FERNANDO APARECIDO DE ASSIS

Proposta de arquitetura em IoT para monitoramento da potabilidade da água em reservatórios de condomínios residenciais

FERNANDO APARECIDO DE ASSIS

Proposta de arquitetura em IoT para monitoramento da potabilidade da água em reservatórios de condomínios residenciais

Versão Original

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Roberto de Mello Canovas

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

ASSIS, Fernando Aparecido de

Proposta de arquitetura em IoT para monitoramento da potabilidade da água em reservatórios de condomínios residenciais / F. Assis – São Paulo, 2022.
75p.

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Internet das Coisas, 2. Potabilidade, 3. Água, 4. Preditiva, 5. Inteligente. Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

Nome: ASSIS, Fernando Aparecido de

Título: Proposta de arquitetura em IoT para monitoramento da potabilidade da água em reservatórios de condomínios residenciais

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Aprovado em: **08/02/2022**

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). **Sérgio Roberto de Mello Canovas**

Instituição: PECE

Julgamento: APROVADO

Prof(a). Dr(a). **Carlos Eduardo Cugnasca**

Instituição: **Escola Politécnica da USP**

Julgamento: **Aprovado**

Prof(a). Dr(a). **Rogério Rossi**

Instituição: USP-PECE

Julgamento: Aprovado

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, irmão, esposa, minhas meninas pelo incentivo neste período de dedicação, aos meus colegas de classe, aos professores do PECE por compartilharem muito conhecimento e, em especial, ao meu orientador por me nortear neste projeto.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo – USP, que germina conhecimento e promove a formação de grandes mentes e acadêmicos e que, por meio de sua formação, devolve à sociedade mais conhecimento, gerando um círculo virtuoso para o bem do país.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, que, através do seu elevado quadro de docentes, contribuiu com a alta qualidade do curso, fomentando o saber.

Ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia que, por meio deste curso, trouxe a oportunidade de aprendizado para a minha vida, desenvolveu minhahabilidade técnica, compartilhou conhecimento acumulado por meio dos excelentes professores de notório saber, além de promover a oportunidade de contato com as referências do mercado em Internet das Coisas e também a aproximação com os colegas de turma, criando vínculo de apoio para o presente e futuro.

Aos meus pais, que me ensinaram o respeito ao próximo, promoveram a minha formação moral e de sempre agir com honestidade, falar a verdade, ser humilde e que se esforçaram ao longo da vida pela minha formação.

RESUMO

ASSIS, Fernando Aparecido de, **Proposta de arquitetura em IoT para monitoramento da potabilidade da água em reservatórios de condomínios residenciais**. 2022. 75. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022.

Desde o momento em que a água é coletada até chegar à caixa d'água do condomínio residencial, ela pode sofrer contaminação por processos naturais e atividade humana. Antes de chegar ao reservatório, a água passa pelo processo de descontaminação na empresa de saneamento básico. No entanto, não é possível ter certeza de que essa água permanece própria para o consumo humano, mesmo depois de percorrer quilômetros de antigas tubulações subterrâneas sem monitoramento ativo da caixa d'água. Uma das responsabilidades de um síndico de condomínio residencial é garantir que a água esteja potável para moradores e visitantes, podendo responder acusações criminais caso a água não atinja o padrão mínimo de potabilidade. A cada seis meses, a caixa d'água deve ser limpa e analisada por empresa autorizada que publica o laudo da qualidade da água. No entanto, não se sabe se essa condição relatada da água persistirá até a próxima inspeção. Para solucionar o problema causado pela falta de informação adequada, apresenta-se aqui uma proposta de arquitetura baseada no conceito de Internet das Coisas. Sensores imersos no reservatório de água transmitem dados para a infraestrutura de rede local ou para uma infraestrutura de rede híbrida baseada em nuvem, onde são armazenados. Os dados são então processados e as informações relevantes são publicadas em um site para auxiliar na tomada de decisão do síndico. Essas informações podem ser visualizadas a qualquer momento por meio de um navegador de Internet, usando um computador pessoal ou dispositivo móvel devido à tecnologia responsiva e, dessa maneira, permite segurança sanitária para os moradores e visitantes.

Palavras-chave: IoT, potabilidade, água, preditiva, inteligente, monitoramento, *open source*, sensores, *cloud, LPWA*, redes,*WiFi*, 2G, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, nuvem.

ABSTRACT

ASSIS, Fernando Aparecido de, IoT architecture proposal for a monitoring water potability in a water tank for residential buildings. 2022. 75. Monography (MBA em *Internet of Things*). Engineering Continuing Education Program at the Polytechnic School of the University of São Paulo. São Paulo. 2022.

Since the moment when water is collected until it reaches the water tank of the residential condominium, it could be contaminated by natural processes and human activity. Before it reaches the water tank, the water goes through the sanitation company's decontamination process. However, is not possible to be sure this water is still acceptable for human consumption even after traveling through kilometers of old underground pipes, if there is no active monitoring at the water tank before it is finally used. One of the responsibilities of a residential manager is to ensure water is potable for residents and visitors. If water does not meet the minimum health standard for consumption, the manager can face criminal charges. Every six months, the water tank should be cleaned and analyzed by an authorized company that publishes the water quality analysis in a report. But, it is unknown if that reported condition of the water will persist until the next inspection. If there is no way to monitor those water conditions daily, it is not fair to hold the residential manager for the water condition. In order to solve the problem caused by lack of adequate information, a proposal of an architecture based on the Internet of Things concept is presented here. Sensors immersed in the water tank transmit data to the local Infrastructure network or to a cloud based hybrid network where it is stored. The data is then processed into relevant information and published to a website to aid in decision-making. This information can then be viewed on an Internet browser using a personal computer or mobile device, due to a responsive technology and, therefore, enabling a building manager to ensure resident and visitors health and security.

Keywords: IoT, potability, water, predictive, intelligent, monitoring, open source, sensors, cloud, LPWA, networks, WiFi, 2G, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, Cloud

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Cavalete dos Imóveis	17
Figura 2 –	Lixiviação de Agrotóxicos	23
Figura 3 –	Estações de Tratamento de Água (ETAs) da Sabesp	25
Figura 4 –	Processo de Descontaminação da Água	25
Figura 5 –	Processo Adequado da Coleta da Amostra da Água e o Seu acondicionamento.	26
Figura 6 –	Sonda Aqua Troll 500 e Seus Acessórios	28
Figura 7 –	Sistema de Monitoramento da Qualidade da Água para Hidroponia	30
Figura 8 –	Mãe d' Água	35
Figura 9 –	Poço Monitorado e Dispositivos	32
Figura 10 –	Topologia de Rede Estrela e *Mesh*	40
Figura 11 –	Arquitetura da Rede Sigfox e a Arquitetura de Segurança	42
Figura 12 –	Topologia de Rede LoRaWAN	44
Figura 13 –	Nó da Rede NB-IoT	46
Figura 14 –	Exemplo de Utilização de Rede NB-IoT	46
Figura 15 –	Kit de Sensores de Parâmetro da Qualidade da Água	48
Figura 16 –	Módulo Computacional e Elementos Associados	54
Figura 17–	Sensores Imersos no Reservatório de Água	55
Figura 18 –	Sensores Imersos no Reservatório de Água	57
Figura 19 –	Três Possibilidades de Infraestrutura de Comunicação de Rede Possíveis	59
Figura 20–	Infraestrutura local da Arquitetura	60
Figura 21 –	Infraestrutura Remota/Nuvem da Arquitetura	60
Figura 22 –	Forma de Visualização da Informação	62
Figura 23 –	Dispositivo Sigfox Registrado na Rede	64
Figura 24 –	Solução da Infraestrutura Específica	66
Figura 25 –	Serviço em Nuvem Devido ao Baixo Volume de Dados	74
Figura 26 -	Planos plataformas de IoT	74
Figura 26–	Consolidação dos Custos da Infraestrutura de Rede	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre os concorrentes proprietários..... 28

Tabela 2 - Tabela comparativa de modelos de Arduino..... 33

Tabela 3 - Tabela 3 Modelos de Arduino..... 34

Tabela 4 - Classe de sensores – A, B e C para os dispositivos na de rede LoRaWAN..... 40

Tabela 5 - Ilustração dos módulos de comunicação..... 42

Tabela 6 - Módulos de comunicação convencionais 49

Tabela 7 - Módulos de comunicação LPWA..... 49

Tabela 8 - Custos da infraestrutura de rede local e híbrida..... 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda Geração
3G	Terceira Geração
4G	Quarta Geração
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CHIRP	Chirp spread spectrum
ERB	Estação Rádio Base
DBPSK	Differential Binary Phase-Shift Keying
DoS	Denial of Service
ETAs	Estação de tratamento de água
FSK	Frenquency Shift Keying
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GFSK	Gaussian Frequency Shift keying
GPRS	General Packet Radio Services
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IoT	Internet of Things
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LORA	Long Range
LR-WPAN	Low Rate Wireless Personal Area Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
OD	Oxigênio Dissolvido
ORP	Oxidation Reduction Potential
pH	Potencial Hidrogeniônico
QoS	Qualidade do Nível de Serviço
RF	Rádio Frequência
RX	Receptor
SMS	Short Message Service
TX	Transmissor
WLAN	Wireless Local Area Network

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 15

1.1 Motivações..... 16
1.2 Objetivo..... 17
1.3 Justificativas..... 17
1.4 Método de Pesquisa..... 20
1.5 Estrutura do Trabalho..... 21

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 22

2.1Contaminantes..... 22
2.1.1Contaminação do Curso Água..... 23
2.2 Tratamento da Água..... 24
2.2.1 Estações de Tratamento de Água (ETAs)…….. 24
2.2.2 Processo de Descontaminação da Água……. 25
2.3 Atual Processo de Coleta e Análise da Potabilidade em Condomínios…… 25
2.3.1 Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano…….. 27
2.4 Trabalhos Relacionados…… 27
2.4.1 Sonda Aqua Troll 500……. 27
2.4.2 Monitoramento de Hidroponia……... 29
2.4.3 Mãe d'Água…….. 30
2.4.4 Módulo de Sensores para Monitoramento da Água de Poços…… 31
2.5 Plataforma de Desenvolvimento: Arduino…….. 32
2.5.1 Modelos e Suas Vantagens…….. 33
2.6 Telemetria…… 34
2.6.1 LPWA (Low-Power Wide Area)……... 34
2.6.1.1 Característica da Infraestrutura LPWAN…….. 35
2.6.2. Principais Redes LPWAN Voltadas para Internet das Coisas…… 36
2.6.2.1 Sigfox…… 36
2.6.2.2 LoRa (Long Range) e LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)… 38
2.6.2.3 Rede NB-IoT……. 40
2.7 Módulos de Comunicação……. 42
2.8 Módulos de Sensores…… 42
2.9 Computação em Nuvem……. 43
2.9.1 Edge Computing ou Computação de Borda……. 43

2.9.2 Fog Computing ou Computação em Névoa…… 44
2.10 Considerações do Capítulo……... 44

3. ARQUITETURA PROPOSTA..... 46

3.1 Considerações Iniciais..... 46
3.2 Módulo Computacional..... 46
3.3 Módulos de Comunicação..... 48
3.4 Sensores de leitura dos Parâmetros da Água..... 49
3.5 Infraestrutura de Rede de Transmissão dos Dados..... 52
3.6 Processo Conceitual da Infraestrutura local e Remota da Arquitetura..... 52
3.7 Visualização da Informação..... 54
3.8 Exemplo de Solução Específica..... 55
3.8.1 Módulo de Prototipagem Arduino Mega 2560..... 55
3.8.2 Sensores de leitura dos Parâmetros de Potabilidade da Água..... 55
3.8.3 Operadora de Rede Sigfox no Brasil..... 56
3.8.4 Nuvem Sigfox..... 56
3.8.5 Bando de Dados NoSQL ou Não-Relacionais..... 57
3.8.6 Aplicação de Código Aberto Web..... 57
3.9 Considerações do Capítulo..... 58

4 ANÁLISE DE RESULTADOS..... 60

4.1 Considerações Iniciais..... 60
4.2 Módulo Computacional..... 60
4.3 Módulo de Comunicação..... 60
4.4 Fornecimento de Energia Elétrica..... 61
4.5 Sensores de Parâmetros da Água..... 61
4.6 Infraestrutura da Rede de Baixo Consumo e Longo Alcance..... 61
4.7 Nuvem para Internet das Coisas..... 62
4.8 Iniciativas Semelhantes de Monitoramento..... 62
4.9 Meio de Armazenamento do Dado..... 63
4.10 Sensor de parâmetro da água..... 64
4.11 Disponibilidade da Informação..... 64
4.12 Demonstrativo dos Custos da Infraestrutura Proposta..... 64
4.13 Considerações do Capítulo..... 67

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 68

5.1Conclusões..... 68

5.2 Contribuições do Trabalho..... 68

5.3Trabalhos Futuros..... 69

REFERÊNCIAS..... 70

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivações

Uma das diversas responsabilidades de um síndico é garantir que a água armazenada nos reservatórios esteja própria para o consumo. Contudo, a falta de informação diária da qualidade da água consumida pelos moradores e visitantes é uma deficiência na administração dessa demanda. O condomínio deve possuir um laudo da análise da potabilidade da água a cada seis meses (BRASIL, 2011).

A verificação consiste em coletar amostras no local, encaminhá-las ao laboratório específico e aguardar até a emissão do laudo. A dúvida que existe na administração condominial é se, após a entrega do resultado, o produto permanece livre de contaminantes durante os meses seguintes. O monitoramento semestral não traz a segurança para afirmar que a água consumida diariamente está, de fato, sem contaminantes até a próxima medição. A tecnologia atual apresenta viabilidade técnica e econômica para se propor uma arquitetura local, híbrida ou em nuvem que abrange hardware de baixo custo e software de código aberto e, portanto, de baixo custo, módulo de processamento, sensores que leem parâmetros da água, software livre, rede de longa distância, baixa potência e eficiência energética. Esse conjunto de elementos e tecnologias funcionaria a fim de gerar informação sobre a qualidade da água. Soluções que leem os parâmetros de potabilidade da água, com o uso de sensores, atendem a essa necessidade parcialmente, mas não trazem a praticidade proposta neste trabalho ou se utilizam de formas de alertas já em desuso. A responsabilidade pela qualidade da água que chega aos reservatórios dos condomínios é da companhia estadual. O equipamento que faz a fronteira dessa responsabilidade chama-se cavalete é nele que se instala o hidrômetro, conforme apresentado na Figura 1. Contudo, “a partir do momento em que a água ingressa no condomínio, a responsabilidade é do síndico” (Síndico, 2020).

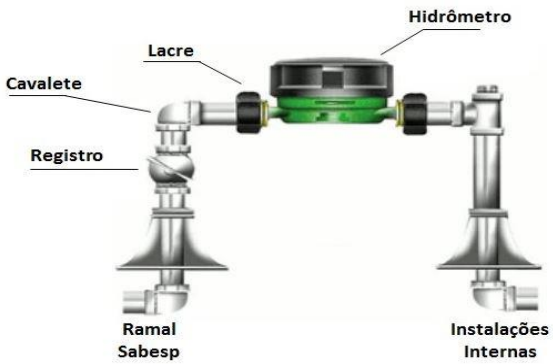
> Vale frisar que a falta de limpeza de caixas d’água e reservatórios provoca uma vasta lista de infecções que podem ser contraídas por meio de agentes transmissores presentes na água ali armazenada. Entre os problemas que podem surgir, estão à leptospirose e amebíase, por exemplo. Sem contar que tubulações mais antigas

> podem carregar resíduos e barro para onde o líquido é armazenado, além de animais que podem, por descuido de uma caixa aberta, beber a água ou urinar nela, causando alguma contaminação. Isso sem falar no risco iminente da proliferação do mosquito da Dengue, Zika e Chikungunya (SÍNDICO, 2020).

Atualmente, não se pode afirmar que a água tratada pelas companhias de santeamento básico, e entregue aos reservatórios de água dos condomínios residenciais, permanece em condição de potabilidade. Manutenção adequada e pessoas especializadas são parte no processo para consumir água potável, todavia, essa não é a realidade do dia a dia. É comum que pessoas leigas no assunto ou sem treinamento adequado realizem a manutenção do reservatório e, dessa maneira, gera-se risco de contaminação da água (D'AGUILA et al., 2000). "A Sabesp controla a qualidade da água em todo o sistema de abastecimento, desde os mananciais até o cavalete dos imóveis por meio de coletas sistemáticas de amostras e realização de ensaios laboratoriais, em atendimento à portaria do Ministério da Saúde" (SABESP, 2021, grifo nosso).

A Figura 1 apresenta o equipamento que faz a fronteira do fornecimento da água entre a companhia de saneamento básico e o condomínio.

Figura 1 – Cavalete dos imóveis



Fonte: Sabesp (2021)

A segurança sanitária dos moradores e visitantes com o monitoramento da informação diária sobre a qualidade da água pode apoiar o gestor em sua administração e na manutenção do bem-estar geral dos consumidores

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de arquitetura baseada no conceito de Internet das Coisas (IoT) com o propósito de viabilizar o monitoramento da potabilidade e qualidade da água em reservatórios de condomínios residenciais urbanos, a fim de trazer segurança sanitária aos consumidores e uma importante ferramenta de monitoramento para o síndico.

A arquitetura, no contexto da IoT, tem a premissa de adotar sensores de leitura dos parâmetros da água, hardware e software livres, bem como prover flexibilidade de infraestrutura para que se possa adotar implementações adequadas às características de cada condomínio. Mais especificamente, essa flexibilidade consiste na possibilidade de adotar implementações de forma local, em nuvem ou híbrida. Também como requisito, a arquitetura deve permitir a adoção de redes e interfaces convencionais ou de baixa potência e longo alcance. A informação sobre a potabilidade da água deve ser publicada e visualizada em um painel de controle via servidor *web*, e acessada por meio de navegador de Internet com tecnologia responsiva.

1.3 Justificativas

A água é um ativo nobre e um bem básico à sobrevivência dos seres humanos. Consumi-la sem os padrões mínimos de potabilidade geraria um problema de saúde gravíssimo àquele grupo de pessoas ou animais.

De acordo com ANA (2013, p. 21),

> A água é fonte de vida na terra, e a civilização humana desabrochou onde havia fontes confiáveis e limpas de água doce. Para o aproveitamento humano – seja para beber, lavar ou para recreação é preciso que a água esteja livre de fontes de contaminação biológica, química e física. Plantas, animais e habitats que sustentam a biodiversidade também dependem de água limpa. Para a produção de alimentos, o fornecimento de energia para as cidades e para movimentar as indústrias é preciso haver água com determinado grau de qualidade.

Tornar o controle da água algo prático e funcional é fundamental. Além disso, o síndico é “responsável por representar, ativa e passivamente, o condomínio, praticando, em juízo ou fora dele, os atos necessários à defesa dos interesses comuns” (BRASIL, 2002).

Segundo Carr e Neary (2008 apud ANA 2013, p. 22) [1],

> As atividades humanas, assim como os processos naturais, podem alterar as características físicas, químicas e biológicas da água, com ramificações específicas para a saúde humana e do ecossistema. A qualidade da água é afetada por mudanças em teores de nutrientes, sedimentos, temperatura, pH, metais pesados, toxinas não metálicas, componentes orgânicos persistentes e agrotóxicos, fatores biológicos, entre muitos outros.

Portanto, fornecer meios para verificar a potabilidade da água também pode evitar problemas jurídicos. Atualmente, o monitoramento da potabilidade da água necessita da presença de um profissional técnico, que realiza visita ao condomínio e coleta amostras e, então, a encaminha ao laboratório para ser analisada (LACEN, 2016).

Essa proposta de arquitetura contribui com o monitoramento da potabilidade da água dos reservatórios dos condomínios residenciais, além de possibilitar a análise do desvio padrão de parâmetros físico-químicos e biológicos, por meio de sensores específicos para este fim e, então, apoiar o gestor em sua administração.
Existem soluções de mercado que fazem a verificação da água por sensores e informam o resultado na hora, a exemplo da solução proposta pela empresa In-Situ do Brasil (IN-SITU, 2016). Todavia, essa é uma solução de alto valor agregado o que vai de encontro com a disponibilidade financeira de muitos condomínios. A comunicação e a transmissão dos dados coletados ocorrem por meio de cabo USB ou Bluetooth, obrigando a presença física do técnico no local da coleta. Já para usar o meio de rede sem fio, é preciso montar uma infraestrutura exclusiva para a captura

---

[1] **Carr, G.M. and J.P. Neary. (2008). Water Quality for Ecosystem and Human Health, 2nd Edition. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System. Acesso em 14 de Julho de 2009, do http://www.gemswater.org/publications/pdfs/water_quality_human_health.pdf.**

e fornecimento da informação. Essa solução aplica-se mais na identificação da qualidade da água em rios, lagos e para agricultura. Não é uma solução pensada no caso específico do monitoramento da potabilidade da água para consumo humano. A Rede InfoAmazonia também possui uma solução premiada batizada de Mãe d'Água, a qual busca detectar possíveis contaminantes na água. Essa iniciativa apresenta similaridades com a proposta de arquitetura deste trabalho. Entretanto, no trabalho supracitado, o monitoramento da água tem como foco a captação, e, além disso, apresenta a dependência da operadora de energia local como ponto a ser melhorado, além do meio de comunicação limitado (INFOAMAZONIA, 2014).

Outro projeto que se assemelha ao que será desenvolvido é o de pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Sistemas do Instituto Federal do Tocantins, no Campus de Dianópolis (TO), que desenvolveram um sistema integrado de monitoramento da qualidade da água para apoiar e suportar a tomada de decisão. Esse projeto teve como propósito "auxiliar professores e pesquisadores da área de Engenharia Agronômica no monitoramento automático da qualidade da água com aplicação inicial no sistema de hidroponia" e, portanto, não tem o objetivo de informar a potabilidade da água para o consumo humano. Além do mais, a forma de transmissão dos dados está limitada a Wi-Fi 801.11 b/g/n e Bluetooth LE (*low-energy*) (LEAL JUNIOR; ARAUJO; TAVARES, 2019).

A importância do monitoramento remoto da água tornou-se uma preocupação há algum tempo. O acesso à água potável dentro de casa a partir de uma torneira, não é uma realidade universal. Para muitos, ainda é preciso deslocar-se para captar água de poços artesianos, rios, lagos, bicas ou qualquer outra fonte, o que traz riscos à integridade física da pessoa que faz a coleta da amostra. Em áreas urbanas também há riscos devido à localização dos reservatórios quase sempre em grandes alturas.

> Cada vez mais, a qualidade da água está sendo monitorada com o uso de sistemas de sensores remotos, utilizados conjuntamente com validação/verificação estratégica in situ. O sensoriamento remoto pode desempenhar papel crucial na determinação das condições atuais em uma avaliação rápida de acidentes ou eventos extremos (ANA, 2013, p. 75).

Entretanto, a proposta de desenvolvimento de arquitetura deste trabalho caracterizar-se-á por apresentar o conceito de Internet das Coisas abordando a comunicação, eficiência energética, hardware livre de baixo custo, utilização de código aberto, fácil replicação e, portanto, foca no monitoramento do último reservatório antes do consumo final da água. O teste de potabilidade deve ser realizado a cada seis meses por empresa credenciada pela Vigilância Sanitária. A água deve estar em conformidade com a portaria que trata da potabilidade para o consumo da água (BRASIL, 2011). Nesse caso, o zelador não pode prestar esse serviço, sendo necessária a contratação de uma empresa especializada. Nos testes para potabilidade, a água passa por diversas análises físico-químicas e microbiológicas que permitem observar a presença de bactérias nocivas aos seres humanos. Durante o teste, também são observadas as características visuais da água, já que ela deve ser incolor, inodora e insípida (BRASIL, 2011).

A forma de monitoramento que necessita de um técnico no local tem muitas desvantagens, como por exemplo, o custo de deslocamento e a dependência de um representante do prédio para acompanhar os testes, além do mais, há a possibilidade de contaminação por imperícia como foi exposto. Isso reforça a importância da arquitetura baseada em IoT aqui proposta.

1.4 Método de Pesquisa

O método de pesquisa tem como base a análise e solução de problema da contaminação da água para o consumo humano. Este inicia-se por meio da compreensão do problema da contaminação da água e seu processo de purificação. Em seguida, são identificadas iniciativas e referências que abordam o monitoramento da qualidade da água para o consumo humano, por meio da tecnologia e da plataforma de prototipagem de baixo custo. Avaliar iniciativas semelhantes e melhorar seus pontos fracos com o uso dos recursos tecnológicos mais recentes são uma diretriz deste trabalho. Quanto aos pontos fortes dos trabalhos pesquisados, este deve absorver o conhecimento de experiências bem-sucedidas para contribuir na elaboração desta arquitetura. O próximo passo é entender como a tecnologia pode apoiar no quesito segurança sanitária dos moradores e visitantes do condomínio quando a responsabilidade pela qualidade da água passa a ser do síndico e não mais da companhia de saneamento básico.

Diante desse entendimento, é possível elaborar uma proposta de arquitetura dentro do conceito de Internet das Coisas que dialogue com a infraestrutura de rede e Internet convencional, assim como a emergente desenvolvida para os dispositivos de IoT de forma que se adeque a características técnica e financeira de cada condomínio.

1.5 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta as motivações, o objetivo, as justificativas, método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 aborda a revisão bibliográfica, dividida em: contaminantes, tratamento da água, atual processo de coleta e análise da potabilidade em condomínios, trabalhos relacionados, plataforma de desenvolvimento Arduino, telemetria, principais redes LPWAN voltadas para Internet das Coisas, módulos de comunicação, módulos de sensores e computação em nuvem.

O Capítulo 3 mergulha no desenvolvimento da solução proposta, aborda como a arquitetura recebe e transmite os dados coletados pelos sensores, às diferentes interfaces de rede, a possibilidade do uso da Internet convencional e as redes de pouco consumo energético e longo alcance e suas operadoras. Demonstra a forma de armazenamento, publicação e acesso à informação para a tomada de decisão.

O Capítulo 4 analisa a proposta da arquitetura apresentada e o seu ecossistema comparando com iniciativas encontradas em pesquisas e aplicando evolução tecnológica.

O Capítulo 5 apresenta as considerações finais, sobre a relevância e aplicabilidade da solução proposta, bem como pontos a serem explorados em trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contaminantes

A água que se consome diariamente sofre diversas agressões de poluentes de origens distintas, muitas pelo ciclo da natureza e outras pela ação do progresso humano. Alterações que influem diretamente na composição física, química e biológica da água, impactam diretamente a saúde do ser humano. Mudanças em taxas de nutrientes, grau da temperatura, nível do pH, quantidade de sedimentos dentre outros, afetam a qualidade da água captada. O excesso de nutrientes na água podem atrair fósforo e contaminantes tóxicos como agrotóxicos e isso contribui com a alteração da propriedade química. A temperatura da água é outro parâmetro importante que vale a pena ser destacado, pois, sinaliza a condição biológica da água. Quanto mais elevada é a temperatura da água, menor será o oxigênio e isso impacta na função metabólica e saúde da água. A alta concentração de sal na água doce não é tolerada por espécies vegetais e animais. Parte desse desequilíbrio é causado pela ação econômica como agricultura, perfuração de poços de petróleo e gás. As descargas de águas subterrâneas também concorrem com essa contaminação, além de certos tratamentos de água providos por algumas cidades. Portanto, essa quantidade de sal diminui a oxigenação da água e interfere em sua potabilidade. A contaminação por meio de organismos patogênicos é uma das principais ameaças à saúde humana. Bactérias, protozoários e vírus geralmente estão presentes onde o acesso à água limpa e tratada é limitada (CARR e NEARY, 2008 apud ANA 2013, p. 22 e 23)[2].

Diante do exposto, é possível depreender que a contaminação da água é causada por ações naturais, e pela exploração econômica do homem. Mesmo em zonas distantes de atividades industriais, o ciclo da natureza influi com seus contaminantes naturais, mas a forma mais demorada e onerosa de descontaminação é aquela causada por processos geradores de riquezas.

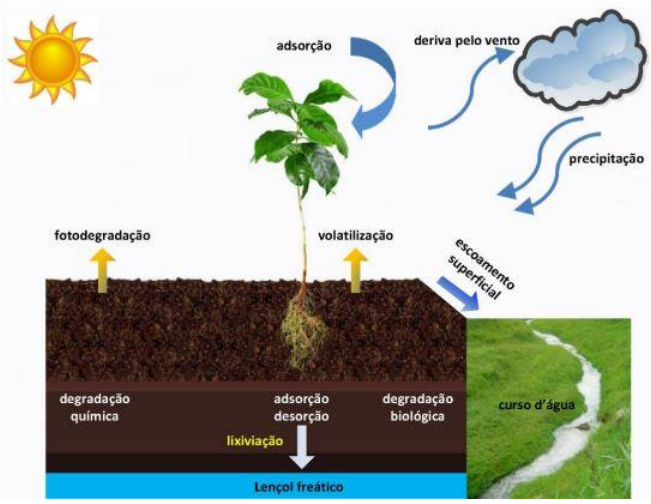
---

[2] **Carr, G.M. and J.P. Neary. (2008). Water Quality for Ecosystem and Human Health, 2nd Edition. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System. Acesso em 14 de Julho de 2009, do http://www.gemswater.org/publications/pdfs/water_quality_human_health.pdf.**

2.1.1 Contaminação do Curso d'Água

A contaminação do curso d'água divide-se em dois grandes grupos: pontual e não pontual. A pontual é de fácil identifição, pois, em seu grupo constam as fábricas, refinarias e locais conhecidos como despejo de esgoto. A segunda forma, sua origem é mais velada, pois, são oriundas de produtos químicos utilizados pela agricultura e mineração, esses contaminantes são carregados pela água da chuva até o curso d' água. Devido a contaminação da água no mundo, morrem milhões de pessoas por consumir água não potável. Em estações chuvosas, ocorre a lixiviação do solo, que é o processo erosivo ocasionado a partir da lavagem da camada superficial da terra pelo escoamento das águas superficiais (FUNASA, 2014, p. 39 e 40). Essa situação ocorre com mais frequência em solos das regiões tropicais e equatoriais, pois tem por característica, chuvas mais abundantes e intensas. As enxurradas provocadas pelas precipitações carregam os materiais parados e depositados na superficie do solo, para as áreas mais baixas, o que inclui nutrientes, agrotóxicos e outros contaminantes. Em regiões de maior declividade acontece de forma mais acentuada e a água "lava" os solos, carregando para curso d'água. Os defensivos agrícolas, também chamados de agrotóxicos, pemanecem no solo e no produto cultivado e, quando ocorre a lixiviação do solo, este produto parado é carregado com a chuva poluindo as águas (RIBEIRO, 2022). A Figura 2 ilustra o processo de lavagem do solo pela água da chuva durante um cultivo agrícola.

Figura – 2 Lixiviação de agrotóxicos



Fonte: Santos, Gleissy (2017).

Além da contaminação por agrotóxicos, os rios e lagos também são contaminados por fezes humanas e de animais, contribuindo com a relação de turbidez e a transmissão de várias moléstias. Os principais micro-organismos presentes na água contaminada são *Salmonella spp*., *Shigella spp*., *Escherichia coli* e *Vibrio cholerae*, e são responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas – como a febre tifoide – que constituem grave risco para à saúde humana (FUNASA, 2014, p. 41).

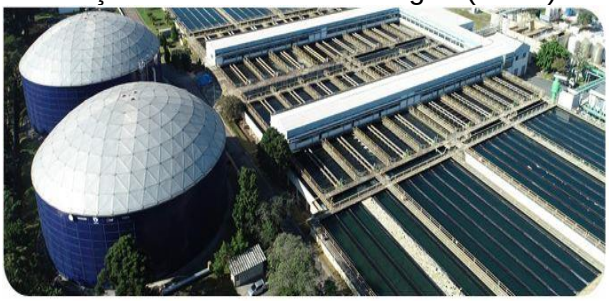
2.2 Tratamento da Água

Medidas com o objetivo de conservar a qualidade da água para o consumo, em seus diversos fins, mostraram-se ineficazes ou insuficientes devido as contaminações sofridas em suas fontes. Atualmente, existe tecnologia que trata a água até determinado padrão, assim como sistemas ecológicos que melhoram a condição de consumo. O tratamento pode ser aplicado em nível, municipal, comunitário e até mesmo individual. Há tecnologias que tratam cada uma dessas escalas. Mesmo a água entregue pelas companhias de abastecimento básico de países em desenvolvimento, é preciso tratá-la para o consumo final (ANA, 2013, p. 57).

2.2.1 Estações de tratamento de água (ETAs)

As estações de tratamento de água (ETAs) da Sabesp funcionam como verdadeiras fábricas para produzir água potável. Atualmente, são tratados mais de 119 mil litros de água por segundo (SABESP, 2021). A Figura 3 apresenta as estações de tratamento de água (ETAs) da Sabesp.

Figura 3- Estações de tratamento de água (ETAs) da Sabesp



Fonte: Sabesp (2021).

2.2.2 Processo de descontaminação da água

O processo de descontaminação da água, até ser levada ao consumidor é complexo e exige vários processos a fim de purificá-la. A depender do grau de contaminação, torna-se custoso para que atinja os padrões de potabilidade. O cloro é o primeiro elemento químico adicionado assim que a água chega à estação de tratamento. Esta etapa é chamada de pré-cloração. Isso facilita a retirada de matéria orgânica e metais. Em seguida, a água recebe cal ou soda, que servem para ajustar o pH* aos valores exigidos nas fases seguintes do tratamento, essa etapa é chamada de pré-alcalinização. Um pH de 7 é neutro; um pH abaixo de 7 é ácido, e um pH acima de 7 é básico ou alcalino. Para o consumo humano, recomenda-se um pH entre 6,0 e 9,5 (SABESP, 2021). A Figura 4 apresenta o processo de descontaminação da água.

Figura 4 - Processo de descontaminação da água

Fonte: Universidade Federal de Juiz de Fora (2012) – adaptado.

2.3 Atual Processo de Coleta e Análise da Potabilidade em Condomínios

Atualmente, o processo de coleta e análise da potabilidade da água em condomínios utiliza-se de amostras coletadas *in loco* pelos técnicos de seus laboratórios licenciados para este fim, e as encaminham para análises físico-químicas e microbiológicas com a emissão de relatórios de ensaio que atendam a Portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

De acordo com Ribeiro (2016, p. 5)

> O processo de coleta da amostra deve seguir alguns procedimentos para evitar a contaminação. Não colocar o material de coleta sobre superfícies que não foram higienizadas, não falar, tossir ou espirrar próximo ao ponto de coleta.A confiabilidade dos resultados analíticos depende do procedimento adequado de coleta e transporte das amostras. O material coletado deve representar de forma fidedigna o local amostrado. A seleção criteriosa dos pontos de amostragem e a escolha de técnicas adequadas de coleta e preservação de amostras são primordiais para a confiabilidade e representatividade dos dados gerados.

A Figura 5 demonstra o processo adequado para coletar a amostra da água e o seu acondicionamento.

Figura 5 - Processo adequado da coleta da amostra da água e o seu acondicionamento.

Fonte: LACEN/SC (2016) – adaptado.

A forma de coleta exposta acima é amplamente aplicada no dia a dia por estar consolidada. Porém, como demonstrado, exige mão de obra qualificada para que não haja contaminação durante a coleta, e dessa forma, altere o resultado final. O método manual apresentado no texto, expõe o técnico a locais perigosos como topo de edifícios para acessar aos reservatórios. Geralmente, o zelador do condomínio acompanha os trabalhos, causando dependência de um funcionário do prédio. Esta forma de análise exige deslocamento físico para efetuar a coleta, além de técnica especializada, treinamento e que todas as recomendações sejam seguidas, a fim de se evitar a contaminação da amostra. Ao transportar a amostra para o laboratório,

algumas características podem ser perdidas, pois já não estará mais no mesmo cenário da coleta. Até mesmo a mudança da temperatura ambiente pode alterar o resultado final. O deslocamento nas grandes cidades entre uma coleta e outra, contriui com o aumento dos custos, e dessa forma, torna o monitoramento atual caro, suscetível ao erro e lento.

2.3.1 Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano

Para se alcançar a segurança da qualidade da água que será consumida, é preciso entender o caminho da captação até o consumo final, medir os níveis de contaminação e, gerenciar se está dentro dos padrões de potabilidade. Criar meios de fiscalizar e controlar a qualidade da água servida à população, avaliar a água bruta, tratada, e o sistema de abatecimento de água como mananciais, além de dar publicidade ao resultado da análise. Essas ações são abordadas na Portaria do MS no 518/2004. Exercer a fiscalização da qualidade da água para consumo humano está em acordo com as diretrizes do Sistema Único de Saúde (SUS) (FUNASA, 2006, p.129). O estudo apresentado no Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária evidenciou a necessidade do monitoramento dos corpos hídricos devido à sua degradação com destaque para as áreas mais populosas do país. Impactos das ações humanas refletem diretamente na qualidade da água. Uma das maneiras de mitigar esse impacto é por meio do monitoramento utilizando sondas multiparâmetros que tem por finalidade coletar os diversos parâmetros da água e informação a condição (SALES; PRADO; GONÇALVES, 2014).

2.4 Trabalhos Relacionados

Essa seção aborda iniciativas comerciais, acadêmicas e de organização não governamental, a fim de investigar soluções já existentes para o monitoramento da qualidade da água para consumo humano.

2.4.1 Sonda Aqua Troll 500

A empresa In-Situ Brasil comercializa uma sonda de qualidade de água multiparâmetros chamada de Aqua Troll 500. Esse equipamento possui sensores que leem, o pH, o pontencial de oxidação e redução, turbidez, condutividade,

temperatura, pressão, salinidade, resistividade, sólidos totais dissolvidos (TDS) e densidade. A partir da integração com a telemetria, é possível acessar os dados com o aplicativo “VuSitu app” em tempo real via plataforma HydroVu (IN-SITU BRASIL, 2016).

A solução propretária atende os parâmetros de leitura da potabilidade da água, mas os custos de implementação a tornam inviável para muitos condomínios. Outro recurso que a solução não entrega é a integração com as redes voltadas para a Internet das Coisas como as LPWAN. A Figura 6 apresenta a tabela contendo a sonda Aqua Troll 500 e seus acessórios.

Figura 6 - Sonda Aqua Troll 500 e seus acessórios

Aqua Troll 500, cabo robusto, Wireless Troll com e um Dispositivo Android/IOS.	Win-situ 5 Software para PC	Aplicativo móvel VuSitu	Tubo 300	Cubo 300
✓ Wireless TROLL Com Alimenta o Aqua Troll 500 durante leituras ao vivo. Comunica com o aplicativo móvel VuSitu via Bluetooth. ✓ Cabo robusto Conecta o Troll Wireless com o instrumento. ✓ Aqua TROLL 500 Leva leituras ao vivo e transfere dados para o Wireless Troll com através do cabo robusto.	Calibrar, configurar e tomar leituras com o Aqua Troll 500 a partir de um PC.	Calibrar, Configurar e implantar o Aqua Troll 500 de um Dispositivo Android habilitado para Bluetooth.	Power Aqua Troll 500 em aplicações de monitorização remota Enviar dados para Hydrovu ou outro servidor FTP.	Ligue até cinco instrumentos em aplicações de monitorização remota Enviar dados para Hydrovu ou outro servidor FTP.

Fonte: In-Situ (2019, p.9) – adaptado.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os concorrentes proprietários considerando quantidade de parâmetros e valores praticados.

Tabela 1 - Comparativo entre os concorrentes proprietários

EMPRESA	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	PARÂMETROS MONITORADOS	VALOR
In-Situ Brasil	Sonda de Qualidade da Água Multiparâmetro Acqua Troll 500	Oxigênio Óptico Dissolvido RDO, pH/ORP, Turbidez, Condutividade, Temperatura e Pressão, Salinidade, Resistividade, Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) e Densidade	Não Informado
In-Situ Brasil	SmartTroll RDO (sonda portátil)	• Oxigênio Dissolvido;• Temperatura; • Pressão barométrica;• Temperatura do ar.	R$ 14.529,00
Acqua Nativa	AcquaProbe (sonda portátil)	• pH;• ORP;• Oxigênio dissolvido; • Temperatura;• Condutividade; • Salinidade;• TDS;• Gravidade específica.	R$ 17.640,00

Fonte: Monteiro (2020) – adaptado.

A empresa In-Situ Brasil foi contatada com o objetivo de se obter o orçamento da Sonda de Qualidade e Água Multiparâmetros Aqua Troll 500, para aplicação em

reservatório de água do prédio residencial. Contudo, respondeu que o seu equipamento é muito profissional, voltado para o uso em grandes indústrias e empresas de tratamento de água, podendo um único equipamento custar certa de 90 mil reais e diante disso, recomendou buscar uma solução no Mercado Livre, pois lá deve haver uma solução economicamente viável.

A Acqua Nativa também comercializa sensores e equipamentos que geram dados da qualidade da água, porém, são de alto custo voltados a empresas especializadas e laboratórios de análises. Em agosto de 2005, o furacão Katrina atingiu a Costa do Golfo no sul do estado da Louisiana (EUA) na cidade de Nova Orleans, causando muitos prejuízos. Desde então, autoridades locais entenderam que precisavam monitorar continuamente os canais de água da cidade. Por meio do AquaTroll 200, é feita a leitura do nível da água, da temperatura e da condutividade, além de realizar o ajuste dinâmico da densidade da água. Os valores de salinidade oferecem uma maior precisão do nível de água em áreas que são influenciadas pela maré. Quanto ao Troll 500, ele possui a função de enviar informações para a tomada de decisão. Os alertas são enviados por e-mails para os governos estaduais e o federal em períodos de tempestades, via GSM e satélite (IN-SITU, 2012).

Em consideração ao exposto, essas soluções proprietárias atendem o objetivo de informar a qualidade da água. Todavia, o custo de aquisição, implementação e manutenção elevados pode torná-la inviável para os condomínios residenciais. Devido aos custos elevados dos equipamentos, e a falta de uma arquitetura completa e flexível as necessidades de cada prédio, não resolvem o problema por completo.

2.4.2 Monitoramento de Hidroponia

O sistema integrado de monitoramento da qualidade da água desenvolvido no Instituto Federal do Tocantins, no Câmpus de Dianópolis-TO, tem como propósito auxiliar os professores e pesquisadores da área de Engenharia Agronômica na tomada de decisão sobre a qualidade da água com aplicação em hidroponia. Essa solução integrada de monitoramento da qualidade da água trabalha lendo os multiparâmetros pré-definidos e calibrados para atender os requisitos da água para o cultivo da hidroponia. O projeto adotou o conceito de Internet das Coisas – IoT e

assim, permitiu integrar sensores de baixo custo a sistemas embarcados (LEAL JUNIOR; ARAUJO; TAVARES, 2019). A Figura 7 apresenta o sistema de monitoramento da qualidade da água para hidroponia.

Figura 7- Sistema de monitoramento da qualidade da água para hidroponia

Fonte: Universidade Federal de Tocantins (2019) – adaptado.

A solução apresentada na Figura 7 resolve uma necessidade específica da hidroponia. Porém, não aborda sobre a potabilidade da água para o consumo humano.

2.4.3 Mãe d'Água

O InfoAmazonia é uma Organização não Governamental (ONG) independente que utiliza dados e mapas para falar sobre a maior floresta tropical do planeta. Uma rede de organizações e jornalistas a sustentam com informações constantes de nove países da região. Em 2015, iniciou a implantação do projeto piloto batizado de Mãe d'Água, com o objetivo de monitorar a qualidade da água consumida pelos ribeirinhos da Amazônia (INFOAMAZONIA, 2015). Este projeto teve como inspiração o Riffle, que é um conjunto de projetos de código aberto visando tornar a coleta e divulgação do monitoramento de água de forma simples e acessível (PUBLIC LAB, 2021).

O dispositivo é resultado da colaboração da equipe do projeto com a rede norte-americana de ciência cidadã Public Lab e a *startup* Dev Tecnologia, empresa incubada na Universidade de São Paulo (INFOAMAZONIA, 2015). A Figura 8 apresenta a solução Mãe d' Água com a visão aberta, fechada, instalação e as ponteiras dos sensores mergulhados na caixa d' água.

Figura 8 - Mãe d' Água

Fonte: Infoamazonia (2015).

O monitoramento para a população ribeirinha é uma forma de prevenir doenças transmitidas pela água contaminada. Certamente, é uma solução agregadora no quesito saneamento básico. Porém, há algumas limitações, por exemplo a falta de sinal da rede 2G, e é por meio dessa rede de comunicação que o Mãe d'Água transmite seus dados. Outro ponto é a dependência da energia local, que impacta no fornecimento constante dos dados. A região sofre com variação do fornecimento de energia elétrica.Também vale ressaltar que este projeto foca no monitoramento do ponto de captação e, como foi explicado, o caminho que a água tem que fazer até o consumo final pode receber contaminantes. Portanto, a qualidade da água na ponta do consumo, pode não representar o resultado apontado no momento da captação.

2.4.4 Módulo de Sensores para Monitoramento da Água de Poços

A solução apresentada em dissertação de mestrado na Universidade Estadual de Feira de Santana/BA focou em atender o monitoramento da qualidade da água em poços artesianos da instituição. Essa solução aplicou o conceito de Internet das Coisas, além disso, adotou o uso de hardware livre e comunicação via GSM para enviar os alertas por SMS (LIMA, 2018). A Figura 9 ilustra o poço que é o foco do monitoramento, o microcontrolador, kit de sensores e o protótipo.

Figura 9 - Poço monitorado e dispositivos

Fonte: Lima (2018) – adaptado.

O protótipo apresentado na figura 9, a letra A indica o módulo sensor composto por um Arduino, um módulo de comunicação Yun e um módulo transmissor tentáculo. A letra B indica a montagem em tubos plásticos para permitir o encaixe dos sensores e da mangueira para circulação da água da torneira. A letra C indica o sensor de oxigênio dissolvido. A letra D o sensor de pH. A letra E o sensor de ORP e aletra F o local de conexão do sensor de temperatura.

O módulo de sensores para o monitoramento da água teve por o objetivo monitorar a água consumida pela comunidade acadêmica da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). A solução resolve o problema de informação da potabilidade da água extraída do poço, através do conceito de Internet das Coisas a custos baixo e de fácil replicação. Todavia, é preciso trabalhar melhor o meio de comunicação, pois os testes de transmissão dos dados via GPRS não funcionaram muito bem, devido ao sinal da operadora. Por meio do GSM foi possível o envio de SMS como alerta, mas esse método teve que ser substituído devido à limitação de caracteres. O módulo *Wi-fi* também foi testado, porém não foi satisfatório. O meio de comunicação que melhor atendeu foi o Ethernet (LIMA, 2018). Diante do exposto, a solução atende a demanda por informação da qualidade da água, mas pede melhorias do ponto de vista do módulo de comunicação aliado à rede de longa distância e baixa potência como forma de eficiência energética.

2.5 Plataforma de Desenvolvimento: Arduino

Ao longo da história da humanidade, os seres humanos encontraram soluções em momentos de dificuldades para manter a evolução da espécie. Em meados de 2002, o professor Massimo Baz precisava encontrar uma solução simples e de baixo custo para seus alunos de uma antiga escola de *design* italiana, chamada Interaction Design Institute Ivrea (IDII). O desafio era criar dispositivos eletrônicos que

reagissem fisicamente conforme estímulos. Um dos desafios foi uma linguagem de programação para pessoas que não tinham o domínio das diversas linguagens do mercado e que exigisse baixa curva de aprendizado (COSTA, 2019). Existem outras plataformas *open source* para o universo "*Maker*", conhecidas como clones do Arduino, porém a mais popular e recomendada no mundo, é o Arduino Genuíno, por questões de compatibilidade e documentação, além do apoio da comunidade. O nome Arduino foi escolhido numa confraternização da equipe do projeto em um Pub chamado "Bar di Rei Arduino". O rei Arduíno foi quem governou a Itália no ano 1002 (COSTA, 2019). A Tabela 2 exibe uma comparação com quatro modelos Arduíno e suas características.

Tabela 2 - Tabela comparativa de modelos de Arduino

Modelo	Vin	Vpin	Clock	Port. Dig	Port. Analóg.	PWM	UART	Flash	Bootloader	Interface de Programação
Arduíno Mega 2560 R3	7-12V	5V	16MHz	54	16	15	4	256Kb	STK500v2	USB via ATMega16U2
Arduíno Uno – R3	7-12v	5V	16MHz	14	6	6	1	32kb	Optiboot	USB via ATMMega16U2
Arduíno Leonardo	7-12v	5V	16MHz	20*	12	7	1	32Kb	Leonardo	USB Nativo
Arduíno Mega ADK	7-12v	5V	16MHz	54	16	15	4	256Kb	STK500v2	USB via ATMega16U2

Fonte: Robocore (2021) – adaptado.

2.5.1 Modelos e Suas Vantagens

O Arduino Mega 2560 possui grande quantidade de memória. É indicado para projetos mais robustos que necessitam de mais espaço para a programação, além da grande quantidade de portas digitais e analógicas. Já o Arduino UNO possui um diferencial que é a forma como o seu microcontrolador foi montado. O seu soquete está encaixado sobre a placa, e não soldado como os demais e, dessa forma, em caso de queima do microcontrolador, basta substitui-lo. Sobre o Arduino Leonardo, é bem semelhante ao UNO, mas o seu microcontrolador é soldado. O diferencial dele está no *chip* de conexão USB integrado em seu microcontrolador e, portanto, exclui a necessidade de um circuito adicional e, é reconhecido como um mouse ou teclado pelo computador. Quanto ao Arduino ADK (Android Development Kit), este é o mais próximo ao Arduíno Mega 2560, porém, com a diferença de integração com o sistema Android (ATHOS ELETRONICS, 2021). A Tabela 3 apresenta os Arduínos citados.

Tabela 3 - Modelos de Arduino

Arduino Mega 2560	Arduino Uno - R3	Arduino Leonardo	Arduino Mega ADK

Fonte: AthosElectronics (2021).

2.6 Telemetria

A palavra é de origem Grega onde *tele* significa remoto e *metron* quer dizer medida. Portanto, consiste em realizar medições à distância estabelecendo a comunicação de dados entre uma ou mais máquinas, podendo utilizar o meio de comunicação em rede cabeadas ou sem fio.

De acordo com Domingues (2020, p. 23),

> O sistema de telemetria pode ser dividido em três partes. O primeiro é o elemento de medição remota, que contempla os sensores, atuadores, controladores e os equipamentos de transmissão. O segundo é a rede de telecomunicações utilizada, podendo ser de vários tipos, como redes celulares GPRS, telefonia fixa, satélite, rede LoRa, entre outras. Por fim, o terceiro é o sistema de monitoramento e gerenciamento da informação, que contempla um computador onde são analisadas todas as informações obtidas remotamente.

2.6.1 LPWA (*Low-Power Wide Area*)

A tecnologia LPWA permite baixo consumo energético e longo alcance de transmissão dos dados. Esses benefícios são inerentes à tecnologia de rede voltada para atender dispositivos de Internet das Coisas. Outro atributo que faz parte dessa tecnologia é a latência alta na ordem de segundos ou minutos, e também a baixa taxa de transmissão dos dados, na casa dos quilobits por segundo, e, portanto, gera baixo custo de operação e economia de energia. A rede que utiliza essa tecnologia recebe o nome de *Low-Power Wide Area Network* (LPWAN) ou rede de baixo consumo de longo alcance. Essa rede tem por característica preservar a vida útil das baterias que geralmente alimentam os dispositivos por longos anos, além do que é

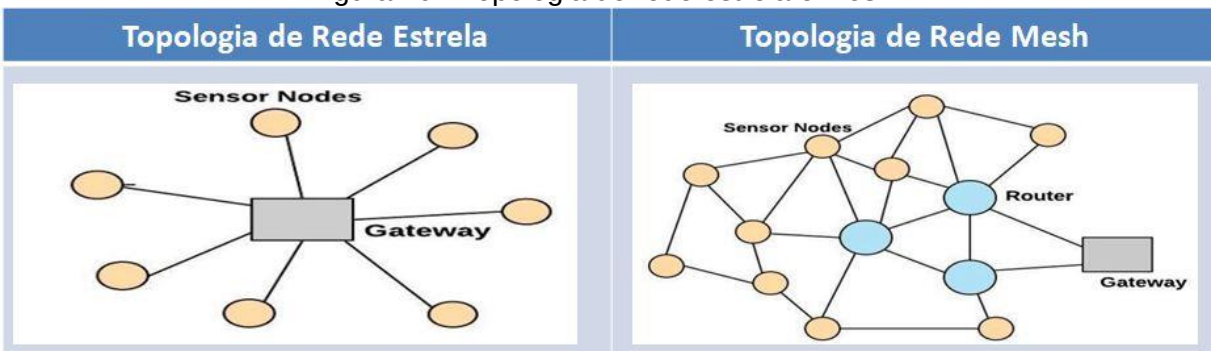
projetada para atender sensores e aplicativos que precisam enviar pequenas quantidades de dados por grandes distâncias (LORA ALLIANCE, 2015).

2.6.1.1 Característica da Infraestrutura LPWAN

A forma de comunicação característica das redes LPWAN envolve o tráfego gerado por sensores distribuídos adicionados à possível presença de tráfego criado por *smartphones* ou outros dispositivos. O próprio tráfego dessa rede pode variar em uma ampla gama de atributos como número de mensagens, tamanho da mensagem e requisitos de confiabilidade. Algumas das aplicações são tolerante ao atraso como medição inteligente, consumo do gás, água, energia elétrica e poluição, etc. No entanto, aplicações críticas como detecção de incêndio, vazamento de radiação nuclear, gases tóxicos, elevação de temperatura em ambientes controlados exigem transmissão prioritária e imediata. A baixa complexidade do hardware e o seu pequeno porte ajudam a viabilizar a escala econômica dos projetos. A arquitetura e os protocolos de rede simples precisam ser suportados pelo hardware, além do que, os transceptores de rádio precisam ser flexíveis e reconfiguráveis por software. Quanto à capacidade e densidade da LPWAN, são mais duas características dessa rede voltada aos dispositivos de Internet das Coisas. Tendo como função suportar grande quantidade de dispositivos simultaneamente, porém, com baixa taxa de tráfego de dados. Apesar de numerosos, esses dispositivos não possuem grande capacidade computacional e energética. Contudo, é preciso assegurar a escalabilidade de equipamentos heterogêneos. Os *gateways*, as rádios base e a nuvem entram como aliados, assumindo essa deficiência da rede fazendo parte da demanda computacional mais complexa. A forma de envio dos dados para a rede deve ser projetada de modo que o consumo de energia seja o mínimo possível, e que após o dispositivo executar a sua leitura, já entre em hibernação até o próximo ciclo. O raio de cobertura da LPWAN é de dezenas de quilômetros. Em zonas rurais, o alcance é de 10 a 40 km e, para áreas urbanas, essa cobertura cai para 1 a 5 km devido aos obstáculos. O uso da frequência em banda sub-GHz contribui com o longo alcance da cobertura característica das redes de baixo consumo e longo alcance. O quesito segurança é uma preocupação para as redes voltadas à Internet das Coisas devido à imensa quantidade de dispositivos na rede e a sua limitação computacional, como abordado acima. Portanto, torna-se um ambiente convidativo a ataques cibernéticos de diversas formas. Os atributos essenciais de autorização,

autenticação, confiança, confidencialidade, segurança de dados e não repúdios precisam ser apoiados. O suporte de segurança deve ser capaz de lidar com ataques de código malicioso (como *worms*); lidar com *hacking* em dispositivos e gerenciar espionagem, ataques de farejamento, além de negação de serviço (DoS). Essa questão é tratada com mais profundidade pelos *gateways* e a nuvem devido ao poder de processamento e armazenamento. Todo esse cuidado recentemente ganhou amparo jurídico e mais importância, em razão da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Para conectar toda essa infraestrutura de rede, é preciso definir a topologia que melhor atende a depender da necessidade do projeto. As topologias de rede LPWAN têm suas vantagens e desvantagens. A topologia estrela (*star*) tem a vantagem de economia de energia, pois os pacotes dão um único salto até o *gateway* mais próximo, sendo assim, a latência torna-se mais baixa. Isso, a depender do que vai ser monitorado, é um ponto de decisão. Por outro lado, é uma topologia que não possui redundância de nós. Já a topologia malha (*mesh*) traz a vantagem da redundância de nós e, portanto, traz como desvantagem o alto consumo energético para a transmissão dos dados (CHAUDHARI; ZENNARO; BORKAR, 2020). A Figura 10 exibe as tolopologias de rede estrela e *mesh*.

Figura 10 –Topologia de rede estrela e *mesh*



Fonte: Future Internet (2020) – adaptado

2.6.2 Principais Redes LPWAN Voltadas para Internet das Coisas

A necessidade de criar uma rede de baixo consumo energético, que atendesse muitos dispositivos de Internet das Coisas, e que cobrisse um grande raio ação, com baixo custo operacional e baixo consumo de banda, que são limitações da Internet convencional, surgiu a Low Power Wide Area Network (LPWAN) (ADERLEI FILHO; SANTIN; YANG, 2017).

2.6.2.1 Sigfox

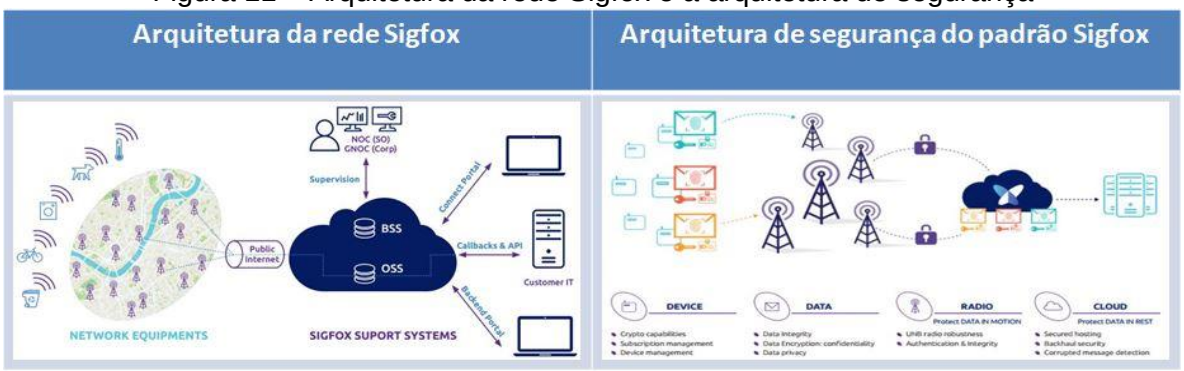
A Sigfox foi fundada por Ludovic Le Moan e Christophe Fourtet em 2010 com a visão de conectar todos os objetos em do mundo físico ao universo digital. Os dois fundadores franceses construíram uma rede global dedicada à Internet das Coisas baseada em baixa potência, longo alcance para atender pouco tráfego de dados.

A rede Sigfox é classificada como sendo de banda ultra estreita *Ultra Narrow-Band* e de baixa taxa de transferência (*throughput*). Devido ao uso da modulação *Differential Binary Phase-Shift Keying* (DBPSK) e *Gaussian Frequency Shift Keying* (GFSK), que transmitem os dados na banda conhecida como *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), corresponde a uma faixa de 868MHz a 902MHz não licenciada. A característica dessa banda permite alcançar distâncias maiores, vencendo obstáculos em zonas rurais e urbanas, além de economizar energia que é essencial em redes LPWA. Cada dispositivo na rede transmite o dado três vezes em frequências distintas para três rádios base diferentes. Essa forma de comunicação contribui com a redundância do dado (SIGFOX, 2021).

A camada *Network Equipment* consiste essencialmente em estações base responsáveis pelo recebimento das mensagens enviadas pelos dispositivos e envio das mesmas para a camada *Sigfox Support Systems*. Já a característica da camada *Sigfox Support System* constitui a rede principal, sendo encarregada de processar as mensagens e enviá-las através de chamadas de retorno para o sistema do cliente. O *Software Defined Radio* (SDR) Sigfox faz com que sejam reduzidos os custos das estações base (ERB) e ainda aumenta a sua flexibilidade. Uma vantagem dessa rede é, o rádio ser definido por software. Isso contribui substancialmente com a redução do custo total de operação e, sendo assim, traz a garantia de que um único *hardware* seja capaz de operar globalmente.

No Brasil, a WND (*Wireless Network Development*), empresa de origem inglesa, é operadora na América Latina e Reino Unido da tecnologia Sigfox. Ela entrega aos seus parceiros as camadas de rede intermediárias prontas para uso (SIGFOX, 2021). A Figura 11 exibe a arquitetura da rede Sigfox e a arquitetura de segurança.

Figura 11 – Arquitetura da rede Sigfox e a arquitetura de segurança



Fonte: Embarcados (2017).

2.6.2.2 LoRa (*Long Range*) e LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*)

LoRa consiste em uma camada física ou modulação sem fio utilizada para trabalhar com o longo alcance de comunicação. Sistemas sem fio legados costumam usar a mudança de frequência, conhecida como modulação de chaveamento, ou *Frenquency Shift Keying* (FSK). Essa modulação atua na camada física e a torna mais eficiente devido à baixa potência. O *Chirp Spread Spectrum* (Chirp), que é um pulso de sinal onde a frequência varia monotonamente, trafega na mesma faixa de frequência da *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) e, portanto, não é licenciada. Essa característica ajuda na agilidade de implementação na rede e a torna economicamente viável. Vale destacar que o Chirp é utilizado nas comunicações militares e espaciais há muito tempo, devido ao alcance de grandes distâncias e à resistência à interferência, além do baixo custo para uso comercial (LORA ALLIANCE, 2015).

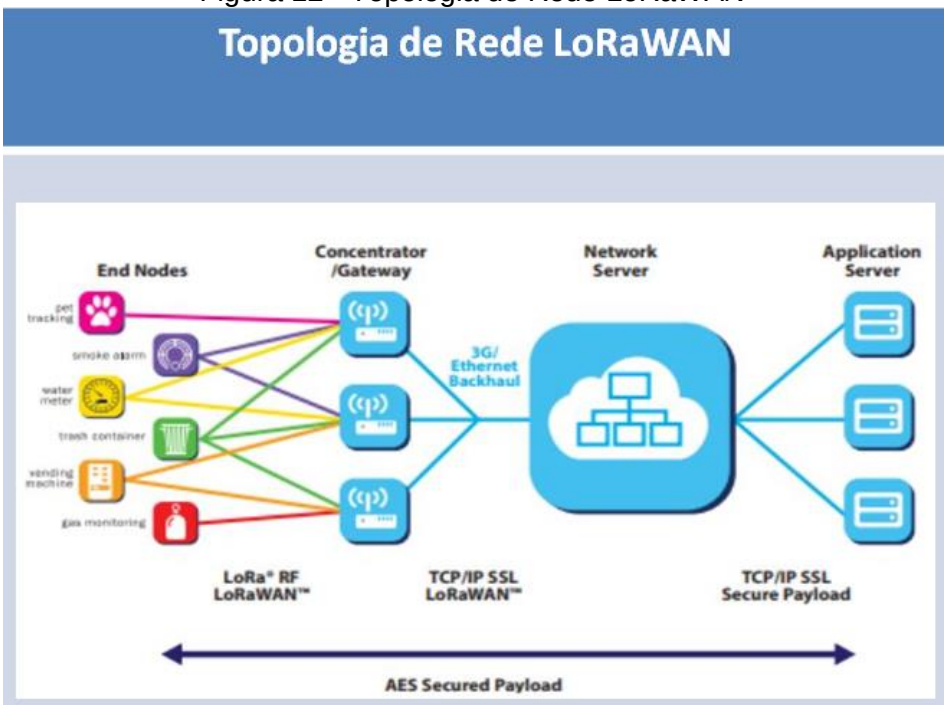
A rede LoRaWAN define o protocolo de comunicação e a arquitetura do sistema para a rede, enquanto a camada física se responsabiliza pela comunicação de longo alcance. A arquitetura de rede e o protocolo LoRaWAN são voltados ao tráfego de dados para a Internet das Coisas, e desse modo, contribuem com a eficiência energética da bateria utilizada por um nó da rede. Além do mais, a escalabilidade, segurança e a qualidade da rede também se somam às vantagens, aliado ao protocolo aberto que permite o desenvolvimento de dispositivos a custos competitivos.

No que se refere à topologia de redes, o modelo em malha (*mesh*) também pode ser utilizada. A vantagem é que os nós finais individuais encaminham as informações de outros nós para aumentar a confiabilidade e o alcance de comunicação aumentando

o tamanho da célula da rede. Em contrapartida, tem a desvantagem que aparece no processo de transmissão dos dados, pois o encaminhamento dos dados entre diversos nós, característicos dessa topologia, traz complexidade e, portanto, o consumo da bateria torna-se maior. O resultado é a redução do tempo de vida da bateria. Já a topologia estrela (*star*), por ser mais simples, traz a vantagem do longo alcance preservando o consumo da bateria, que é uma grande preocupação em redes pensadas para Internet das Coisas (LORA ALLIANCE, 2015).

Os dispositivos finais atendem a diferentes aplicativos e têm diferentes requisitos, variedades de perfis de aplicativos finais. Existem classes de dispositivos como A, B e C, cada uma com a sua particularidade que compensam a latência de comunicação. Referente à segurança, essa rede utiliza duas camadas de proteção: uma para a rede e outra para o aplicativo. A segurança da rede garante a autenticidade do nó, enquanto a camada de segurança do aplicativo garante que a operadora da rede não tenha acesso aos dados do aplicativo do usuário final. A criptografia *Advanced Encryption Standard* (AES) é usada com a troca de chaves utilizando um identificador IEEE EUI64 (LORA ALLIANCE, 2015). A Figura 12 apresenta uma topologia de rede LoRaWAN

Figura 12 - Topologia de Rede LoRaWAN



Fonte: Lora Alliance (2015).

A Tabela 4 apresenta a classe de sensores – A, B e C para os dispositivos na de rede LoRaWAN.

Tabela 4 - Classe de sensores – A, B e C para os dispositivos na de rede LoRaWAN

Nome da Classe	Classes de Sensores – A, B e C Intenção de uso do sensor
A (ALL)	- Sensores alimentados por bateria ou atuadores sem restrição de latência; - Classe de comunicação mais eficiente; e - Deve se suportada por todos os dispositivos.
B (BEACON)	- Atuadores alimentados por bateria; - Classe com eficiência energética para downlink controlado por latência; e - Comunicação com fenda sincronizada com um sinalizador de rede.
C (CONTINUOUS)	- Atuadores alimentados por energia; - Dispositivos que podem se comunicar continuamente; e - Não há latência para comunicação via dowlink.

Fonte: Tct Brasil (2019) – adaptado.

2.6.2.3 Rede NB-IoT

A rede *Narrow band Internet of Things* (NB-IoT), que é uma rede de banda estreita com uma largura de banda de 200 kHz para Internet das Coisas, teve a sua origem em 2016. Fundada por uma associação de empresas que reúne uma série de órgãos normativos de telecomunicações conhecida como 3GPP *(3rd Generation Partnership Project*). Em sua versão13, ficou definido que a NB-IoT seria uma nova funcionalidade do padrão LTE (*Long Term Evolution*). A grande vantagem dessa rede é utilizar a infraestrutura existente das operadoras de telefonia celular atuando em parte da banda da LTE e coexistindo com as redes já consolidadas como o 2G, 3G e 4G. Isso a torna mais econômica, pois não há necessidade de investimentos em infraestrutura (TELESÍNTESE, 2016).

Outro fator que a diferencia perante as concorrentes é a baixa latência, maior taxa de transmissão de dados e maior velocidade, além da grande capilaridade que está condicionada à existência de estação rádio base de celulares, portanto, onde existe sinal de celular é possível entregar a rede NB-IoT. Mais uma vantagem da coexistência com a LTE é a segurança, pois, passa a se beneficiar dos quesitos como a confidencialidade de identidade do usuário, autenticação deentidades, integridade de dados e identificação de equipamentos móveis (BARACAT, 2018). A Figura 13 representa um nó da rede NB-IoT.

Figura 13 – Nó da rede NB-IoT

Fonte: Mercato (2021).

A Figura 14 apresenta um exemplo com dispositivos utilizandoa rede NB-IoT.

Figura 14 – Exemplo de utilização de rede NB-IoT

Fonte: Telesíntese (2016).

Cada tecnologia de rede de baixo consumo e longo alcance LPWA apresentada traz consigo suas características como cobertura do sinal, limite de dados que pode trafegar pela rede, velocidade, latência, eficiênica de energia, custo operacional e

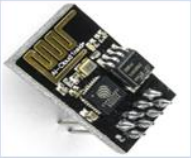
frequência licenciada e não licenciada. Diante do exposto, é preciso entender a demanda de cada necessidade para optar pela melhor solução de LPWA.

O texto expôs a característica da tecnologia NB-IoT, a forma de transmissão de dados e suas vantagens, que preza por custos baixos e eficiência energética da bateria, podendo passar de 10 anos de uso. A coexistência com a infraestrura das operadoras de celular LTE, além de beneficiar-se dos recursos já implementados também é uma vantagem da NB-IoT. Outro ponto que agrega a essa tecnologia, é a baixa complexidade dos dispositivos e, portanto, espera-se que possuam baixos custos de implantação.

2.7 Módulos de Comunicação

Um módulo de comunicação é um hardware desenvolvido para prover a conectividade entre redes por meio da Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, BLE (*Bluetooth Low Energy*) e LPWAN. A Tabela 5 exibe uma ilustração.

Tabela 5 – Ilustração dos módulos de comunicação

Módulo de comunicação Ethernet W5500	Módulo Wi-Fi ESP8266	Módulo Bluetooth	Módulo BLE (Bluetooth Low Energy)	Módulo LoRaWAN Bee
				

Fonte: Robocore (2021) – adaptado.

Conforme exposto, existem vários módulos de comunicação de dados voltados à Internet das Coisas. A definição de qual módulo será utilizado dependerá da necessidade específica de cada projeto. A quantidade de dados, a frequência de envio e a localização física do dispositivo é quem definirá qual será utilizado.

2.8 Módulos de Sensores

Os sensores são itens de extrema importância no desenvolvimento desta solução, pois é através deles que os parâmetros serão lidos e, então, encaminhados para a geração da informação sobre a potabilidade da água. Por meio dos kits de sensores

multiparâmetro ou sensores avulsos, é possível aferir os parâmetros de potabilidade da água (ACQUA NATIVA, 2018). A Figura 15 apresenta o kit de sensores de parâmetro da qualidade da água.

Figura 15 - Kit de sensores de parâmetro da qualidade da água

Fonte: Acqua Nativa (2018).

A precisão, confiabilidade e resistência desses sensores são determinantes no grau da informação que será gerada. No contexto de medição de potabilidade da água, é essencial que os sensores façam a leitura dos parâmetros como Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Potencial de Redução de Oxigênio (ORP), Condutividade Elétrica e Temperatura da Água.

2.9 Computação em Nuvem

Diante da quantidade de dispositivos em uma rede LPWAN, a computação em nuvem vem para compor esse ecossistema, que tende a crescer em escala de bilhões de dispositivos. A *Cloud Computing* ou Computação em Nuvem surgiu a partir da percepção das empresas de *Data Centers*, que havia empresas emergentes e usuários finais, demandando por alta disponibilidade de acesso, baixo custo e agilidade na implementação de seus projetos, porém, não poderiam pagar pelos elevados custos de manutenção dessa infraestrutura. A solução então foi compartilhar a capacidade ociosa de todo esse recurso de processamento e armazenamento (CALDAS FILHO, 2019).

2.9.1 *Edge Computing* ou Computação de Borda

É um modelo de computação que consiste em trazer parte do poder de processamento e armazenamento dos *Data Centers* para as pontas da rede, como os dispositivos IoT. A grande vantagem é diminuir o tráfego de dados a ser transmitido na banda e deixar que apenas dados mais complexos sejam processados pela nuvem e, dessa maneira, reduz a latência da resposta, melhora o desempenho do processamento, diminui o custo com a transmissão dos dados e eleva da disponibilidade do serviço (SANTOS, Renata., 2019).

2.9.2 *Fog Computing* ou Computação em Névoa

Realiza a computação distribuída para os serviços de rede e armazenamento. Esse conceito vem sendo aplicado em apoio à redução de carga de dados processados na nuvem. Essa solução utiliza o poder de processamento do nó de rede como *gateway*, a fim de diminuir a quantidade de dados enviados ao *Data Center* e, portanto, também contribui com a redução da latência da aplicação na rede (SILVA, 2019).

2.10 Considerações do Capítulo

Este capítulo tem por objetivo apresentar a maneira como as águas são coletadas em seus diversos cursos d'água e as formas de contaminação que sofrem até chegar ao consumo final. Também apontou as principais doenças causadas pela falta de tratamento e demonstrou iniciativas que corroboram com a demanda de informação sobre a qualidade da água que consumimos, a fim de garantir a segurança sanitária.

É importante compreender o quão complexa é a captura da água para o consumo e seus processos de purificação. Essas referências trazem a consciência sobre o desenvolvimento de uma proposta de arquitetura Internet das Coisas para o monitoramento da potabilidade da água, bem como os conceitos para o seu entendimento. Ficou evidente que as iniciativas abordadas têm deficiências em seu funcionamento, a exemplo da sonda Aqua Troll 500, que atende parcialmente o

monitoramento quando o objetivo é exclusivamente a coleta e análise da água, contudo, restringe muitos condomínios devido ao seu alto custo.

Quanto ao sistema de monitoramento da qualidade da água para hidroponia, este contribui conceitualmente no quesito tecnológico, porém o foco não está no consumo humano. Já o Mãe d' Água é o que mais se assemelha ao monitoramento da potabilidade da água, mas deixa a desejar quando necessita de fontes de energia alternativas e flexibilidade da interface de comunicação. Todavia, o Módulo de Sensores para Monitoramento da Água de Poços foca na potabilidade, entretanto, coleta os dados na origem, ou seja, na captação da água, o que gera risco no resultado final devido ao percurso que a água ainda tem que fazer até o consumidor final.

Todas essas iniciativas entendem que o uso da tecnologia contemporânea, por meio de sondas que leem os parâmetros de potabilidade da água, aliado à telemetria, é o caminho para prover informação sobre a qualidade da água. O próximo capítulo apresenta a proposta de arquitetura desenvolvida como parte desta pesquisa.

3. ARQUITETURA PROPOSTA

3.1 Considerações Iniciais

A arquitetura aqui proposta baseia-se em um conjunto de módulos com funções distintas que trabalham de forma integrada, cujo concentrador principal é o módulo computacional que tem a função de armazenar, processar e analisar os parâmetros coletados da água. Este é o principal dispositivo desta arquitetura, pois é nele que a inteligência está embarcada. Cabe a este módulo a tomada de decisão de enviar ou não ao módulo de comunicação os dados lidos pelos sensores dos parâmetros da água imersos no reservatório e conectados ao módulo computacional quando algum parâmetro foge ao padrão da potabilidade da água.

O módulo de comunicação, que é o responsável por transmitir os dados do módulo computacional para a rede, pode ser uma interface convencional ou voltada à Internet das Coisas e, dessa maneira, pode se adequar à infraestrutura de cada condomínio. O dado também pode ser trabalhado em infraestrutura local, híbrida ou em nuvem. O banco de dados armazena informações e o servidor de aplicação de código aberto hospeda o painel de controle *web*, que recebe requisições de acesso dos navegadores de Internet com tecnologia responsiva.

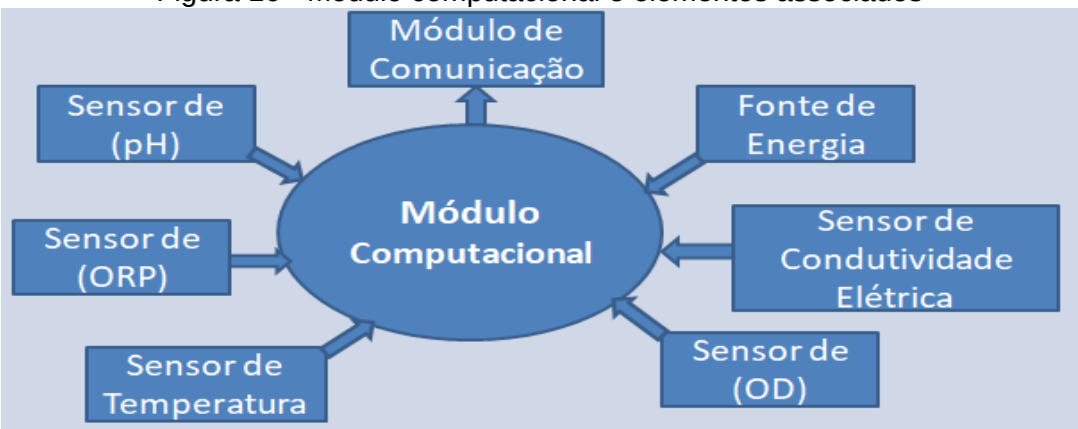
No contexto desse trabalho, relacionado a IoT, encontra-se na literatura propostas variadas de arquiteturas baseadas nas necessidades da academia e indústria. Contudo, pode-se tomar como referência um modelo básico de arquitetura que abrange três camadas. A primeira consiste na camada de objetos inteligentes ou de percepção, composta por objetos físicos, a exemplo dos sensores que coletam dados. Na segunda camada, existe a rede usada para a comunicação e, por fim, a terceira camada é a da aplicação responsável pelos serviços acessados pelo usuário final como a visualização da qualidade da temperatura e umidade (SANTOS et al., 2016). Devido às características de cada local, essa proposta de aquitetura permite a flexibilidade em sua infraestrutura com o objetivo de atender diversos condomínios com viabilidade técnica e econômica distintas, bem como os que possuem certas restrições desses recursos. A compatibilidade com múltiplas interfaces de rede, convencional ou LPWA, contribui na tomada de decisão por qual módulo de

comunicação utilizar. Consequentemente, torna-se mais econômico e tecnicamente viável atender regiões com restrições de acesso à Internet, a fim de promover a segurança sanitária para esse público. A solução de mercado apresentada chamada de Aqua Troll 500, é inviável tecnicamente por não possuir essa flexibilidade de interface de comunicação à infraestrutura e, além disso, tem alto valor de mercado, o que a torna impraticável para grande parte dos condomínios. Contudo, nas demais iniciativas apresentadas o custo é mais acessível. A falta dessa adaptabilidade de comunicação, assim como, fonte idependente de energia elétrica, são características que faltam a essas soluções. Apesar dessas iniciativa também monitorarem a qualidade da água, elas não focam no reservatório final que é o foco deste trabalho.

3.2 Módulo Computacional

O módulo computacional, no contexto desta arquitetura, é o hardware que concentra todos os sensores relacionados à medição da potabilidade da água em um reservatório, fonte de energia e módulo de comunicação. Nos casos em que se escolhe o Arduino para implementar o módulo computacional, utiliza-se uma linguagem de programação baseada em Wiring para o desenvolvimento do software a ser executado. É por meio deste módulo que a parametrização é armazenada e processada. Os parâmetros coletados são analisados de tempo em tempo e, quando há mudança de padrão predefinido, um alerta é disparado e encaminhado ao módulo de comunicação até chegar ao painel de controle. Esse módulo deve possuir uma quantidade grande de portas digitais e analógicas disponíveis prevendo a conexão com diversos sensores, módulos de comunicação e fonte de energia. A capacidade de memória deve ser considerada para permitir parte do armazenamento e processamento do dado no dispositivo. Consequentemente é importante que o módulo escolhido possua compatibilidade com os sensores de leitura dos parâmetros de água existentes, além da compatibilidade com as opções de módulos de rede. A Figura 16 representa, conceitualmente, o módulo computacional, sensores, fonte de energia e módulo de comunicação.

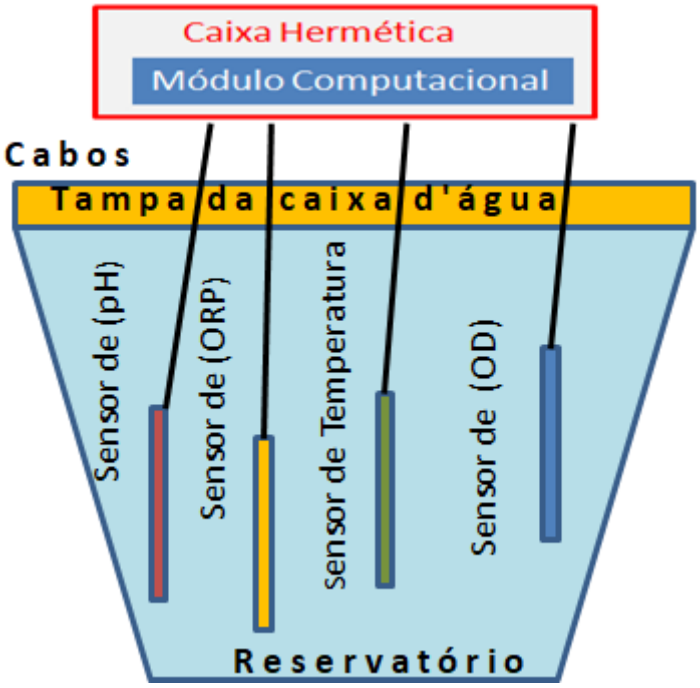
Figura 16 - Módulo computacional e elementos associados



Fonte: autor

Assim como demonstrado no diagrama de blocos acima, o módulo computacional é o elemento que concentra o resultado da leitura dos sensores, o processamento e armazenamento local, além do que, recebe a fonte de energia e o módulo de comunicação de rede. É muito importante que este equipamento fique dentro de uma caixa hermética e em local seguro. O seu local de fixação deve ser do lado externo ao reservatório de água. Os sensores imersos na água e o módulo de comunicação são conectados por meio de cabos que transpassam a tampa do reservatório. Em consequência de sua localização física, que são os topos dos prédios, é importante o cuidado com as intempéries do tempo, e até mesmo os curiosos. A fonte de alimentação é indispensável para o bom funcionamento e, dessa forma, é preciso que esteja sempre disponível quando o ciclo de leitura se iniciar. Mediante a arquitetura de rede adotada é possível que todo o processamento ocorra localmente, sem consumir banda de Internet. Por característica do conceito aqui abordado, a ideia é transferir quantidades de dados na casa de bytes e, portanto, pouquíssimos dados. Esse tipo de alerta não necessita da verificação e envio de dados a cada minuto, por exemplo. O alerta crítico dar-se-á quando houver indícios de contaminantes na água, do contrário, a atualização da informação pode ser a cada 6 horas ou como o usuário final assim definir. A Figura 17 apresenta os sensores imersos no reservatório de água

Figura 17 – Sensores Imersos no Reservatório de Água

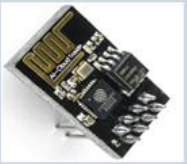


Fonte: autor

3.3 Módulos de Comunicação

Os módulos de comunicação têm a função de receber o dado processado pelo módulo computacional e, então, retransmiti-los pela rede local ou Internet. Como existem várias opções de módulos de comunicação convencionais como Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, BLE e também os voltados para a Internet das Coisas compatíveis com a LPWAN, a escolha dependerá da concepção do projeto. Cada uma dessas alternativas tem vantagens e desvantagens. Esse conceito de arquitetura foi concebido para trabalhar com as várias formas de interfaces de rede existentes. A Tabela 6 apresenta os módulos de comunicação convencionais.

Tabela 6 – Módulos de comunicação convencionais.

Ethernet W5500	Wi-Fi ESP8266	Bluetooth	BLE (Bluetooth Low Energy)
			

Fonte: Robocore (2021) – adaptado.

A Tabela 7 apresenta os módulos de comunicação LPWA.

Tabela 7 – Módulos de comunicação LPWA.

Sigfox com módulo Wisol	LoRaWAN Bee	SIM7000 LTE CAT-M/ NB-IoT

Fonte: Robocore (2021) – adaptado.

Logo que o módulo de comunicação recebe os dados do módulo computacional, eles são encaminhados à rede local ou para a operadora de Internet convencional, ou operadoras específicas que têm infraestrutura preparada para Internet das Coisas como as LPWA. A escolha do tipo de interface de rede impacta diretamente no consumo energético da arquitetura. É sabido que Ethernet e Wi-Fi consomem muito mais energia do que as interfaces voltadas à Internet das Coisas como LoRaWAN, Sigfox ou NB-IoT. Para comunicação local, também se pode utilizar o meio Bluetooth ou BLE. Todavia, essas duas últimas têm a desvantagem do raio de ação curto. A proposta deste trabalho é demonstrar a flexibilidade no quesito de montagem da arquitetura que pode ser adequado de acordo com a característica de cada local.

3.4 Sensores de leitura dos Parâmetros da Água

Para realizar a integração dos sensores de leitura dos parâmetros da água, é preciso observar os protocolos compatíveis com os mesmos. De acordo com o conceito apresentado aqui, os sensores devem ler os seguintes parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (PH), Potencial de Oxidação-Redução (ORP), Condutividade Elétrica e Temperatura. Antes de mergulhá-los no reservatório de água, é preciso calibrá-los para que se consigam melhores resultados. A manutenção constante também se faz necessária, visto que ao longo do tempo, partículas suspensas na água se acumulam nos eletrodos e, dessa maneira, mascara a leitura correta. A Figura 18 representa o kit de sensores dos parâmetros da água de forma meramente ilustrativa. A arquitetura não exige que se utilize esse modelo específico.

Figura 18 - Kit de sensores de leitores dos parâmetros da água

Fonte: Acqua Nativa (2018) – adaptado.

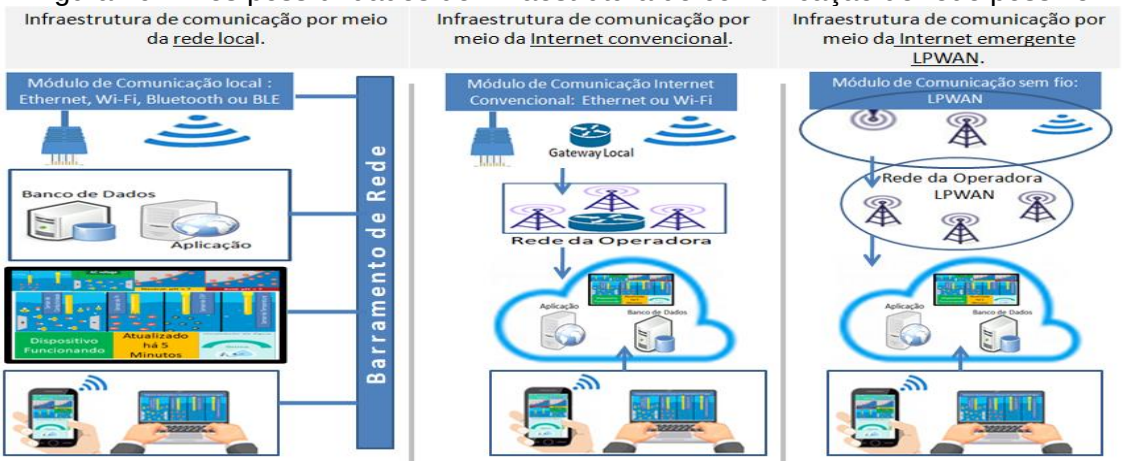
3.5 Infraestrutura de Rede de Transmissão dos Dados

Após o recebimento dos dados pelos módulos de comunicação, é preciso um meio de comunicação para transmitir os dados até o armazenamento e a publicação das informações. Essa infraestrutura pode ser exclusivamente local, híbrida com Internet convencional ou híbrida com LPWAN. Em decorrência da infraestrutura local, e concentrada, algumas variáveis são resolvidas a exemplo do link de Internet, assim como a infraestrutura externa para armazenar, processar e publicar as informações. O tema segurança pode ser apontado como um ponto positivo, pois diminui os atores envolvidos nesse ecossistema até a publicação da informação e, portanto, apresenta-se como vantagem. As desvantagens ficam por conta do elevado investimento inicial e da manutenção que são inerentes a essa infraestrutura.

Quanto à infraestrutura híbrida por meio da Internet convencional, essa compartilha a Internet do condomínio para transmitir os dados do monitoramento à vantagem é a economia em relação ao *link* de Internet. A latência é menor em comparação às operadoras LPWAN e também não há limite de envio de mensagens por dia, o que onera o custo operacional. Para transitar o dado pela Internet convencional, basta a assinatura de uma banda larga comum e fazer com que a interface de rede Ethernet ou Wi-Fi se comunique com o roteador da operadora. Este cenário é bastante viável em cidades médias ou grandes, onde atualmente não há dificuldade prática de se obter uma conexão de Internet em condomínios residenciais. Na prática, muitos deles já possuem assinatura de Internet para fins administrativos e a disponibilidade já existente dessa conexão pode ser reaproveitada. A capacidade computacional e

armazenamento da nuvem são utilizados nessa infraestrutura a fim de publicar a informação para a tomada de decisão. A desvantagem aparece na dependência do compartilhamento e, dessa forma, caso o serviço seja interrompido, a informação não chegará ao painel de controle, até que o serviço seja restabelecido. A Infraestrutura híbrida LPWAN utiliza como meio de transmissão dos dados as operadoras voltadas a atender exclusivamente dispositivos de Internet das Coisas. Essas redes são projetadas para suportarem bilhões de dispositivos de Internet das Coisas e tem como vantagens os custos de instalação e operação mais baixos em comparação às operadoras de Internet convencional e ainda consome menos energia, o que vai ao encontro do tema eficiência energética. Como desvantagens, pode-se apontar a alta latência, limite de mensagens por dia para manter os custos baixos e também a capilaridade da cobertura do sinal reduzida. Assim como a infraestrutura híbrida convencional, a LPWAN utiliza a nuvem como meio de processamento e armazenamento computacional remoto. Atualmente existem três principais tecnologias de rede LPWA atuando no Brasil: Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT. A Figura 19 representa as três possibilidades de infraestrutura de comunicação de rede possíveis na arquitetura proposta.

Figura 19 - Três possibilidades de infraestrutura de comunicação de rede possível



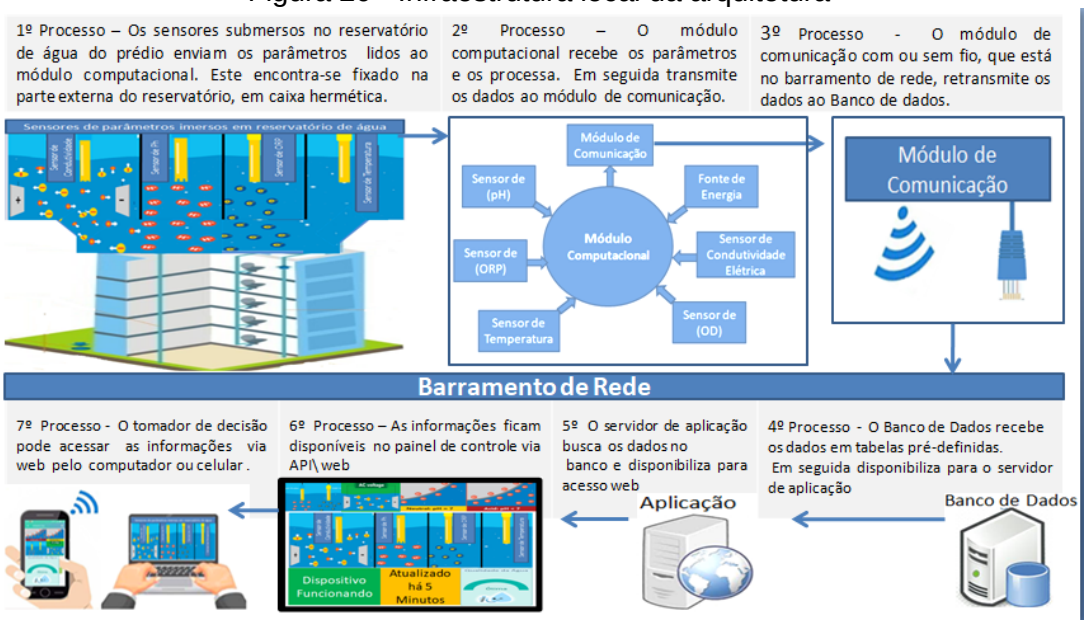
Fonte: autor

O que trará sustentação para a decisão de qual infraestrutura e comunicação utilizar será um estudo para cada ambiente e sua necessidade. Conforme exposto, existem algumas variáveis como custos de operação, manutenção, necessidade de alta disponibilidade, segurança, capacidade de expansão e escala. Diante do exposto, não há uma única infraestrutura que resolve todas as demandas. Por conta disso, o conceito de arquitetura proposto é flexível e se adequa à peculiaridade de cada condomínio.

3.6 Processo Conceitual da Infraestrutura Local e Remota da Arquitetura

A geração da informação inicia-se a partir dos sensores mergulhados no reservatório de água do prédio, que têm a função de ler os parâmetros de potabilidade da água, que são: Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Potencial de Oxidação/Redução (ORP), Condutividade Elétrica e Temperatura da Água. Esses sensores seguem um ciclo de leitura determinado pelo desenvolvedor do módulo computacional. De forma periódica, o resultado é obtido pelo módulo computacional, que analisa se há ou não variação do padrão da potabilidade da água, já pré-estabelecido na programação executada no módulo computacional. Os dados são encaminhados para a nuvem, estando ou não fora do parâmetro, a fim de acompanhar constantemente a condição da água. Contudo, se o padrão de potabilidade mudar, isso indica contaminação da água, então, um alerta é enviado imediatamente, a partir do módulo computacional, passando por toda a infraestrutura de rede local ou remota até entregar aos contatos pré-cadastrado por SMS ou e-mail e, dessa maneira, o gráfico de acompanhamento no painel de controle também altera a situação. Portanto, o gestor tem informação atualizada para a tomada de decisão. Essa decisão pode ser a suspensão imediata do consumo, a solicitação de análise laboratorial ou mesmo não tomar nenhuma ação. Essa terceira hipótese teria como justificativa alguma intervenção no reservatório, como uma limpeza ou manutenção programada e, desse modo, a alteração do padrão é esperada. A forma de transmissão dos dados dar-se-á via módulo de comunicação de rede. A carga de processamento, junto ao armazenamento pesado pode ser tratada integralmente ou parcialmente dentro da infraestrutura local ou de forma remota integralmente na nuvem. Contudo, para isso, o meio de transmissão dos dados será a Internet. O dado entre o módulo computacional local até o banco de dados e a sua visualização no painel de controle será encaminhado via API ou conexão web. Os dados já trabalhados podem ser armazenados na infraestrutura local, sendo assim, não dependerá da Internet para disponibilizá-los. De outra forma, a nuvem trará redundância tal qual alta disponibilidade do ambiente. A Figura 20 abaixo representa de forma conceitual a infraestrutura local da arquitetura.

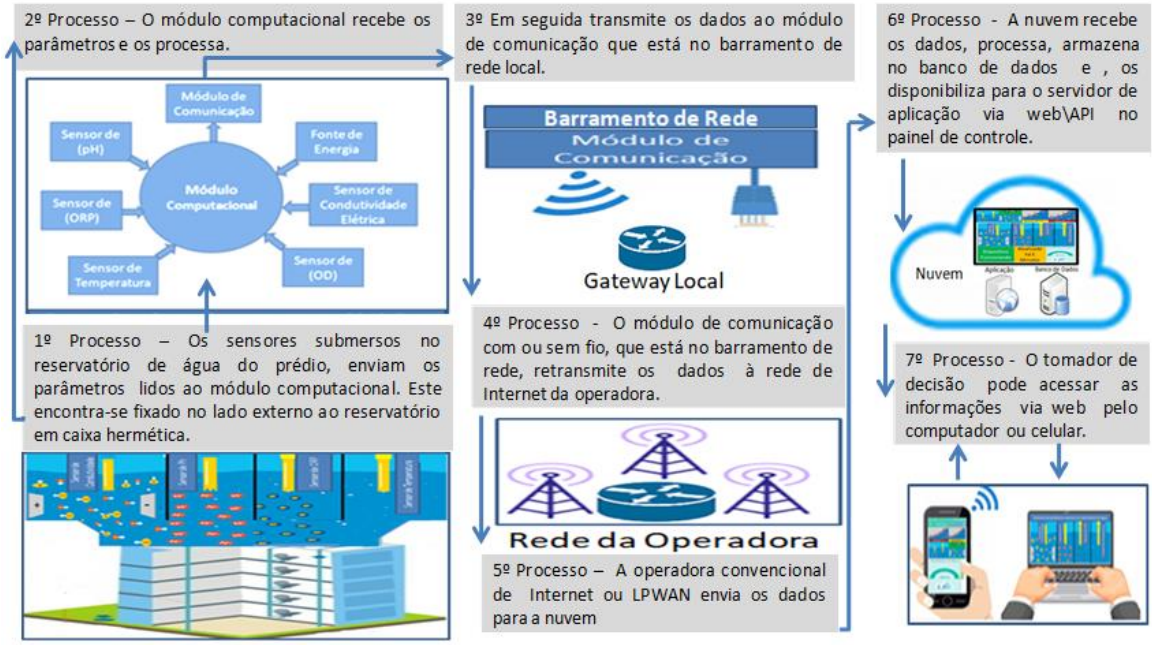
Figura 20 - Infraestrutura local da arquitetura



Fonte: autor

A Figura 21 representa de forma conceitual a infraestrutura remota/nuvem da arquitetura.

Figura 21- Infraestrutura remota/nuvem da arquitetura



Fonte: autor.

3.7 Visualização da Informação

Após o dado percorrer todo o seu caminho, como exposto na seção anterior, o destino final será a visualização do dado já armazenado em banco de dados e trabalhado em um servidor de aplicação. Esse processo ocorre de forma semelhante tanto na infraestrutura local quanto na nuvem. A informação é transferida por meio de aplicação web ou API para que o servidor de aplicação faça a publicação. O gestor, no papel de tomador de decisão, tem a opção de acessar via navegador de Internet a partir do computador pessoal ou via celular. A informação aparece de forma responsiva devido à tecnologia aplicada. As informações apresentadas no painel de controle também são dinâmicas podendo ser acessada via navegador e desse modo, a atualização da informação será renovada logo que módulo computacional executar um novo ciclo que verificação. A Figura 22 representa a forma de visualização da informação.

Figura 22 - Forma de visualização da informação

Fonte: autor.

3.8 Exemplo de Solução Específica

Essa seção apresenta uma solução específica baseada em arquitetura conceitual e, dessa maneira, a placa de prototipagem Arduino foi escolhida para ser o módulo computacional responsável por receber os parâmetros dos sensores da potabilidade da água, e em seguida processar parte dos dados para então repassa-los ao módulo de comunicação Sigfox, que por sua vez, retransmitirá por meio da tecnologia francesa Sigfox até a infraestrutura em nuvem, responsável por armazenar e publicar a informação em painel de controle via aplicação web ou API.

3.8.1 Módulo de Prototipagem Arduino Mega 2560

O Arduino Mega 2560 é um exemplo de hardware que vai ao encontro da capacidade computacional adequada para a proposta de arquitetura abordada nessa seção. Devido à sua quantidade de portas suficientes para receber os sensores de leitura de parâmetros da água, bem como fonte de energia da operadora local ou alternativa por meio de bateria de 9V. Aliado a isso, também é compatível com módulos de comunicação diversos de Internet convencional ou LPWAN.

3.8.2 Sensores de leitura dos Parâmetros de Potabilidade da Água

O conjunto de sensores multiparâmertos 105F foi escolhido devido à sua resistência para aplicações em campo, e por já incluir todas as medições necessárias que indicam a potabilidade da água. Por meio da sua interface eletrônica, é possível configurar e calibrar todos os parâmetros. Outro ponto importante que contribuiu para a sua escolha foi a capacidade de ler simultaneamente os cinco parâmetros com a opção dos protocolos Receptor/Transmissor Universal Assíncrono (UART) e *Inter-Integrated Circuit* (I2C) que é um barramento serial multimestre que garante a funcionalidade por 2 anos sem interrupção além do que, possui compatibilidade com o módulo computacional Arduino Mega 2560 (Acqua Nativa, 2018).

3.8.3 Operadora de Rede Sigfox no Brasil

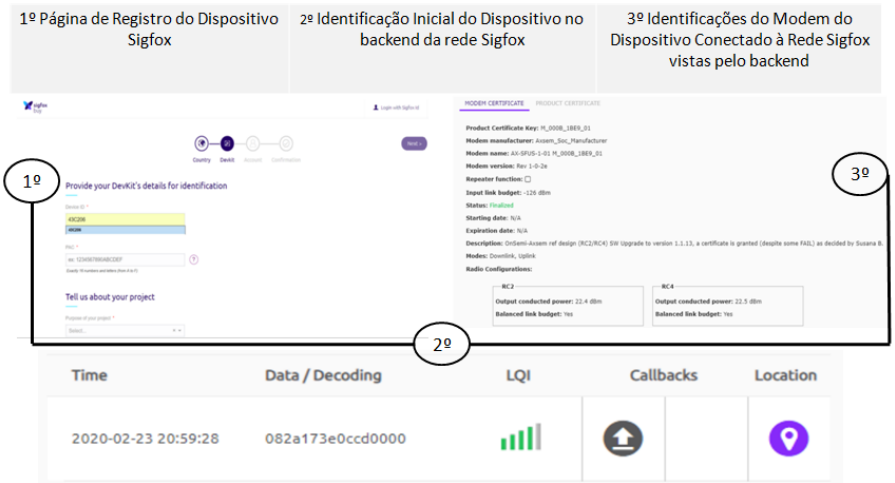
A *Wireless Network Development* (WND), que é a operadora da rede Sigfox no Brasil, transmite os dados por meio do protocolo 3D UNB (*Ultra Narrow Band* ou Banda Ultra Estreita). Os dados são enviados três vezes, por três frequências diferentes ao longo do tempo. A captação do sinal também se dá por três antenas distintas e isso contribui tornando a comunicação resistente a interferências e a invasões. Essa característica da rede também eleva a confiabilidade da entrega dos dados para 98% de disponibilidade e confiabilidade. A rede permite o envio de 140 mensagens por dia de 12 bytes. Atualmente, todas as capitais brasileiras estão cobertas pela WND. A questão da segurança do dado também é tratada pela infraestrutura da rede. Existem duas camadas. A primeira recebe os dados dos dispositivos Sigfox, que fica entre o módulo de comunicação e a rádio base. Essa é responsável por receber as mensagens dos dispositivos. Cada dispositivo tem uma

identificação única e uma chave privada. A segunda camada é a nuvem Sigfox, a qual processa os dados e os envia à aplicação. Entre as camadas, toda a comunicação é criptografada (via *SSL* e *VPN*) (EMBARCADOS, 2017).

3.8.4 Nuvem Sigfox

A nuvem Sigfox recebe os dados via *backend* da rede a partir do dispositivo Sigfox e, em seguida, por meio de uma requisição HTTP, inicia uma ação no servidor via método GET ou POST. Dessa forma, os dados são encaminhados para um servidor ou plataforma em nuvem. Essas mensagens de retorno podem ser geradas por eventos do tipo: recebimento de nova mensagem, perda de conexão e outros eventos. Essas mensagens podem ser configuradas a partir de um servidor HTTP *backend* da Sigfox além de outros serviços de nuvem. A rede Sigfox disponibiliza uma página web para acompanhar esse processo de comunicação entre o dispositivo e a rede. Após o cadastramento e a autenticação, o dispositivo fica habilitado na rede e, dessa forma, é possível trafegar dados de acordo com plano contratado. A Figura 23 representa o dispositivo Sigfox registrado na rede.

Figura 23 - Dispositivo Sigfox registrado na rede



Fonte: Costa (2020) – adaptado.

3.8.5 Banco de Dados NoSQL ou Não-Relacionais

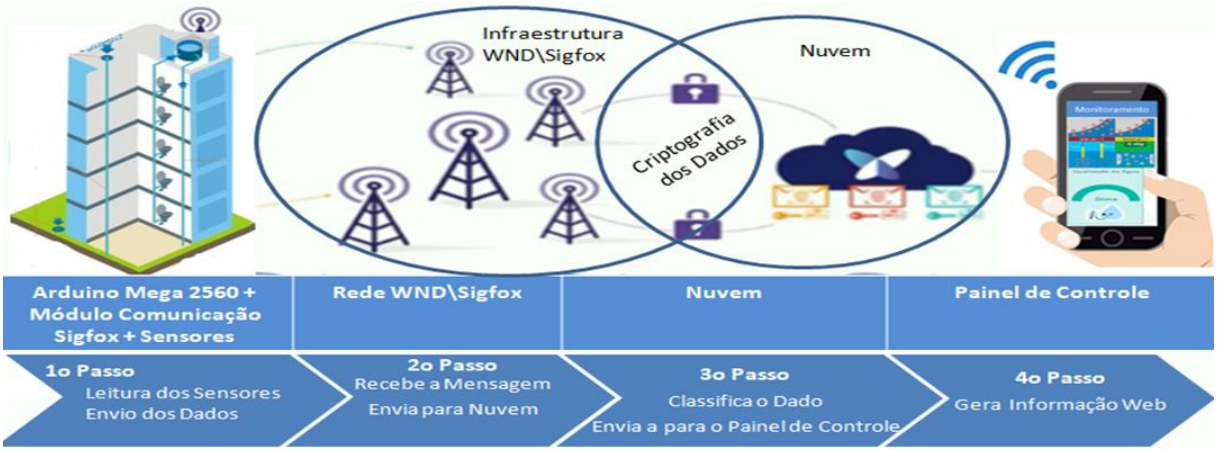
Os dados gerados por uma solução em Internet das Coisas nem sempre possuem um padrão fixo. Sendo assim, um banco de dados não relacional é o mais indicado para trabalhar com dados de dispositivos IoT. Devido à sua flexibilidade em aumentar ou diminuir conforme a demanda e característica de não agrupar os dados

em esquema de tabelas, traz simplicidade, aliado a agilidade e eficiência em recursos computacionais. Existem algumas opções que trabalham com dados não relacionais disponíveis. O MongoDB é um exemplo a ser adotado para essa proposta de arquitetura porque é de código aberto e tem alta desempenho, além disso, trabalha com diferentes sistemas operacionais aceitando diferentes linguagens e plataformas como Java, JavaScript, PHP, Python e Ruby.

3.8.6 Aplicação de Código Aberto Web

A linguagem de programação web PHP é recomentada para essa arquitetura específica, devido a sua alta compatibilidade com as várias soluções de banco de dados existentes. Oferece liberdade de escolha no sistema operacional e do servidor web. Também faz coleta de dados de formulários, gera páginas com conteúdo dinâmico, inclui geração de imagens, arquivos PDF e animações. Provê suporte a protocolos como LDAP, IMAP, SNMP, NNTP, POP3, HTTP, COM (no Windows) etc. Quanto à outra opção de linguagem de programação web, também amplamente utilizada, pode-se citar o JavaScript. Trata-se de uma alternativa devido à compatibilidade com o banco de dados MongoDB, e por ser uma linguagem orientada a eventos, o que a torna mais eficiente quando se trata de sensores e contribui para a preservação do consumo da bateria e uso da CPU dos dispositivos. A Figura 24 representa a solução da infraestrutura específica.

Figura 24 - Solução da infraestrutura específica



Fonte: Embarcados (2017) – adaptado.

3.9 Considerações do Capítulo

A preocupação em desenvolver uma proposta de arquitetura que tivesse viabilidade econômica e fácil implantação, assim como reprodução, foi a diretriz seguida desde o princípio deste desenvolvimento. A infraestrutura de comunicação por meio da rede local traz independência da Internet para funcionar, porém os custos com instalação e operação são maiores e, dessa forma, a escalabilidade torna-se inviável economicamente. A alternativa que adota a infraestrutura de comunicação por meio da Internet convencional é a que se apresenta mais viável tecnicamente por já possuir o acesso à Internet para fins administrativos, e do ponto de vista econômico, este serviço já é absorvido pelo condomínio. Dessa maneira, fica pendente apenas a contratação do serviço em nuvem como banco de dados e aplicação que é feito por demanda e, portanto, permite escalar de modo rápido e custo baixo. Quanto à infraestrutura de comunicação por meio da Internet emergente LPWA voltada à Internet das Coisas, essa se destaca por possuir o menor custo de instalação e operação, além de possuir autonomia energética e da infraestrutura de Internet dos condomínios. Os dados são armazenados e processados na nuvem e, desse modo, contribui com a disponibilidade e segurança da informação.

O monitoramento por meio de sensores imersos no reservatório de água não desobriga o condomínio a cumprir com a legislação vigente, que é manter a rotina de limpeza do reservatório a cada seis meses, além de possuir o laudo de potabilidade da água fornecida por laboratório credenciado. Os sensores apresentados como recomendação são de empresa Acqua Nativa, já consolidada no mercado, que atende instituições públicas e privadas, bem como desenvolve trabalho em conjunto com a EMBRAPA. Essa proposta busca suprir o gestão com informação da qualidade da água consumida entre o intervalo de tempo que o métrodo atual não atende.

Por fim, vale ressaltar que este desenvolvimento focou em apresentar uma solução de arquitetura para o monitoramento da potabilidade da água por meio do conceito da Internet das Coisas, entendendo que cada condomínio tem a sua peculiaridade no quesito viabilidade técnica e econômica e, assim sendo, não centralizou em uma única infraestrutura, mas sim trouxe alternativas que melhor se adequam a cada necessidade.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Considerações Iniciais

Este trabalho apresentou uma arquitetura conceitual que busca resolver o problema de falta de informação constante sobre a qualidade da água por meio do conceito da Internet das Coisas em conjunto com tecnologias de baixo custo, devido à possibilidade de se implementar esta arquitetura com hardware e software abertos, modulares e com eficiência energética. Essa arquitetura mostrou-se flexível, porque pode receber outros parâmetros a depender da necessidade de cada projeto suportando meios alternativos de transmissão dos dados. A nuvem pode fazer o processamento complexo da informação e disponibilizar o dado para a tomada de decisão, entretanto, pode ser mudada a qualquer momento.

4.2 Módulo Computacional

Para o módulo computacional deste conceito de proposta de arquitetura, recomenda-se que tenha grande quantidade de memória e capacidade de processamento incluindo a possibilidade de expansão de portas com o objetivo de atender os demais módulos que proverão funções específicas, além da compatilidade com os protocolos utilizados pelos sensores de parâmetros da água.

4.3 Módulo de Comunicação

A escolha do módulo de comunicação é um item que influi diretamente nos custos da operação, consumo energético e cobertura do sinal. A interface de rede pode ser qualquer uma das citadas no Capítulo 3. A peculiaridade de cada projeto também direciona para qual interface de rede deve-se adotar: Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, BLE e LPWAN. Os quesitos que devem ser analisados para a escolha são: a capacidade de dados a serem transmitida, frequência da atualização da informação, facilidade de acesso à localidade da instalação. É importante sempre considerar o consumo de energia e o período sem manutenção. O módulo compatível da Sigfox foi escolhido como solução do exemplo específico devido à compatibilidade com a plataforma de prototipagem Arduino Mega 2560 e, à quantidade necessária de envio de dados que as leituras dos parâmetros da água geram.

4.4 Fornecimento de Energia Elétrica

A fonte de alimentação energética estável e disponível é vital para a qualidade do dado informado. Em locais onde o acesso à energia da operadora é acessível, pode-se utilizá-la. Contudo, a opção por baterias de 9V e, portanto, de baixo consumo, pode ser aplicada a essa arquitetura, mas é preciso que o dispositivo permaneça hibernado logo após as leituras dos dados. Desse modo, o consumo de energia será muito maior. Outras fontes de energia também podem ser utilizadas a exemplo da fotovoltaica e pilhas. Quando há fácil acesso a essas fontes alternativas e há a opção por módulos de comunicação que demandam por mais consumo, a exemplo da Ethernet e Wi-Fi, a arquitetura proposta também permite essa flexibilidade.

4.5 Sensores de Parâmetros da Água

Existem diversos sensores que medem vários parâmetros da água. O conceito aqui apresentado não limita a um único fabricante, apenas ressalta que ao escolher os sensores, que sejam compatíveis com o módulo computacional escolhido. Além do que, bibliotecas que possam ser baixadas e manuais dizendo quais portas e protocolos devem ser utilizados, sendo assim, contribuem com a redução no tempo de desenvolvimento da arquitetura.

4.6 Infraestrutura da Rede de Baixo Consumo e Longo Alcance

As redes de baixo consumo energético e longo alcance (LPWAN) vieram para somar com a arquitetura proposta dentro do conceito de Internet das Coisas. Existem vantagens assim como desvantagens em cada uma dessas redes. Logo, cabe avaliar qual será a melhor tecnologia baseada na característica do projeto. A Sigfox traz como vantagem a viabilidade econômica e a cobertura em todas as capitais do Brasil. O que pode pesar na escolha da LoRaWAN em detrimento da Sigfox é a velocidade de transmissão, que é bem superior. Porém, a opção da NB-IoT tem como destaque positivo a grande capilaridade, pois onde há uma antena de telefonia celular, é provável que exista sinal de dados via GSM. A velocidade de transmissão dos dados também é uma vantagem competitiva da NB-IoT.

4.7 Nuvem para Internet das Coisas

A capacidade de absorver diversos dispositivos de IoT a custo baixo, pouca complexidade e uso por demanda, são características da nuvem. Aliado à sua capacidade de armazenamento, processamento e segurança, traz viabilidade econômica e técnica a essa proposta de arquitetura em conjunto com a agilidade e crescimento escalonável. Os quesitos alta disponibilidade e segurança também fazem parte dos serviços que a nuvem proporciona. Para que essa interação ocorra, devem-se aplicar por meio de APIs, requisições HTTP e mensagens de retorno. A proposta aqui permite que cada projeto escolha o seu provedor de infraestrutura em nuvem. É possível criar a arquitetura localmente montando uma infraestrutura própria, todavia, para dar escala a solução, tornar-se-ia inviável economicamente.

4.8 Iniciativas Semelhantes de Monitoramento

A solução sobre monitoramento da água captada do poço artesiano, para a comunidade acadêmica na Universidade de Feira de Santana-BA, é a que mais se assemelha à proposta de arquitetura de solução demonstrada neste trabalho. A iniciativa em desenvolver um protótipo para monitorar a água de poço artesiano contribui para o desenvolvimento dessa proposta de arquitetura, desbravando e alertando para algumas limitações tecnológicas. Como meio de transmissão dos dados adotaram-se as interfaces Ethernet, Wi-Fi e GSM. Como banco de dados o MySQL e linguagens HTML e PHP, as informações também podem ser acessadas via GoogleDocs (LIMA, 2018).

Quanto à solução de monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água a fim de identificar o potencial de contaminação, e alertar os ribeirinhos da Amazônia, essa iniciativa trabalhou com módulo computacional da família Arduíno incluindo sensor de pressão barométrica e conectores para conexão dos sensores de ph, ORP, condutividade e temperatura da água. A comunicação adotada foi por meio da rede de telefonia celular e os dados enviados pela Internet para determinado servidor. A forma de divulgação da informação coletada é através do site da própria rede InfoAmazônia (INFOAMAZONIA, 2015).

Em relação ao sistema de monitoramento da água para hidoponia apresentado pela Universidade Federal do Tocantins, teve como objetivo alimentar os pesquisadores com a coleta automática dos dados para a tomada de decisão por meio de sensores de baixo custo agrupando objetos físicos interconectados a sistemas embarcados (LEAL JUNIOR; ARAUJO; TAVARES, 2019. A proposta de arquitetura aqui apresentada oferece algumas opções de conectividade: a local, como meio de trafego de dados a rede cabeada Ethernet, Wi-fi, Bluetooth ou BLE. A remota por meio da Internet convencional e as redes emergentes a exemplo da LPWAN. Além do mais, a infraestrutura de banco de dados não-relacional e servidor de aplicação a fim de publicar as informações na web com tecnologia responsiva, são recursos disponíveis mais flexiveis e, de menor custo, que podem agregar ao entregar informação constante da condição da potabilidade da água.

4.9 Meio de Armazenamento do Dado

A forma de armazenamento dos dados ocorre em infraestrutura local ou em nuvem por meio do banco de dados. Essa proposta de arquitetura permite que parte do armazenamento, fique no módulo computacional, a fim de reduzir consumo de banda ou integralmente na infraestrutura local bem como em nuvem.

Como a arquitetura é flexível, a definição de onde os dados serão armazenados depende da arquitetura de rede adotada. A vantagem em hospedar localmente o servidor de banco de dados, e toda a sua infraestrutura, tem como ponto positivo a questão da menor latência em relação à remota, além de ter o controle físico de onde o banco de dados está localizado. O tempo de resposta para atuar na resolução de algum problema físico, também é uma vantagem a ser analisada. Contudo, as desvantagens começam com os custos elevados em relação ao maior consumo de energia para mantê-lo acessível 24h, sala adequada climatizada e segura, equipe disponível para atuar, custo elevado com hardware e software.

Em relação à alternativa de hospedagem em nuvem, a vantagem começa pelo custo muito menor em relação à infraestrutura local. O tempo para disponibilizar a solução ao usuário final, redundância de ambiente, o custo da segurança física já diluída em escala, facilidade em atualizações, portanto, são vantagens competitivas que a local não consegue vencer. Sobre a desvantagem, o tempo de resposta da aplicação é

maior, como o ambiente será compartilhado com outras aplicações de terceiros, há o risco de uma empresa que hospeda a infraestrutura, ter acesso aos dados.

4.10 Sensor de Parâmetro da Água

O módulo *tentacle* de sensores para leitura de parâmetros da água da empresa *Atlas Scientific* é uma solução pronta que contribui com a proposta de arquitetura apresentada. A alternativa em utilizar esses sensores de monitoramento da qualidade da água é que reduz drasticamente o tempo de configuração. Isso se deve à compatibilidade com o módulo computacional.

4.11 Disponibilidade da Informação

Após a coleta e o processamento dos dados, a informação é publicada via aplicação Web/APIs em um painel de controle acessado via navegador de Internet. Qualquer linguagem web pode ser utilizada para publicar os dados enviados pelo módulo computacional. Os dados são enviados em formato texto, e sendo assim, há muitas opções que podem tratar os dados e então publicá-los conforme o escopo de cada projeto.

4.12 Demonstrativo dos Custos da Infraestrutura Proposta

A fim de demonstrar os custos iniciais de uma implantação dessa proposta de arquitetura, buscou-se apresentar por meio do comparativo abaixo os valores referentes a cada tipo de infraestrutura que pode ser adotada e, ao final, um gráfico consolidado por interface de rede e operadora LPWAN. A Tabela 8 representa os custos da infraestrutura de rede local e híbrida.

Tabela 8 - Custos da infraestrutura de rede local e híbrida

Custos da Infraestrutura de Rede Local e Híbrida.

Infraestrutura local Interface Ethernet	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface Ethernet	R$ 119,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Bando de Dados)	R$ 1.400,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Aplicação)	R$ 1.400,00
Total	**R$ 10.572,00**

Infraestrutura local Interface Wi-Fi	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface Wi-Fi	R$ 57,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Bando de Dados)	R$ 1.400,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Aplicação)	R$ 1.400,00
Total	**R$ 10.510,00**

Infraestrutura Híbrida Interface Sigfox	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface Sigfox	R$ 180,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
Rede LPWA - Sigfox - Custo Anual por Dispositivo U$ 12,00	R$ 5,00
Total	**R$ 7.838,00**

Infraestrutura local Interface Bluetooth	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface Bluetooth	R$ 40,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Bando de Dados)	R$ 1.400,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Aplicação)	R$ 1.400,00
Total	**R$ 10.493,00**

Infraestrutura Híbrida Interface LoRaWAN	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface LoRaWAN	R$ 119,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
Rede LoRaWAN - Não divulgado!	R$ 0,00
Total	**R$ 7.772,00**

Infraestrutura Híbrida Interface GSM	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface GSM	R$ 119,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
Rede GSM - Vivo 20MB por Dispositivo/Mês R$ 6,90	R$ 82,80
Total	**R$ 7.854,80**

Infraestrutura local - Interface Ethernet e um Servidor Físico	
Módulo Computacional	R$ 169,00
Interface Ethernet	R$ 119,00
Kit de sensores de parâmetros	R$ 7.484,00
MINI PC SLIM EV-X-PRO (Bando de Dados e Aplicação)	R$ 1.400,00
Total	**R$ 9.172,00**

Fonte: autor.

O comparativo de valores demonstrado acima buscou apresentar os custos iniciais relativos à implantação. A infraestrutura local com banco de dados e aplicação separados fisicamente tem um ganho no quesito segurança, pois, em caso de dano físico ou lógico, bem como uma invasão cibernética, o risco de perda dos dados e aplicação fica mitigado. Porém, o valor eleva drasticamente. Também foi criado um demonstrativo com um servidor físico compartilhando o bando de dados e aplicação. Este se mostrou o mais economicamente viável quando se adota infraestrutura local. O maior custo em todos os cenários é referente aos sensores. Em relação ao quesito infraestrutura de servidores, custo com manutenção, atuação e suporte, sala adequada à solução em nuvem torna-se mais vantajosa. A Figura 25 representa os principais serviços em nuvem.

Figura 25 – Principais serviços em nuvem.

Infraestrutura Nuvem	
Tago IO	R$ 0,00
AWS	R$ 0,00
AZURE	R$ 0,00
Google Cloud IoT	R$ 0,00
Diante do baixo volume de dados em armazenamento, trafego e processamento gerado por um único dispositivo, as principais empresas de infraestrutura como serviço (IaaS) e plataforma como serviço (PaaS), oferecem a modalidade gratuíta!	

Fonte: autor.

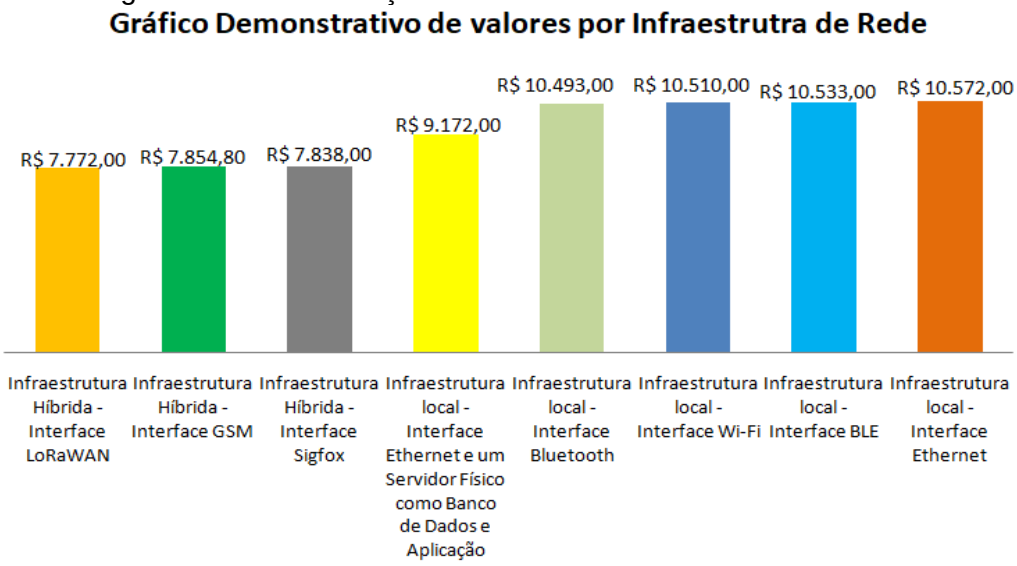
As principais plataformas do mercado oferecem serviços voltados à soluções em Internet das Coisas. Existem serviços gratuítos a depender do trafego de dados gerado, capacidade de armazenamento e processamento. Devido a característica desde tipo de monitoramento ser de baixo volume de trafego e, pouco recurso de armazenamento, bem como processamento, é possível utilizar a modalidade gratuíta. A Figura 26 representa os planos de uso das principais plataformas de IoT gratuitas limitados a 12 meses.

Figura 26 – Planos plataformas de IoT

Fonte: TagoIO; Amazon; Microsoft; Google (2022).

A Figura 27 representa a consolidação dos custos da Infraestrutura de Rede

Figura 27 – Consolidação dos custos da Infraestrutura de Rede



Fonte: autor.

4.13 Considerações do Capítulo

A escolha do módulo computacional é um dos pontos críticos na montagem da arquitetura. O quesito compatibilidade irá poupar muitas horas de desenvolvimento. A quantidade de portas de comunicação é essencial quando se pensa na expansão dos parâmetros de monitoramento e acessorios, assim como o custo acessível, para viabilizar economicamente a solução. A escolha da interface de rede deve considerar a existência de alguns módulos, cada qual com a sua vantagem e desvantagem, porém qual interface melhor se encaixa na arquitetura dependerá da análise de cada cenário e cada condomínio. A localização geográfica e a cobertura do sinal são fatores que vão influenciar nessa decisão. Quanto à forma de armazenamento dos dados, a proposta não define um único banco de dados ou servidor de aplicação, todavia, aponta seus benefícios o seu uso local ou remoto em nuvem e mais uma vez caberá avaliar todo cenário que essa proposta de arquitetura deve atender, custos e segurança para então tomar a decisão. O monitoramento da potabilidade da água pode ser feito de muitas formas e é isso que essa proposta de arquitetura demonstra. Seja a infraestrura local, híbrida ou totalmente em nuvem, o objetivo será atendido, que é levar informação da condição da água consumida pelos moradores e frequentadores dos condomínios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta aqui explicada buscou contribuir com o leitor por meio da conscientização da qualidade da água que consumimos diariamente. Não se nota no dia a dia o quão complexo é o processo de captação e tratamento desse bem. Além disso, os riscos envolvidos por contaminantes diversos tornam necessário ter a informação disponível a qualquer momento sobre o que se consome diariamente. Aqui o foco foi sobre o monitoramento em reservatórios de água dos condomínios residenciais. Todavia, a necessidade de monitorar a água cabe em diversos outros locais de consumo como estabelecimentos que produzem e vendem alimentos. Por meio dessa análise de parâmetros da água, e outros tipos de sensores, é possível agregar no processo de produção e alimentos e bebidas caso algum desvio de padrão ocorra no meio do processo de produção e, dessa forma, se aplica a correção garantindo qualidade e segurança sanitária à população.

5.1 Conclusão

Em decorrência da pesquisa realizada e, consequentemente, conhecimento adquirido, pode-se propor uma solução de arquitetura sobre o tema Internet das Coisas. A fim de resolver um problema da sociedade por meio de soluções de baixo custo. A proposta de uma solução por vezes não começa do zero ou entrega algo que resolve todos os problemas. O que se pode destacar neste trabalho é que trabalhos anteriores contribuíram com a proposta para atender a demanda deste problema pontual, e que, a partir de agora, essa proposta de arquitetura pode ser o ponto de partida para outras soluções mais avançadas ou específicas.

5.2 Contribuições do Trabalho

Essa proposta de arquitetura em Internet das Coisas contribuiu com a viabilidade técnica e econômica no monitoramento constante da qualidade da água e saúde sanitária. Adotou melhorias tecnológicas no quesito comunicação e fonte alternativa, no fornecimento de energia elétrica em comparação com as iniciativas apresentadas na seção de revisão bibliográfica. Dessa maneira, traz subsídios aos gestores para a tomada de decisão em caso de alteração dos parâmetros monitorados e, portanto, garante a potabilidade da água consumida por moradores e frequentadores dos residenciais. Conforme o trabalho demonstrou, é uma arquitetura flexível que pode se adequar à necessidade de cada condomínio.

5.3 Trabalhos Futuros

A proposta de arquitetura apresentada sugere três possibilidades de infraestrutura como sugestão de trabalho futuro, fica a oportunidade de implementá-las e validá-las em campo e, dessa maneira, avaliar o seu desempenho e confirmar se os custos aqui previstos estão condizentes com a realidade.

Essa arquitetura também pode ser adaptada para ler os parâmetros da água que são despejadas nas redes de esgoto, a fim de monitorar os padrões da legislação, bem como, encontra aplicabilidade no monitoramento do padrão da água que é utilizada na indústria de alimentos com o objetivo de alertar a produção se algo fugir

ao padrão preestabelecido. Essas aplicações podem ser exploradas em novas pesquisas, gerando trabalhos futuros.

Assim como foi abortado nesse trabalho, a água segue o seu ciclo e volta para os cursos d'água e lençol freático. Seria importante também, monitorar ao longo do seu percurso de captação para que se possa agir de forma preditiva e corrigir o problema. Nas cidades, a água também carrega altos níveis de contaminantes. As águas das chuvas lavam o asfalto que desembocam em córregos e afluentes. Portanto, se por meio do monitoramento soubermos qual é o problema, fica mais fácil apresentar propostas de soluções.

REFERÊNCIAS

ACQUA NATIVA. **Kit Sensor Multiparâmetros OEM para Água**.acquanativa.com.br. Disponível em:<https://www.acquanativa.com.br/produtos/kit-oem-monitoramento-KIT-105F.html#>. Acesso em 28 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); **Cuidando das Águas soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília: 2013. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/CuidandoDasAguas-Solucao2aEd.pdf>. Acesso em 09 ago. 2021.

ARAÚJO, X.H; LEAL JUNIOR, W.B; TAVARES, F.M. **Monitoramento da Qualidade da Água Utilizando Plataforma de Internet das Coisas**. Disponível em:< https://www.academia.edu/43267159/MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DA_%C3%81GUA_UTILIZANDO_PLATAFORMA_DE_INTERNET_DAS_COISAS?pop_sutd=false>. Acesso em 05 jan. 2022.

ATHOSELECTRONICS. Tipos de Arduíno – **Qual Arduíno escolher**. athoselectronics.com. Disponível em:<https://athoselectronics.com/qual-arduino-comprar/>. Acesso em 04 set. 2021.

AWS. **AWS IoT Core**. aws.amazon.com. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/iot-core/?nc2=h_ql_prod_it_iotc>. Acesso em: 13 jan. 2022.

AZURE. **Preços do Hub IoT do Azure**. azure.microsoft.com. Disponível em:< https://azure.microsoft.com/pt-br/pricing/details/iot-hub/#faq>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BARACAT, G. **Análise do Procedimento de Acesso Aleatório para NB-IoT**.tede.inatel.br.Disponível em:<http://tede.inatel.br:8080/jspui/bitstream/tede/178/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20V.Final%20Gustavo%20Baracat%20%283%29.pdf>. Acesso em 25 set. 2021.

BIOLACQUA. **Análises de Águas**. biolacqua.com.br. Disponível em: <https://www.biolacqua.com.br/servicos/analises-de-aguas>. Acesso em 09 ago. 2021.

CALDAS FILHO, F.L. **Proposta de um Gateway IoT em Computação Fog com Técnicas de Aceleração WAN**. repositorio.unb.br. Disponível em:<https://repositorio.unb.br/handle/10482/38117>Acesso em 08 out. 2021.

CÓDIGO CIVIL (Brasil); DE 10 DE JANEIRO DE 2002, **art. 1.348**.

COSTA, F. História do Arduino – **Como surgiu esta incrível plataforma de prototipagem eletrônica**. fabiocosta.net. Disponível em:<https://fabiocosta.net/arduino/historia-do-arduino/>. Acesso em 01 set. 2021.

COSTA, G. M. **Estudo da rede Sigfox para aquisição de dados em aplicações de internet das coisas**. lume.ufrgs.br. Disponível em:<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/217385>. Acesso em 18 set. 2021.

D'AGUILA, P.S.; ROQUE, O.C.; MIRANDA, C. A.S.; FERREIRA, A.P. **Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu**. scielosp.org. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v16n3/2964.pdf. Acesso em 08 jan. 2022.

DOMINGUES, H.T. **Tecnologia IoT Lora na automação do abastecimento de água**. ppgeet.uff.br. Disponível em: <http://www.ppgeet.uff.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Hingrid-Domingues.pdf>. Acesso em 12set. 2021.

EDISCIPLINAS (Brasil); Arduino Básico: **O que exatamente é um Arduino**. São Paulo: 2011. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Ardu%C3%ADno%20B%C3%A1sico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf>. Acesso em 03 set. 2021.

EMBARCADOS. Editorial: **Linguagens de Programação para Sistemas Embarcados**. embarcados.com.br. Disponível em:<https://www.embarcados.com.br/editorial-linguagens-para-sistemas-embarcados/>. Acesso em 01 set. 2021.

EMBARCADOS. WND Brasil: Xkit – **kit de Desenvolvimento Sigfox da Thinxtra**. embarcados.com.br. Disponível em:<https://www.embarcados.com.br/xkit-Sigfox-thinxtra/>. Acesso em 10 out. 2021.

EMBARCADOS. WND: **A Internet das Coisas**. embarcados.com.br. Disponível em:<https://www.embarcados.com.br/wp-content/uploads/filebase/webinars/A-Internet-Das-Coisas.pdf>. Acesso em 12 out. 2021.

FERREIRA, T. P. **Purificação de águas:Tratamento de Água para abastecimento**. Minas Gerais: 2016. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/Aula-4-Purifica%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1guas-Taimara_1S2016.pdf>. Acesso em 15 ago. 2021.

FIGUEIREDO, R. Reservatórios d'água no condomínio: **tratamento de infiltrações e limpeza. Direcional Condomínios**. Disponível em: <https://www.direcionalcondominios.com.br/sindicos/materias/item/2763-reservatorios-d-agua-no-condominio-tratamento-de-infiltracoes-e-limpeza.html>. Acesso em 09 ago. 2021.

FUNASA (Brasil); **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. Brasília: 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em 15 ago. 2021.

GOOGLE CLOUD**. Preços do Google Cloud IoT Core**. cloud.google.com. Disponível em:< https://cloud.google.com/iot/pricing>. Acesso em 13. 2022.

INFOAMAZONIA. **Rede InfoAmazonia**. infoamazonia.org. Disponivel em: <https://infoamazonia.org/project/rede-infoamazonia/>. Acesso em 09 ago. 2021.

INFOAMAZONIA. **Rede InfoAmazonia cria o "Mãe d'Água" para monitorar a qualidade d'água**. infoamazonia.blogosfera.uol.com.br. Disponível em: https://infoamazonia.blogosfera.uol.com.br/2015/07/06/rede-infoamazonia-cria-o-mae-dagua-para-monitorar-a-qualidade-dagua/. Acesso em 09 ago. 2021.

IMIRANTE.COM. **Construtora é condenada por falta de tratamento de água em condomínio**. imirante.com. Disponível em: <https://imirante.com/imperatriz/noticias/2018/08/15/construtora-e-condenada-por-falta-de-tratamento-de-agua-em-condominio.shtml>. Acesso em 09 ago. 2021.

IN-SITU.**manual-at-500-portugues-euzlhkee.pdf**. São Paulo: in-situ, 2016.15p. Disponível em:https://cdn02.duxcloud.com.br/insitu/products/3/files/manual-at-500-portugues-euzlhkee.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

JORNAL DO SÍNDICO. **A água do seu condomínio está própria para o consumo?**. Jornal do Síndico. Disponível em: <http://www.jornaldosindico.com.br/araraquara/artigo/a-agua-do-seu-condominio-esta-propria-para-o-consumo/>. Acesso em 09 ago. 2021.

LACEN (Brasil); **Manual de Orientação para Coleta de Água e Amostras Ambientais**. Santa Catarina: 2016. Disponível em: http://lacen.saude.sc.gov.br/arquivos/MOCAAA.pdf. Acesso em 17 ago. 2021.

LEI Nº 10.406 (Brasil); DE 10 DE JANEIRO DE 2002. planalto.gov.br, 2002. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406compilada.htm>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LIMA, E.I. **Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem**. tede2.uefs.br. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/bitstream/tede/863/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Ellen%20Lima%20de%20Lima.pdf>. Acesso em 09 ago. 2021.

LORAWAN. **A technical overview ofLoRa® andLoRaWAN**. lora-alliance.org. Disponível em: <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>. Acesso em 22 set. 2021.

MDPI.LPWAN Technologies: **Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations**.mdpi.com. Disponível em:<https://www.mdpi.com/1999-5903/12/3/46/htm>. Acesso em 13 set. 2021.

MERCATO AUTOMAÇÃO. **Internet Of Things (IoT) ou Internet Of Every thing (IoE)?.**mercatoautomacao.com.br.Disponível

em:<https://www.mercatoautomacao.com.br/blogs/novidades/internet-of-things-iot-ou-internet-of-everything-ioe>. Acesso em 24 set. 2021.

MELO, P. **Introdução ao LPWAN (Low Power Wide Area Network)**. Embarcados. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/>. Acesso em 09 ago. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil); **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: 2006. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em 16 ago. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil); Gabinete do Ministro. **PORTARIA Nº 2.914**, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil); Gabinete do Ministro**. Portaria de Consolidação nº 5**, de 28 de setembro de 2017.

MONTEIRO, L.N. **Sistema de Monitoramento da Qualidade da Água em Tempo Real**. repositorio.unesp.br. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/202370/monteiro_ln_me_sjbv.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em 2 out. 2021.

NETO,R.C.J.**Avaliação de Desempenho deTécnicas de Alocação de Recursos de Rádio para Comunicações Máquina-á Máquina em Redes Narrow Band IoT.**repositorio.ufc.br.Disponívelem:<http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/30985/1/2017_dis_rcjua%c3%a7abaneto.pdf>.Acesso em 24 set. 2021.

PAAS POÇOS ARTESIANOS ÁGUA SUBTERRÂNEA. **Monitoramento de Poços Artesianos e Recursos Hídricos Sem Precisar Ficar Indo a "Campo"**. Paaspocosartesianos.com. Disponível em:<https://www.paaspocosartesianos.com/monitoramento-de-pocos>. Acesso em 09 ago. 2021.

PROJECTHUB. **Open-Source LTE CAT-M/NB-IoTShield for Arduino © GPL3+.**create.arduino.cc.Disponível em:<https://create.arduino.cc/projecthub/botletics/open-source-lte-cat-m-nb-iot-shield-for-arduino-8b73ab>. Acesso em 01 out. 2021.

PUBLICLAB. **Rifflean Open Source Water Monitoring Approach**.publiclab.org. Disponível em:<https://publiclab.org/wiki/riffle>. Acesso em 26 set. 2021.

REVISTADIGITALSECURITY. **Edge Computing: O que é, Onde se Aplica e Qual a Relação com a Cloud?.**revistadigitalsecurity.com.br. Disponível em:<https://revistadigitalsecurity.com.br/artigo-edge-computing-o-que-e-onde-se-aplica-e-qual-a-relacao-com-a-cloud/>. Acesso em 06 out. 2021.

RIBEIRO, A. **O que é Lixiviação do Solo?**. Brasilescola.uol.com.br. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-lixiviacao-solo.htm>. Acesso em 23 fev. 2022.

ROBOCORE. **Comparativo Arduino**. robocore.net. Disponível em:<https://www.robocore.net/tutoriais/comparativo-arduino>. Acesso em 04 set. 2021.

ROBOCORE. **Internet Shield para Arduino - Ethernet W5500.**robocore.net. Disponível em:<https://www.robocore.net/shields-arduino/arduino-shield-ethernet-w5500?gclid=CjwKCAjwndCKBhAkEiwAgSDKQUdUxiLjCB6n_5fDRQbST7iPfO_7VHENqcN2tAV6H_RFRHivynxGkRoC1aoQAvD_BwE>. Acesso em 29 set. 2021

SABESP. **Relatórios mensais**. site.sabesp.com.br. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=42>. Acesso em: 10 ago. 2021. SIGFOX.OUR STORY**: The Power oflow**.Sigfox.com. Disponível em:<https://www.Sigfox.com/en/Sigfox-story>. Acesso em 18 set. 2021.

SALES, L. M. S.; PRADO, R. B.; GONÇALVES, A. O. **Análise Comparativa entre Sondas Multiparamétricas para Avaliação da Qualidade da Água para Fins Agroambientais**.ainfo.cnptia.embrapa.br.Disponívelem:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/110809/1/ANALISE-COMPARATIVA-ENTRE-SONDAS-MULTIPARAMETRICAS-PARA-AVALIACAO-DA-QUALIDADE-DA-AGUA-PARA-FINS-AGROAMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

SANTIN, R._LPWAN.pdf. **LPWAN Low Power Wide Area Network**. Ime.usp.br. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~diogojp/computacao-movel/seminar/rene_santin_LPWAN.pdf>. Acesso em 22 set. 2021.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. F. S.; NETO, J. B.B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A F. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. 2016. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2022.

SANTOS, G. M. A. D. A. **Espacialização do Risco de Liviviação de agrotóxicos em Áreas de Cafeicultura no Estadado do Espírito Santo**.sbicafe.ufv.br.Disponível em:<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11192/Tese_Gleissy%20Mary%20Amaral%20Dino%20Alves%20dos%20Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 nov. 2021.

SANTOS, R. **Modelo de Disponibilidade para Suporte ao Planejamento de Infraestruturas Computacionais Baseadas em Fog e Edge Computing**. cin.ufpe.br. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~tg/2019-2/TG_EC/TCC_rcfs.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

SILVA, D.S. **Uma Arquitetura Autonômica para a Alocação de Recursos Através de Migração de Serviços em Ambientes Fog Computing**.ri.ufs.br.Disponível em:<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/11229/2/DANILO_SOUZA_SILVA.pdf>. Acesso em 08 out. 2021.

SÍNDICO.**Manutenção dos reservatórios de água dos condomínios**. Seu Síndico. Disponível em: <https://seusindico.net.br/manutencao-dos-reservatorios-de-agua-dos-condominios/>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SMARTCORE. **Kit de desenvolvimento Sigfox com módulo Wisol, placa Arduino e sensores (XKIT1-2).**smartcore.com.br. Disponível em:<https://loja.smartcore.com.br/xkit1-2-kit-de-desenvolvimento-Sigfox>. Acesso em 29 set. 2021.

TAGOIO. **Pricing**. tago.io. Disponível em:<https://tago.io/pricing/>. Acesso em 13 jan. 2022.

TCTBRASIL. Lora-Technology-Tct-Brasil:**LoRa e protocolo LoRaWAN Redes LPWAN**.tctbrasil.com.br. Disponível em:<http://www.tctbrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/07/lora-technology-tct-brasil.pdf>. Acesso em 22 set. 2021.

TELECO.**Rede Celular Link Budget**: Link Budget.teleco.com.br.Disponível em:<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialavaltrans/pagina_2.asp.asp>.Acesso em 22 set. 2021.

TELESINTESE.3GPP Define PadrãoNB-IOT: **GSMA acredita que definição do padrão vai aquecer ainda mais o mercado de internet das coisas**.telesintese.com.br.Disponível em:https://www.telesintese.com.br/3gpp-define-padrao-nb-iot/. Acesso em 24 set. 2021.

TELESINTESE.WND: **Uma Rede Dedicada à Internet das Coisas**: Uma Rede Dedicada à InternetdasCoisas.telesintese.com.br.Disponível em:<https://www.telesintese.com.br/wnd-um-rede-dedicada-a-internet-das-coisas/>.Acesso em 10 out. 2021.

VERA, G. **Comunidades do rio Tapajós passam a monitorar qualidade d'água com sensor**. infoamazonia.blogosfera.uol.com.br. Disponível em: https://infoamazonia.blogosfera.uol.com.br/2015/11/24/comunidades-do-rio-tapajos-passam-a-monitorar-qualidade-dagua-com-sensor/>. Acesso em 09 ago. 2021.