando comparados com os estabelecidos pela PC N° 5/2017, as características específicas da região em estudo devem ser levadas em consideração quando comparadas com essa norma. E este fato reforça a ideia de solicitar alteração das legislações, para esse parâmetro após tratamento convencional, quando se trata da região Amazônica. Devido aos valores baixos de pH ocorrem corrosões e danificações nas tubulações da rede de distribuição da água, bem como a presença de ferro do solo, quando em contato com o oxigênio do ar provoca a cor avermelhada na água prejudicando algumas atividades domésticas e o consumo de água.

Os parâmetros microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*) no poço PT17, área urbana encontraram-se dentro dos Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano, exigidos pela PC N° 5, pois o mesmo apresentou ausência para este indicador de qualidade.

De acordo com os resultados laboratoriais a água para o consumo no município de Humaitá é considerada boa, porém deve-se ter cuidados de higiene pessoal e material, quando se tratar da ingestão desse recurso natural.

A grande enchente ocorrida no ano de 2014, pode por inferência ter alterado algum parâmetro de qualidade da água subterrânea, visto que o espaço temporal não possui dados de coletas de amostras para avaliação.

Neste estudo foi possível diagnosticar que não há relação direta dos parâmetros físico e químicos, com os casos notificados por suspeita de contaminação por ingestão de água na unidade de saúde municipal. No entanto a sugestão seria continuar as investigações, levando em consideração a influência

desses parâmetros em doenças crônicas, tais como gastrite, úlcera, refluxo intestinal, entre outras.

Neste estudo pelo método das PCA, a alteração dos parâmetros de CE, turbidez, STD, Nitrato, Alcalinidade e pH, podem contribuir para tornar o ambiente propício para microrganismos patogênicos causadores dos sintomas de doenças de veiculação hídrica na cidade de Humaitá-AM.

Portanto, esta pesquisa revelou-se de grande importância e servirá de base para outras envolvendo inovações tecnológicas no monitoramento de variáveis ambientais para a cidade de Humaitá-AM

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Ciclo hidrológico. 2007;

ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, I. N.; MATTA, M. A. S. O Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2013.

ALLOUCHE, N.; MAANAM, M.; GONTARA, M. ROLLO, N. A global risk approach to assessing groundwater vulnerability. *Environmental Modelling and Software*, v. 88, p. 168–182, 2017.

ALVARADO, A.; ESTELLER, M. V.; QUENTIN, E.; EXPOSITO, J. L. Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. *Water Resources Management*, v. 30, n. 4, p. 1549–1566, 2016.

AMARAL, L. A.; NADER FILHO, A. ROSSI JUNIOR, O. D.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. Água de consumo humano como fator de risco a saúde em propriedades rurais. *Rev. Saúde Pública. São Paulo*. 37(4) 510-514. 2003.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard Methods of the Experimentation of Water and Wasterwater*. New York: 21 ed. 1085p. 2003;

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água: panorama nacional. Brasília: Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, 2010;

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental . -- Brasília: ANA, 2017.

ARDUINOECIA. Disponível no site:<https://www.arduinoecia.com.br/2015/11/acessar-internet-arduino-gsm-shield-sim900.html>>. Acesso em 15 de abr. de 2018;

BANZI, M. et al. Site Arduino. 2005. Disponível em <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em: 26 abr. 2018;

BANZI, M. Primeiros Passos com o Arduino, Novatec Editora Ltda, São Paulo, 2011;

BARBALHO, C. R. S. Metodologia do trabalho científico: normas para a construção de trabalhos acadêmicos / Célia Regina Simonetti Barbalho; Milene Miguel do Vale; Suely Oliveira Moraes Marquez. Manaus: EDUA, 2017.

BARROSO, P. A.; NOMANDO, M. N.; VALLE, C. M. Avaliação de parâmetros de qualidade de aquíferos em Manaus/AM. Anais do I Congresso de Ciência, Educação e Pesquisa Tecnológica, 2015.

BARROS, Wagner B. Sistema de Automação Veicular com Arduino e Andróid. 2012. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas para Internet) - Centro Universitário Adventista de São Paulo, São Paulo, 2012;

BERTOLO, R; HIRATA, R; FERNANDES, A. 2007. Hidrogeo - química das águas minerais envasadas do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, p. 515-529.

BORGES, G. B. C.; BORTONI, E. C.; ALMEIDA, R. A. Avaliação de tecnologias para o monitoramento de águas subterrâneas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.

BOTNROLL Disponível no site: < <http://www.botnroll.com/pt/biometricos/2384-gravity-analog-electrical-conductivity-sensor-meter-for-arduino-.html>> Acesso em 15 de abr. de 2018;

BRANCO, S. M. Água: origem, uso e preservação. São Paulo: Moderna, 2001.

BOTTI, N. H. Resfriamento e Aquecimento Geotermico. NSB Climatização Ltda. [S.l.]. 2016.

BOUWER, H. Ground Hydrology. New York, McGraw-Hill Book Co. 480p.1978;

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 561p. 1978;

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

BRASIL. Resolução Conama nº 396, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS /Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: FUNASA, 2014.

BRASIL. Conjunto de Normas Legais: recursos hídricos. Resoluções do CNRH. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos hídricos, 4 ed., Brasília: MMA, 2015;

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 23 de janeiro de 2018.

BUENO, K. T. L.; PEREIRA FILHO, R. D. Arduino como plataforma para ensino de controle fuzzy em engenharia. Conference Paper. September 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/263469336>>. Acesso em: 02 de mai. de 2018;

CAJAZEIRAS, C. C. A. Qualidade e Uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE, 131 f. il, 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza, agosto, 2007;

CAMPOS, M. C. C. Caracterização e gênese de solos em diferentes ambientes fisiográficos na região Sul do Amazonas. Goiânia: Editora da PUC Goiás, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. Acta Amazônica, v.42, n.3, p.387-398, 2012;

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários / Egmont Capucci...[et al]. -- Rio de Janeiro: SEMADS 2001.70p.: il.ISBN 85-87206-11-7Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ;

CASTRO, D. L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE. Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n.3. 18p. 2008;

CASTRO, E. H.; SILVA, J. L.; FORMIGA, O. J. Estudo preliminar da potabilidade da água, para o consumo, da rede de abastecimento do município de Humaitá-AM. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste, 2016.

CAVALCANTI, M.; CRISTÓFOLI, F. A importância do planejamento estratégico na utilização da água no Brasil. IX Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007.

CAVALCANTE, S; ELALI. G. A. (Organizadoras) – Temas básicos em Psicologia Ambiental. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais | Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. 2013.

CLEARY, R. W. Águas subterrâneas. Disponível gratuitamente em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>>. Clean Environment Brasil, outubro de 2007.

COHASB - COMPANHIA HUMAITAENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Relatório técnico dos poços. Humaitá, p.2 2015 (Relatório não publicado).

CORTECCI, G. Geologia e Saúde – Tradução de Wilson Scarpelli, São Paulo, p. 30, 2002;

COSTA, T. A. C. R.; OLIVEIRA, B. O. S.; VALENTE, K. S. Avaliação da qualidade de águas de poços cacimbas e rasos no município de Humaitá-AM. Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente. Ano 10, Vol XX, Número 1, Jan-Jun, Pág. 157 – 172, 2018.

CPRM. Monitoramento hidrológico. Boletim nº 04/2010, Manaus. Manaus: CPRM, 2010;

CSD. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report of the Secretary-General. United Nations Economic and Social Council, 1997a. Disponível em:<<http://www.un.org/documents/ecosoc/cn17/1997/ecn171997-9.htm>>. Acesso em 15 de mai. de 2018;

CSD. Overall Progress Achieved Since the United Nations Conference on Environment and Development. Report of the Secretary-General. Addendum Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources: Application of Integrated Approaches to the Development, Management and Use of Water Resources. United Nations Economic and Social Council. 1997b. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ecosoc/cn17/1997/ecn171997-2add17.htm> [Geo-2-118]>. Acesso em: 15 de mai. de 2018;

CUNHA, B. P.; AUGUSTIN, S.; LIMA, L. G. D.; COSTA, N. R. A. Os saberes ambientais, sustentabilidade e olhar jurídico [recurso eletrônico]: visitando a obra de Enrique Leff / organizadores Belinda Pereira da Cunha ... [et al.]. – Caxias do Sul, RS: Educs, 2015;

D'AGUILA, P. S.; ROQUE, O. C. C.; MIRANDA, C. A. S; FERREIRA, A. P. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do município de Nova Iguaçu. *Cad. Saúde Pública*. Rio de Janeiro. 16(3). 791-798. 2000.

DE OLIVEIRA, K. A.; CORONA, H. M. P. A percepção ambiental como ferramenta de propostas educativas e de políticas ambientais. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 1, n. 1, 2011.

DO EGITO, T. B.; FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 19, p. 209–221, 2015.

DUARTE, M. L.; ZANCHI, F. B.; NEVES, J. R. D.; COSTA, H. S.; JORDÃO, W. H. C. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 2, p. 402-413, 2016;

DUGAN, P.J.; JONES, T. Ecological Changes in Wetlands: A Global Overview. In M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessems (eds.), *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s: A Global Perspective*. Slimbridge, United Kingdom, International Waterfowl and Wetlands Research Bureau. 1993;

ELECTROTEKMEGA . Disponível no site: < <http://electrotekmega.com/producto/kit-sensor-de-ph-analogico/>>. Acesso dia 15 de abr. de 2018;

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USA. Tecnologia e inovação da água. Disponível em: <<https://www.epa.gov/water-innovation-tech>>. Acesso 27 de maio de 2019.

FELLENBERG, G. Introdução aos problemas de poluição ambiental. Traduzido por Juergen Henrich Maar. São Paulo: Springer, 1980.

FERREIRA, D. M. M. Percepção ambiental dos moradores da zona urbana de Humaitá-Am: Relações com as condições de saneamento básico. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Federal do Amazonas, 2017.

FERREIRA, A. J. M.; REIS, L. M. I.; AGUILA, J. L.; SILVA, S. A. M. da. Auditoria operacional e ambiental em sistemas públicos de abastecimento de água do Amazonas, TCE/AM2015. Disponível em: < <http://consulta.tce.am.gov.br/spede> e informe o código: 6490030A-6C68FEE5-70AB43FE-451ECEA5>. Acesso em 16 de fev. de 2018;

FERREIRA, L. A. Influências ambientais e antrópicas na qualidade das águas subterrâneas no município de Humaitá-AM. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Federal do Amazonas, 2018

FERRONI, E. H.; VIERIA, H. R.; NOGUEIRA, J. H.; SANTOS, R. K. C.; LEMOS, R. M.; RODRIGUES, T. B. Plataforma Arduíno e suas aplicações. Centro Universitário do Sul de Minas UNIS-MG, 2015;

FETH, J. H. Water facts and figures for planners and managers. U. S. Geological Survey Circular 601-1, Washington, D. C., 30p. 1973;

FILHO, D. F. Tecnologia de água. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1984.

FILHO, J. L. A.; BARBOSA, M. C.; GOUVEIA, S. A.; MACIEL, A. C. O Papel das Águas Subterrâneas como Reserva Estratégica de Água e Diretrizes para a sua Gestão Sustentável. Revista Recursos Hídricos, v. 32, n. 2, p. 53–61, 2011.

FINLAYSON, C.M.; DAVIDSON, N.C.; SPIERS, A.G.; STEVENSON, N.J. Global wetland inventory - current status and future priorities. Marine and Freshwater Research 50, 8, 717–28. 1999;

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Servemar, p. 15-81, 2006;

FREE, R. A.; CHERRY, J. A. Groundwater. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., p. 604, 1979;

FREEZE, A. R.; CHERRY, A. J. Águas subterrâneas; tradução de Everton de Oliveira. [et al]; Everton de Oliveira (Coord). – São Paulo (SP): Everton de Oliveira, 2017;

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

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. Brasília: MS/Funasa; 2004;

FUSATI. Filtros de água. Grupo Fusati, 2018. Disponível em: <<https://fusati.com.br/metais-em-excesso-no-organismo-o-perigo-para-saude/>>. Acesso em 02 de julho de 2019.

GLEICK, P. H.. Water and conflict: fresh water resources and international security. International Security, Cambridge, v. 18, n. 1, p. 79-112, 1993b.

GLEICK, P.H. The World's Water 1998-1999. Washington DC, Island Press INBO (2001). INBO Home Page. International Network of Basin Organizations. 1998; Disponível em: <<http://www.oieau.fr/riob/friobang.htm>>[Geo-2-120]>. Acesso em 15 de mai de 2018;

GORAI, A. K.; KUMAR, S. Geostatistics : An Overview Spatial Distribution Analysis of Groundwater Quality Index Using GIS : A Case Study of Ranchi Municipal Corporation (RMC) Area. Geoinformatics & Geostatistics: An Overview Research, v. 1, n. 2, p. 1–11, 2013.

GRABOW, W. Waterborne diseases: update on water quality assessment and control. *Water S.A*;22:193-202. 1996

GWP – Global Water Partnership. 2000. Towards Water Security: A Framework for Action. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden 2000;

HACHOUCHE, A. S. Apostila arduino básico V1.0. 2018. Disponível em: <<http://apostilas.eletrogate.com>>. Acesso em 03 de mai. de 2018;

HARCKENHAAR, W.; MAZZAFERRO, J. A. E.; GONZALEZ, A. R.; MACHADO, I. G. Influência da Vazão e Geometria da Região de Entrada Sobre a Eficiência Térmica Medida por um Calorímetro de Fluxo Contínuo de Água. *Soldagem & Inspeção*. 2016;21(3):269-281 <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2103.03>.

HAIDER, H.; AL-SALAMAH, I. S.; GHUMMAN, A. R. Development of Groundwater Quality Index Using Fuzzy-Based Multicriteria Analysis for Buraydah, Qassim, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 42, n. 9, p. 4033–4051, 2017.

HALL, J. Descriptions and figures of the organic remains for the Lower Hilderberg Group and the Oriskany Sandstone. *Geologic Survey of Albany, Paleontology*, 3, 544 p. 1859;

HELLER, L. Pesquisa em saúde e saneamento no DESA/UFMG: base conceitual e projetos desenvolvidos. In: SEMINÁRIO SANEAMENTO E SAÚDE NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, Rio de Janeiro. *Anais ...*, Rio de Janeiro: CC&P Editores Ltda., 1997b. p.259-280. 1997,

HELLER, L. Abastecimento de água, Sociedade e Ambiente. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.) Abastecimento de água para Consumo Humano – Material didático para a disciplina Sistema de Abastecimento de Água do curso de Engenharia Civil da UFMG. Minas Gerais, DESA, 247 p. 2005

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico - Uma visão realista. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (Org) *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2.ed., São Paulo: Escrituras Editora. 703p. 2002.

HIRATA, R.; ZOBBI, J; FERNANDES, A; BERTOLO, R. 2006. Hidrogeología del Brasil: Una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas. Boletín Geológico y Minero, Madrid, v. 217, n.1, p. 25- 36.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; FERNANDES, A. Groundwater resources in the State of São Paulo (Brazil): Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 79, n. 1, p. 141–152, 2007.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. DE. Água Subterrânea: Reserva Estratégica Ou Emergencial. *Águas do Brasil: análises estratégicas*, p. 224, 2010.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J.; BERTOLO, R. As águas subterrâneas: longe dos olhos, longe do coração e das ações para sua proteção. *Acta Paulista de Enfermagem*, 2016.

HONORATO, T. Z.; COSTANZI, R. N. Qualidade de Controle Aplicada a Estações de Tratamento de Água. “Integrating cleaner production into sustainability strategies” São Paulo , Brazil, May 22 a 24, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da População (2016). Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 de Outubro de 2017;

IPAAM – INSTITUTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO AMAZONAS. Outorga de água, 2016. Disponível em: <www.ipaam.am.gov.br/outorga-de-agua/>. Acesso no dia 02 de mai. de 2018;

INMET (Plataforma de Coleta de dado). Disponível em: < www.inmet/pcd.com.br>. Acesso em: 09 de outubro de 2017;

KAVURMACI, M. Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, n. 18, 2016.

KEMKER, CHRISTINE. "Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids." *Fundamentals of Environmental Measurements*. Fondriest Environmental, Inc. 3 março, 2014.

LARGES, A. S. Sistema aquífero grande Amazônia: um estudo sobre a composição química das águas das cidades de Itacoatira e Manacapuru-AM. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, 2016

LEAL, A.S. As águas subterrâneas no Brasil. Ocorrências, disponibilidades e usos. O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL, CD-ROM. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas. ÁGUA), 1999.

LEONETI, A. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.

LI, X. Z. Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 55, p. 59–66, 2016.

LOPES, M. Folha do Meio Ambiente. nº. 94, p. 22 e 23, 1999;

LVOVITCH, M. I. Word water balance: general report. "Proc. Symposium Word Water Balance". *International Assoc. Sci. Hydrol.* 2. p. 401-415, 1970;

MACÊDO, J. A. B. Águas & Águas. São Paulo: Varela, 2001;

MACÊDO, J. A. B. Águas & Águas. 2. ed. Juiz de Fora: CRQ-MG, 2004;

MAIA, M. A. M. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus: CPRM, 275 p. 2010;

MAIER, M. H. Ecologia da bacia do Rio Jacaré-Pepira (47° 55'-48° 55' W; 22° 30' – 21° 55' S – Brasil). Qualidade da água do Rio Principal. *Ciência & Cultura*, 39 (2): p. 164-185. 1987;

MANSURE, A. J.; REITER, M. A vertical groundwater movement correction for heat flow. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, B7, July, 1979;

MARGOLIS, M. *Arduino Cookbook - Recipes to Begin, Expand and Enhance Your Projects*. O'Reilly. Sebastopol: 2011;

MARQUEZ, I. A. P.; LEZAMA, D. C. M.; KU-PECH, R. P.; TAMAY, S. P. Calidad sanitaria de los suministros de agua para consumo humano en Campeche. *Salud Pública Méx*;36:655-61. 1994.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 2, 2006;

MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação*. Esplanada dos Ministérios, Brasília, DF. 2017.

MCROBERTS, M. *Beggining Arduino*. Apres. Nova lorque: 2010;

MIDÕES, C.; FERNANDES, J. *Hidrogeologia água subterrânea conhecer para proteger e preservar*. Projeto nº P-IV-1052 do Programa Ciência Viva, 2006;

MIERZWA, J. C. *Uso racional e reuso como ferramenta para gerenciamento de água e efluentes na Indústria: estudo de caso Kodak Brasileira*. São Paulo: UPS, 2005)

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – MMA/SRHU, 2007. *Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília. 39 páginas.

MONK, S. *30 Arduino Projctets for the Evil Genius*. McGraw-Hill. Nova lorque: 2010;

MOTTA, É.; FRINHANI, E. M. D. Qualidade físico-química e microbiológica das águas subterrâneas dos municípios de ibicaré, lacerdópolis, ouro e capinzal. *Evidência, Joaçaba* v. 12 n. 1, p. 63-82, janeiro/junho 2012.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. *Sociedade & natureza*, v. 20, n. 1, p. 111-124, 2008.

NACE, R. L. Water management, agriculture, and groundwater supplies. U. S. Geological Survey Circular 415. Washington, D. C., 12p. 1960;

NACE, R. L. Scientific framework of word water balance, UNESCO Tech. Papers Hydrol. Ed. 7, p. 27, 1971;

NADIRI, A. A.; SEDGHI, Z.; KHATIBI, R.; GHAREKHANI, M. Mapping vulnerability of multiple aquifers using multiple models and fuzzy logic to objectively derive model structures. *Science of The Total Environment*, v. 593–594, p. 75–90, 2017.

NAIR, A.; ABDALLA, G.; MEHMED, I.; PREMKUMAR, K. Physicochemical parameters and correlation coefficient of ground waters of north-east Libiya. *Pollution Research*, v. 24, p. 1-6. 2005.

NERI, S. H. A. A utilização das ferramentas de geoprocessamento para identificação de comunidades expostas a Hepatite A nas áreas de Ressacas dos Municípios de Macapá e Santana – AP. Rio de Janeiro: COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil), 173 p. 2004.

NETO, S. E. D. S. QUALIDADE BACTERIOLÓGICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM CEMITÉRIOS. *Águas Subterrâneas*, 2013.

O'CONNOR, D. J. The temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in streams. *Water Resources*. V. 3, 1967.

PAN, Z.; JIN, J.; WU, K.; XU, Y. Set pair analysis model for water safety evaluation of Chaohu Watershed. *Water Resour. Protect.* v. 35, p.5–10. 2017.

PALUDO, D. Qualidade da água nos poços Artesianos do município de Santa Clara do Sul. Monografia, Curso de Química Industrial, Lajeado, dezembro de 2010.

PEIXOTO K. L. G., NOGUCHI H. S., PEREIRA A. R., MARCHETTO M., SANTOS A. A., Avaliação das Características Quali-Quantitativas das Águas do Rio Beem. Município de Humaitá-Amazonas. *E&S - Engineering and Science*, (2014), 2:1.

PIMENTEL, E. T.; ARAUJO, R. L. C.; MONTEIRO, I.B.; SILVA, R. M. Estudo de Geotermia Rasa na cidade de Humaitá-AM. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(4): 563-578, 2010.

PINTO, A. L., OLIVEIRA, G. H. D., & PEREIRA, G. A. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino*, 1(1), 69-82, 2010.

POSTEL, S. *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* New York, W.W. Norton and Company. 1997;

PRADO, E. L. Água destinada ao consumo humano: riscos para a saúde humana resultantes da exposição a pH. Nota técnica. ARSLVT, Ip, Lisboa e Vale do Tejo, 2010

QUEIROZ, J. T. M. A água de consumo humano distribuída à população e ocorrência de diarreia [manuscrito]: um estudo ecológico no município de Vitória – ES. / Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2006.

RADAR AMAZONICO. Dos 61 municípios do interior do Amazonas, 40 sequer tem água tratada, aponta o relatório do GT do Saneamento. Disponível em: <

<https://radaramazonico.com.br/dos-61-municipios-do-amazonas-40-sequer-temagua-tratada-aponta-relatorio-do-gt-do-saneamento/>. Acesso em 19 de janeiro de 2018.

RAO, A.S.; GUBBI, J. E; PALANISWAMI, M. Design of Low-Cost Autonomous Water Quality Monitoring System Em: Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). IEEE, agosto, 2013.

REBOUÇAS, A. C. Diagnóstico do setor de hidrogeologia do Brasil. Bol. Técnico da ABAS. nº 3: p. 46, 1996;

REBOUÇAS, A. C. (coordenador). Águas Doces do Brasil. São Paulo: Ed. Escrituras, SP, 770 p., 2003;

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.

RODRIGUES, L. Introdução ao Arduíno. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Campo Grande: 2012;

ROSEN, G. Uma história da saúde pública. São Paulo: Hucitec: Editora da Universidade Estadual Paulista; Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, 423 p. 1994.

SAHOO, S.; DHAR, A.; KAR, A; CHAKRABORTY, D. Indexbased groundwater vulnerability mapping using quantitative parameters. Environmental Earth Sciences, 75(6), p.1-13, 2016.

SAMPAIO, A. P. L. Abastecimento de água para comunidades amazônicas: estudo do caso vila do lago do limão, município de Iranduba, Estado Amazonas. Marupiara, Revista Científica do Centro de Estudos Superiores de Parintins. 2017.

SANTOS, R. S.; MOHR, T. Saúde e qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. Revista Contexto & Saúde Ijuí editora Unijuí v. 13 n. 24/25 jan./jun. 2013 – jul./dez. p. 46-53, 2013.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Mapas estaduais de Geodiversidade. Rio de Janeiro: GEOBANK, 2015. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2018;

SETHY, S. N.; SYED, T. H.; KUMAR, A. Evaluation of groundwater quality in parts of the Southern Gangetic Plain using water quality indices. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 3, p.112-120, 2017.

SHIKLOMANOV, I.A. World freshwater resources. In P. H. Gleick (ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. New York, Oxford University Press. 1993;

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - SIAGAS. Website. 2015. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 08 fev. 2018;

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Cien. Saúde Coletiva* (on line), vol 8, nº4, 2003.

SILVA, A. C. Estudo da contaminação do Lençol Freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná/RO. 136 f. 2008. Tese (Doutorado). Rio Claro: IGCE/UNESP, 2008;

SILVA, A. C.; DOURADO, J. C.; KRUSCHE, A. V.; GOMES, B. M. Impacto Físico-Químico da Deposição de Esgotos em Fossas Sobre As Águas de Aquífero Freático Em Jiparaná - RO. *REA – Revista de estudos ambientais* (Online) v.11, n. 2, p. 101-112, jul./dez. 2009.

SILVA et al. Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos na cidade de Remigio-Pb. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 31, n. 2, 2017.

SILVA, C.; RIBEIRO, J. SANTOS, H. M. C.; PINTO, A. G. N.; MARTINS, N.; LIRA, Y. Relação entre a qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano do

centro da cidade do município de Coari/AM com as doenças de veiculação hídrica. 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23823/15889>>. Acesso no dia 02 de julho de 2019.

SILVEIRA, A.; SILVA, N. A.; SILVA, G. C. O.; OLIVEIRA, J. T.; DOURADO, M. R. Roteiro de análises física, químicas e microbiológicas. Universidade Federal de Mato Grosso. Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, Cuiabá, 2009;

SOARES, J. L. *Biologia*. São Paulo: Scipione, 1997.

SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, L. F.; CAMPOS, M. C. C.; BORDINHON, A.; NOGUEIRA, A. C. F. Avaliação do índice de qualidade da água superficial do Rio Beem. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP, 2018.

SPERLING, Marcos von. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. *In*: Princípios básicos do tratamento de esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

SUTCLIFFE, R. C. World water balance: a geophysical problem. Proc. Symp. World Water Balance, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., 1, p. 19-24. 1970;

RIBEIRO, P. N. T. Variáveis indicadoras de qualidade ambiental na Assembleia de peixes de um trecho do Rio Roosevelt na Região Amazônica. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas. 2017.

TAVARES, J. M.; MATOS, J. N. Osciladores para Rádio Frequência de Elevada Estabilidade. Revista do DETUA - Vol. 2, nº 2, pág. 169. Lisboa, 1998;

TARTARI, R.; PEREIRA, A. R.; ANJOS, M. R.; CHIAPETTI, J.; PEREIRA, A. R. Percepção ambiental sobre perdas de água no sistema de abastecimento do município de Humaitá-AM. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão, 2015.

TEDESCO, A.M. Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas por meio dos Métodos AHP e TOPSIS. 2018. 98 folhas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

TEXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, T. R.; TAOLI, F. Decifrando a terra, 2ª ed., Cap. 20, Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009;

TEXEIRA, H. Caracterização térmica de tubos de explorações petrolíferas em águas profundas. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da Madeira, 2016.

TIMM, N.H. (2002) Applied multivariate analysis. New York: Springer.

TOMASZKIEWICZ, M.; ABOU NAJM, M.; EL-FADEL, M. Development of a groundwater quality index for seawater intrusion in coastal aquifers. Environmental Modelling and Software, v. 57, p. 13–26, 2014.

TROJAN, M.D.; MALONEY, J.S.; STOCKINGER, J.M.; EID, E.P.; LAHTINEN, M.J. Effects of land use on ground water quality in the Anoka Sand Plain Aquifer of Minnesota. Ground Water, v. 41, n. 4, p. 482-492, 2003.

TORRES, J. D.; MONTEIRO, I. O.; SANTOS, J. R.; ORTIZ, M. S. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. Rev. Scientia Plena vol. 11, num. 2, 2015.

TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: Ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRS/ABRH, 2007;

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Recursos hídricos no século XXI. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 328 p.

UMGRIA, I. C. Qualidade das águas subterrâneas na região norte do Brasil. Ariquemes: Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Gestão Ambiental - Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, 2018.

UN – NAÇÕES UNIDAS. Drinking Water Supply and Sanitation Update. Report No UNE/CN 17/2000/13. New York, Commission on Sustainable Development United Nations Population Division (2001). World Population Prospects 1950-2050 (The 2000 Revision). New York, United Nations. 2000. Disponível em: <www.un.org/esa/population/publications/wpp2000/wpp2000h.pdf>. Acesso em 15 de mai. de 2018;

UNDP, World Bank and WRI. World Resources 2000-2001. Washington DC, World Resources Institute. 2000;

UNEP. Groundwater: A Threatened Resource. Nairobi, UNEP. 1996;

UNEP. GEO-2000. United Nations Environment Programme. London and New York, Earthscan. 2000;

UNESCO – Organização para a Educação, a Ciência e a Cultura das Nações Unidas. World water balance and water resources of the Earth National Committee for the IDH (USSR), Paris, 1978;

UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Introdução à Plataforma de Desenvolvimento Arduíno. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/apresentacao-arduino.pdf>>. Acesso em 02 de mai. de 2018;

URSO, L.; ASTRUP, P.; HELLE, K.B.; RASKOB, W.; KAISER, J.C. Improving evaluation criteria or monitoring networks of weak radioactive plumes after nuclear emergencies. Em: Environmental Modelling & Software. Volume 38, p. 108–116, 2012.

USINAINFO. Disponível no site:< <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-temperatura-arduino/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-d-agua-2645.html>>.

Acesso dia 15 de abr. de 2018;

VAZ DO NASCIMENTO, L.; VON SPERLING, M. Os Padrões Brasileiros de Qualidade das Águas e os Critérios para Proteção da Vida Aquática, Saúde Humana e Animal.

VICENTE, G. Z. Geoestatística aplicada à análise de parâmetros da qualidade das águas subterrâneas do aquífero bauru. Dissertação de Mestrado. Universidade Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2018.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. v.1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 452p. 2005;

WHO and UNICEF (2000). Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Geneva and New York, World Health Organization and United Nations Children's Fund Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm>.

Acesso em 15 de mai. de 2018;

WCW – World Commission on Water. World's Rivers in Crisis - Some Are Dying; Others Could Die. World Water Council. 1999. Disponível em: <<http://www.worldwatercouncil.org/Vision/6902B03438178538C125683A004BE974.htm>>. Acesso em 15 de mai. de 2018;

WWC – World Water Council. World Water Vision: Making Water Everyone's Business. London, Earthscan. Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century. World Water Forum 2000. Disponível em:<<http://www.worldwaterforum.net/index2.html>>. Acesso em 15 de mai. de 2018;

WSSCC . Vision 21: A Shared Vision for Water Supply, Sanitation and Hygiene and a Framework for Future Action. Geneva, World Health Organization. 2000;

WREGGE, N. Termos hidrológicos básicos. Caderno Técnico da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, nº 4, 1997;

ZAHEDI, S.; AZARNIVAND, A.; CHITSAZ, N. Groundwater quality classification derivation using Multi-Criteria-Decision-Making techniques. Ecological Indicators, v. 78, p. 243–252, 2017.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS – ZEE, AM. Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas. Manaus: IPAAM, 2008.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Águas Subterrâneas, 2008.

ZHOU, Q. et al. Temporal and spatial distribution characteristics of water resources in Guangdong Province based on a cloud model. Water Science And Engineering, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 263-272, 2015.