



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES**

KILBERT AMORIM MACIEL

**PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO DOMÉSTICA PARA O MONITORAMENTO DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA BASEADO EM INTERNET DAS
COISAS**

FORTALEZA-CE

2020

KILBERT AMORIM MACIEL

**PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO DOMÉSTICA PARA O MONITORAMENTO DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA BASEADO EM INTERNET DAS
COISAS**

Dissertação de Mestrado apresentado à coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Telemática do Instituto Federal do Ceará - como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações.

Área de concentração – Sistemas de Telecomunicações.

Orientador - Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes

FORTALEZA-CE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A524p Amorim Maciel, Kilbert.

PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO DOMÉSTICA PARA O MONITORAMENTO DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA BASEADO EM INTERNET DAS COISAS /
Kilbert Amorim Maciel. - 2020.

122 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em
Engenharia de Telecomunicações, Campus Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes.

1. Internet das Coisas. 2. Redes Wi-Fi. 3. Protocolo MQTT. 4. Sensor de Efeito
Hall. 5. Sistemas Embarcados. I. Título.

CDD

621.382

KILBERT AMORIM MACIEL

**PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO DOMÉSTICA PARA O MONITORAMENTO DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA BASEADO EM INTERNET DAS
COISAS**

Dissertação de Mestrado apresentado à coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Telemática do Instituto Federal do Ceará - como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações.

Aprovado em 18 de setembro de 2020.

Membros da Banca:

Prof. Dr. Alexandre Maniçoba de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus pelo dom da vida e pela luz no caminho.

Aos meus pais pelo amor imenso e carinho constante.

A minha família, minha esposa Luciene e meu filho Moisés, pelo amor e paciência ao longo de todo esse processo.

Ao professor Wally, meu orientador, por acreditar em mim quando eu mesmo pensava que não mais poderia fazer um mestrado, estando agora crendo até mesmo num futuro doutorado.

Ao meu querido amigo David, pelo apoio incondicional e parceria em todo esse projeto.

Ao IFCE campus Tauá pelo fundamental apoio, suporte e total torcida pelo meu sucesso.

RESUMO

Uma rede de distribuição residencial água, quando monitorada em tempo real por ferramentas tecnológicas capazes de armazenar e realizar estimativas sobre os dados de consumo, possui imenso potencial de revelar aspectos importantes sobre hábitos e comportamentos humanos. Estes dados podem ser avaliados e obtidos através de métodos de aquisição de dados usando redes de sensores e a estrutura de Internet das Coisas. Este trabalho desenvolveu um protótipo de aplicação para estimar o consumo residencial de água utilizando o microprocessador ESP32, onde obteve e analisou os dados de medição ao longo de cinco meses por meio de uma ferramenta de análise estatística. Foram monitorados nove dos treze pontos de consumo de água de uma residência típica da periferia de Fortaleza, Ceará, Brasil, onde a pia de lavar louças apresentou o maior consumo, seguido sucessivamente pelo chuveiro do banheiro da suíte, vaso sanitário do banheiro da suíte, pia de lavar louças, vaso sanitário do banheiro social, chuveiro do banheiro social, máquina de lavar roupas, pia do banheiro da suíte, pia do banheiro social. Os dados foram comparados com a literatura para avaliar peculiaridades de nossa pesquisa e caminhos para evolução de nossa aplicação em trabalhos futuros.

Palavras-chaves - Internet das Coisas. Redes Wi-Fi. Protocolo MQTT. Sensor de Efeito Hall. Sensor de Vazão. Sistemas Embarcados. Microcontroladores. ESP32.

ABSTRACT

A residential water distribution network, when monitored in real time by technological tools capable of storing and making estimates on consumption data, has immense potential to reveal important aspects about human habits and behaviors. This data can be evaluated and obtained through data acquisition methods using sensor networks and the Internet of Things structure. This work developed an application prototype for estimating residential water consumption using the ESP32 microprocessor, where it obtained and analyzed the measurement data over five months using a statistical analysis tool. Nine of the thirteen water consumption points of a typical residence on the outskirts of Fortaleza, Ceará, Brazil were monitored, where the dishwasher showed the highest consumption, followed successively by the shower in the bathroom of the suite, toilet in the bathroom of the suite, dishwasher sink, restroom toilet, restroom shower, washing machine, suite bathroom sink, restroom sink. The data were compared with the literature to assess peculiarities of our research and a path for the evolution of our application in future works.

Keywords - Internet of Things. Wi-Fi Networks. MQTT Protocol. Hall Effect Sensor. Flow Sensor. Embedded systems. Microcontrollers. ESP32.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Demanda Por Finalidades dos Usos da Água, em m ³ /s	20
Figura 2 - Usos da Água preponderantemente Urbanos no Brasil (1940 e 2016).....	21
Figura 3 - Abastecimento por Região no Brasil	21
Figura 4 - Histórico Pluviométrico do Ceará entre 1981 e 2010.	22
Figura 5 - Portfólio de Aplicações IOT.....	23
Figura 6 - Curva Evolutiva das tecnologias emergentes.....	27
Figura 7 - Componentes de um objeto inteligente	28
Figura 8 - Dimensões de Comunicação e Compartilhamento de Informação na IoT.	30
Figura 9 - Ecossistema IoT.....	31
Figura 10 - Aplicações M2M.....	32
Figura 11 - Aplicações IoT	32
Figura 12 - Infraestrutura de uma rede sem fio.	34
Figura 13 - Dispositivos habilitados para Wi-Fi.....	35
Figura 14 - Funcionamento Básico do MQTT.....	38
Figura 15 - Efeito Hall	40
Figura 16 - Sensor de Efeito Hall	41
Figura 17 - Fluxo Laminar e Fluxo Turbulento.....	41
Figura 18 - Exemplo de Arquitetura - Microcontrolador ESP8266	43
Figura 19 - Relatório de Consumo Mensal da Residência - Outubro de 2019.	46
Figura 20 - IDH dos Bairros de Fortaleza	47
Figura 21 - Sensor de Vazão 1 1/2" e especificações técnicas.	49
Figura 22 - Placa de Desenvolvimento Wi-fi Bluetooth ESP32.....	49
Figura 23 - Diagrama de Blocos do Microprocessador ESP32.....	51
Figura 24 - Configuração dos Pinos do microprocessador ESP32	51
Figura 25 - IDE do Arduino para Windows.	52
Figura 26 - Tela do Adafruit.io.....	53
Figura 27 - Ambiente Gráfico do Ekahau.	53
Figura 28 - Tela com o ambiente do NetSpot.....	54
Figura 29 - Esquemático do Sensor Hall de Fluxo de Água.	55

Figura 30 - Interligação entre o Microprocessador ESP32 e o Sensor de Fluxo de Água.	55
Figura 31 - Fluxograma do Processo de Coleta de Dados do Protótipo Proposto. ...	56
Figura 32 - Protótipo para Calibragem dos Sensores.	58
Figura 33 - Metodologia utilizada na calibração dos sensores.	59
Figura 34 - Curva de Incerteza na Medição - Hidrômetro padrão CAGECE.	60
Figura 35 - Trecho de código com o fator de calibração.	60
Figura 36 - Evolução do Fator de Calibração e Margem de Erro versus número de Repetições.	61
Figura 37 - Planta Simplificada da Residência (Escala 1:100).	62
Figuras 38(a), 38(b), 38(c) e 38(d) - Cluster_1 - WC Suíte.	63
Figuras 39(a), 39(b), 39(c) e 39(d) - Cluster_2 - WC Social.	63
Figura 40(a), 40(b), 40(c) e 40(d) - Cluster_3 - Área de Serviço.	64
Figura 41 - Trecho de código referente a criação da conectividade MQTT.	65
Figura 42 - Mensagens capturadas da comunicação entre o ESP32 e o Servidor MQTT (adafruit.io).	65
Figura 43 - Conectividade com o Servidor em nuvem Adafruit.io.	66
Figura 44 - Nove Sensores na pasta Feed do servidor adafruit.	66
Figura 45 - Mapa de Calor (em dBm) - Cobertura Wi-Fi da Residência.	67
Figura 46 - Lista de redes Wi-Fi detectadas pela ferramenta NetSpot na residência monitorada.	68
Figura 47 - Análise de Interferência dos Canais Wi-Fi em 2,4 GHz.	68
Figura 48 - Tela Adafruit.io para o download mensal da medição dos sensores.	70
Figura 49 - Histórico Mensal de Precipitações (em milímetros) e Temperatura (em graus Celsius) - Fortaleza, Ceará, Brasil.	71
Figura 50 - Consolidado Geral do Consumo (em m ³).	72
Figura 51 - Detalhamento do Consumo Geral por Cômodo (em m ³).	73
Figura 52 - Ranking dos Pontos Consumidores (em m ³).	73
Figura 53 - Consumo Mensal em m ³ - Chuveiro - WC Suíte.	75
Figura 54 - Chuveiro WC Suíte - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	75
Figura 55 - Chuveiro WC Suíte - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).	76
Figura 56 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	77

Figura 57 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	77
Figura 58 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	77
Figura 59 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	78
Figura 60 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	78
Figura 61 - Consumo Mensal em m3 - Pia do Banheiro - WC Suíte.	79
Figura 62 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	79
Figura 63 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).	80
Figura 64 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	81
Figura 65 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	81
Figura 66 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	82
Figura 67 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	82
Figura 68 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	82
Figura 69 - Consumo Mensal em m3 - Vaso Sanitário - WC Social.	83
Figura 70 - Vaso Sanitário - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)	84
Figura 71 - Vaso Sanitário - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros)	84
Figura 72 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	85
Figura 73 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	85
Figura 74 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	85
Figura 75 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	86
Figura 76 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	86
Figura 77 - Consumo Mensal em m3 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço.	87

Figura 78 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	88
Figura 79 - Pia de Lavar Louça - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)	88
Figura 80 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	89
Figura 81 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	89
Figura 82 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	90
Figura 83 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	90
Figura 84 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	91
Figura 85 - Consumo Mensal em m ³ – Vaso Sanitário – WC Suíte.	100
Figura 86 - Vaso Sanitário WC Suíte – Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	101
Figura 87 - Vaso Sanitário WC Suíte – Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).	101
Figura 88 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	102
Figura 89 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	102
Figura 90 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	103
Figura 91 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	103
Figura 92 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	103
Figura 93 - Consumo Mensal em m ³ - Chuveiro - WC Social.	104
Figura 94 - Chuveiro - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	105
Figura 95 - Chuveiro - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).	105
Figura 96 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	106

Figura 97 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	106
Figura 98 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).....	107
Figura 99 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020). .	107
Figura 100 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	107
Figura 101 - Consumo Mensal em m3 - Pia do Banheiro - WC Social.	108
Figura 102 - Pia do Banheiro - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).....	109
Figura 103 - Pia do Banheiro - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).....	109
Figura 104 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	110
Figura 105 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	110
Figura 106 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).....	111
Figura 107 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).....	111
Figura 108 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	111
Figura 109 - Consumo Mensal em m3 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço...	112
Figura 110 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	113
Figura 111 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	113
Figura 112 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	114
Figura 113 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	114
Figura 114 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).....	115
Figura 115 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).....	115
Figura 116 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).....	115

Figura 117 - Consumo Mensal em m ³ - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço.	116
Figura 118 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)	116
Figura 119 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).	117
Figura 120 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).	118
Figura 121 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).	118
Figura 122 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).	118
Figura 123 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).	119
Figura 124 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenários de vida útil da bateria.	36
Tabela 2 - Recursos de Hardware Necessários para construção do Protótipo.	48
Tabela 3 - Configuração do Notebook utilizado nas medições da rede sem fio.	54
Tabela 4 - Passo-a-Passo dos Processos para Coleta dos Dados.	57
Tabela 5 - Identificação dos Pontos de Instalação.	62
Tabela 6 - Medições de Sinal Wi-Fi - Clusters de Sensores.	69
Tabela 7 - Informações sobre Base de Dados Gerada pelo Projeto.	70
Tabela 8 - Resumo com as principais características das medições de cada sensor.	74
Tabela 9 - Perfis de Consumo de água no âmbito residencial - Comparativo de resultados.	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de IoT.	28
Quadro 2 - Especificações técnicas do microprocessador.	49
Quadro 3 - Comparativo - Estudos Predecessores.	92

LISTA DE SIGLAS

6LoWPAN	IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
ADC	Analogic Digital Converter
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Access Point
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
BLE	Bluetooth Low Energy
<i>Bluetooth SIG</i>	Bluetooth Special Interest Group
Bps	bits per second
BSS	Basic Service Set
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CCK	Complementary Code Keying
CERP-IOT	Cluster of European Research Projects on the Internet of Things
CO ₂	carbon dioxide
CoAP	Constrained Application Protocol
CoRE	Constrained RESTful environments
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance
CTS	Clear To Send
DAC	Digital Analogic Converter
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTLS	Datagram Transport Layer Security
FCC	Federal Communications Commission
FFD	Full Function Device
GPIO	General Purpose Input/Output
GPRS	General Packet Radio Services
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol version 6

ISM	The Industrial, Scientific, and Medicine Frequency Bands
ITU	International Telecommunication Union
LED	Light Emitting Diode
LLNs	Low Power and Lossy Network
LQ	Link Quality
M2M	Machine to Machine
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple Input, Multiple Output
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSI	Open Systems Interconnection
P&G	Procter & Gamble
PAN	Personal Area Network
PHY	Physical layer
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio frequency
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency Identification
RPL	Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks
RTS	Request To Send
SSID	Service Set Identifier
TCP	Transmission Control Protocol
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
URIs	Uniform Resource Identifier
WC	Water Closet (Banheiro)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WPANs	Wireless Personal Area Network
WWW	World Wide Web

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1.	Justificativa.....	20
1.2.	Objetivos	24
1.2.1.	Objetivo Geral	24
1.2.2.	Objetivos Específicos	24
1.3.	Estrutura da Dissertação	24
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1.	Internet das coisas - fundamentos e Definições	25
2.1.1.	Evolução Histórica	25
2.1.2.	Conceitos e Definições	27
2.1.3.	Aplicações	30
2.2.	Redes Wi-Fi.....	33
2.2.1.	O Padrão IEEE 802.11.....	33
2.2.2.	Exemplo de Aplicação IOT utilizando redes Wi-Fi	35
2.3.	Protocolo MQTT.....	37
2.4.	Sensor de Efeito Hall.....	40
2.5.	Sistemas Embarcados	42
2.6.	Estado da Arte – projetos correlatos	43
2.7.	Considerações finais do capítulo 2.....	45
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1.	Introdução.....	45
3.2.	Definição do Local de Aplicação da Pesquisa	46
3.3.	Recursos de <i>Hardware</i> e <i>Software</i>	47
3.4.	Metodologia de coleta e processamento dos Dados	54
3.5.	Considerações finais do capítulo 3.....	57

4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1.	Introdução.....	58
4.2.	Calibração dos sensores	58
4.3.	Instalação do protótipo	61
4.4.	Análise de Conectividade - Protocolo MQTT.....	64
4.5.	Análise de Cobertura e Qualidade da Rede sem fio	67
4.6.	Construção da Base de Dados	69
4.7.	Análise dos Dados Coletados de Consumo residencial de água	71
4.7.1.	Consolidado Geral.....	72
4.7.2.	Sensor 1 – WC Suíte – Chuveiro	74
4.7.3.	Sensor 3 – WC Suíte – Pia do Banheiro	78
4.7.4.	Sensor 5 – WC Social – Vaso Sanitário	83
4.7.5.	Sensor 7 – Área de Serviço – Pia de Lavar Louça	87
4.4.	Comparativo com Estudos Precursores.....	91
4.5.	Considerações finais do capítulo 4.....	93
5.	CONCLUSÃO	94
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICE A – SENSOR 2 – WC SUÍTE – VASO SANITÁRIO	100
	APÊNDICE B – SENSOR 4 – WC SOCIAL – CHUVEIRO.....	104
	APÊNDICE C – SENSOR 6 – WC SOCIAL – PIA DO BANHEIRO	108
	APÊNDICE D – SENSOR 8 – ÁREA DE SERVIÇO – PIA DE LAVAR ROUPA	112
	APÊNDICE E – SENSOR 9 – ÁREA DE SERVIÇO – MÁQUINA DE LAVAR	116

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à sobrevivência humana, compondo aproximadamente setenta por cento de nosso organismo. A explosão demográfica em curso na humanidade, a partir do século vinte, colocou a mesma em rota de colisão com as possibilidades de esgotamento de seus principais recursos naturais, entre os quais, a água potável, cuja escassez é o resultado da combinação da variabilidade hidrográfica e do elevado uso humano, o qual pode, em parte, ser mitigado com infraestruturas de armazenamento (UNESCO, 2012).

O Brasil é um dos países que possui grande abundância de água doce no mundo. Apesar de ser uma notícia animadora e positiva, seus recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual ao longo de seu território. Esses fatores, somado ao uso da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e os problemas de qualidade de água, geram áreas de conflito (ANA, 2017).

O estado do Ceará, notadamente inserido no polígono das secas do semiárido nordestino, teve a evolução da sua Política de Recursos Hídricos influenciada diretamente pelos ciclos de seca, cujos impactos gerados desencadearam ações governamentais reativas, iniciadas pelo Governo Federal, indo desde a fase hidráulica, com a construção de grandes açudes. Em decorrência da demanda crescente, resultante do crescimento urbano, industrial e agrícola, a água disponível tornou-se escassa, impondo a necessidade da elaboração de mecanismos de planejamento e gestão dos usos dos recursos hídricos (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2018). Neste contexto de planejamento e gestão se inserem as tecnologias utilizadas neste trabalho.

O avanço das tecnologias de sistemas embarcados, telecomunicações e sensoriamento remoto ao longo dos anos preparou a Internet das Coisas (IoT) para explorar novos nichos de mercado. Previu-se que a IoT lidará com uma gigantesca rede de bilhões de dispositivos para fornecer muitos serviços inteligentes aos usuários (POPLI; JHA; JAIN, 2020).

Com a IoT, surgiu um novo conceito onde todos os itens de nossa vida se tornam parte da Internet, tendo sido amplamente aplicada em vários cenários, como casas inteligentes e assistência médica móvel. Em particular, na área de saúde, as

redes de sensores corporais são usadas para capturar e registrar os dados das funções do corpo humano (LU, *ET AL*, 2019).

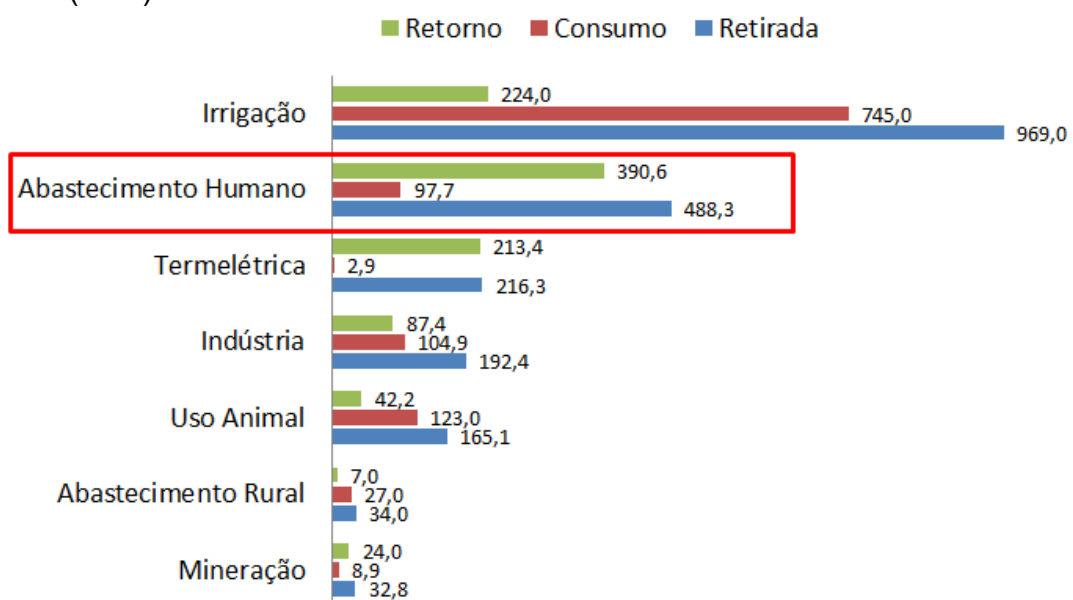
A partir da necessidade de uma gestão inteligente de recursos hídricos, o presente trabalho construiu um protótipo capaz de monitorar e analisar aspectos de padrão de consumo de água ao nível residencial, identificando oportunidades de melhoria contínua e o desenvolvimento de aplicações futuras.

1.1. JUSTIFICATIVA

De acordo com estudos da ANA (Agência Nacional de Águas), os principais usos da água no Brasil são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer. A Figura 1 nos mostra que o abastecimento urbano no Brasil é a segunda maior demanda de gestão hídrica, sendo por tanto necessário e bem vindo o uso de tecnologias capaz de produzir ferramentas práticas e simples para o monitoramento inteligente do consumo hídrico no contexto das cidades (ANA, 2017).

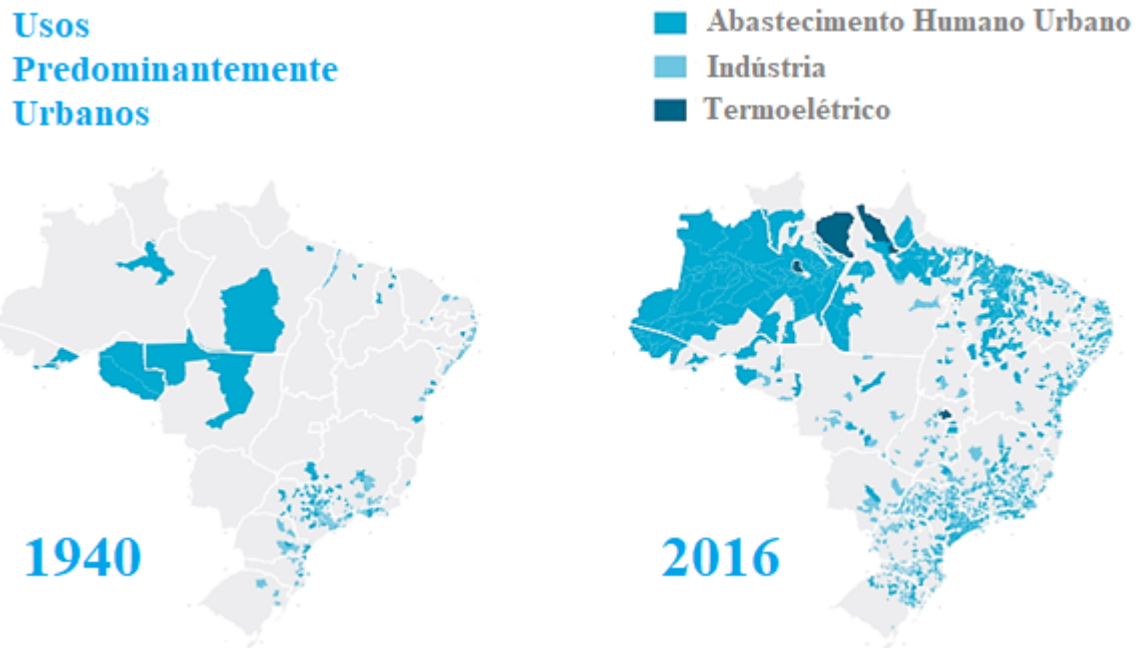
A Figura 2 mostra o crescimento do uso de água predominantemente urbano no Brasil entre os anos de 1940 e 2016.

Figura 1 - Demanda Por Finalidades dos Usos da Água, em metros cúbicos por segundo (m^3/s).



Fonte: Agência Nacional de Águas (2017), adaptado pelo autor.

Figura 2 - Usos da Água preponderantemente Urbanos no Brasil (1940 e 2016)

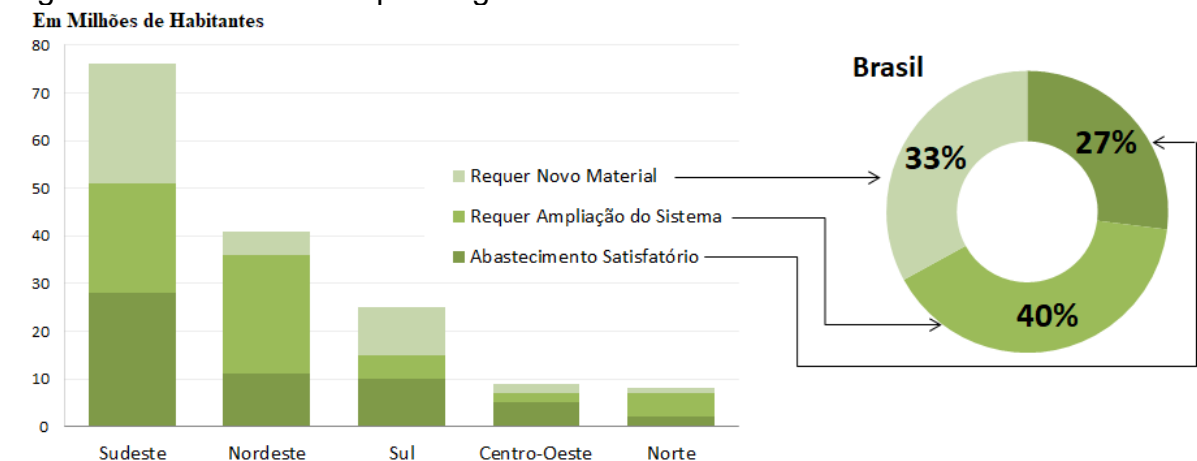


Fonte: Agência Nacional de Águas (2017).

A Figura 3 nos apresenta a realidade, por regiões, da demanda de ampliação dos sistemas de abastecimento de água. O Estudo da ANA ressalta a necessidade de intensificar a gestão, incentivando o uso mais racional e o controle das perdas físicas nos sistemas de água, em torno de 36% em média no Brasil. Do ponto de vista da oferta, o diagnóstico do Brasil, consolidado em 2010 indicava que 46% das cidades brasileiras tinham vulnerabilidades associadas à produção de água e 9% necessitavam de novas fontes hídricas.

O estudo ainda nos aponta que a região Nordeste concentra proporcionalmente mais cidades que necessitam de novos mananciais, devido a baixa disponibilidade hídrica, principalmente no Semiárido (ANA, 2017).

Figura 3 - Abastecimento por Região no Brasil

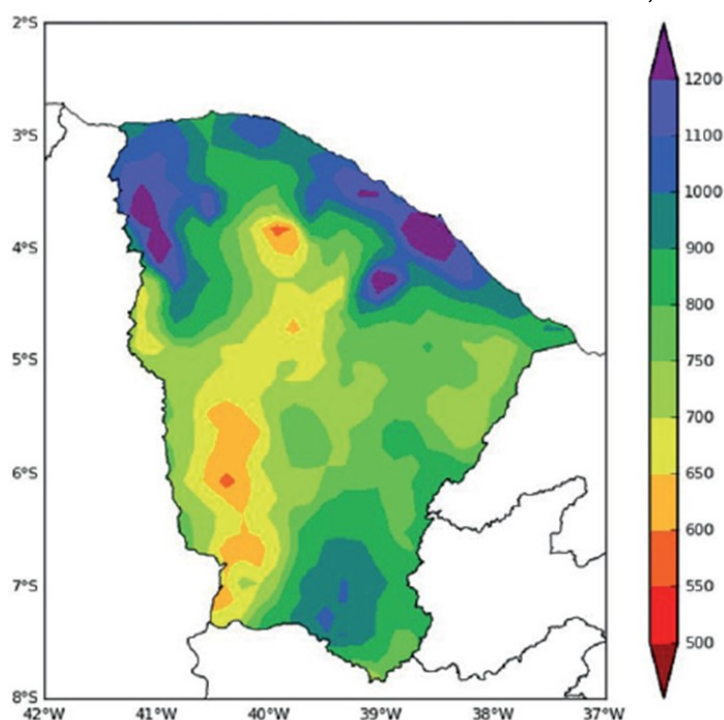


Fonte: Agência Nacional de Águas (2017).

Especificamente no estado do Ceará, a Figura 4 nos apresenta a média anual dos índices pluviométricos entre 1981 e 2010. A fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos (FUNCEME) vem se estabelecendo como provedora reconhecida a nível nacional de informações climáticas voltadas ao setor de recursos hídricos e, em particular, a previsão de afluições a partir da previsão climática e o seu uso na alocação de água.

Adicionalmente, vem definindo cenários de médio prazo (12 a 18 meses) para a operação dos sistemas de reservatórios estratégicos do estado. Esta ação garantirá a continuidade dos esforços conduzidos em prover informações climáticas em tempo para as decisões do setor de recursos hídricos relativas à alocação de água (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2018).

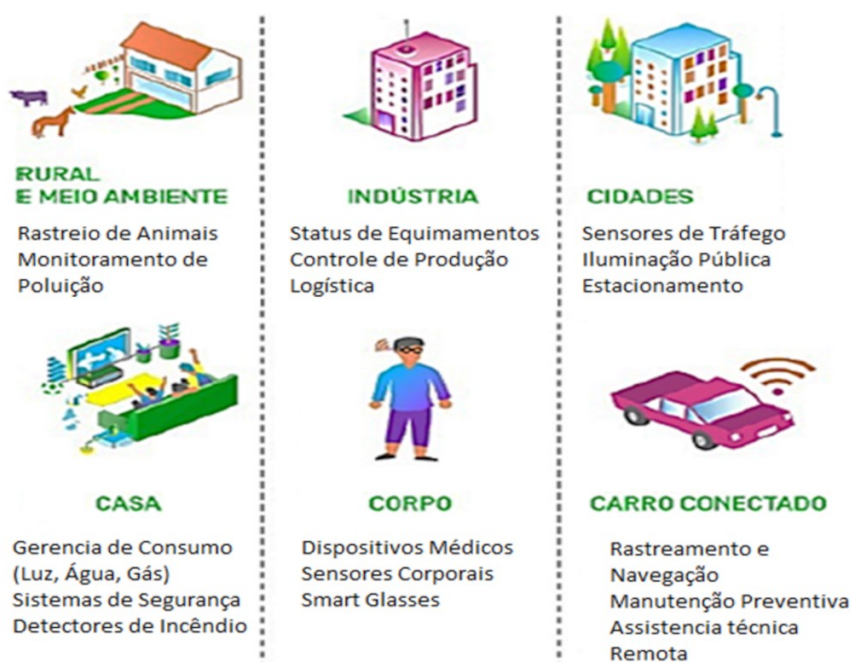
Figura 4 - Histórico Pluviométrico do Ceará entre 1981 e 2010, em milímetros (mm).



Fonte: Governo do Estado do Ceará (2018).

Segundo SILVA (2017), a IoT tem sido o centro das atenções nos últimos anos graças ao seu enorme potencial para mudar radicalmente a vida diária de seus usuários, oferecendo-lhes a possibilidade de adicionar inteligência e previsibilidade aos mais diversos problemas cotidianos, desde o controle mais preciso de suas contas de luz e água, até o monitoramento de sinais vitais para prevenção de ataques cardíacos, diabetes, hipertensão e outras demandas de saúde, essenciais para o aumento da qualidade de vida.

Figura 5 - Portfólio de Aplicações IOT.



Fonte: SILVA (2017), adaptado pelo Autor.

É grande o número de possibilidades, conforme mostra a Figura 5. Segundo GARTNER (2018), há uma previsão de que mais de 20 bilhões de dispositivos estarão conectados até o final de 2020 por meio da IoT. Segundo DORNELAS & CAMPELLO (2017), diferentemente das companhias elétricas, que já iniciaram seus investimentos em redes inteligentes de energia (*Smart Grids*) que possibilitam ao consumidor o acompanhamento e controle diário do consumo de energia elétrica, não se percebe movimento similar das companhias de saneamento básico na chamada rede de água inteligente (do inglês *Smart Water Network – SWAN*) com serviços de acompanhamento disponíveis à população.

Neste sentido, a proposta deste trabalho é aproveitar a potencialidade desta tecnologia para criar um protótipo capaz de oferecer uma gestão do uso da água no âmbito residencial, propondo um sistema embarcado capaz de fornecer um monitoramento mínimo do consumo hídrico doméstico, podendo ser expandido para um ambiente comunitário (como escolas, empresas, condomínios, indústrias), utilizando soluções de código aberto (aproveitando principalmente a evolução da IoT) e recursos de hardware simples, com boa disponibilidade e preço no mercado. (DORNELAS; CAMPELLO, 2017)

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar, desenvolver e construir um protótipo de aplicação para estimar o monitoramento de consumo de água residencial baseado na tecnologia de Internet das Coisas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar aspectos de cobertura e qualidade da rede *wi-fi* montada para suportar os dispositivos IoT instalados na residência.
- b) Criar de uma base de dados para posterior análise em diversas aplicações relacionadas à solução proposta.
- c) Analisar os resultados através de ferramenta estatística a fim de identificar padrões e perfis de consumo residencial de água.
- d) Apresentar um comparativo entre as aplicações apresentadas em trabalhos predecessores, agrupando pelo tipo de rede e considerando as características elencadas.
- e) Identificar e propor aplicações futuras que possam evoluir a análise a aplicação da solução proposta.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos.

- a) No Capítulo 2, será apresentada a fundamentação teórica da pesquisa, estruturada para apresentar o estado da arte dos conhecimentos utilizados no trabalho, a saber - Redes Wi-fi, protocolo MQTT, Sensor de Efeito Hall e sistemas embarcados.

- b) No Capítulo 3, serão apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa, detalhando o local de aplicação da pesquisa, os recursos utilizados, o processo de calibração dos sensores, a instalação do protótipo e os testes de conectividade.
- c) No Capítulo 4, serão apresentados resultados e discussões, focando principalmente o tratamento dos dados coletados pelos sensores e o desempenho da rede de sensores construída.
- d) No Capítulo 5, será apresentada a conclusão e as possibilidades melhorias futuras no projeto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INTERNET DAS COISAS - FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES

2.1.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O Século XXI trouxe enormes desafios sociais, econômicos e ambientais, tais como - escassez de recursos naturais, alterações climáticas, migração de uma economia pós-industrial para era digital, envelhecimento da população provocada pelo aumento da expectativa de vida das pessoas *versus* a diminuição da taxa de natalidade. Na busca para superar esses desafios, novas tecnologias em desenvolvimento oferecem inúmeras possibilidades de aplicações de grande impacto no cotidiano. A Internet as Coisas se apresenta como ferramenta capaz de lidar com parte desses problemas, já que possui recursos para solucionar e ajudar nas situações e nos problemas do cotidiano doméstico e profissional (OLIVEIRA, 2017).

Segundo FACCIONI FILHO (2016), o conceito de IoT possui suas origens antes mesmo da Internet, estando relacionado à tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification* - identificação por radiofrequência), que tem suas raízes nos sistemas de radares usados durante a segunda guerra mundial. Para saber se o avião identificado no radar era um aliado ou inimigo, o avião captado deveria refletir o sinal

com as suas características (sistema passivo) ou emitir um novo sinal (sistema ativo), assim era possível saber a qual grupo pertencia determinado avião.

O RFID obteve melhor visibilidade em 1999 quando as organizações *Uniform Code Council*, *Procter & Gamble*, *EAN International* e *Gillette* se uniram e estabeleceram o centro de estudos Auto-ID Center no Instituto de tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology - MIT*). Nesse laboratório dois professores, David Brock e Sanjay Sama, trabalharam com o intuito de desenvolver etiquetas de RFID com microchips de custo baixo e, assim, permitir a rápida expansão desses sistemas. A ideia era conectar as etiquetas de RFID, chamadas de “tags”, à Internet (FACCIONI FILHO, 2016).

Ainda no *MIT* em 1999, Kevin Ashton afirma que usou a expressão IoT pela primeira vez durante uma apresentação realizada na empresa Procter & Gamble (P & G). Segundo ele, através da coleta de dados obtidos sem qualquer intervenção humana, os computadores seriam capazes de saber de tudo o que há para saber sobre as coisas. Dessa forma, podia-se controlar e contabilizar tudo, reduzindo-se assim desperdícios, perdas e custos (ASHTON, 2009).

Antes mesmo da menção ao termo em 1999 por Ashton, a IoT já era visualizada por visionários como Nikola Tesla inventor da corrente alternada, segundo ele a tecnologia sem fio se tornaria amplamente utilizada e os dispositivos estariam se comunicando constantemente em escala global formando assim um grande cérebro. Mark Weiser, em 1991, afirmava que em um futuro próximo as tecnologias se tornariam tão integradas à vida cotidiana das pessoas que desapareciam, pois se tornaria algo tão natural que se tornaria invisível.

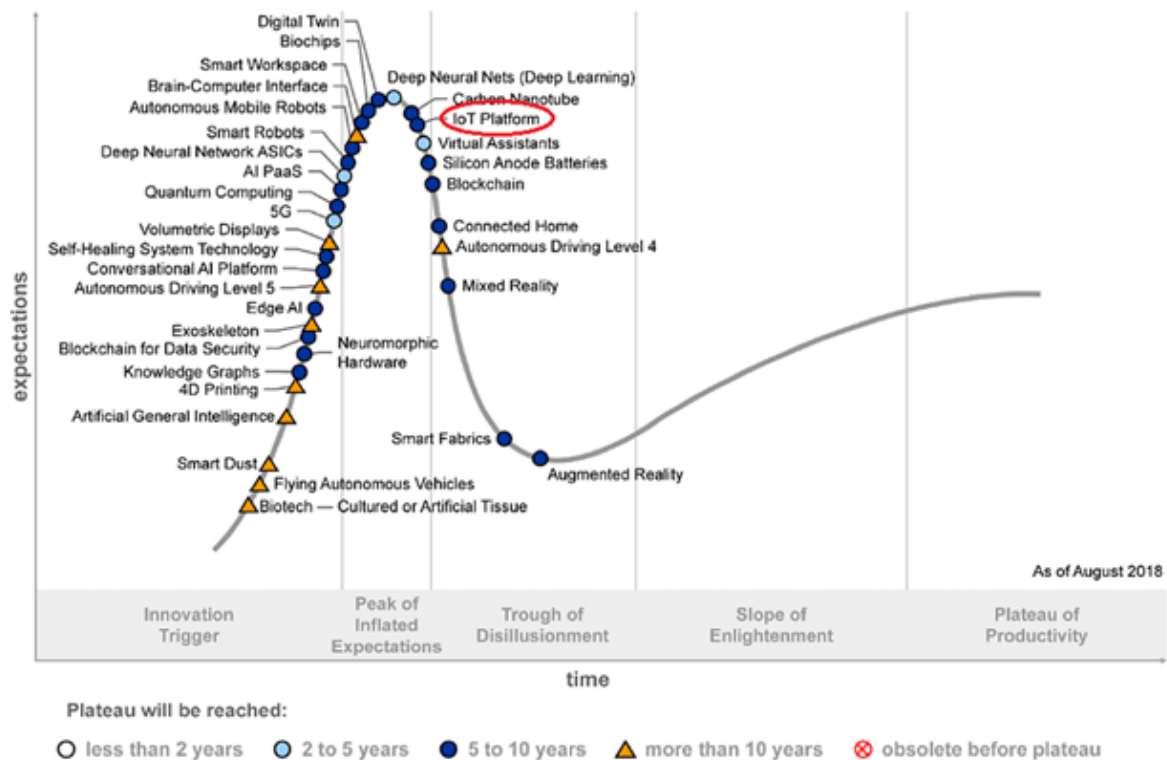
Com o passar do tempo, o termo se expandiu podendo ser observado em livros já em 2005. Em 2008, em *Zurich*, Suíça, ocorreu a primeira conferência científica sobre o assunto. Na Europa o conceito era inicialmente associado a tecnologia de RFID, o que foi mudando aos poucos com as conferências de 2006 intitulada "Do RFID à Internet das Coisas" e "RFID - Rumo à Internet das Coisas" de 2007. Somente a partir de 2009, a comissão da União Europeia passou a adotar a IoT como uma evolução real da Internet que passa a interligar objetos do cotidiano (CHRISTIAN; MATTERN, 2010).

A Figura 6 apresenta o *Hype Cycle*, uma ferramenta gráfica de GARTNER, (2018b), que classifica as tecnologias pelos eixos visibilidade (vertical) e maturidade

(horizontal), o gráfico representa a adoção, maturidade e impactos das tecnologias em desenvolvimento.

A IoT encontra-se em seu maior pico de expectativas no âmbito acadêmico e do mercado, esperasse que seja amplamente aceita e adotada pelo mercado entre 5 a 10 anos. Antes irá passa pelas seguintes etapas - vale da desilusão, a tecnologia não se firma e começa a desaparecer, há um declínio das expectativas. Em seguida se superado seus desafios entra em acessão agora conseguindo a adesão da comunidade e por fim o platô da produtividade fase em que a tecnologia adquire maturidade e consolidação (SANTOS et al., 2016).

Figura 6 - Curva Evolutiva das tecnologias emergentes.



Fonte: (GARTNER, 2018b)

2.1.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O Quadro 1 nos apresenta algumas definições de IoT encontradas na literatura.

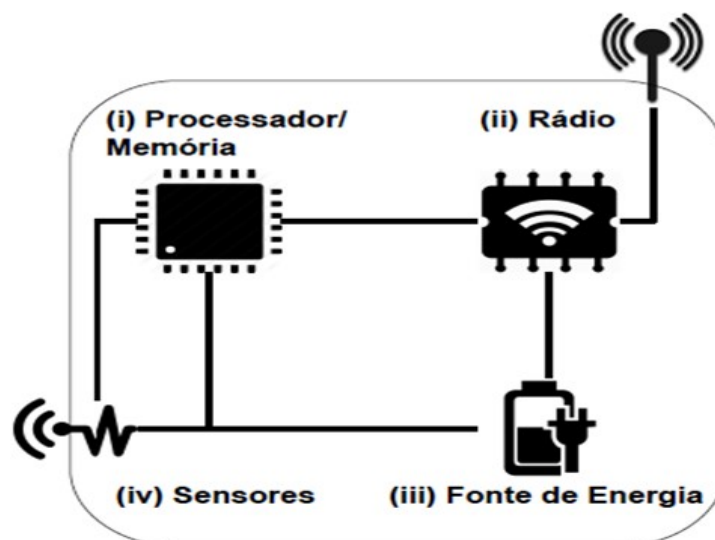
Quadro 1 - Definições de IoT.

Autor	Definição
HARWOOD, 2019	Consiste em objetos individuais para "coisas" de grandes escalas (como cidades), adicionando, identificadores exclusivos, sensores / atuadores e conectividade. Com essa combinação de itens e tecnologias, abre-se um mundo de interações potenciais que cobrem os mundos físico e digital.
OLIVEIRA, 2017	Internet das Coisas é muito mais que apenas ligar lâmpadas pelo smartphone. Não é somente ligar as "coisas" na internet, mas também torná-las inteligentes, capazes de coletar e processar informações do ambiente ou das redes às quais estão conectadas.
CERP-IOT, 2009	Uma infraestrutura de rede dinâmica e global com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis onde as 'coisas' físicas e virtuais tem identidades, atributos físicos, personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são completamente integradas na rede de informação.

Fonte: (CERP-IOT, 2009 ; OLIVEIRA, 2017 e HARWOOD, 2019)

A Internet das coisas utiliza-se de elementos funcionais (Figura 7) que são compostos basicamente por um sensor e um atuador, responsáveis pela interação com o mundo físico, um microcontrolador, que transforma os dados capturados dos sensores, um dispositivo de comunicação que envia e recebe informações de outros dispositivos, e uma fonte de alimentação, comumente uma bateria, que fornece a energia elétrica necessária para o objeto realizar o seu trabalho (VASSEUR; DUNKELS, 2010).

Figura 7 – Elementos funcionais utilizados em IoT.



Fonte: (SANTOS et al., 2016)

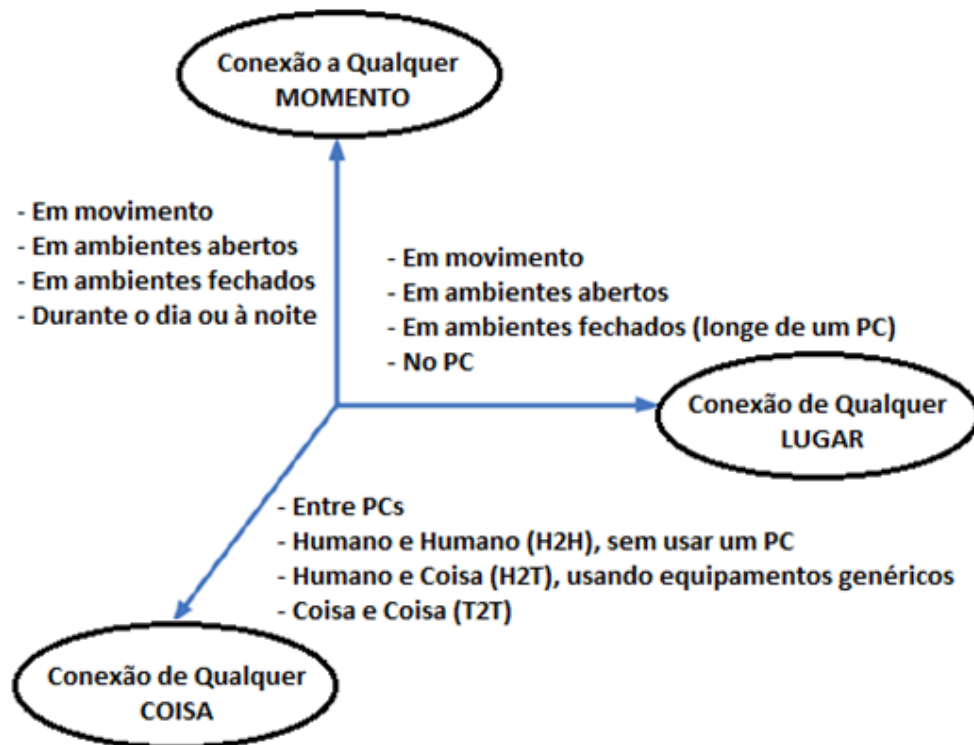
Este conjunto de elementos funcionais em IoT mostrados na Figura 7, devido principalmente a restrições de energia e custos, utilizará geralmente de microcontroladores de 8,16 ou 32 bits. O tamanho da memória utilizada é de apenas alguns *kilobytes*, a maior parte do tempo ficam em *sleep mode*, ou seja, os dispositivos dormem e só acordam quando há informações para serem transmitidas. A topologia de rede será em malha (*mesh*), onde cada dispositivo pode realizar roteamento, o que permite uma maior robustez e disponibilidade da rede (VASSEUR; DUNKELS, 2010).

As “coisas” ou objetos farão uso de interfaces na forma de serviços que possibilitem as interações com a Internet, consultar e modificar seus estados ou qualquer informação relacionados aos mesmos, considerando questões de segurança e privacidade. Prevê-se também que os objetos serão integrantes ativos do mundo dos negócios, dos processos informacionais e sociais nos quais serão capazes de interagir e comunicar-se entre si e com o ambiente por meio da troca de dados e informações coletadas sobre o mesmo, à medida que reagem de modo autônomo aos eventos do mundo físico/real provocam processos que desencadeiam ações e geram serviços com ou sem intervenção humana direta (CERP IoT, 2009).

Segundo a União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunication Union - ITU*), a troca de informações entre os objetos em IoT pode ocorrer em qualquer lugar, a qualquer momento e com qualquer coisa, conforme retratado na Figura 8. Além disso, a ITU vê a IoT como uma infraestrutura global de informação, que oferece serviços avançados pela interconectividade física e virtual das coisas, utilizando-se de tecnologias de comunicação e informação existentes e em desenvolvimento (ITU, 2012).

Através da coleta de dados, sistemas de identificação, processamento e comunicação, os objetos podem disponibilizar serviços para todas as aplicações, garantindo privacidade e segurança. Ampliando-se o conceito de IoT, esta pode ser entendida como uma visão de sistema com implicações tecnológicas e sociais (ITU, 2012).

Figura 8 - Dimensões de Comunicação e Compartilhamento de Informação em IoT.

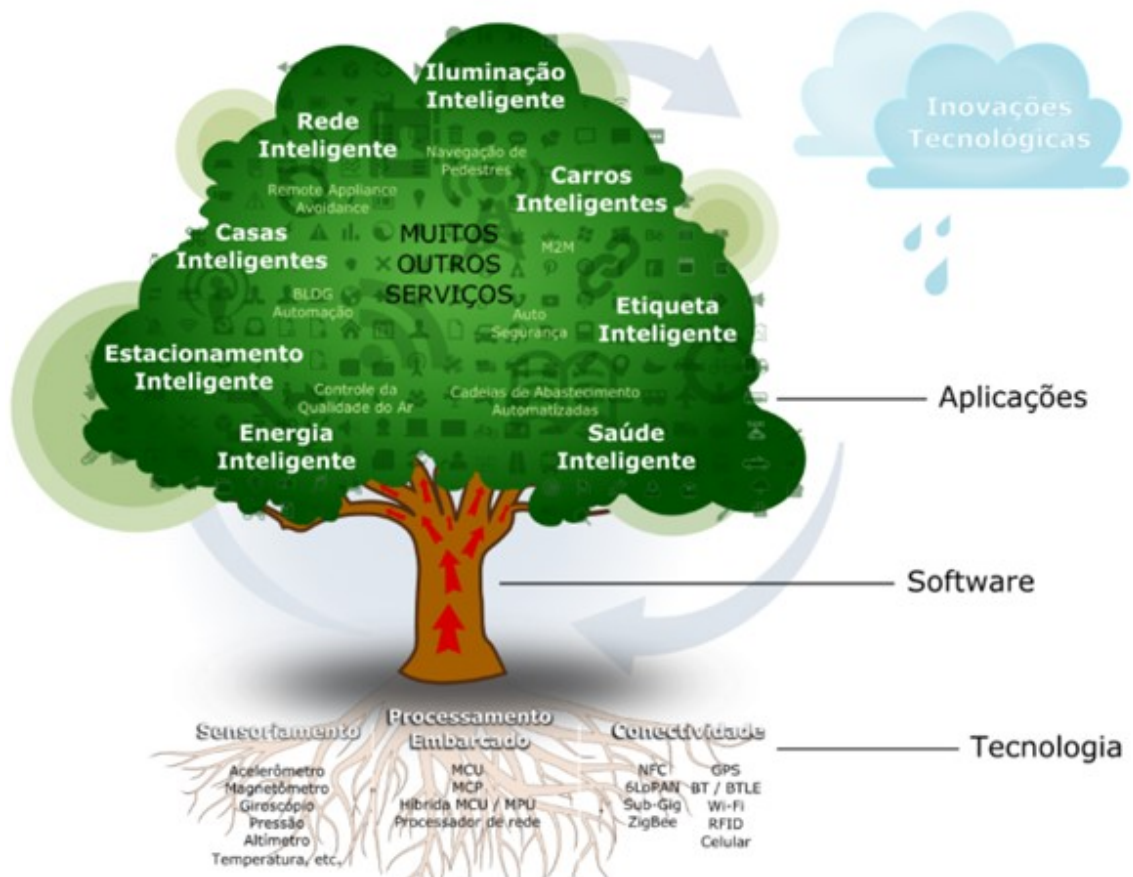


Fonte: (OLIVEIRA NETO, 2015), adaptado pelo Autor.

2.1.3. APLICAÇÕES

A Figura 9 fez uma analogia ao conceito de internet das coisas com uma árvore. Na raiz se tem o processamento embarcado, o sensoriamento e a conectividade, o caule com o software que fornece os nutrientes necessários para o desenvolvimento dos frutos, no caso, as aplicações.

Figura 9 - Ecosistema IoT.



Fonte: (MEURER, 2015)

As aplicações IoT vão muito além da comunicação máquina a máquina (*M2M-Machine to Machine*), pois são conceitos com significados diferentes. Em *M2M*, a comunicação acontece entre dispositivos do mesmo tipo, geralmente fazendo uso de tecnologias proprietárias. São feitos para resolver um problema específico e atender a uma única aplicação também específica. Por isso são utilizados diversos sistemas para diversas aplicações, o que torna as soluções *M2M* silos verticalizados (HÖLLER ET AL., 2014).

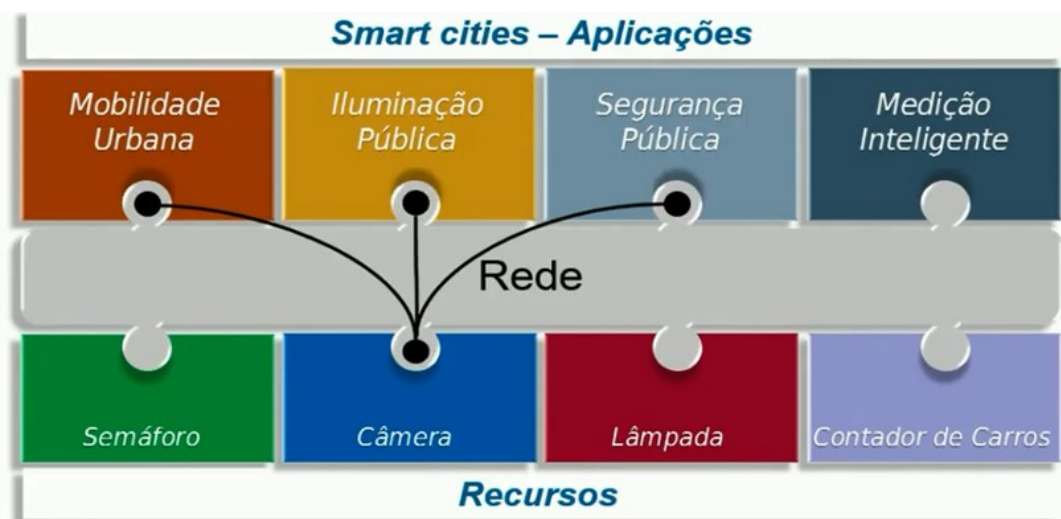
A Figura 10 mostra um cenário de cidades inteligentes que aparecem aplicações como medição inteligente, iluminação urbana, segurança pública e mobilidade urbana. Percebe-se que para cada uma dessas aplicações existe um conjunto de aplicações, redes e recursos. Em IoT, a comunicação ocorre entre dispositivos heterogêneos, ou seja, as informações podem ser enviadas e recebidas de diferentes fontes, os dispositivos não podem mais ser específicos de uma única aplicação, as informações obtidas pelos objetos podem ser compartilhadas com diferentes aplicações, além disso trabalham de forma que haja colaboração entre todas as coisas (HÖLLER ET AL., 2014).

Figura 10 - Aplicações M2M



Fonte: (CPQD, 2015)

Figura 11 - Aplicações IoT



Fonte: (CPQD, 2015)

Analisando a Figura 11, existe uma rede comum entre as aplicações, que poderia ser TCP/IP ou IPv6, há uma separação em camadas, no qual tem-se a de aplicação com as mesmas aplicações já mencionadas e a de recursos. Agora um mesmo recurso pode pertencer a várias aplicações. No exemplo da Figura, uma câmera pode servir tanto para a segurança quanto para iluminação pública para saber os níveis de luminosidade em determinado ponto. Em resumo, com IoT é possível uma abordagem horizontal, ao invés de exclusivamente vertical no caso de aplicações M2M (HÖLLER ET AL., 2014).

2.2. REDES WI-FI

2.2.1. O PADRÃO IEEE 802.11

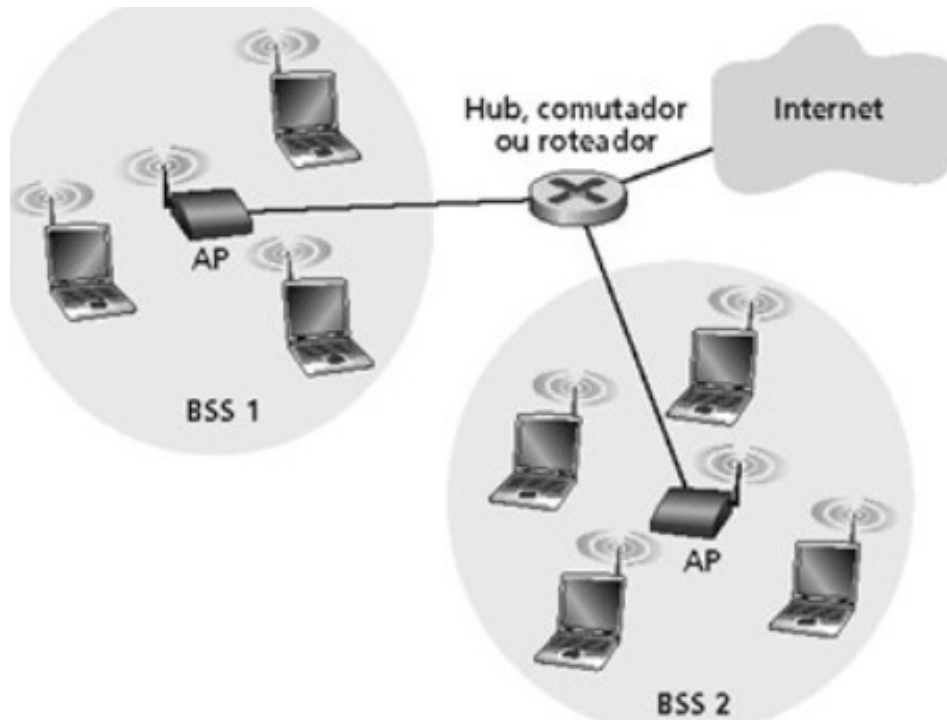
O padrão IEEE 802.11 ou *Wi-Fi* é hoje considerado uma das mais importantes redes de acesso à internet do mundo, devido a sua enorme capilaridade e sucesso comercial em termos de parque instalado de redes sem fio. Surgiu em 1999 a partir da necessidade de criar padrões para as redes de comunicação sem fio, uma vez que vários grupos de pesquisas apresentavam propostas diferentes para o mesmo objetivo o que provocava incompatibilidades entre os dispositivos. (MORAES, 2010)

Wi-Fi é uma abreviatura de *Wireless Fidelity*. Geralmente, refere-se a qualquer tipo de rede local sem fio (WLAN) IEEE 802.11. Mais especificamente, é o padrão da indústria para produtos conforme definido pela *Wi-Fi Alliance* e em conformidade com o padrão IEEE 802.11 (KUROSE; ROSS, 2013).

A rede sem fio IEEE 802.11 permite transmissão de dados por ondas de rádio dispensando o uso de cabos, o que permite a conectividade sem fio e as torna muito populares em pequenos escritórios, residências, campus, entre outros. Além disso, são possuidoras de grande sucesso comercial e fundamentais para as redes de computadores de hoje (MORAES, 2010).

Como mostra a Figura 12, para montagem da infraestrutura básica da rede Wi-Fi, é necessário que haja um conjunto básico de serviço (*Basic Service Set – BSS*). Este é composto por um ou mais hospedeiro sem fio onde estes se associam a uma estação – base central, conhecida como um ponto de acesso (*Access Point – AP*). Os hospedeiros sem fio que podem ser ou não moveis utilizam a estação - base para retransmitir dados entre eles e a internet, e esta por sua vez se encarrega de enviar, receber e coordenar os dados dos hospedeiros associados a ela (KUROSE; ROSS, 2013).

Figura 12 - Infraestrutura de uma rede sem fio.



Fonte: (KUROSE; ROSS, 2013)

Quando se há mais de um BSS é necessário que cada um receba um Identificador de Conjunto de Serviços (*Service Set Identifier - SSID*), um conjunto de caracteres que, após definido, é inserido no cabeçalho de cada pacote de dados da rede. Em outras palavras, o SSID nada mais é do que o nome dado a cada rede sem fio. (MORAES, 2010)

O Wi-Fi é geralmente uma rede com infraestrutura, ou seja, os hospedeiros sempre estão associados à uma estação – base. Quando não existe um ponto de acesso e os hospedeiros se comunicam diretamente dizemos que é uma rede do tipo *ad hoc*. Em outras palavras o IEEE 802.11 é uma rede do tipo infraestrutura, mas que pode suportar uma rede *ad hoc*. (KUROSE; ROSS, 2013)

Para se adequar as necessidades das comunicações sem fio o IEEE 802.11 especifica uma camada de acesso ao meio (*MAC*) e uma camada física (*PHY*). Onde a primeira se dispõe de dois mecanismos responsáveis por controlar o acesso ao meio:

- a) CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance*) - que significa acesso múltiplo por detecção de portadora, permite que só se realize a transmissão se o canal estiver livre, ou seja, antes de transmitir este realiza uma sondagem para saber se os canais estão ocupados,

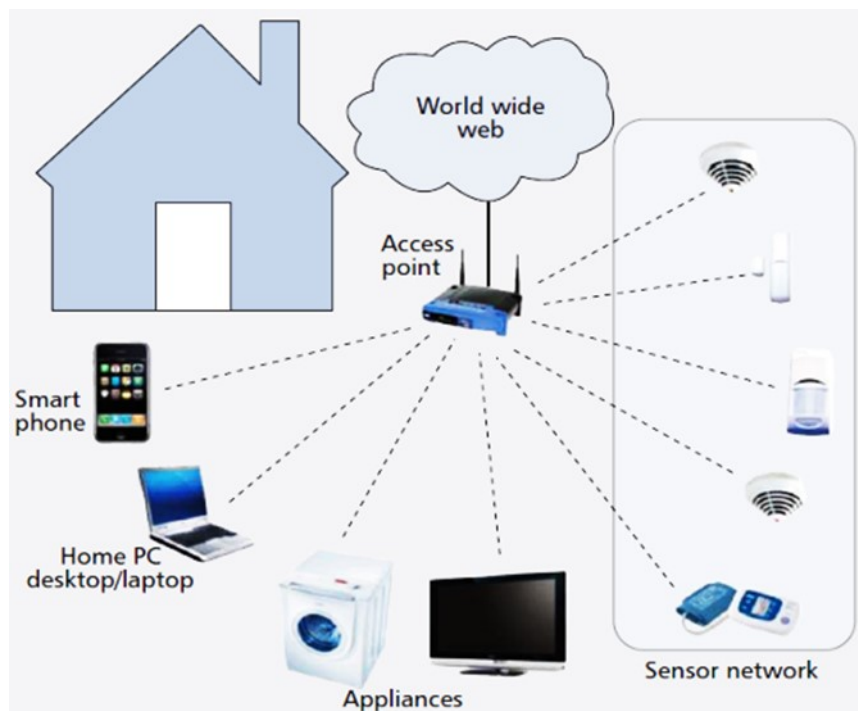
dessa forma evita-se que ocorra colisões entre os nós que transmite ao mesmo tempo;

- b) RTS/CTS (*Request To Send / Clear To Send*) - Técnica que permite evitar colisões mesmo na presença de terminais ocultos, ou seja, antes de ocorrer a transmissão primeiro é enviado uma solicitação de envio (RTS) e em seguida como resposta tem um CTS que garante a permissão de envio durante o tempo reservado.

2.2.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO IOT UTILIZANDO REDES WI-FI

TOZLU ET AL. (2012), em seu trabalho, mostra a viabilidade do uso do *Wi-Fi* IEEE 802.11b/g que opera com taxas de dados variando de 1 a 54 Megabits por segundo para sensores de baixa potência alimentados por bateria. A Figura 13 mostra uma rede de sensores habilitados para Wi-Fi, na qual os dispositivos são conectados à Internet por meio de um *Access Point* – AP.

Figura 13 - Dispositivos habilitados para Wi-Fi



Fonte: (TOZLU et al., 2012)

Focando no desempenho da tecnologia no que diz respeito ao consumo de energia, confiabilidade e alcance, para isso três cenários típicos de aplicação de

sensores foram analisados. Para entender esses cenários os autores apresentaram um conjunto de operações básicas realizadas por sensores, a saber:

- a) Inicialização / Associação - momento em que o sensor se autentica e se associa a um AP predeterminado e adquire um endereço IP, depois de ligado;
- b) Mensagens *keep alive* - Dependendo como foi desenvolvido, um dispositivo para continuar em associação precisa se comunicar com o AP periodicamente, pois este pode remover um dispositivo de sua lista de clientes associados, se não ouvir o dispositivo por um determinado intervalo de tempo;
- c) Transmissão periódica de dados - periodicamente o dispositivo lê os dados do sensor e os transmite para uma unidade de controle;
- d) Transmissão de dados acionada por evento - aqui o dispositivo sensor é responsável por monitorar o ambiente e, se determinados eventos forem detectados, uma mensagem é gerada e transmitida;
- e) Mensagens de Comando - é a transmissão de mensagens para o sensor ou dispositivo atuador. Exemplos disso podem ser uma consulta, configuração ou mensagens de comando/ação para um dispositivo atuador.

Quanto aos cenários, estes são descritos e resumidos na Tabela 1. Para todos os cenários, os autores assumiram que a inicialização / associação é realizada uma vez por dia ($T_i = 1$ dia).

Tabela 1 - Cenários de vida útil da bateria.

Cenários/Fases	Cenário I	Cenário II	Cenário III
Iniciação/Associação ($1/T_i$)	1/dia	1/dia	1/dia
Mensagens manter-vivo ($1/T_a$)	1/min	1/min	-
Transm. de dados periódica	1/ (5 min)	-	1/min
Mensagens de gatilho de eventos	-	1/h	1/h
Mensagens de comando	-	-	delay ≤ 10 s

Fonte: (TOZLU et al., 2012)

- a) Cenário I - Um dispositivo sensor simples (por exemplo, um sensor de temperatura ou um termostato no sistema de aquecimento) envia dados periodicamente em intervalos de 5 minutos ($T_s = 5$ min).

Também a cada minuto ($T_a = 1 \text{ min}$) envia mensagens de estado ativo para que o dispositivo permaneça conectado ao AP.

- b) Cenário II - Um dispositivo de sensor de monitoramento (por exemplo, um detector de fumaça) para permanecer conectado envia dados acionados por evento e mensagens de manutenção periódica a cada minuto ($T_a = 1 \text{ min}$). As mensagens acionadas por eventos podem ocorrer a qualquer momento e é necessário que sejam entregues de maneira confiável e rápida. Mensagens acionadas por eventos ocorrem raramente.
- c) Cenário III - Combina todos os casos de uso representando um dispositivo que envia mensagens acionadas por eventos, verifica as mensagens recebidas do AP a cada 10s ($T_c = 10\text{s}$) e dados periódicos a cada minuto ($T_s = 1 \text{ min}$). Este cenário representa uma aplicação em se tem sensores configuráveis e atuadores (por exemplo, um sistema de alarme de incêndio com detectores de fumaça e sirenes de alarme).

Os resultados obtidos mostraram que consumo de energia é pouco afetado quando a transmissão/recepção de dados é feita com altas taxas. Por outro lado, em taxas de dados baixas, o impacto da transmissão/recepção de energia e tamanho do pacote torna-se perceptível. Além disso, o consumo de energia depende muito do cenário operacional, especialmente se é ou não necessário o recebimento de mensagens oportunas. Entretanto, para a maioria dos cenários do mundo real, a vida útil da bateria pode ser alcançada.

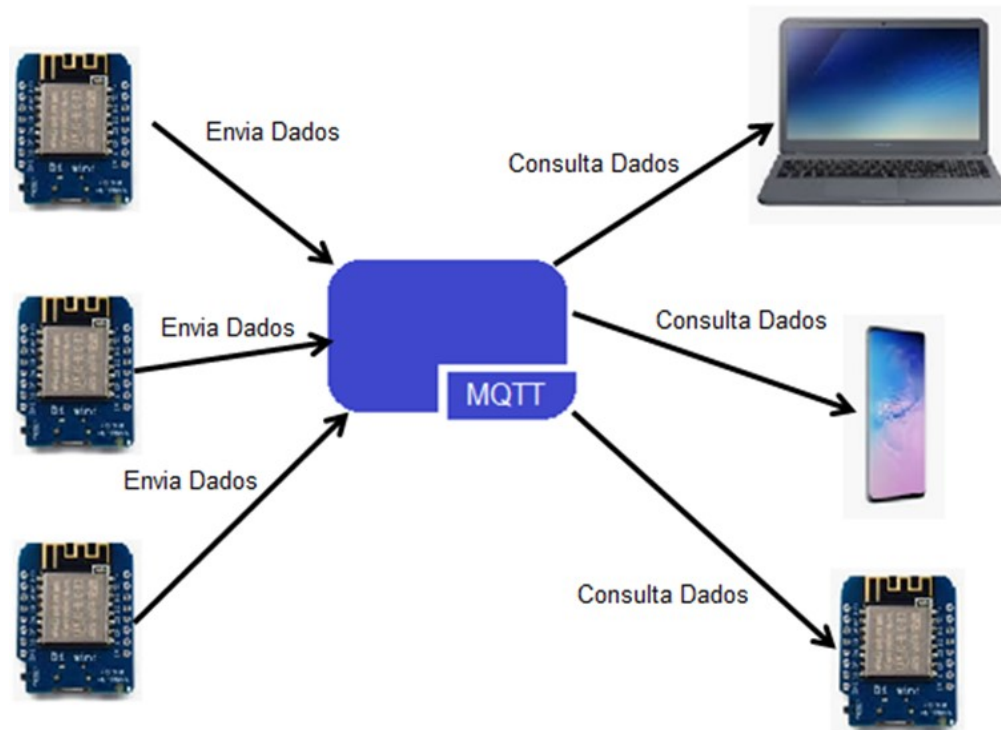
Com relação à interferência, esta não afeta comunicação confiável dos dispositivos nem na rede e nem fora dela considerando circunstâncias normais, salvo no caso de a rede ser afetada por intenso tráfego, quando o AP se torna um gargalo e afeta consideravelmente a latência.

2.3. PROTOCOLO MQTT

Na definição de OASIS (2019), o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de transporte de mensagens que obedece ao modelo Cliente/Servidor (*publish/subscribe*). É leve, aberto, simples e projetado para ser fácil

de programar. Essas características o tornam ideal para uso em muitas situações, incluindo ambientes restritos, como comunicação na *machine-to-machine* (M2M) e Internet das Coisas (IoT) em que é necessária um pequeno código (algoritmo) e uma pequena largura de banda da rede.

Figura 14 - Funcionamento Básico do MQTT.



Fonte: (OLIVEIRA, 2017), adaptado pelo Autor

Segundo OLIVEIRA (2017), o protocolo MQTT foi idealizado pensando no ambiente IoT, tendo sido padronizado para interoperar com um grande número de plataformas, gratuitas ou não. Sua arquitetura apresenta três tipos de elementos, a saber:

- a) *MQTT Broker* – Servidor que deve permanecer sempre disponível; faz a intermediação entre a geração de dados e sua publicação. Existem diversos *brokers* públicos disponíveis na Internet.
- b) *MQTT Publisher* – Dispositivo IoT que gera a informação e envia os dados para o *broker* MQTT.
- c) *MQTT Subscriber* – Assinante do serviço disponibilizado no *Publisher* MQTT. Deve receber as informações geradas pelo *publisher* pelo acesso ao *broker*. Pode executar ações em função dessas informações ou disponibilizar uma forma de visualizá-las, como interface web ou smartphone via aplicativo.

O protocolo MQTT foi desenvolvido para ser um protocolo *M2M*, de dispositivo para dispositivo. Dessa forma, não foi concebido com nenhum outro tipo de interface padrão ou forma de visualização ou análise. Cabe à aplicação de apresentação decidir como expor essas informações. Há interfaces para apresentação em aplicativos para smartphone, web ou desktop. (OLIVEIRA, 2017).

Segundo a OASIS (2019), o protocolo MQTT é executado em TCP / IP ou em outros protocolos de rede que fornecem conexões bidirecionais ordenadas, sem perdas. Suas características incluem:

- a) Uso do padrão de mensagem de publicação / assinatura que fornece uma mensagem um-para-muitos de distribuição e dissociação de aplicativos.
- b) Um transporte de mensagens independente do conteúdo da carga útil.
- c) Três qualidades de serviço para entrega de mensagens:
 - "No máximo uma vez", onde as mensagens são entregues de acordo com os melhores esforços do ambiente operacional. Pode ocorrer perda de mensagem. Este nível pode ser usado, por exemplo, com dados do sensor ambiente, onde não importa se uma leitura individual é perdida ou como o próximo será publicado logo depois.
 - "Pelo menos uma vez", onde as mensagens são garantidas para chegar, mas duplicatas podem ocorrer.
 - "Exatamente uma vez", onde é garantido que as mensagens cheguem exatamente uma vez. Este nível poderia, por exemplo, com sistemas de cobrança em que mensagens duplicadas ou perdidas possam levar a cobranças incorretas.
- d) Uma pequena sobrecarga de transporte e trocas de protocolo minimizado para reduzir o tráfego da rede.
- e) Um mecanismo para notificar as partes interessadas quando ocorre uma desconexão anormal.

As aplicações mais comuns de utilização do protocolo MQTT incluem também registros do tipo *data log*, além de acionamentos simples como acionar uma porta GPIO (*General Purpose Input/Output*) ou aumentar a velocidade de um motor usando *PWM* (*Pulse Width Modulation*) (OLIVEIRA, 2017).

2.4. SENSOR DE EFEITO HALL

Quando um condutor de corrente é colocado em um campo magnético, uma diferença de potencial é gerada em uma direção perpendicular à corrente e ao campo magnético. Esse fenômeno, observado pela primeira vez por Edwin Hall (1855-1938) em 1879, é conhecido como efeito Hall. Surge da deflexão dos portadores de carga para um lado do condutor, como resultado da força magnética que eles experimentam. O efeito Hall fornece informações sobre o sinal dos transportadores de carga e sua densidade; também pode ser usado para medir os campos magnéticos (JEWETT, JOHN W., SERWAY, 2014).

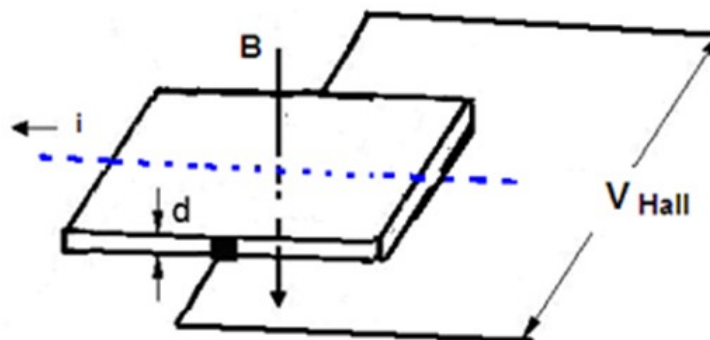
A força de Lorentz no movimento de elétrons no material é dada por:

$$F = q \times (v \times B)$$

Onde q é a carga do elétron, B é campo magnético e v é a velocidade da carga.

O produto externo indica que a força tem uma direção mutuamente perpendicular ao fluxo de corrente e ao campo magnético. Quando se tem um fluxo de corrente em um material sujeito a um campo magnético perpendicular, o ângulo através do qual o fluxo de corrente é mudado pelo campo magnético é conhecido como ângulo Hall e é um parâmetro dependente do material, sendo determinado pela mobilidade de elétron m que também determina o coeficiente de Hall R_H . Neste caso, as linhas equipotenciais ao longo do comprimento do material são inclinadas, e isso nos leva a tensão de Hall medida ao longo do material. Ou seja, tem-se uma tensão proporcional ao campo magnético aplicado (SMAR TECHNOLOGY COMPANY, 2019).

Figura 15 - Efeito Hall



Fonte: (SMAR TECHNOLOGY COMPANY, 2019)

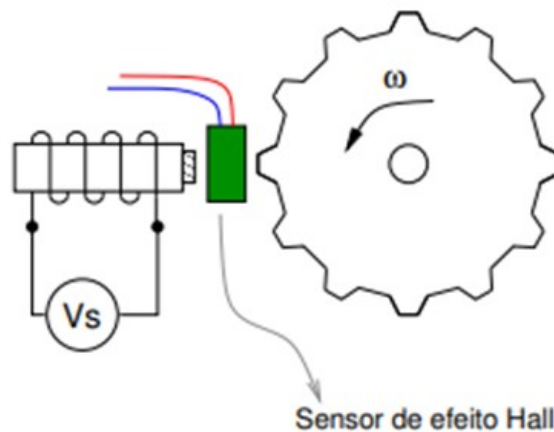
Seja um determinado material (Figura 15) com espessura d , conduzindo uma corrente i ao longo de seu comprimento e sujeito a um campo magnético B aplicado perpendicularmente à direção de sua espessura. O resultado destas condições é a geração de tensão conhecida como tensão de Hall, V_{HALL} , cuja magnitude é dada por:

$$V_{\text{Hall}} = \left(\frac{R_H}{d}\right) \times i \times B$$

Onde R_H é a constante Hall do material, i é a corrente elétrica e B é o campo magnético.

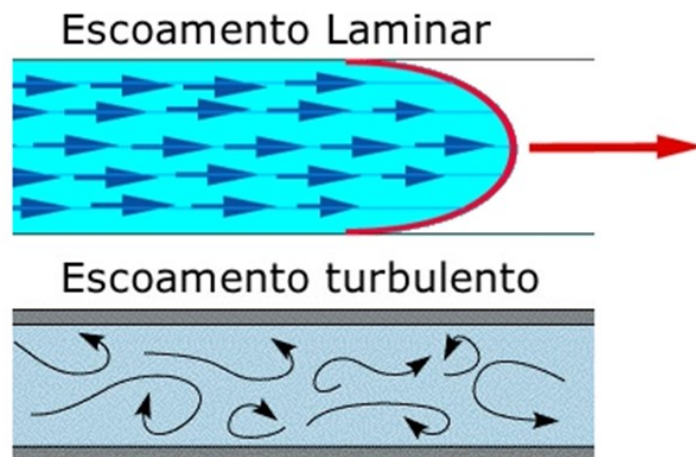
A Figura 16 nos apresenta um esquema simplificado de um sensor de efeito Hall (TORRES, 2011).

Figura 16 - Sensor de Efeito Hall



Fonte: (TORRES, 2011)

Figura 17 - Fluxo Laminar e Fluxo Turbulento



Fonte: (PORTO, 2006)

Ao analisar sistemas que envolvem fluxo de fluido, consideramos necessário dividir os regimes de fluxo em fluxo laminar e fluxo turbulento. No caso laminar, o fluxo de fluido ocorre em linhas de corrente sem turbulência. Sistemas envolvendo fluxo laminar podem ser representados por equações diferenciais lineares (OGATA, 2011).

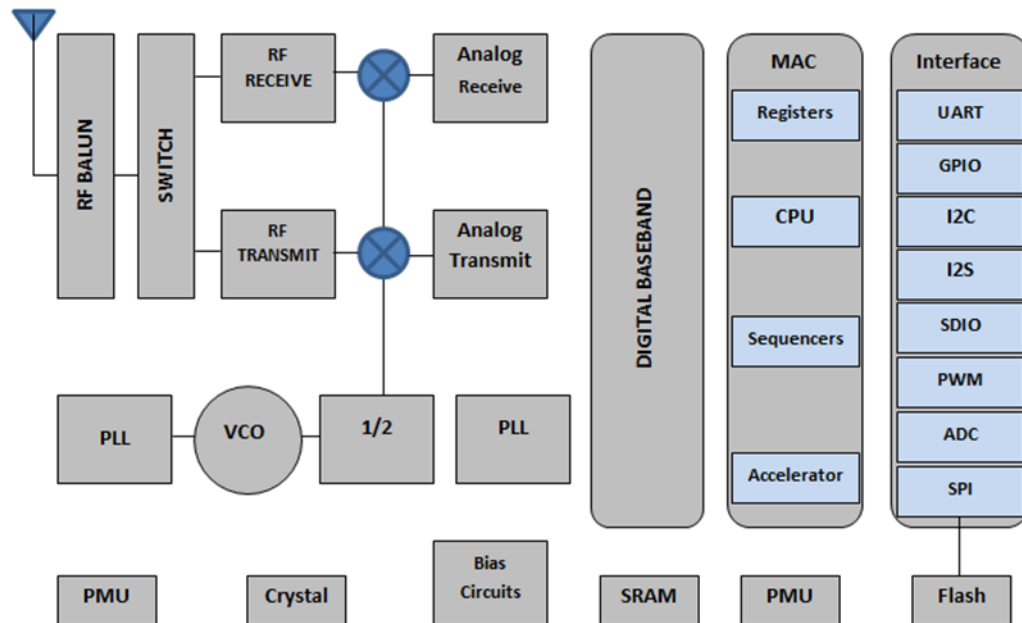
Os processos industriais geralmente envolvem fluxo de líquidos, conectando tubos e tanques. O fluxo nesses processos geralmente é turbulento e não laminar. Os sistemas que envolvem fluxo turbulento geralmente precisam ser representados por equações diferenciais não lineares. Se a região ou operação for limitada, no entanto, essas equações diferenciais não lineares podem ser linearizadas (OGATA, 2011).

No caso de nosso projeto, pela natureza do fluxo de água nos encanamentos residenciais, podemos considerá-lo como de fluxo turbulento.

2.5. SISTEMAS EMBARCADOS

Sistemas embarcados são sistemas eletrônicos microprocessados que, após serem programados, possuem uma função específica que geralmente não pode ser alterada. Estão presentes em praticamente todos os ambientes através de dispositivos que fazem uso de microcontroladores dedicados aos mais variados usos, presentes em televisores, satélites de comunicação, entre outros. Uma de suas principais características é a limitação de recursos, tanto computacionais, quanto na quantidade de interfaces de entrada e saída (GPIO), em função de questões de custo, energia ou robustez (ALMEIDA, 2016).

Figura 18 - Exemplo de Arquitetura - Microcontrolador ESP8266



Fonte: (ESPRESSIF, 2019), adaptado pelo Autor.

A Figura 18 nos apresenta o diagrama de blocos das funcionalidades do microcontrolador ESP8266, da Espressif. Analisando-o, há um conjunto de componentes para processamento (CPU + Memória), interfaces de entrada e saída pra diversos tipos de protocolos e aplicações, bem como interfaces para comunicação com redes sem fio, por exemplo. As interfaces de entrada e saída mais comuns são conhecidas como GPIO (*General Purpose Input Output*). Já as interfaces de comunicação disponíveis nos microcontroladores, vão desde interfaces seriais até interfaces de rede, com fio (ex. - padrão *Ethernet*) ou sem fio (ex. - *Wi-Fi*, *Bluetooth*). (OLIVEIRA, 2017).

2.6. ESTADO DA ARTE – PROJETOS CORRELATOS

A fim de promover uma melhor análise comparativa deste trabalho com o estado da arte relacionado a projetos utilizando a tecnologia IoT para o monitoramento do consumo residencial de água, foram consultadas as bases científicas IEEE Xplore e Web of Science, as quais nos ofereceram os três artigos a seguir, escolhidos pela enorme correlação com a proposta deste trabalho.

A. RAY, GOSWAMI, 2020 propuseram metodologia de desenvolvimento e implementação de medidor inteligente de água baseado na Internet das Coisas (IoT)

e computação em nuvem equipada com algoritmos de aprendizado de máquina, para diferenciar entre o uso normal e excessivo de água nos setores industrial, doméstico e todos os outros setores com elevado uso da água, tanto para o contexto indiano quanto mundial.

Para a coleta dos dados, utilizaram o microcontrolador ESP8266 *NodeMCU*, que é uma plataforma de Internet das Coisas (IoT) de código aberto. Ela inclui um firmware que roda no sistema Wi-Fi ESP8266 no chip (SoC) da *Espressif Systems* e *hardware* baseado no módulo ESP-12. O termo *NodeMCU*, por padrão, refere-se ao *firmware* e não aos kits de desenvolvimento. O firmware usa a linguagem Lua. Construíram a interface da unidade *NodeMCU* com o sensor de fluxo de água YF-S201, alinhado com a linha de água, cujo fluxo de água deve ser monitorado. Utilizaram a plataforma *ThinkSpeak* como servidor em nuvem para armazenamento e exibição dos dados em *dashboards* (RAY; GOSWAMI, 2020).

No sistema de ALVES, MANERA & CAMPOS, 2019, foi utilizado para coleta de dados o microprocessador ATMEGA328, sensores de efeito Hall e o ZIGBEE como protocolo de comunicação na rede sem fio. O sistema utilizou nós sensores, responsáveis por medir o consumo de água doméstica através de um sensor de fluxo e transmitir os dados através de um módulo de radiofrequência (RF) para a estação base, coletando e enviando para a nuvem através do gateway. O sistema também poderá detectar vazamentos. O usuário poderá fechar a água da válvula remotamente. A plataforma Firebase foi escolhida como serviço de dados em nuvem.

O trabalho de LUCIANI et al., 2018 propõe um sistema de monitoramento que envolve a instalação, para cada usuário, de um pequeno coletor de dados capaz de coletar dados de consumo enviados por dispositivos de medidores através do protocolo M-Bus sem fio *Open Meter Standard* (OMS). Esse protocolo de rádio, implementado na maioria dos medidores inteligentes, foi projetado especificamente para medição e pode operar nas frequências ISM 169 e 868 MHz. Por ser um protocolo de comunicação aberto, permite a recepção de dados de consumo de qualquer dispositivo de medição que o implemente, independentemente do fabricante.

Para a coleta de dados, foram computadores de placa única (SBCs). Em geral, os SBCs são dispositivos com tamanho e consumo de energia reduzida, mas com uma capacidade de processamento comparável a um computador pessoal,

projetado especificamente para facilitar a integração de módulos de rádio adicionais. Portanto, os SBCs usados foram integrados aos módulos de rádio M-Bus sem fio para receber dados de medidores inteligentes e aos módulos Wi-Fi / 3G / 4G para transmitir dados para a plataforma em nuvem, cujos serviços foram fornecidos pelo Amazon Web Service (AWS) (LUCIANI ET AL., 2018).

2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 2

Neste Capítulo foi possível obter um arcabouço básico de informações teóricas necessárias para a compreensão geral dos assuntos a serem tratados nos próximos capítulos, com noções gerais sobre redes Wi-Fi, protocolo MQTT, sensor de efeito Hall e sistemas embarcados. Cada um desses conhecimentos será de extrema importância para a compreensão dos elementos técnicos presentes nos capítulos seguintes.

Também foi possível neste capítulo analisar três trabalhos acadêmicos no estado da arte, correlatos a proposta deste trabalho, a fim de constatar a presença de pesquisas científicas interessadas em propor soluções técnicas para o monitoramento de consumo de água residencial, facilitando a comparação entre os resultados obtidos nos mesmos e neste trabalho, a fim de evidenciar suas potencialidades e diferenças,

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo foram especificados todos os materiais necessários à construção e instalação do protótipo e da aplicação para monitoramento do consumo de água residencial, bem como os métodos de coleta e análise dos dados, finalizando com a apresentação dos testes de funcionalidade realizados para calibração e validação inicial dos dados obtidos a partir dos sensores.

3.2. DEFINIÇÃO DO LOCAL DE APLICAÇÃO DA PESQUISA

Para aplicação desta pesquisa, foi escolhida uma residência tipo casa, no Bairro Cristo Redentor, na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, unidade de federação situada na região Nordeste do Brasil. A população estimada de Fortaleza em 2019 é de 2.669.342 habitantes, sendo o quinto município mais populoso do Brasil, com IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,754 (IBGE/BRASIL, 2017). O Bairro Cristo Redentor, que surgiu em 1975 de um desmembramento do bairro Pirambu, da área mais conhecida como Tirol, é o 29º bairro mais populoso de Fortaleza, de um total de 119 Bairros, porém ocupa a 88ª posição no IDH entre os bairros da cidade, com 0,253 (bairro Meireles, 1º lugar com IDH de 0,953) (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2010). A Figura 20 nos apresenta o mapa do IDH de Fortaleza por Bairro, situando geograficamente o bairro escolhido para aplicação da pesquisa.

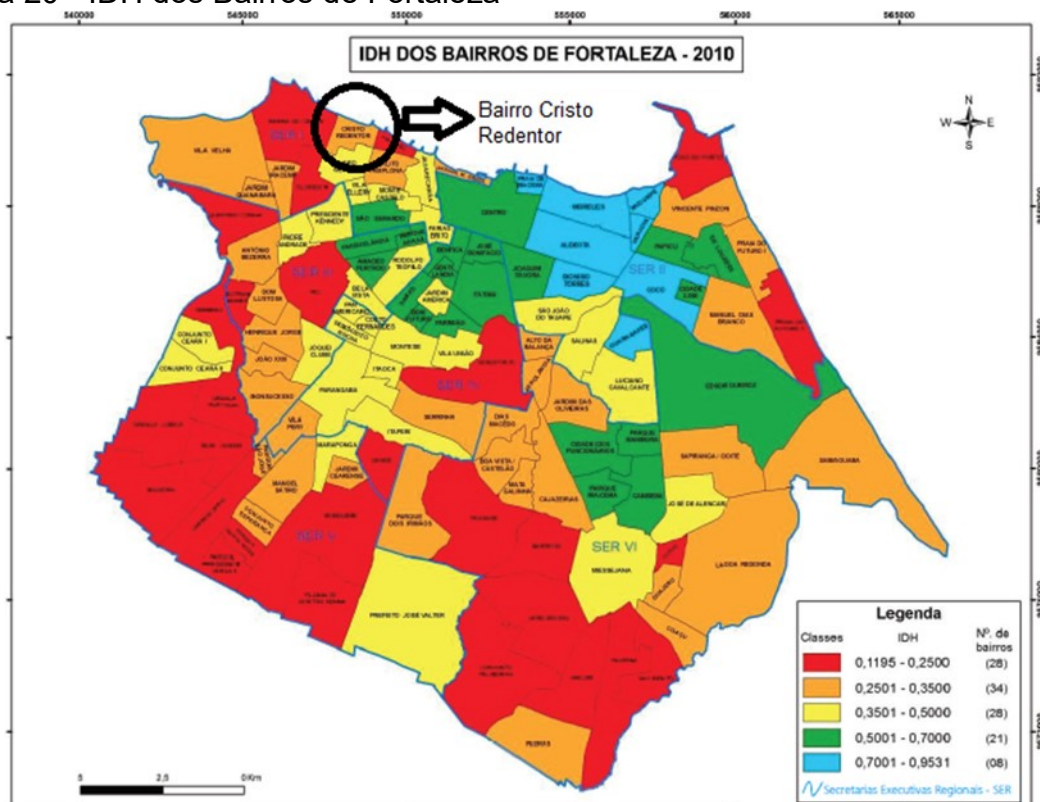
A Figura 19 nos apresenta o relatório mensal de consumo da residência onde foi aplicada a pesquisa. Esta residência é atendida pela concessionária de água e esgoto de Fortaleza, a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará). De acordo com A Figura, em outubro de 2019 registrou um consumo de 6 m³ de água.

Figura 19 - Relatório de Consumo Mensal da Residência - Outubro de 2019.

MENSAGENS / INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES				
MÉDIA DE CONSUMO(OUT/14 A SET/15): 6 m ³ META: 10 m ³ .				
Agradecemos sua pontualidade. Água tratada e saúde.				
RELATÓRIO DA QUALIDADE DA ÁGUA VEJA NO SITE CAGECE				
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	Valor (R\$)	HISTÓRICO DE VOLUME		
		Mês/Ano	Água (m ³)	Esgoto (m ³)
ÁGUA	28,30	out/18	6	4
ESGOTO	22,64	nov/18	6	4
		dez/18	4	3
		jan/19	5	4
		fev/19	4	3
		mar/19	5	4
		abr/19	6	4
		mai/19	6	4
		jun/19	5	4
		jul/19	5	4
		ago/19	5	4
		set/19	7	5
DATAS				
Leitura Atual:	19/10/2019	Emissão:	19/10/2019	Lacre Água: 2181835
Leitura Anterior:	19/09/2019	Próxima Leitura:	20/11/2019	Lacre Esgoto: 9169499

Fonte: Autor..

Figura 20 - IDH dos Bairros de Fortaleza



Fonte: (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2010)

De acordo com o relatório mensal qualidade da água para a cidade de Fortaleza, de outubro de 2019, O abastecimento de água de Fortaleza é garantido pelas Estações de Tratamento de água do Gavião e Oeste que utilizam água dos Açudes Pacajus, Pacoti/Riachão/Gavião, pertencentes à Bacia Metropolitana. Para tornar-se apropriada ao consumo humano a água oriunda desse conjunto de mananciais é submetida a um tratamento de forma a adequá-la aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria de consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX. Para cada etapa de produção da água a CAGECE realiza o monitoramento da qualidade através da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos, em quantidade e frequência de acordo com as exigências do Ministério da Saúde. (CAGECE, 2019a).

3.3. RECURSOS DE *HARDWARE* E *SOFTWARE*

A Tabela 2 nos apresenta os recursos de *hardware* necessários à construção do protótipo.

Tabela 2 - Recursos de Hardware Necessários para construção do Protótipo.

Item	Quantidade	Finalidade
Placa de Desenvolvimento Wi-fi Bluetooth ESP32	3	Processar as informações oriundas dos sensores de vazão, enviando-as para o banco de dados em nuvem via Wi-Fi.
Sensor Vazão de Água 1/2" YF-S201	9	Coletar informações de vazão dos pontos de consumo de água na residência, enviando-os ao microcontrolador ESP32.
Roteador Wi-Fi	1	Gerenciar as conexões dos microcontroladores ESP32, provendo-lhe acesso a Internet
Miscelâneas (Cabos Ethernet, conectores hidráulicos, jumpers)	Diversos	Necessários para as conexões elétricas entre os sensores e os microcontroladores ESP32, bem como para as interligações hidráulicas entre os sensores e a rede de canos.

Fonte: Autor.

A Figura 21 nos apresenta o sensor de vazão utilizado neste projeto. Ele pode ser acoplado a um cano para medição da quantidade de água que circula por ele, enviando sinais *PWM* para o microcontrolador. Amplamente utilizado na medição da vazão de água para acompanhamento do consumo mensal de uma residência. (AUTOCOREROBOTICA, 2019).

Contando os pulsos da saída do sensor, foi calculado o fluxo de água. Cada pulso é de aproximadamente 2,25 mililitros. Dependendo da taxa de fluxo, pressão do fluido e orientação do sensor. Será necessária uma calibração cuidadosa se for necessária uma precisão superior a 10%. (HOBBYTRONICS, 2019). A Figura 22 nos mostra a placa de desenvolvimento Wi-fi e Bluetooth com o microcontrolador ESP32. O ESP32 é um microcontrolador que foi projetado para obter o melhor desempenho de potência e RF, mostrando robustez, versatilidade e confiabilidade em uma ampla variedade de aplicativos e cenários de energia.

Figura 21 - Sensor de Vazão 1 1/2" e especificações técnicas.



Detalhes da conexão:

- Fio vermelho - + 5V
- Fio preto - GND
- Fio amarelo - saída PWM.

Especificações técnicas:

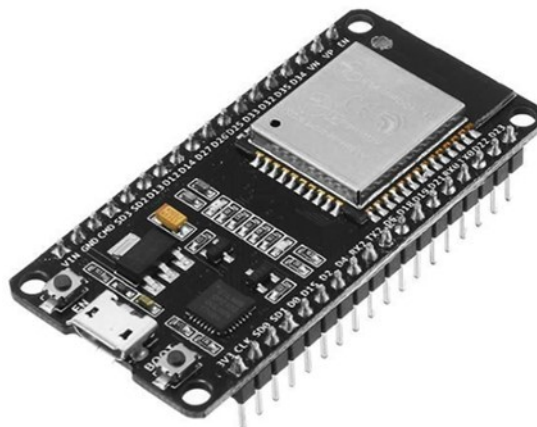
Modelo - YF-S201

- Tipo de sensor - Efeito Hall
- Tensão de trabalho - 5 a 18V DC (tensão de trabalho mínima testada 4.5V)
- Tração atual máxima - 15mA @ 5V
- Tipo de saída - 5V TTL

- Taxa de fluxo de trabalho - 1 a 30 litros / minuto
- Faixa de temperatura de trabalho - -25 a + 80 °C
- Faixa de umidade de trabalho - 35% -80% RH
- Precisão - $\pm 10\%$
- Pressão máxima da água - 2,0 MPa
- Ciclo de trabalho de saída - 50% + -10%
- Tempo de subida da saída - 0.04us
- Tempo de queda de saída - 0.18us
- Características de pulso de taxa de fluxo - Frequência (Hz) = $7,5 * \text{Taxa de fluxo (L / min)}$
- Pulsos por litro - 450
- Durabilidade - mínimo de 300.000 ciclos
- Comprimento do cabo - 15 cm
- Conexões de tubo nominal de 1/2 ", diâmetro externo de 0,78", rosca de 1/2 "
- Tamanho - 2,5 "x 1,4" x 1,4 "

Fonte: (HOBBYTRONICS, 2019)

Figura 22 - Placa de Desenvolvimento Wi-fi Bluetooth ESP32



Fonte: (AUTOCOREROBOTICA, 2019)

Quadro 2 - Especificações técnicas do microprocessador.

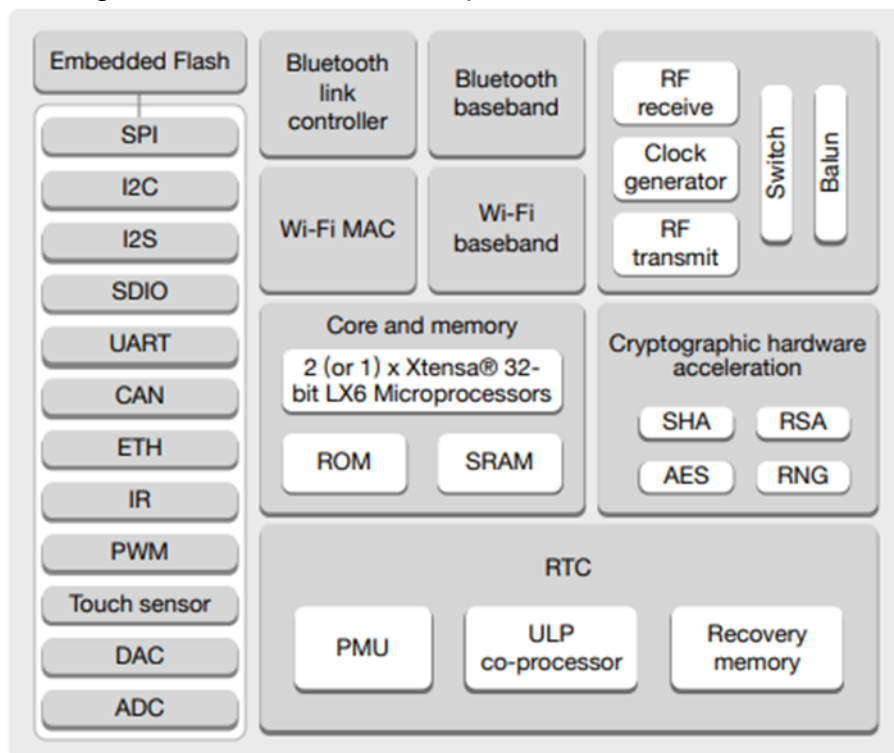
Característica Técnica	Configurações
CPU e Memória	Microprocessador Xtensa® <i>single-/dual-core</i> 32-bit LX6 448 KB de memória ROM ; 520 KB de memória SRAM 16 KB SRAM para RTC(<i>Real-Time Clock</i>)
WI-FI	802.11 b/g/n; 802.11 n (2.4 GHz), taxa de até 150 Mbps <i>Wireless Multimedia (WMM)</i> Diversidade de Antena
Clocks e Timers	Oscilador interno de 8 MHz com calibração Oscilador RC interno com calibração Oscilador de cristal externo de 2 MHz ~ 60 MHz Oscilador externo de cristal de 32 kHz para RTC com calibração Dois grupos de timer, incluindo 2 × 64 bits e 1 × <i>watchdog</i> principal em cada grupo Um temporizador e um <i>watchdog</i> RTC
Interfaces de Entrada e Saída (I/O)	34 × GPIOs programáveis SAR ADC (conversor analógico-digital) de 12 bits até 18 canais DAC 2 × 8 bits (conversor digital analógico) 10 × sensores de toque; 4 × SPI (Interface Serial) 2 × I ² S; 2 × I ² C; 3 × UART 1 host (SD / eMMC / SDIO) e 1 escravo (SDIO / SPI) Interface Ethernet com suporte dedicado a DMA e IEEE 1588 CAN 2.0 IR (TX / RX) Motor e LED PWM até 16 canais sensor Hall

Fonte: (ESPRESSIF, 2019)

Através do Quadro 2, temos uma noção da grande quantidade de possibilidades que o microprocessador ESP32 nos oferece, com grande capacidade de processamento, memória, bastantes interfaces de I/O e suporte a aplicações *PWM*, tão necessárias a este trabalho.

Para nos ajudar a entender melhor todo o conjunto de funcionalidades disponíveis no microprocessador ESP32, a Figura 23 nos apresenta o seu diagrama de blocos funcional.

Figura 23 - Diagrama de Blocos do Microprocessador ESP32.

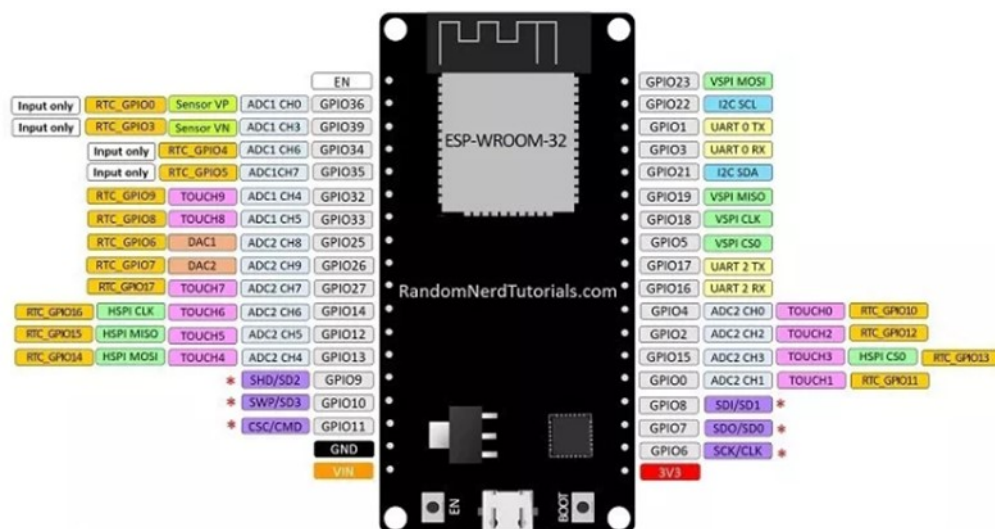


Fonte: ESPRESSIF (2019)

Podemos encontrar a configuração dos pinos do ESP32 na Figura 24.

Observação - para o este trabalho foram usadas as GPIOs 23, 22 e 19.

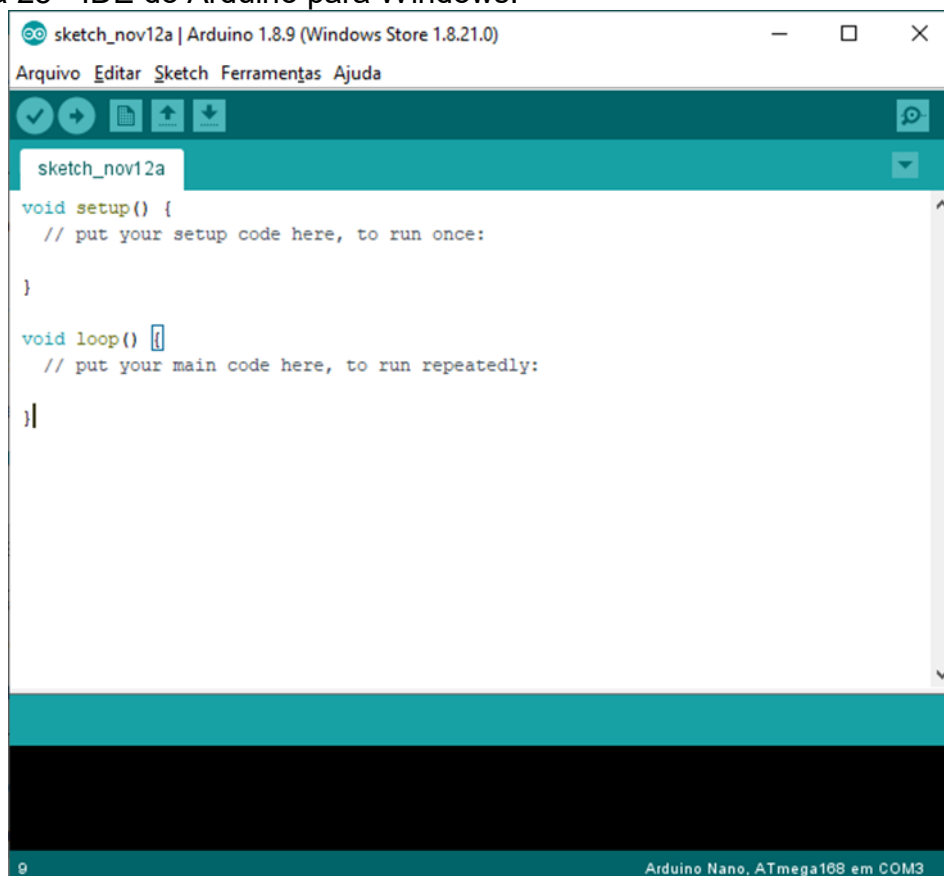
Figura 24 - Configuração dos Pinos do microprocessador ESP32



Fonte: (ESPRESSIF, 2019)

Com relação aos recursos de software, foi escolhida a IDE do Arduino como ambiente de programação, como mostra A Figura 25. Foi utilizada a linguagem de programação C++ para escrita do algoritmo para coleta e envio de informações para a base de dados em nuvem.

Figura 25 - IDE do Arduino para Windows.



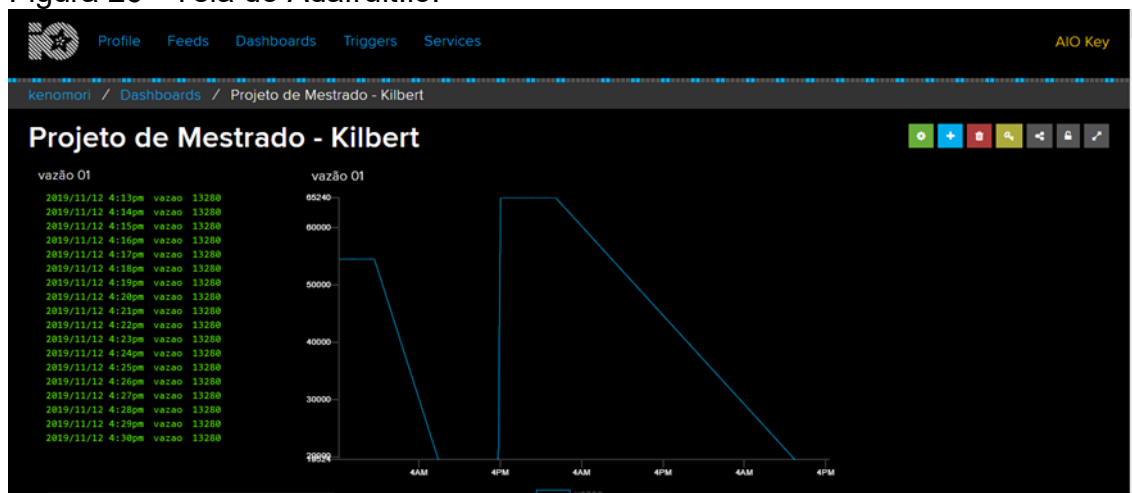
Fonte: Autor..

A plataforma Arduino nasceu *no Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, destinada a estudantes sem formação em eletrônica e programação. Assim que alcançou uma comunidade mais ampla, a placa Arduino começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios, diferenciando sua oferta de placas simples de 8 bits a produtos para aplicativos de IoT , *wearable*, impressão 3D e ambientes incorporados. Todas as placas compatíveis com a plataforma Arduino são completamente de código aberto, permitindo que os usuários as construam de forma independente e eventualmente as adaptem às suas necessidades particulares. O software também é de código aberto e está crescendo com as contribuições de usuários em todo o mundo. (ARDUINO, 2019)

Como serviço de banco de dados em nuvem e para apresentação dos *dashboards* de exibição da leitura dos nove sensores com o consumo de água na residência, foi escolhido o Adafruit.io. O Adafruit.io é um serviço em nuvem gratuito que permite conexão com os microprocessadores ESP32 pela Internet. Destina-se principalmente ao armazenamento e recuperação de dados

coletados e enviados pelos microprocessadores, que estão disponíveis on-line de qualquer dispositivo com acesso a rede (Laptop, smartphone, etc.). Na Figura 26, podemos observar uma das telas do Adafruit.io com uma das telas deste trabalho.

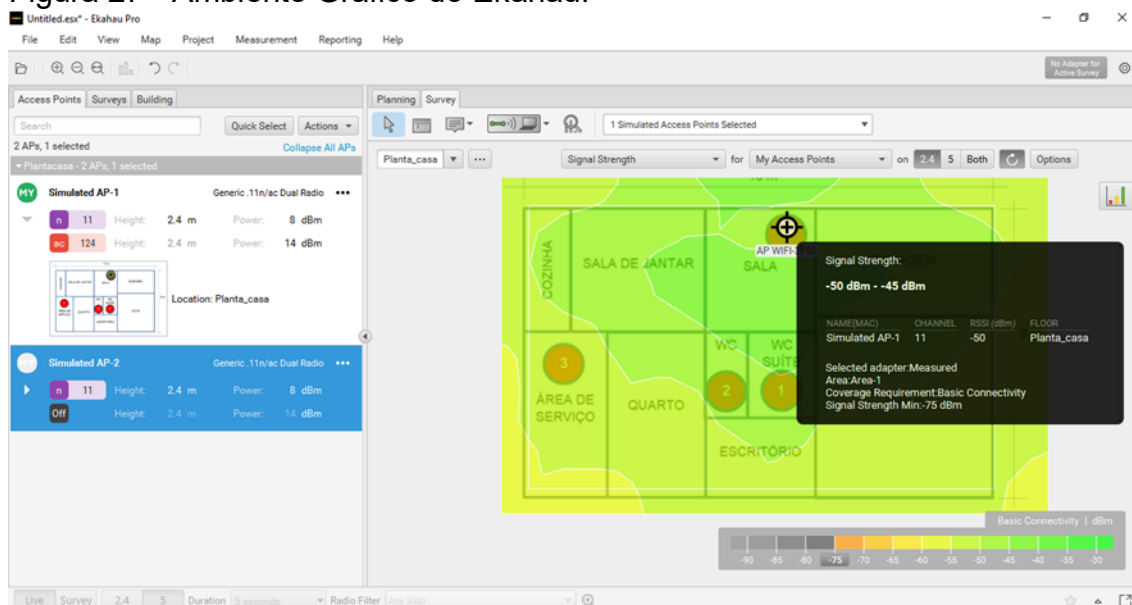
Figura 26 - Tela do Adafruit.io.



Fonte: Autor..

Para plotagem do mapa de calor da cobertura Wi-Fi da residência, foi utilizada a ferramenta Ekahau Pro 10, versão demo, cujo ambiente gráfico foi representado na Figura 27.

Figura 27 - Ambiente Gráfico do Ekahau.

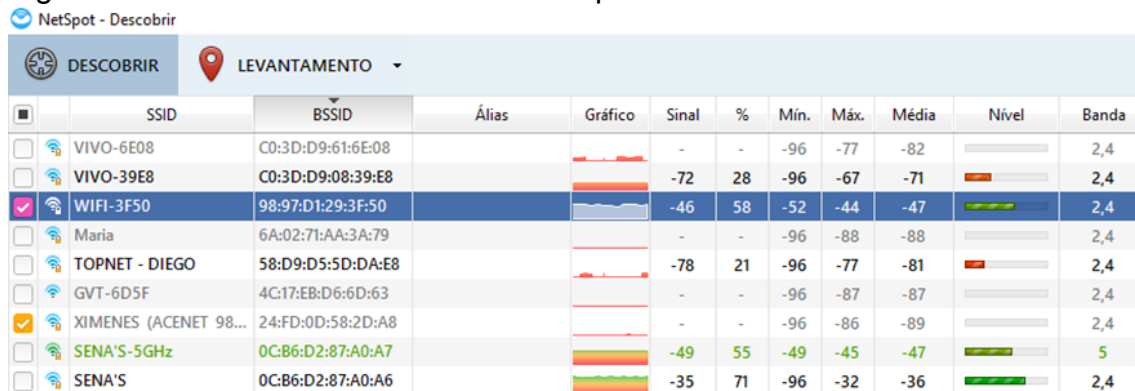


Fonte: Autor..

Para detecção dos canais Wi-Fi existentes e análise de interferência de canal, foi utilizada a ferramenta NetSpot versão 2.12.716.0, gratuita. O NetSpot coleta todos os detalhes sobre as redes Wi-Fi ao redor e apresenta dados sem

fio como uma tabela interativa. Permite solucionar problemas e melhorar a cobertura, capacidade, desempenho, configurações de APs da rede, nível de sinal, interferência, ruído etc. A Figura 28 foi apresentada uma tela de exemplo do ambiente do NetSpot.

Figura 28 - Tela com o ambiente do NetSpot.



Fonte: Autor.

Para a realização das medições de qualidade da rede sem fio, a Tabela 3 apresenta as configurações do notebook utilizado nas mesmas.

Tabela 3 - Configuração do Notebook utilizado nas medições da rede sem fio.

Características do sistema	Descrição
Modelo	Positivo S14BW01
Sistema operacional	Windows 10 Pro 64 bits
Memória RAM	4 GB
Processador	Intel Celeron N3060 @ 1.60GHz (2 CPUs)
Placa de rede	Intel Dual Band Wireless-AC 3160

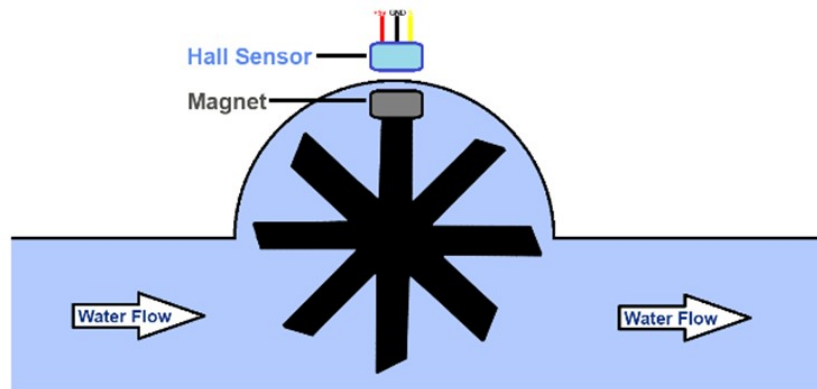
Fonte: Autor.

3.4. METODOLOGIA DE COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para compreendermos melhor como o medidor de vazão gera dados para posterior processamento do ESP32, na Figura 29 vemos uma roda de turbina presente dentro do corpo com um ímã embutido em uma borda da roda de turbina. Quando o fluido flui, a roda se move e, com a rotação da roda, o

ímã cria um fluxo na extremidade sensorial. Com cada entrada magnética, um pulso é gerado no sensor do Hall resultado. HOBBYIST (2019)

Figura 29 - Esquemático do Sensor Hall de Fluxo de Água.



Fonte: HOBBYIST (2019)

Para processar essas informações, o sensor é conectado a uma placa com o microprocessador ESP32. Os pulsos digitais do sensor Hall são detectados pelo microprocessador. O número de pulsos é medido e processado para o cálculo da vazão. Existem vários métodos para exibir essas informações. Nesse trabalho, as informações são exibidas em um servidor em nuvem. O medidor de vazão discutido neste artigo é baseado no sensor Hall YF-S201. É capaz de medir 1-30 litros / minuto com uma tolerância de $\pm 10\%$. A relação entre vazão e pulsos é dada por:

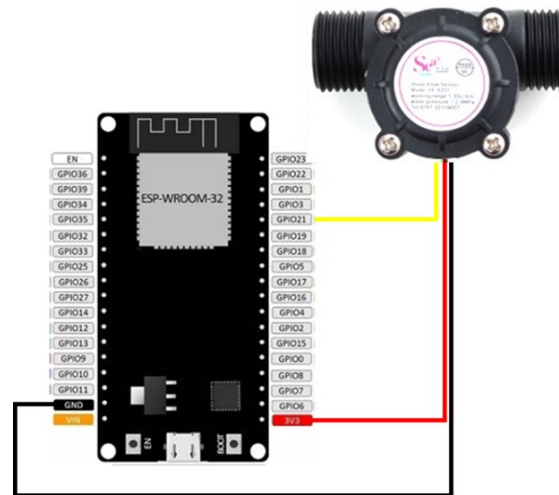
$$Q = F \div 7,5$$

Onde - Q = Vazão (litros / minuto) ; F = Frequência dos pulsos do sensor Hall

Por exemplo, se o sensor Hall produz 75 pulsos, significa que a taxa de fluxo é de 10 litros / minuto.

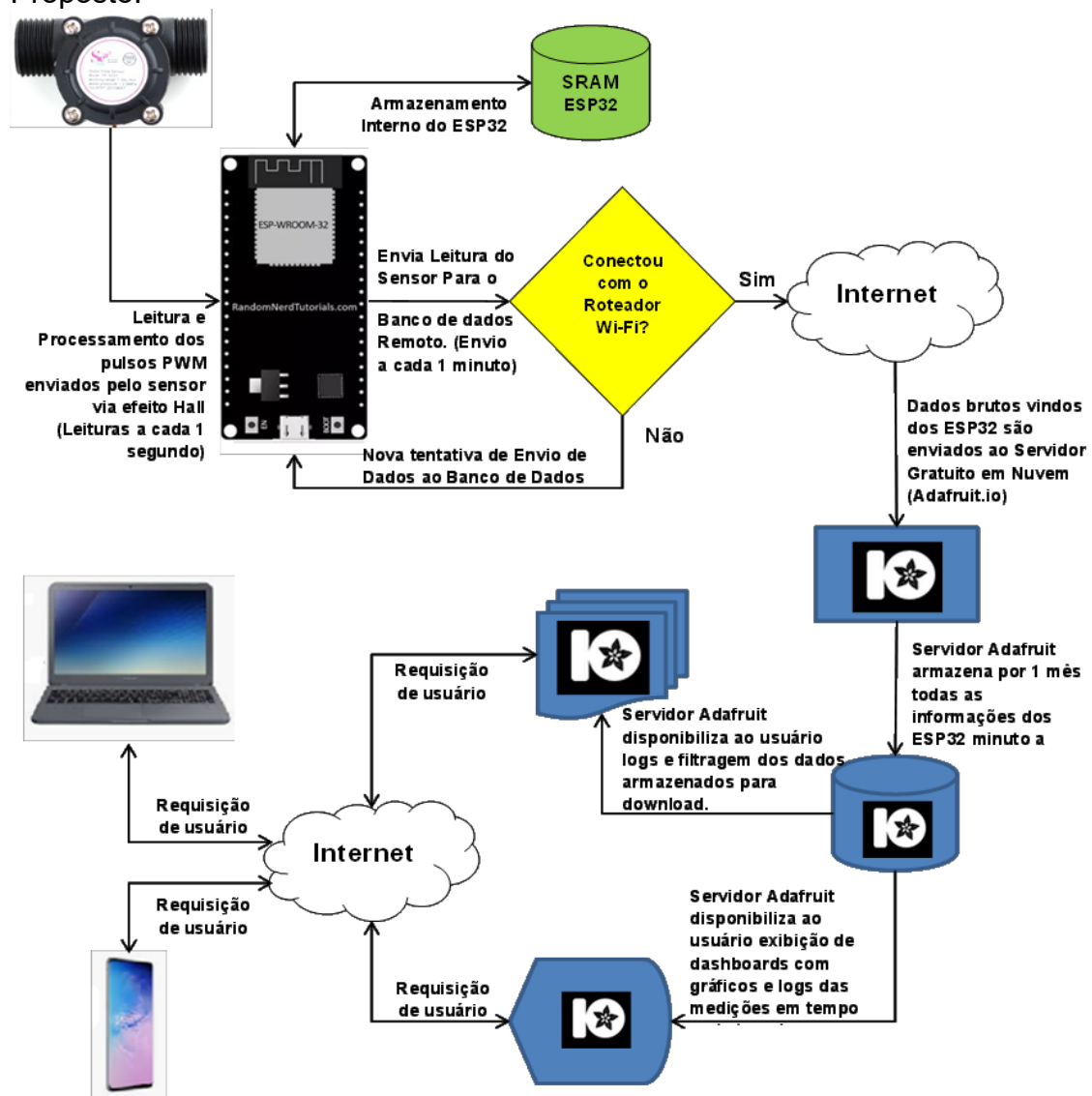
A Figura 30 apresenta a interligação física real utilizada no protótipo proposto neste trabalho. Através do fluxograma contido na Figura 31, podemos analisar e compreender o princípio de funcionamento da coleta de dados do protótipo proposto neste trabalho.

Figura 30 - Interligação entre o Microprocessador ESP32 e o Sensor de Fluxo de Água.



Fonte: Autor.

Figura 31 - Fluxograma do Processo de Coleta de Dados do Protótipo Proposto.



Fonte: Autor.

Na Tabela 4 foi apresentado um melhor detalhamento do fluxograma da Figura 31.

Tabela 4 - Passo-a-Passo dos Processos para Coleta dos Dados.

Sequência	Atividade	Período
1	ESP32 faz a leitura dos pulsos enviados pelos sensores de fluxo de água	1 Segundo
2	ESP32 armazena internamente as informações lidas dos sensores	1 Segundo
3	ESP32 envia as leituras de todos os sensores para o servidor de dados em nuvem via rede Wi-Fi doméstica. Caso não consiga estabelecer conexão com a rede Wi-Fi doméstica, repete em loop essa tentativa de conexão.	1 Minuto
4	Servidor de Dados em Nuvem, Adafruit, armazena informações enviadas pelos ESP32. Em sua base de dados, na conta gratuita do usuário.	1 Mês
5	Usuário requisita exibição on-line dos dados no servidor web logando-se em sua conta no Adafruit.	Qualquer Momento
6	Usuário requisita o download das informações gravadas na base de Dados em sua conta no Adafruit.	1 Mês

Fonte: Autor.

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 3

Ao longo deste capítulo foi possível descrever cada uma das ferramentas de *software* e *hardware* utilizadas no projeto, detalhando a função de cada uma delas. Também foi delimitado o escopo e o local da instalação do protótipo, detalhando o modo de instalação e a metodologia de coleta de dados para análise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais resultados obtidos a partir da calibração dos sensores, conectividade do protocolo MQTT, cobertura e qualidade da rede sem fio, geração e análise matemática dos dados de medição de consumo ao longo de nove meses de monitoramento contínuo dos usos de água residencial conforme descrito no capítulo anterior, bem como discutir os mesmos confrontando-os com outros trabalhos correlatos.

4.2. CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

A Figura 32 apresenta o arranjo técnico montado para o processo de calibração dos sensores de fluxo de água. A calibração foi realizada em três dos nove sensores, considerando esta uma amostra representativa do conjunto dos sensores, uma vez que foram comprados no mesmo pedido de compra.

Figura 32 - Protótipo para Calibragem dos Sensores.

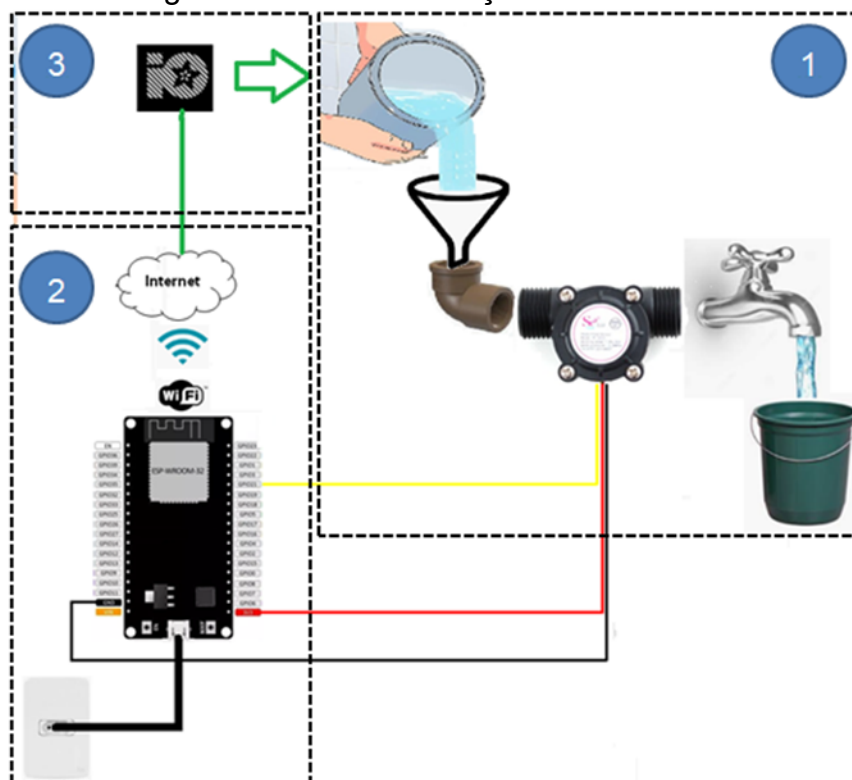


Fonte: Autor.

O método de execução da calibração ocorreu da seguinte forma, conforme os passos a seguir:

1. Um balde foi cheio com 6 litros de água e despejado sobre a estrutura exibida na Figura 33, tendo como destino um segundo bande à frente;
2. À medida que a água passava pelo sensor, o mesmo gerou os pulsos PWM e os enviou ao microprocessador ESP32, que a cada minuto buscava conexão com a rede Wi-Fi e enviou os dados ao Servidor em nuvem (Adafruit.io);
3. Via Smartphone, foi possível ao usuário aferir o valor em mililitros que passou pelo sensor. Este processo foi repetido 10 vezes para aumentar a precisão do fator de calibração, que discutiremos a seguir.

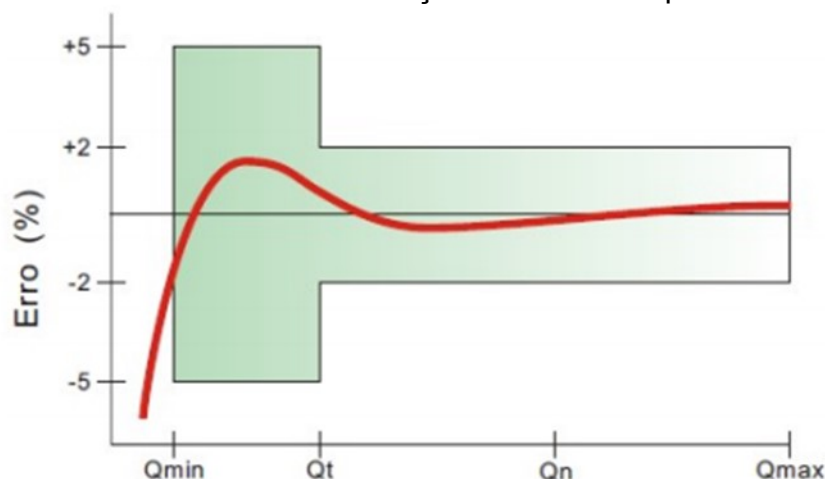
Figura 33 - Metodologia utilizada na calibração dos sensores.



Fonte: Autor.

A fim de alcançar uma calibração com precisão superior aos hidrômetros normatizados pela CAGECE para consumo residencial (CAGECE, 2019b), A Figura 34 nos mostra a curva de incerteza de medição do Hidrômetro da fabricante Hidrometer, conforme portaria 246:2000 do INMETRO e ABNT NBR 8194. (HIDROMETER, 2018)

Figura 34 - Curva de Incerteza na Medição - Hidrômetro padrão CAGECE.



Fonte: (HIDROMETER, 2018)

A Figura 35 nos mostra o trecho de código C++ carregado nos microprocessadores ESP32 onde podemos observar a inserção da variável `calibrationFactor`, utilizada para alcançar uma precisão em torno de 1% de margem de erro. Após 10 repetições esta variável estabilizou no valor de 7,85 para todos os sensores.

Figura 35 - Trecho de código com o fator de calibração.

```

/***** SENSOR DE VAZÃO *****/
#define SENSOR 22

long currentMillis = 0;
long previousMillis = 0;
int interval = 1000;
boolean ledState = LOW;
float calibrationFactor = 7.85;
volatile byte pulseCount;
byte pulseSec = 0;
float flowRate;
unsigned int flowMilliLitres;
int totalMilliLitres;

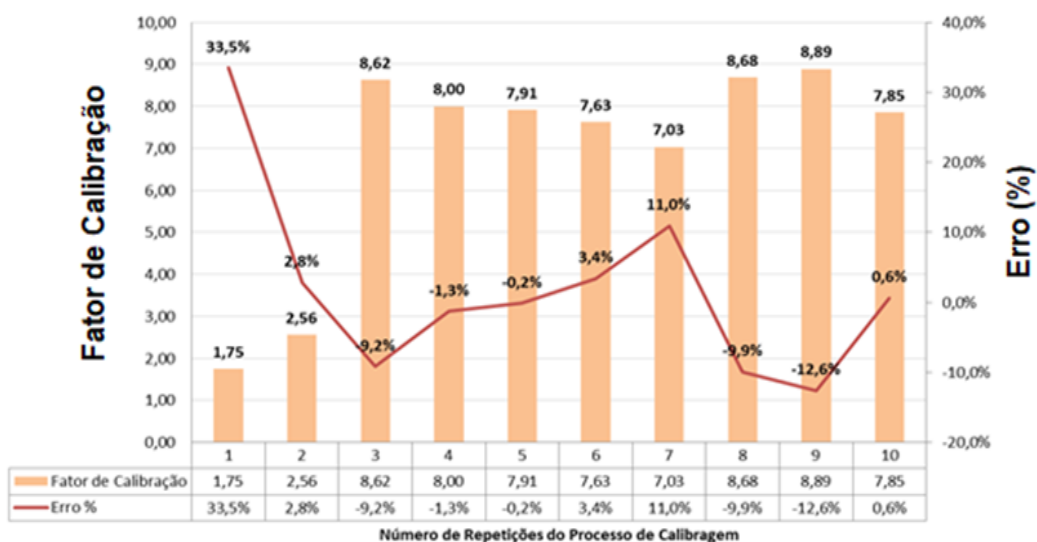
// LOOP DO SENSOR DE VAZÃO-----
currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis > interval) {
    pulseSec = pulseCount;
    pulseCount = 0;
    flowRate = ((1000.0 / (millis() - previousMillis)) * pulseSec) / calibrationFactor;
    previousMillis = millis();
    flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
    totalMilliLitres += flowMilliLitres;
    Serial.println(totalMilliLitres);
}

```

Fonte: Autor.

A Figura 36 nos apresenta a evolução do fator de calibração e da curva de erro do sensor. Note que, ao atingir o valor de 7,85, obtivemos a menor margem de erro, portanto dentro da margem de calibração do hidrômetro padrão CAGECE apresentado acima.

Figura 36 - Evolução do Fator de Calibração e Margem de Erro versus número de Repetições.

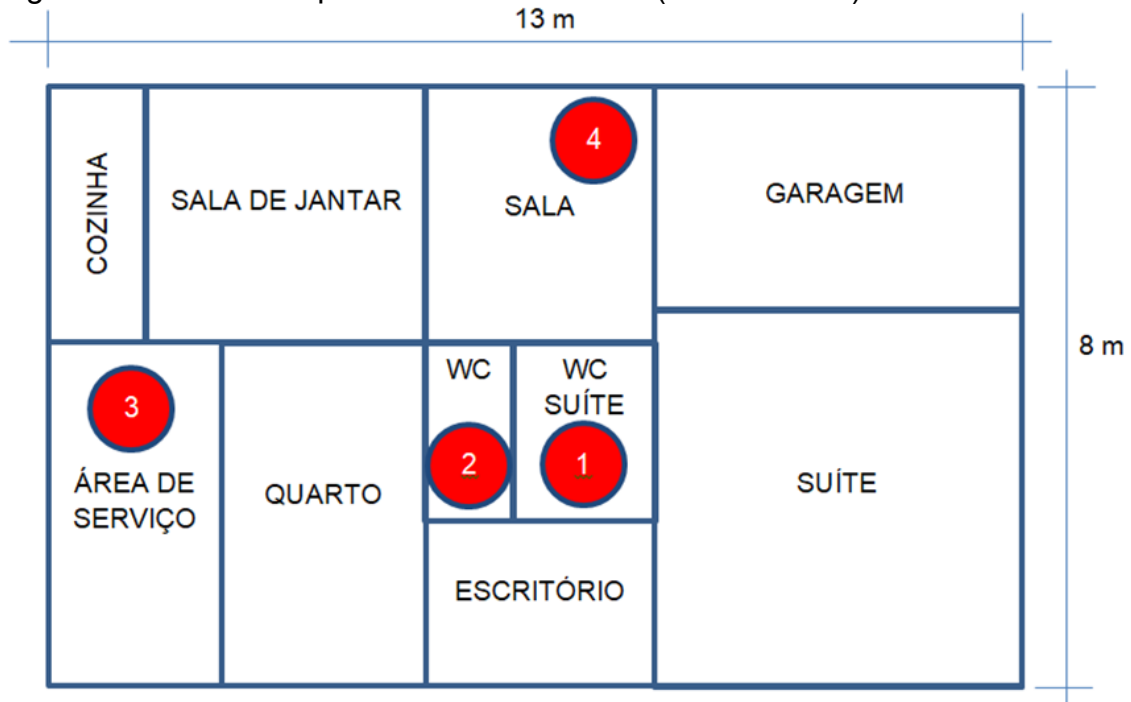


Fonte: Autor.

4.3. INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO

A residência escolhida para aplicação deste trabalho possui 108 m². A Figura 37 e a Tabela 5 nos mostram a localização de instalação dos microprocessadores e sensores, bem como a identificação dos pontos de consumo de água sob a medição dos sensores. Não foi possível a instalação de um décimo sensor, associado ao ponto geral de alimentação da caixa d'água, em função da necessidade de intervenções de alvenaria na residência, encarecendo o projeto acima das possibilidades financeiras disponíveis pelo autor para o período de execução proposto para a dissertação.

Figura 37 - Planta Simplificada da Residência (Escala 1:100).



Fonte: Autor.

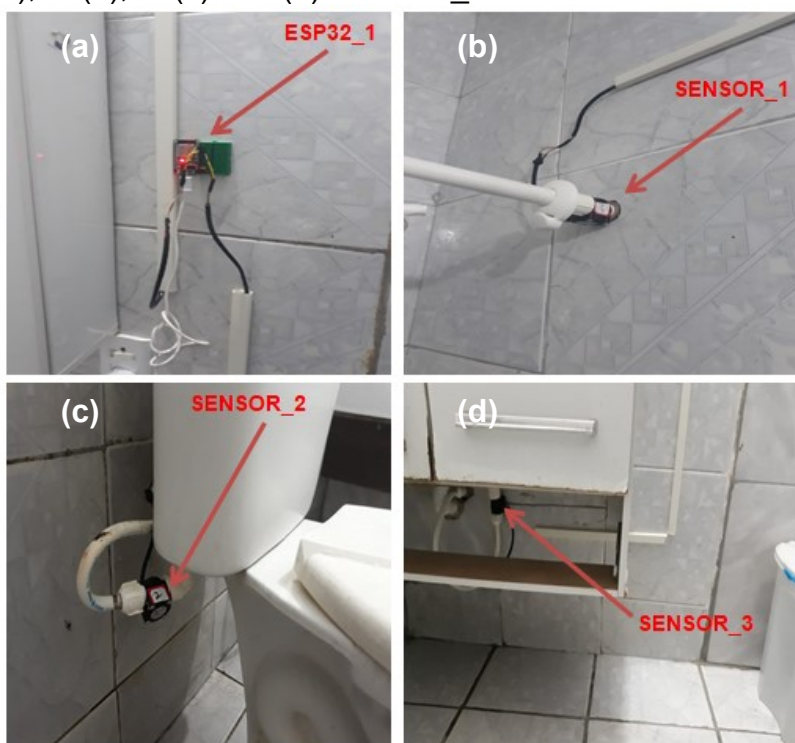
Tabela 5 - Identificação dos Pontos de Instalação.

Pontos de Instalação	Cluster	Sensores	Pontos
1	Cluster 1 – WC Suíte (ESP32_1)	1	Chuveiro
		2	Vaso Sanitário
		3	Pia
2	Cluster 2 – WC Social (ESP32_2)	4	Chuveiro
		5	Vaso Sanitário
		6	Pia
3	Cluster 3 – Área de Serviço (ESP32_3)	7	Pia de Lavar Louças
		8	Pia de Lavar Roupas
		9	Máquina de Lavar Roupas
4	Roteador Wi-Fi	-	-

Fonte: Autor.

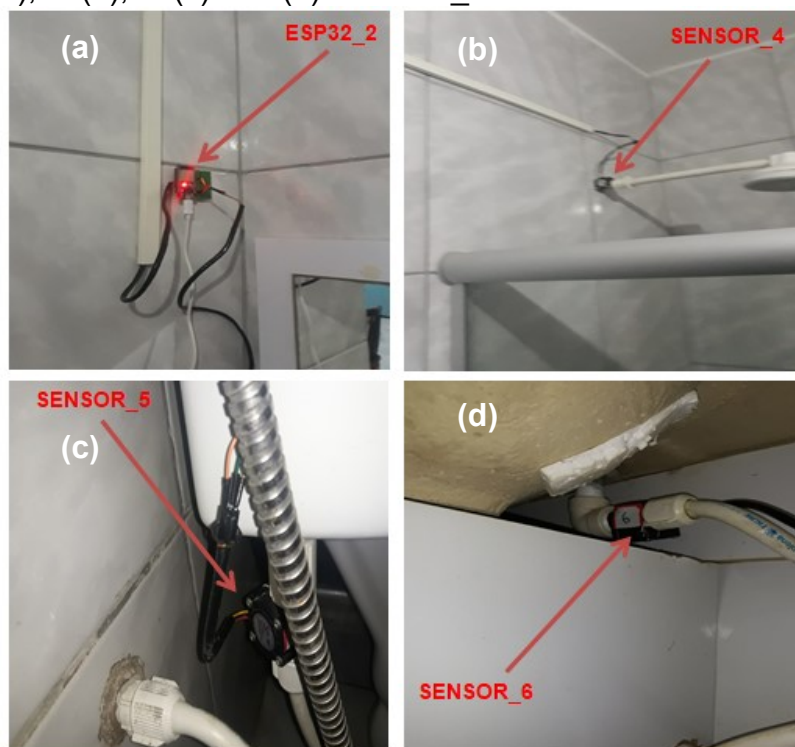
Nas Figuras 38, 39 e 40 podemos identificar as fotos reais de instalação de cada cluster, com seus respectivos microprocessadores e sensores.

Figuras 38(a), 38(b), 38(c) e 38(d) - Cluster_1 - WC Suíte.



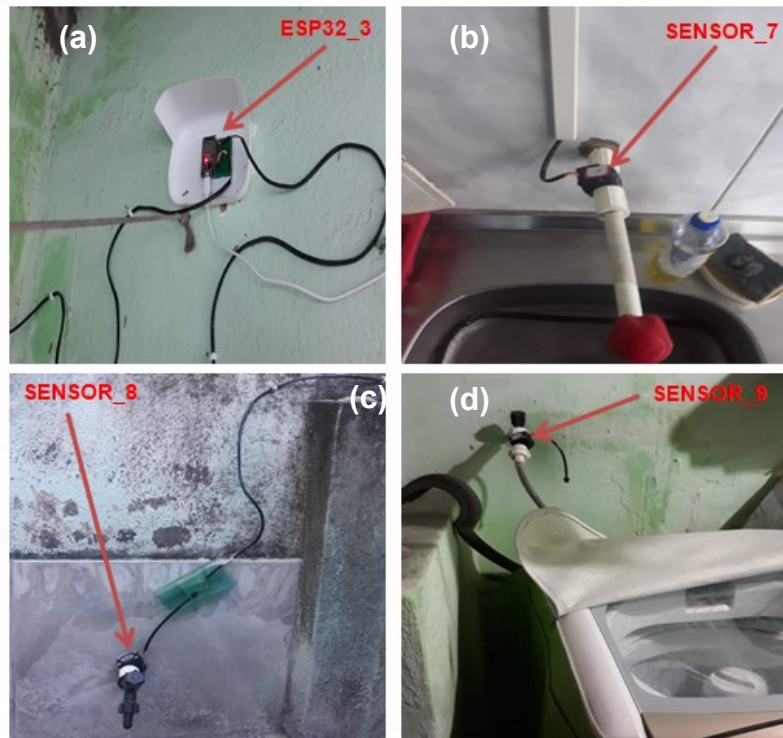
Fonte: Autor.

Figuras 39(a), 39(b), 39(c) e 39(d) - Cluster_2 - WC Social.



Fonte: Autor.

Figura 40(a), 40(b), 40(c) e 40(d) - Cluster_3 - Área de Serviço.



Fonte: Autor.

4.4. ANÁLISE DE CONECTIVIDADE - PROTOCOLO MQTT

Desde o início do processo de calibração dos sensores, foi necessário validar a conectividade com o servidor Adafruit.io, do contrário não seria possível esta atividade. A Figura 41 apresenta um exemplo do trecho de código carregado nos ESP32 do cluster 1, que estabelece as entidades MQTT Client (ESP 32) e MQTT Server (adafruit.io). A porta default TCP para o serviço MQTT é a 1883.

A Figura 42 apresenta o monitoramento de mensagens entre o ESP32 e a rede Wi-Fi, capturada a partir da porta serial na IDE do Arduino. Note que, após a definição do IP do ESP32 na rede Wi-Fi local (192.168.25.2), há uma sequência de zeros, que já representam a medição dos dados dos sensores sendo enviados a cada minuto.

Figura 41 - Trecho de código referente a criação da conectividade MQTT.

```

/***** Adafruit.io Setup *****/

#define AIO_SERVER      "io.adafruit.com"
#define AIO_SERVERPORT  1883
#define AIO_USERNAME    "kenomori"
#define AIO_KEY          "02alb020ab6a4a9291fe59b25036elb3"

/***** Global State (you don't need to change this!) *****/

// Create an ESP32 WiFiClient class to connect to the MQTT server.
WiFiClient client;
// or... use WiFiClientSecure for SSL
//WiFiClientSecure client;

// Setup the MQTT client class by passing in the WiFi client and MQTT server and login details.
Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, AIO_USERNAME, AIO_KEY);

/***** Feeds *****/

// Setup a feed called 'photocell' for publishing.
// Notice MQTT paths for AIO follow the form: <username>/feeds/<feedname>
//SAIDA DE DADOS-----
Adafruit_MQTT_Publish vazao = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao");
Adafruit_MQTT_Publish vazao02 = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao02");
Adafruit_MQTT_Publish vazao03 = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao03");

```

Fonte: Autor.

Figura 42 - Mensagens capturadas da comunicação entre o ESP32 e o Servidor MQTT (adafruit.io).

COM3

```

ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1216
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:9720
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:6352
entry 0x400806b8
iniciando dados para servidor MQTT

conectando em WIFI-3F50
.
WiFi conectado
IP address:
192.168.25.2
0
0
0
0

```

Fonte: Autor.

A Figura 43 contém um gráfico com a medição do sensor um, utilizado para os testes de calibração, exibido na página web do servidor Adafruit.io, evidenciando a conectividade entre os microprocessadores e o mesmo. Já na Figura 44 vemos uma lista com os nove sensores na pasta ‘feeds’ do servidor.

Figura 43 - Conectividade com o Servidor em nuvem Adafruit.io.



Fonte: Autor.

Figura 44 - Nove Sensores na pasta Feed do servidor adafruit.

The screenshot shows the 'Feeds' page on the Adafruit.io dashboard. It displays a list of nine sensors under the 'Default' group. The data is as follows:

Group / Feed	Key	Last value	Recorded
Default	default		
vazao	vazao	48401	2 minutes ago
vazao02	vazao02	37251	2 minutes ago
vazao03	vazao03	3606	2 minutes ago
vazao04	vazao04	13514	1 minute ago
vazao05	vazao05	13469	1 minute ago
vazao06	vazao06	4990	1 minute ago
vazao07	vazao07	98039	1 minute ago
vazao08	vazao08	30868	1 minute ago
vazao09	vazao09	0	1 minute ago

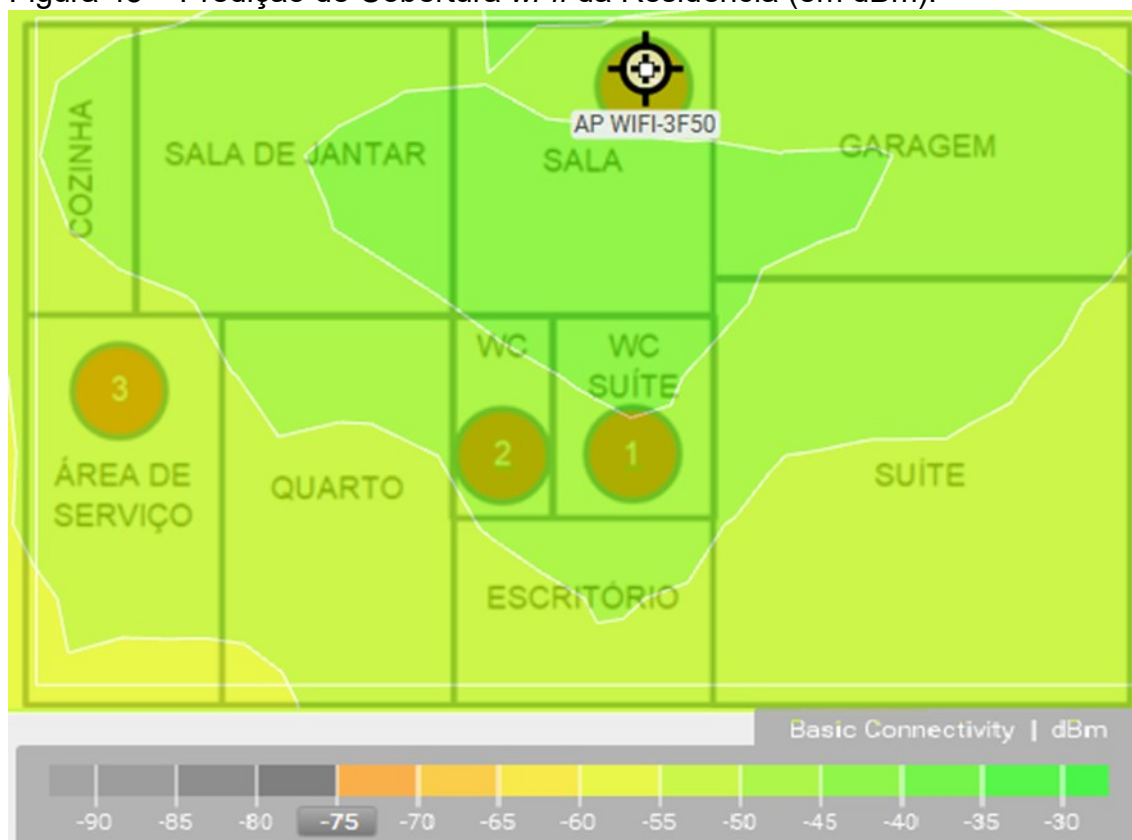
Fonte: Autor.

4.5. ANÁLISE DE COBERTURA E QUALIDADE DA REDE SEM FIO

Utilizando o software Ekahau, foi plotado o predição de cobertura da intensidade do sinal em dBm da cobertura Wi-Fi da residência, conforme pode ser visto na Figura 45. Os pontos 1, 2 e 3 na figura correspondem aos três clusters de medição anteriormente apresentados na seção 4.2.2. Seguem abaixo as especificações do roteador utilizado na predição:

- Modelo: MITRASTAR DSL-2401-HN-T1C-GV;
- Compatibilidade: IEEE 802.11b/g/n (calibrado em 802.11n na predição);
- Frequência de operação: 2,4 GHz;
- Taxa máxima de transferência de dados: 300 Mbps;
- Modo de segurança setado: WPA/WPA2 PSK Mixed.

Figura 45 – Predição de Cobertura *wi-fi* da Residência (em dBm).



Fonte: Autor.

A partir das medições realizadas na ferramenta NetSpot, a Figura 46 foi apresentado um *print* com a lista de todas as redes Wi-Fi alcançáveis na residência, de onde foi verificado que a rede com *SSID* 'WIFI-3F50', rede onde

estão conectados os 3 microprocessadores, é a rede predominante, atuando na banda de 2,4GHz, utilizando o canal 11, com capacidade de 20 MHz de largura de banda. Todas as redes detectadas utilizam criptografia de segurança *WPA2 Personal* e o modo de rede padrão 802.11n.

Figura 46 - Lista de redes Wi-Fi detectadas pela ferramenta NetSpot na residência monitorada.

NetSpot - Descobrir

DESCOBRIR

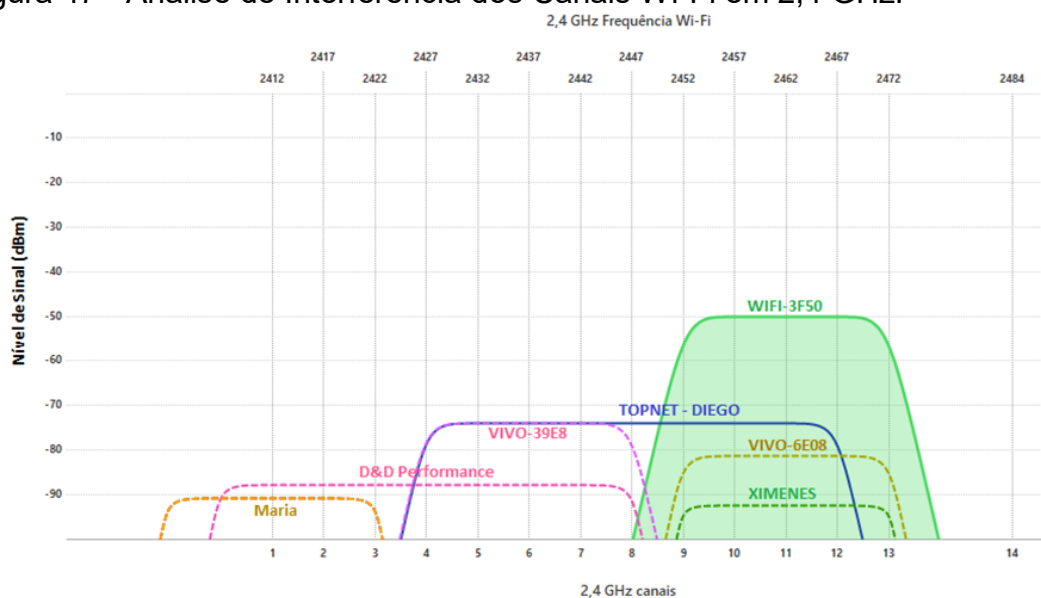
LEVANTAMENTO

	SSID	BSSID	Gráfico	Sinal	%	Média	Nível	Banda	Canal	Largura	Segurança	Modo
☒	WIFI-3F50	98:97:D1:29:3F:50		-46	58	-51		2,4	11	20	WPA2 Personal	☒
☒	VIVO-39E8	C0:3D:D9:08:39:E8		-76	23	-74		2,4	6	20	WPA2 Personal	☒
☒	TOPNET - DIEGO	58:D9:D5:5D:DA:E8		-74	26	-76		2,4	10 - 1	40	WPA2 Personal	☒
☒	VIVO-6E08	C0:3D:D9:61:6E:08		-83	15	-82		2,4	11	20	WPA2 Personal	☒
☒	D&D Performance	F0:7D:68:E5:3D:98		-	-	-88		2,4	6 - 1	40	WPA2 Personal	☒
☐	PAULA	1C:5F:2B:D7:23:FA		-	-	-89		2,4	1	20	WPA2 Personal	☒
☒	GVT-6D5F	4C:17:EB:D6:6D:63		-	-	-91		2,4	1	20	Open	☒
☒	Maria	6A:02:71:AA:3A:79		-	-	-92		2,4	1	20	WPA2 Personal	☒
☒	XIMENES (ACENET 98...	24:FD:0D:58:2D:A8		-	-	-93		2,4	11	20	WPA2 Personal	☒

Fonte: Autor.

Sobre o nível de interferência dos canais em 2,4 GHz, a Figura 47 nos oferece uma análise mais detalhada. Foi visto que das redes com os SSIDs 'TOPNET - DIEGO', 'VIVO-6E08' e 'XIMENES' oferecem algum nível de interferência no canal 11, utilizado no projeto, porém somente a partir de -75 dBm.

Figura 47 - Análise de Interferência dos Canais Wi-Fi em 2,4 GHz.



Fonte: Autor.

Considerando a sensibilidade do sistema de radiofrequência de um ESP32 em -97 dBm (ESPRESSIF, 2019), a Tabela 6 nos apresenta as medições de cobertura Wi-Fi onde estão instalados na residência monitorada

os três ESP32 coordenadores dos clusters de sensores. Foram realizadas duas medições em cada cluster, uma com a porta do ambiente aberta e outra com a porta fechada, a fim de avaliar a perda de sinal em cada situação. Pelas medições realizadas, foi visto em todas as situações que o nível de sinal em dBm foi maior que o nível de interferência das redes adjacentes (Figura 47). As medidas reais também corresponderam aos níveis apresentados no mapa de calor na Figura 46.

Tabela 6 - Medições de Sinal Wi-Fi - Clusters de Sensores.

Cluster	Frequência (Mhz)	Canal	Sinal Medido (dBm) Porta Aberta	Sinal Medido (dBm) Porta Fechada
WC Suíte	2462	11	-42	-43
WC Social			-43	-48
Área de Serviço			-65	-70

Fonte: Autor.

4.6. CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

Para a construção da base de dados off-line para o projeto, foi necessário adotar uma rotina mensal de downloads da base de dados do Adafruit.io, cujo período máximo de armazenamento de informações online é de 30 dias. A partir da pasta Feeds (Figura 44), para a realização do download das informações mensais de cada sensor, clicando no nome do respectivo sensor e, em seguida, no botão “download all data”, conforme a Figura 48.

Figura 48 - Tela Adafruit.io para o download mensal da medição dos sensores.



Fonte: Autor.

A Tabela 7 nos apresenta em linhas gerais as características da base de dados gerada a partir da coleta dos 9 sensores -

Tabela 7 - Informações sobre Base de Dados Gerada pelo Projeto.

Tipo de informação	Detalhamento
Período de coleta de dados	01/11/2019 a 31/07/2020 (9 meses)
Volume de minutos coletados	2.025.723 minutos
Volume de dados coletados	134,46 Mbytes
Quantidade de arquivos gerados	81
Formato dos arquivos gerados	.CSV (separados por vírgula)
Fonte de Coleta	Servidor Adafruit.io

Fonte: Autor.

Todos os arquivos gerados para a base de dados do projeto estão disponíveis para estudos futuros no Google Drive, compartilhados na seguinte URL:

<https://drive.google.com/open?id=1XnOXDijgbBa2FtillixRT71jbpW65Gyq>

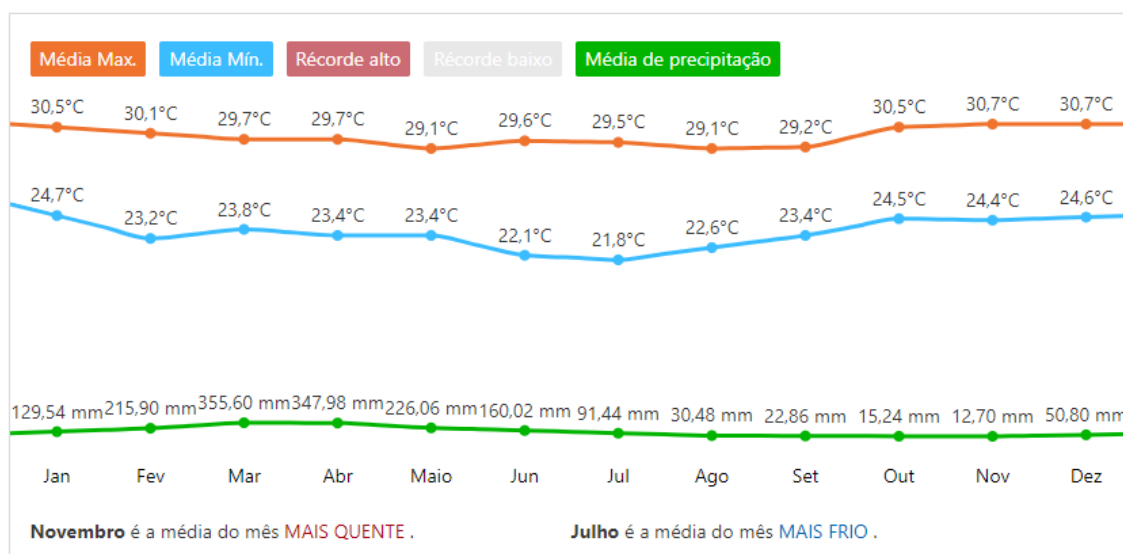
4.7. ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS DE CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA

Aqui foram apresentados os resultados extraídos dos dados coletados de cada sensor e analisados por meio da ferramenta Microsoft Excel. É importante destacar que a o monitoramento foi realizado numa típica residência da periferia de Fortaleza.

Foi definido como uso o consumo de água desde o momento da detecção de uso (maior que zero) até o retorno a condição de repouso (uso igual a zero). A unidade de medida utilizada para os usos de grande porte (maior que 1000 litros) foi o metro-cúbico, representado pelo símbolo m^3 ($1 m^3 = 1000$ litros). Para usos de menor porte foi utilizada a unidade de medida litro (1 Litro = 1000 mililitros).

Outra informação importante para compreender a variação da frequência diária de usos e consumo médio por uso é o histórico de precipitações e temperatura da região onde se situa a residência monitorada. Esta visão pode ser obtida a partir do gráfico da Figura 49.

Figura 49 - Histórico Mensal de Precipitações (em milímetros) e Temperatura (em graus Celsius) - Fortaleza, Ceará, Brasil.



Fonte: (IBM, 2020)

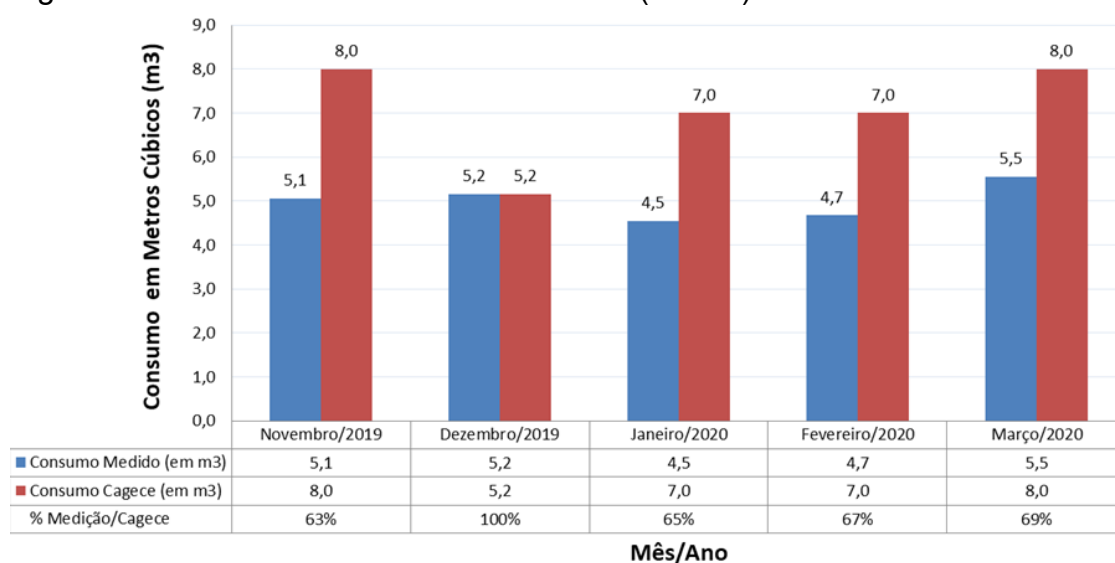
Apenas para efeito de comparação do comportamento dispersivo dos usos entre os meses de coleta de dados pelos sensores, foi utilizada, nos

gráficos de dispersão, uma linha de tendência do tipo polinomial de grau seis, a fim de obter o coeficiente de determinação (R^2) para avaliar o quão dispersivo se apresentaram os usos ao longo de cada mês. O R^2 varia entre 0 e 1, por vezes sendo expresso em termos percentuais. Nesse caso, expressa a quantidade da variância dos dados que é explicada pelo modelo linear. (DEVORE, 2011)

4.7.1. CONSOLIDADO GERAL

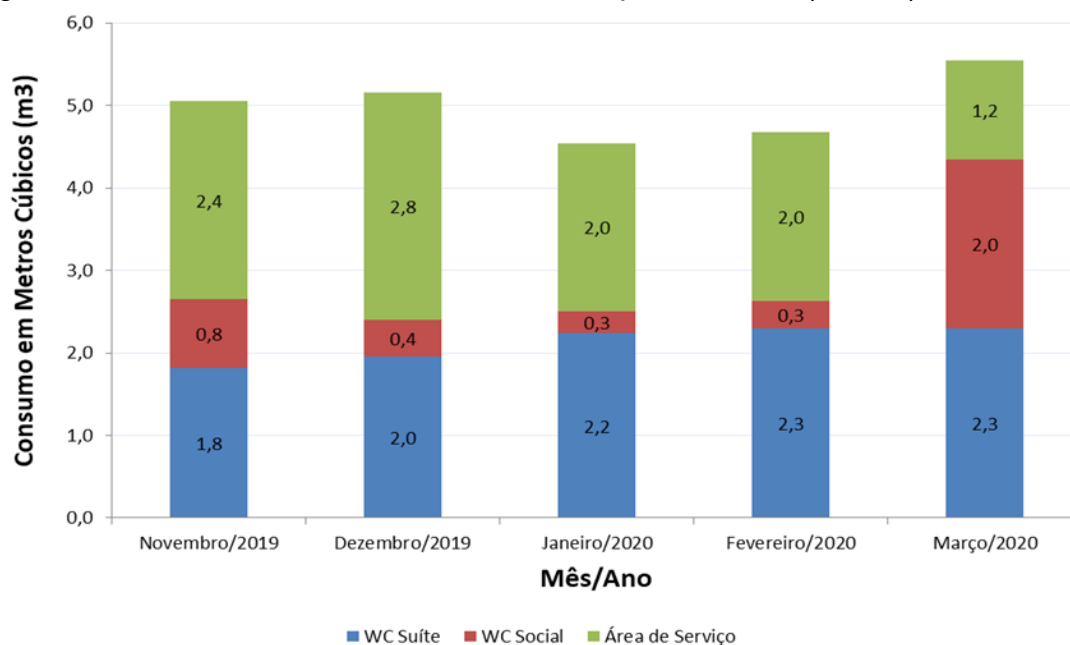
A residência monitorada neste trabalho possui um total de 13 pontos consumidores de água, dos quais 9 foram monitorados (69 % do total). A Figura 50 nos apresenta um gráfico consolidado do consumo de água residencial em metros cúbicos (m^3) monitorado por todos os sensores ao longo dos 5 meses, confrontando com a medição oficial da CAGECE (Companhia de água e esgoto do Ceará). Em relação aos cômodos monitorados, o gráfico da Figura 51 nos apresenta um comparativo mensal do consumo de água entre cada um deles.

Figura 50 - Consolidado Geral do Consumo (em m^3).



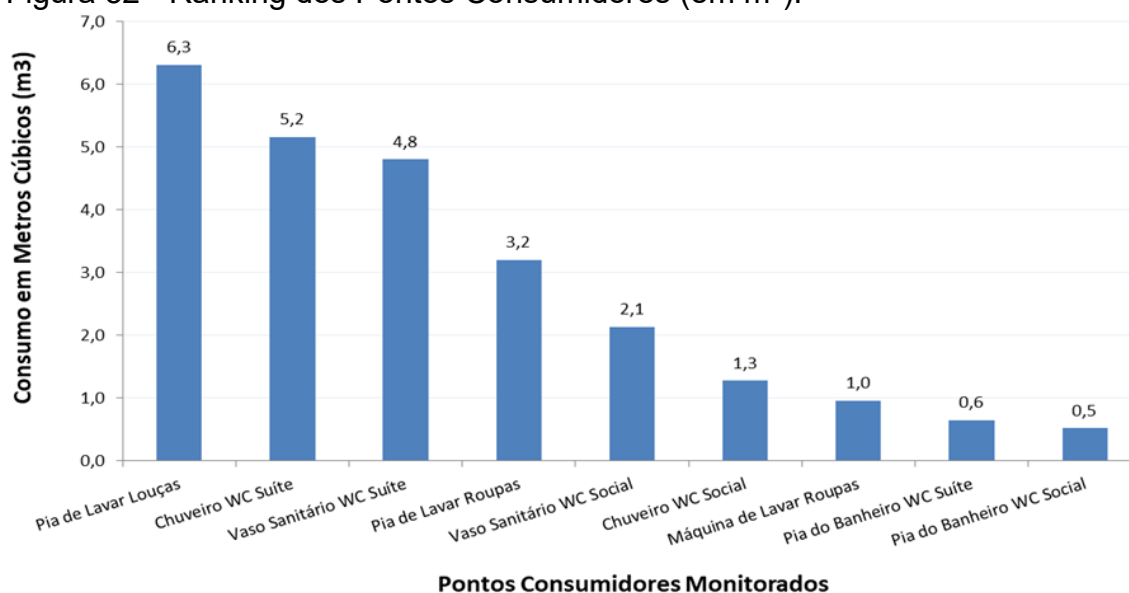
Fonte: Autor.

Figura 51 - Detalhamento do Consumo Geral por Cômado (em m³).



Fonte: Autor.

Figura 52 - Ranking dos Pontos Consumidores (em m³).



Fonte: Autor.

Através da Figura 52, podemos identificar, no ranking consolidado dos pontos monitorados, quais os maiores consumidores ao longo dos 5 meses de coleta de dados. Devido ao grau de replicabilidade das amostras dos nove sensores, foram apresentados em detalhes os quarto sensores mais significativos (sensores 1, 3, 5 e 7).

As informações detalhadas dos demais sensores podem ser encontradas nos apêndices deste trabalho. A Tabela 8 apresenta um resumo

das características mais relevantes de perfil de consumo medidas pelos nove sensores.

Tabela 8 - Resumo com as principais características das medições de cada sensor.

Sensor	Resumo
Sensor 1 – Chuveiro – WC Suíte	Horários de uso seguem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 2 – Vaso Sanitário – WC Suíte	Horários de uso seguem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência.
Sensor 3 – Pia – WC Suíte	Foram detectados diversos perfis de uso, como escovação de dente, lavar as mãos e barbear. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 4 – Chuveiro – WC Social	Horários de uso seguem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia. Detectado vazamento no mês de março/2020.
Sensor 5 – Vaso Sanitário – WC Social	Deteção de importante vazamento, detectado em março/2020, graças as medições do projeto.
Sensor 6 – Pia – WC Social	Foram detectados diversos perfis de uso, como escovação de dente, lavar as mãos e barbear. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 7 – Pia (Lavar Pratos) – Área de Serviço	Foi detectada importante redução de consumo em março/2020, com o início do período da pandemia.
Sensor 8 – Pia (Lavar Roupas) – Área de Serviço	Medições influenciadas pela sazonalidade das chuvas e pelo início do período da pandemia.
Sensor 9 – Máquina de Lavar – Área de Serviço	Medições influenciadas pela sazonalidade das chuvas e pelo início do período da pandemia.

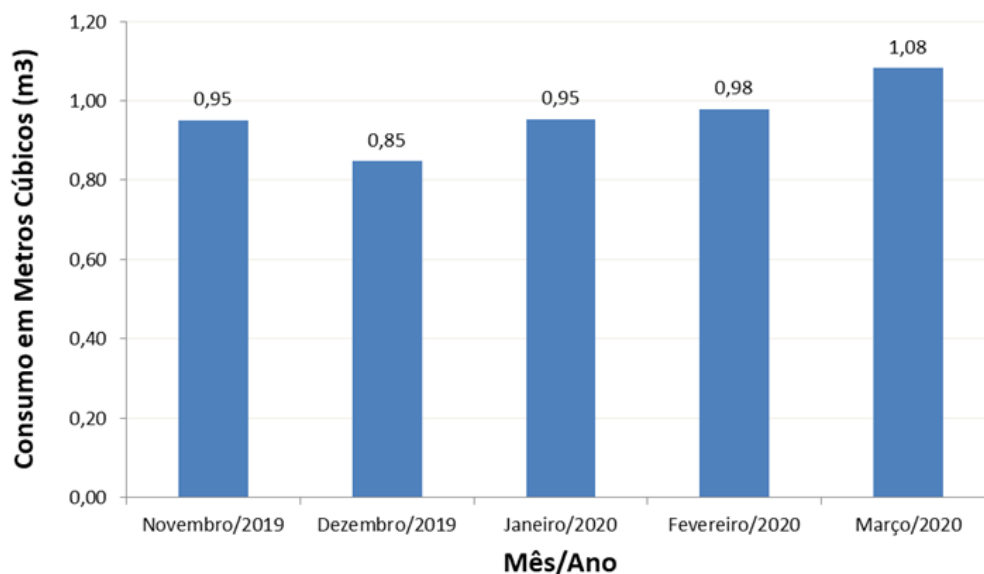
Fonte: Autor.

4.7.2. SENSOR 1 – WC SUÍTE – CHUVEIRO

Representando 20,63% do consumo total de água monitorado, o sensor do chuveiro do WC da suíte ficou em segundo lugar no ranking dos

consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 53.

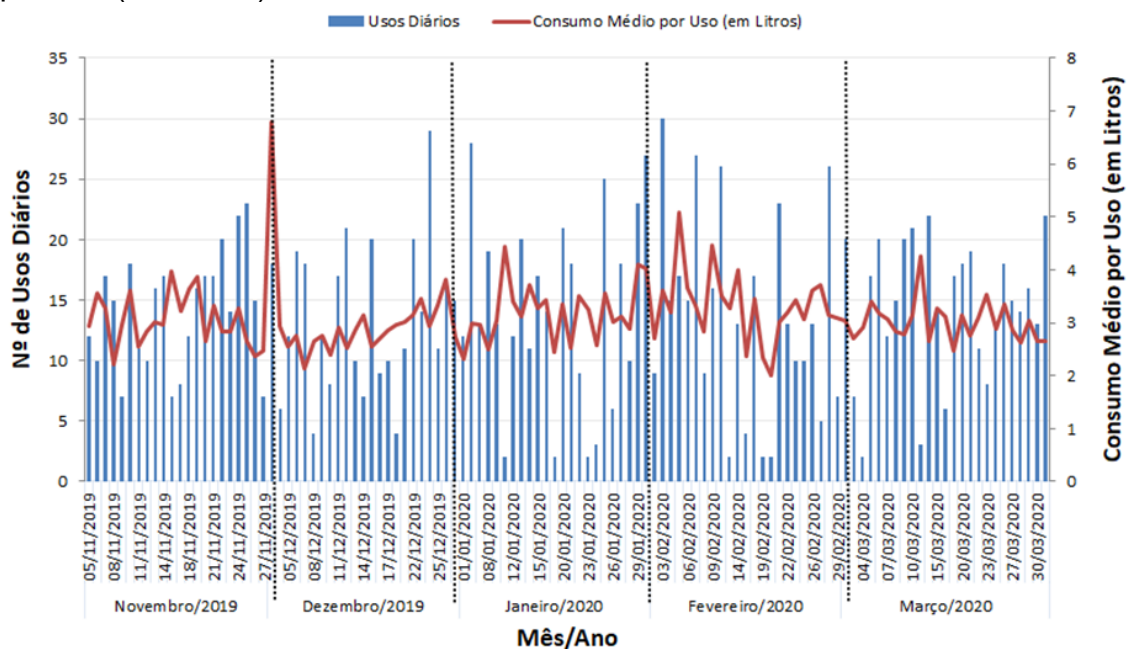
Figura 53 - Consumo Mensal em m^3 - Chuveiro - WC Suíte.



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 54 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 14,1 usos por dia, com um consumo médio geral de 3,2 litros por uso. A média geral de usos foi de 4,7 usos por usuário por dia.

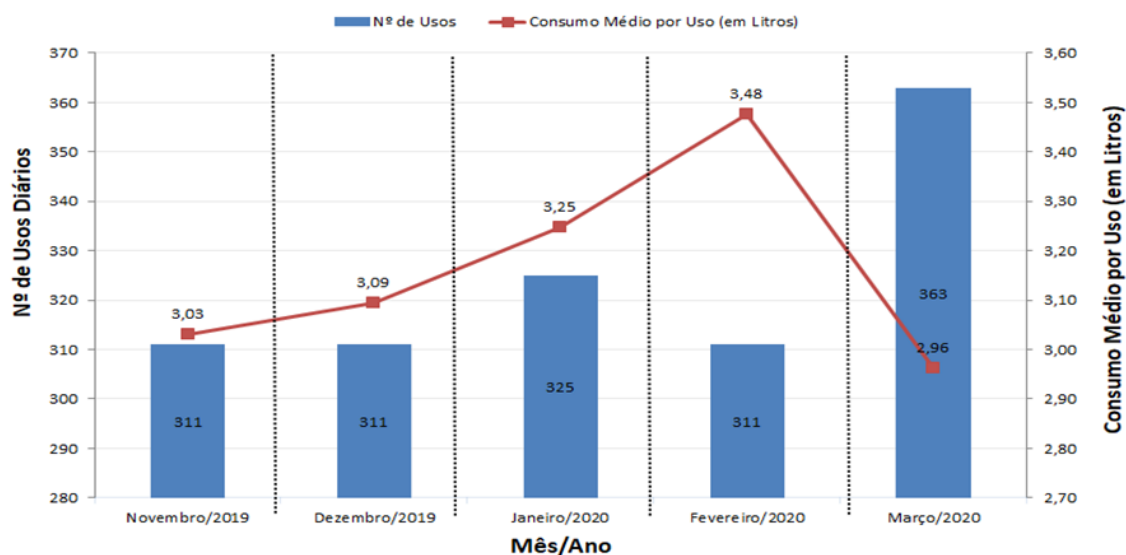
Figura 54 - Chuveiro WC Suíte - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 55 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

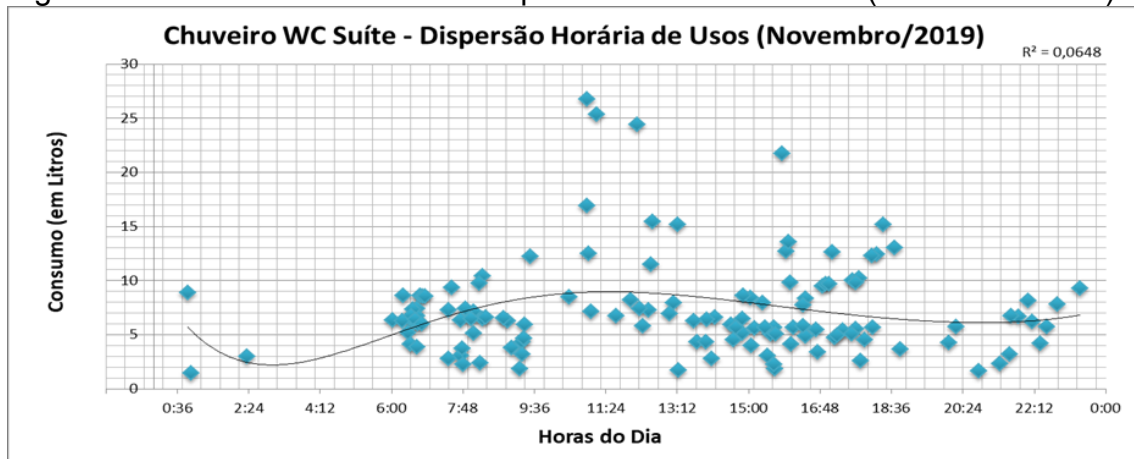
Figura 55 - Chuveiro WC Suíte - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

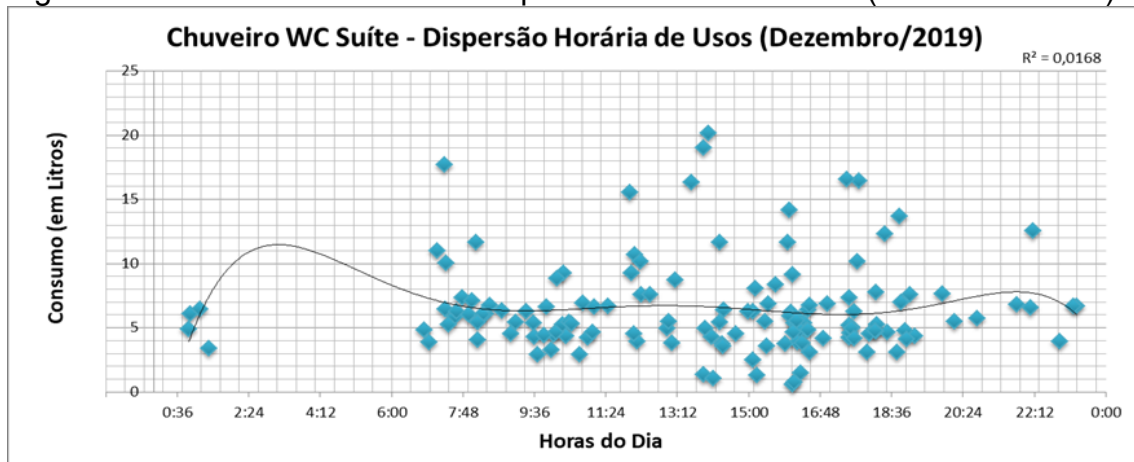
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 56, 57, 58, 59 e 60, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020. A partir destes gráficos, podemos observar uma concentração maior de usos do chuveiro a partir do horário de 6 horas da manhã nos meses que pertencem ao calendário escolar dos moradores da residência monitorada (novembro, janeiro, fevereiro e março). O mês de dezembro, por ser um mês de férias, possui um comportamento mais disperso em relação aos horários de uso. Um destaque especial deve ser dado ao mês de março de 2020, que a partir do dia 17 sofreu uma alteração de comportamento de usos devido ao início do confinamento residencial devido a pandemia do covid-19, o que pode ser evidenciado pela maior dispersão horária e de consumo em cada uso.

Figura 56 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



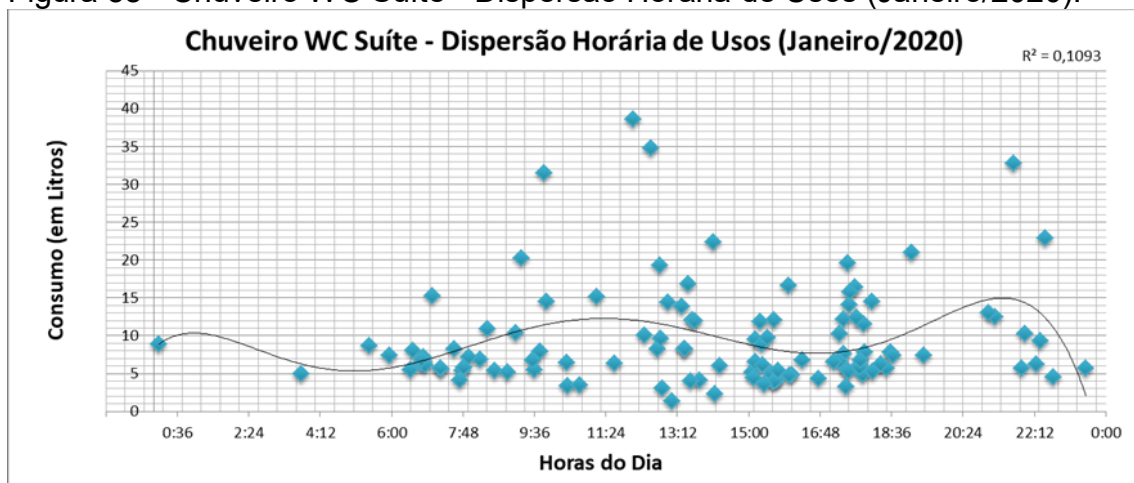
Fonte: Autor.

Figura 57 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



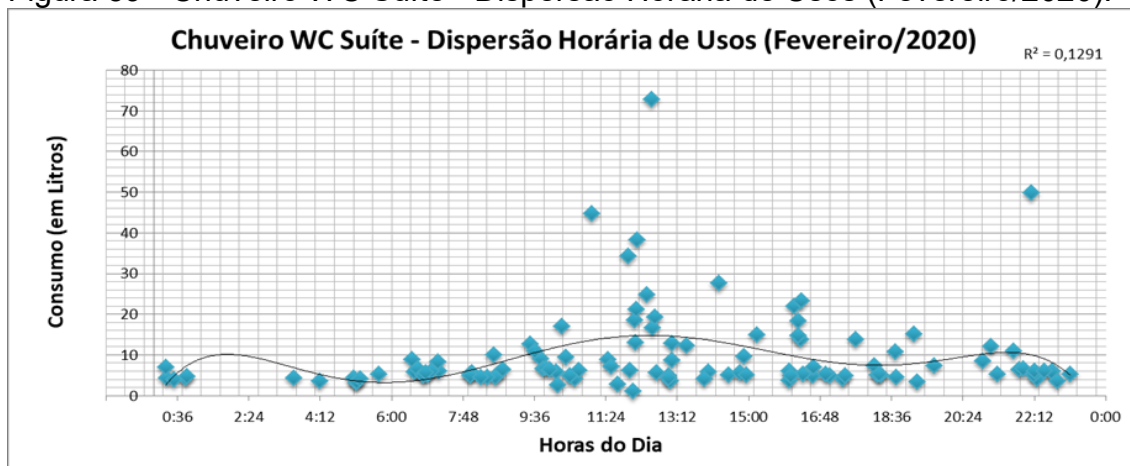
Fonte: Autor.

Figura 58 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



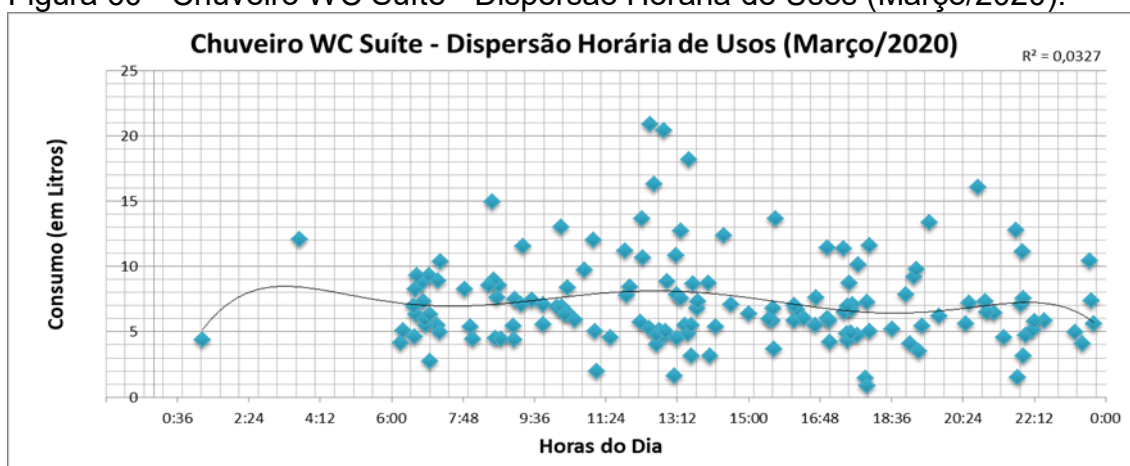
Fonte: Autor.

Figura 59 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 60 - Chuveiro WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

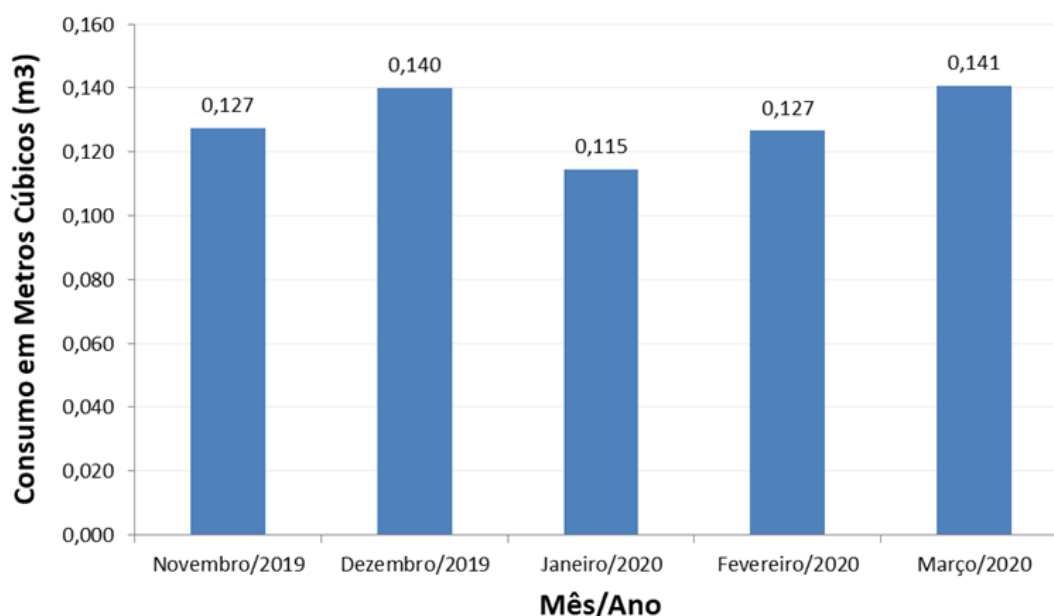


Fonte: Autor.

4.7.3. SENSOR 3 – WC SUÍTE – PIA DO BANHEIRO

Representando 2,59% do consumo total de água monitorado, o sensor da pia do banheiro da suíte ficou em oitavo lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 61.

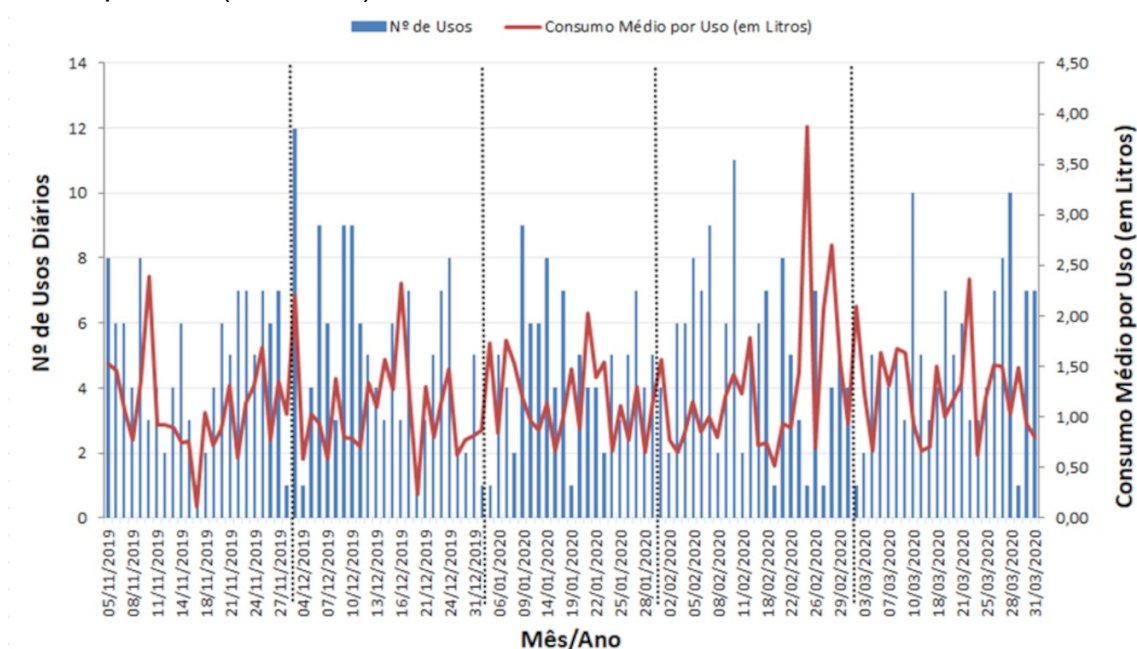
Figura 61 - Consumo Mensal em m3 - Pia do Banheiro - WC Suíte.



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 62 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 4,9 usos por dia, com um consumo médio geral de 1,1 litros por uso. A média geral de usos foi de 1,6 usos por usuário por dia.

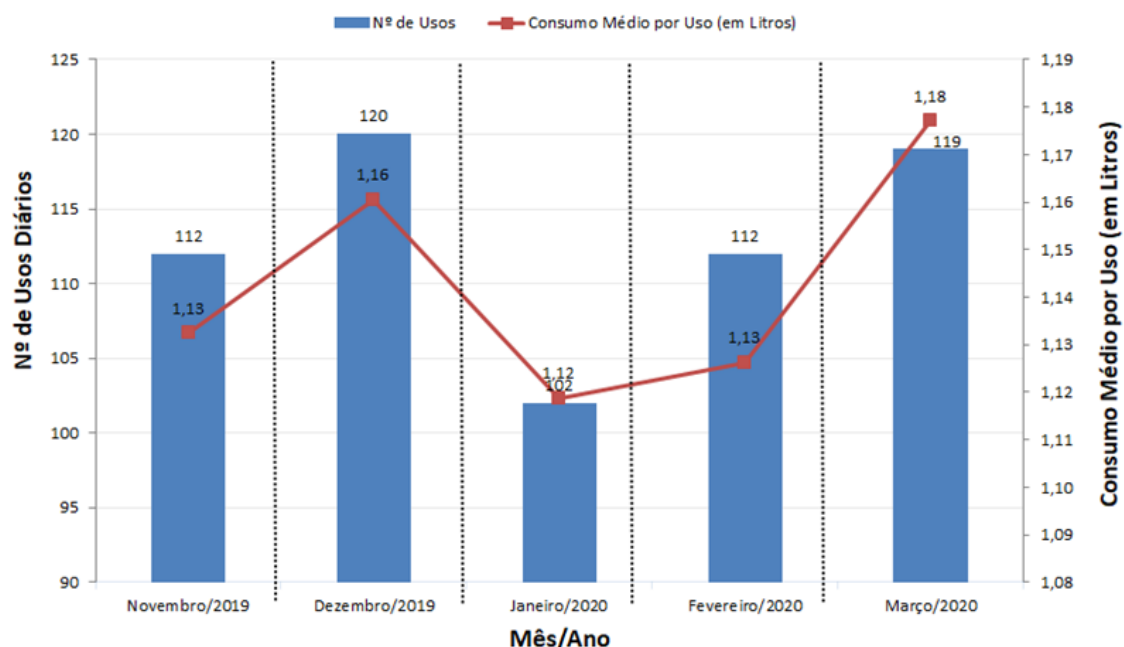
Figura 62 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 63 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

Figura 63 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).



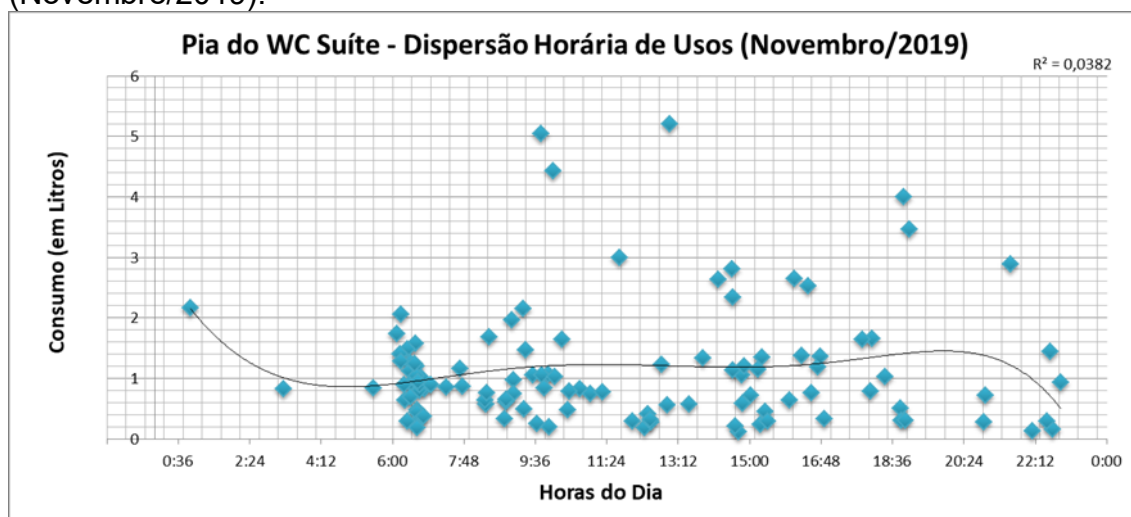
Fonte: Autor.

Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 64, 65, 66, 67 e 68, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020. A partir destes gráficos, podemos observar uma concentração maior de usos a partir do horário de 6 horas da manhã nos meses que pertencem ao calendário escolar dos moradores da residência monitorada (novembro, janeiro, fevereiro e março). O mês de dezembro, por ser um mês de férias, possui um comportamento mais disperso em relação aos horários de uso. Um destaque especial deve ser dado ao mês de março de 2020, que a partir do dia 17 sofreu uma alteração de comportamento de usos devido ao início do confinamento residencial devido a pandemia do covid-19, o que pode ser evidenciado pela maior dispersão horária e de consumo em cada uso.

Uma particularidade dos usos na pia do banheiro é exatamente a multiplicidade de usos diferentes, a saber - lavar as mãos (até 1 litro), escovar

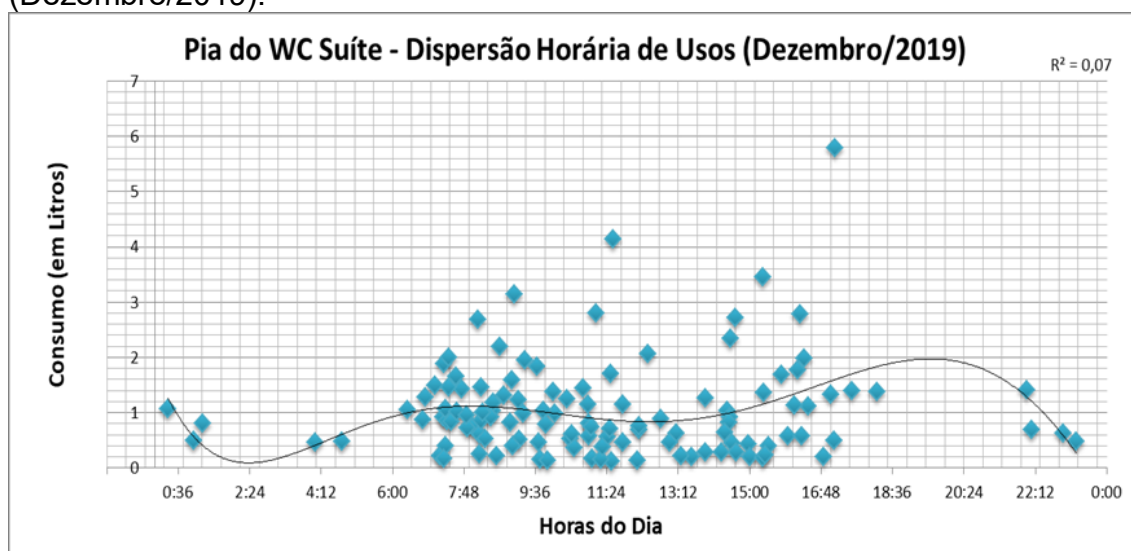
os dentes (até 2 litros) e barbear (até 7,6 litros), o que torna essas amostras visivelmente mais dispersivas em relação ao consumo individual de cada uma delas.

Figura 64 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



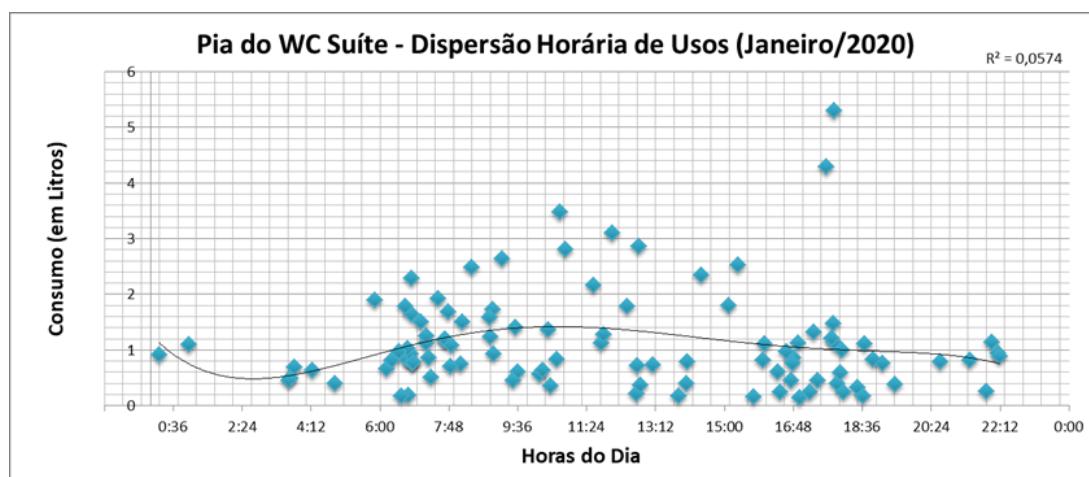
Fonte: Autor.

Figura 65 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



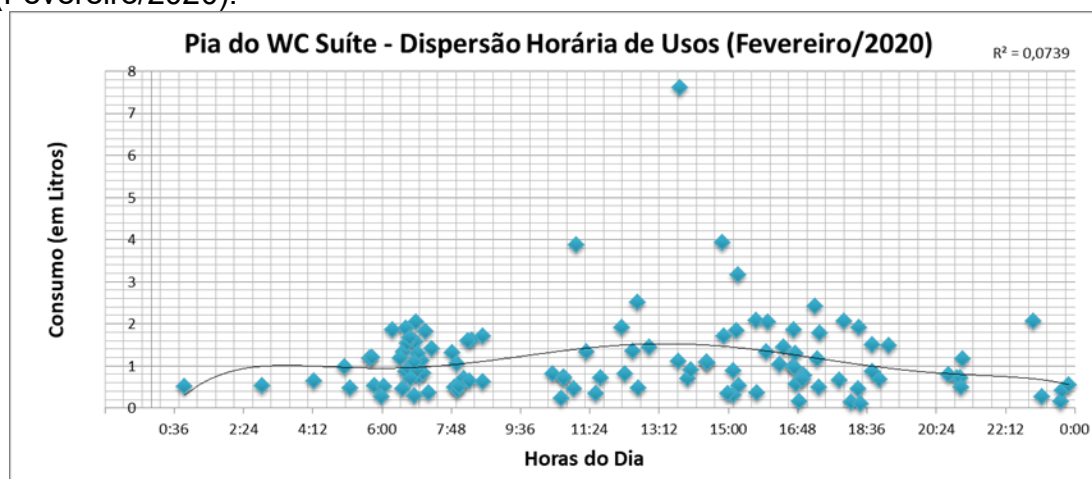
Fonte: Autor.

Figura 66 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



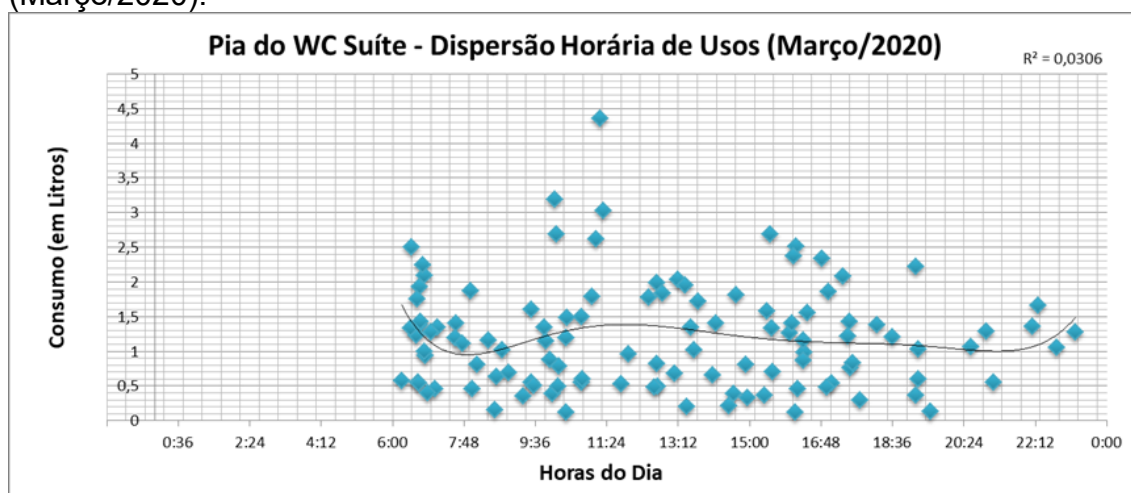
Fonte: Autor.

Figura 67 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 68 - Pia do Banheiro - WC Suíte - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

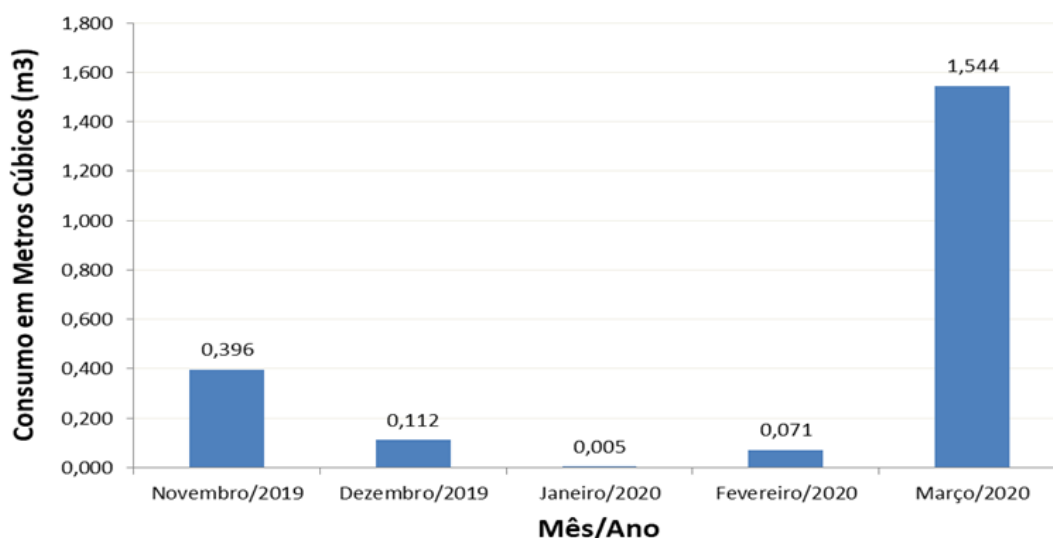


Fonte: Autor.

4.7.4. SENSOR 5 – WC SOCIAL – VASO SANITÁRIO

Representando 8,53% do consumo total de água monitorado, o sensor do vaso sanitário do WC social ficou em quinto lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 69.

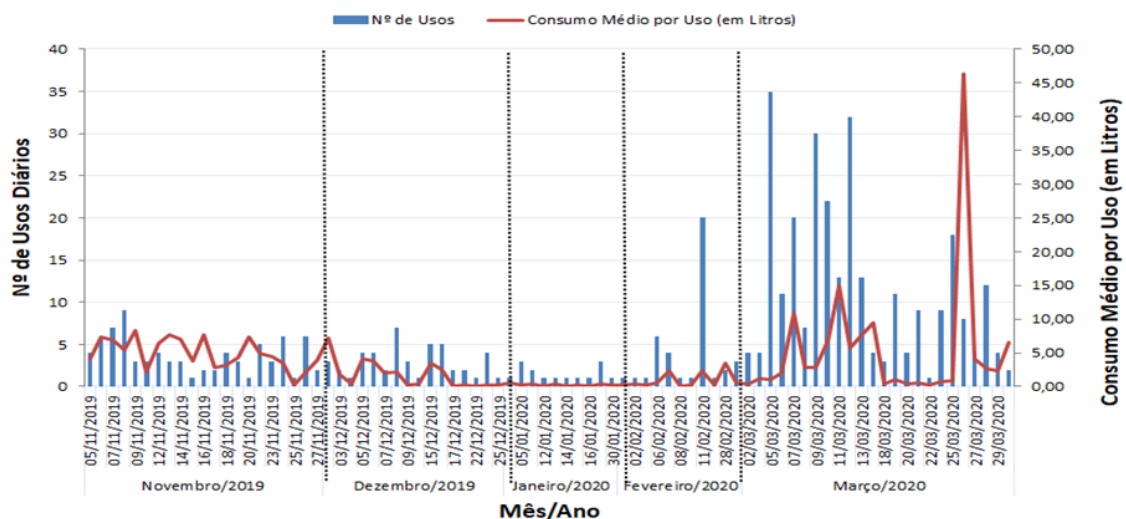
Figura 69 - Consumo Mensal em m³ - Vaso Sanitário - WC Social



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 70 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 4,7 usos por dia, com um consumo médio geral de 4,6 litros por uso. A média geral de usos foi de 1,1 usos por usuário por dia. As medições deste sensor registraram majoritariamente a ocorrência de vazamentos de pequeno porte ocorridos durante os meses de janeiro e fevereiro, período em que este vaso sanitário ficou interditado, retomando o uso no mês de março, marcado por grandes eventos de consumo de água, a saber, o confinamento residencial pelo covid-19 e um grande vazamento ocorrido por falha na boia da caixa do vaso sanitário em 26 de março de 2020, entre 0:00h e 01:59hs.

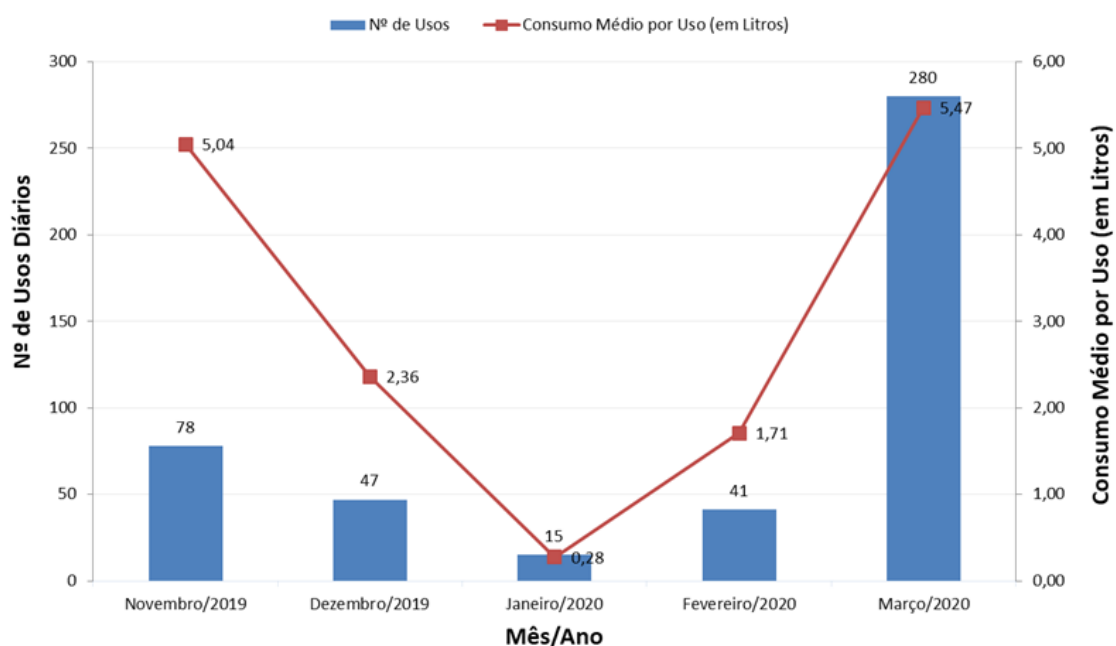
Figura 70 - Vaso Sanitário - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)



Fonte: Autor.

A Figura 71 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19, além de grandes eventos de vazamentos detectados por este sensor mencionados no parágrafo anterior.

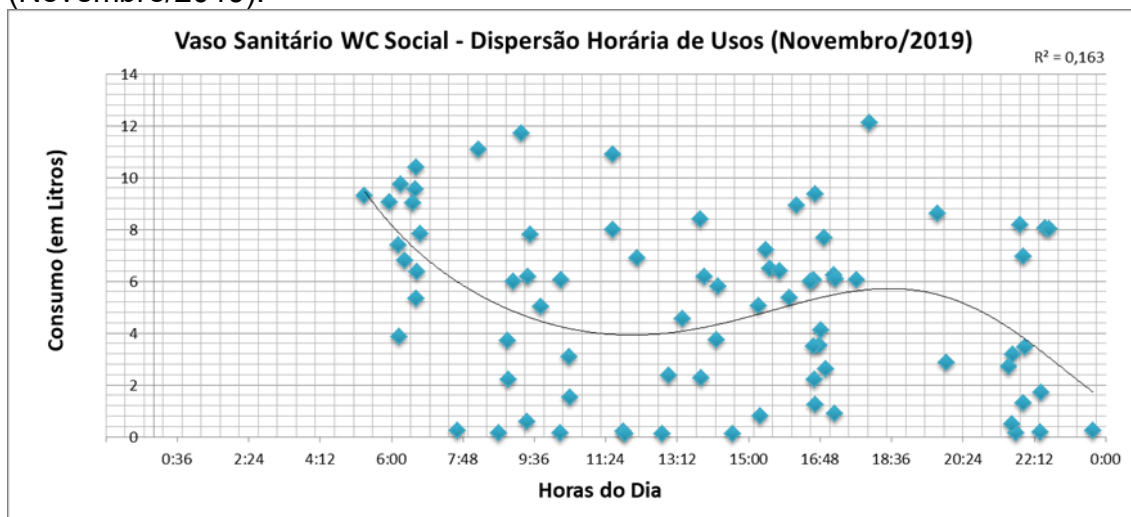
Figura 71 - Vaso Sanitário - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros)



Fonte: Autor.

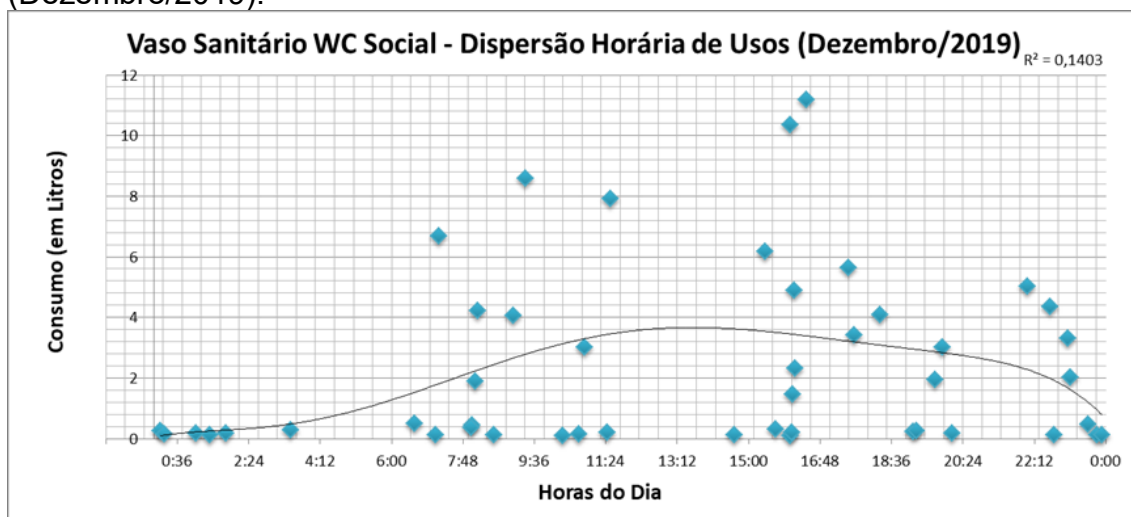
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 72, 73, 74, 75 e 76, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020.

Figura 72 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



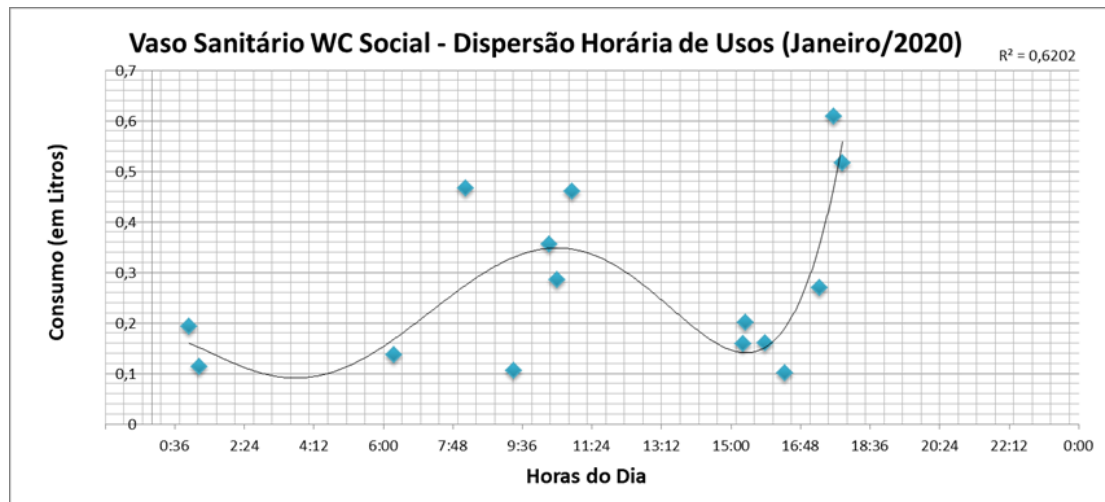
Fonte: Autor.

Figura 73 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



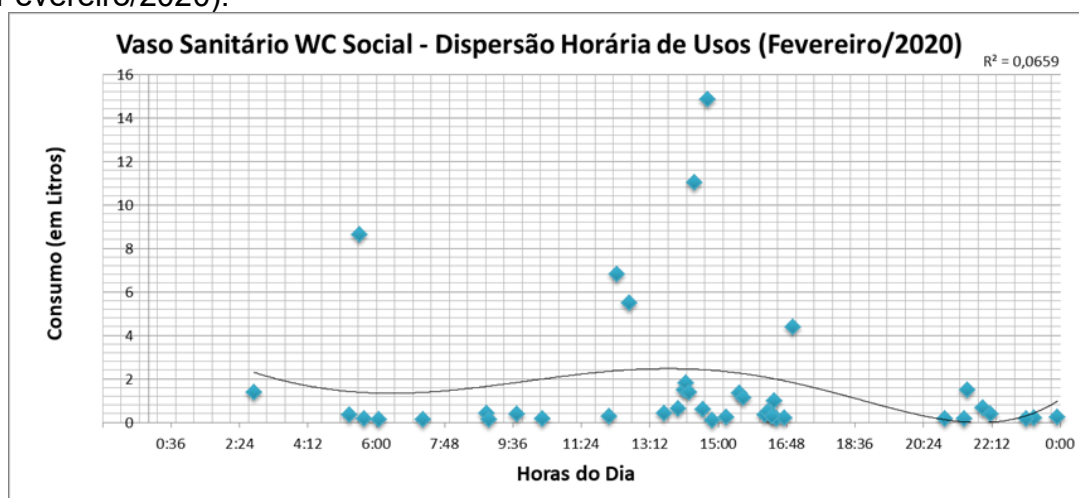
Fonte: Autor.

Figura 74 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



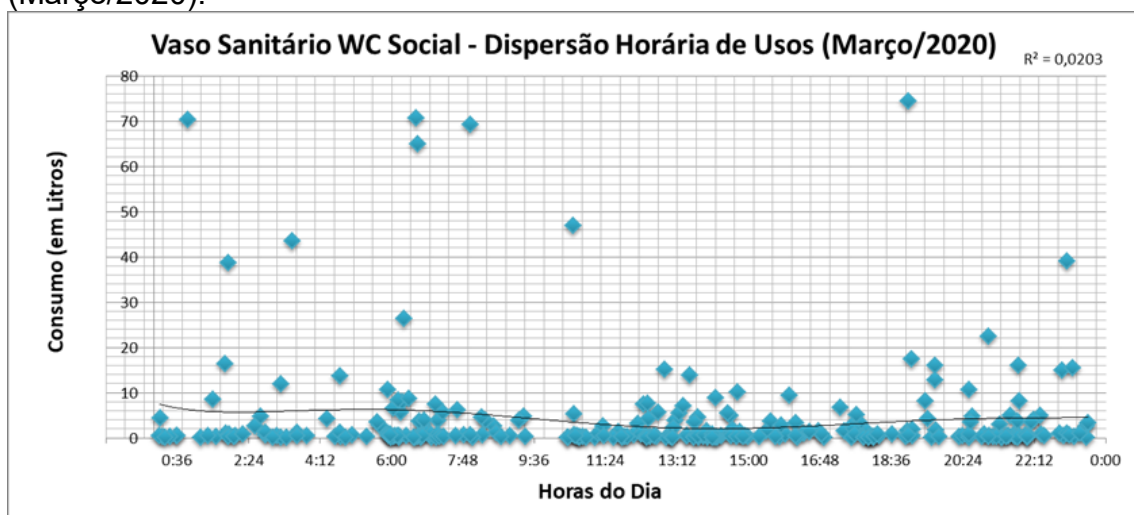
Fonte: Autor.

Figura 75 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 76 - Vaso Sanitário - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

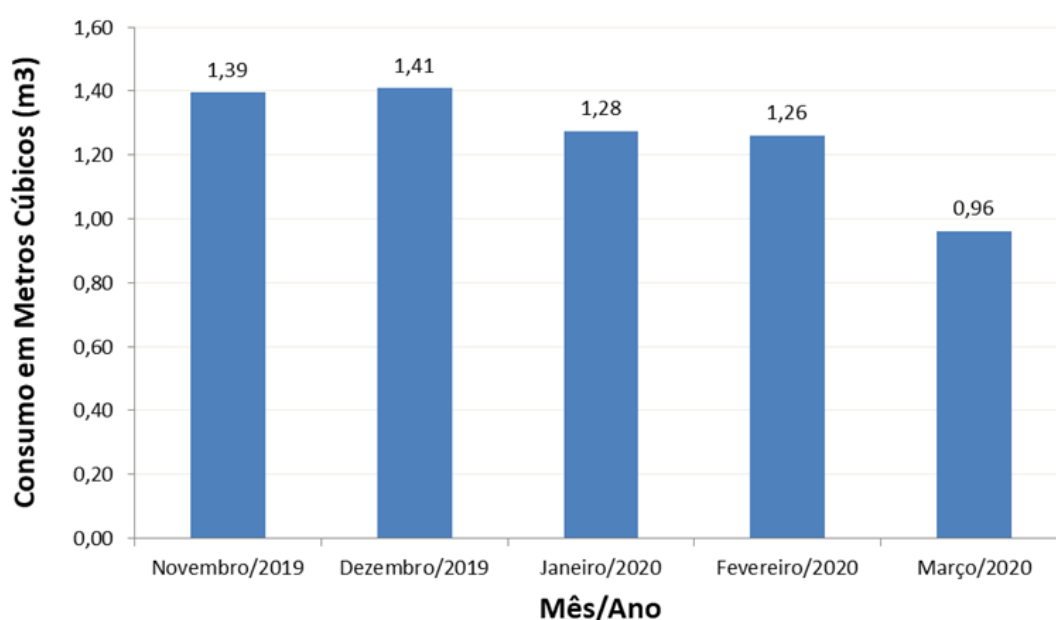


Fonte: Autor.

4.7.5. SENSOR 7 – ÁREA DE SERVIÇO – PIA DE LAVAR LOUÇA

Representando 25,23% do consumo total de água monitorado, o sensor da pia de lavar louças da área de serviço ficou em primeiro lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 77.

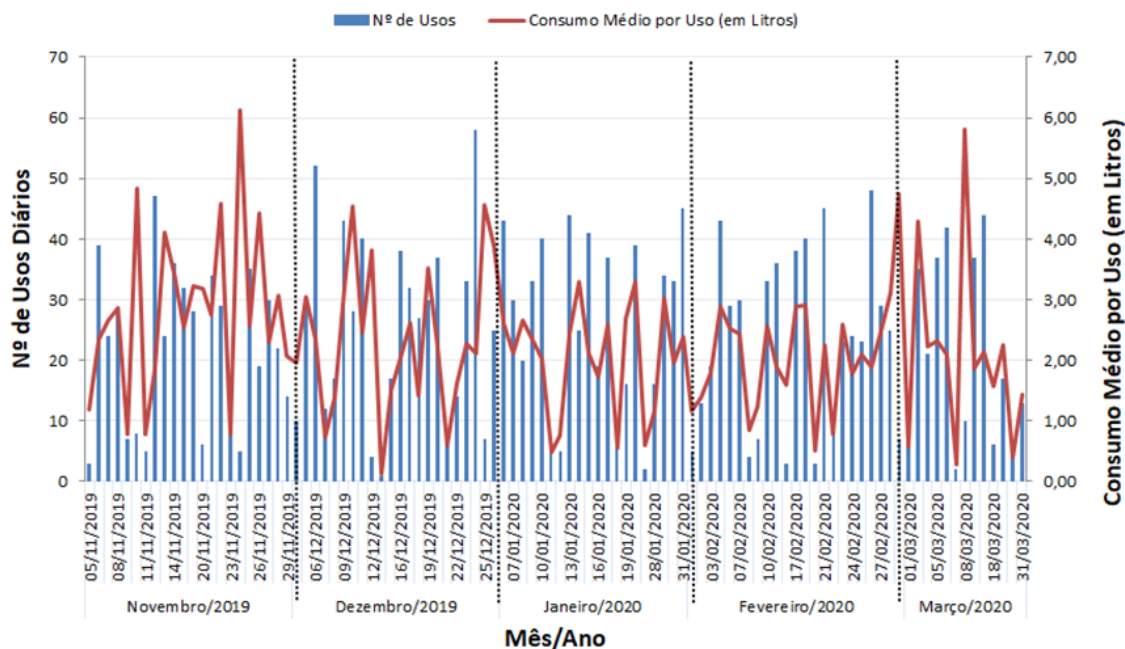
Figura 77 - Consumo Mensal em m3 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 78 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 23,8 usos por dia, com um consumo médio geral de 2,5 litros por uso.

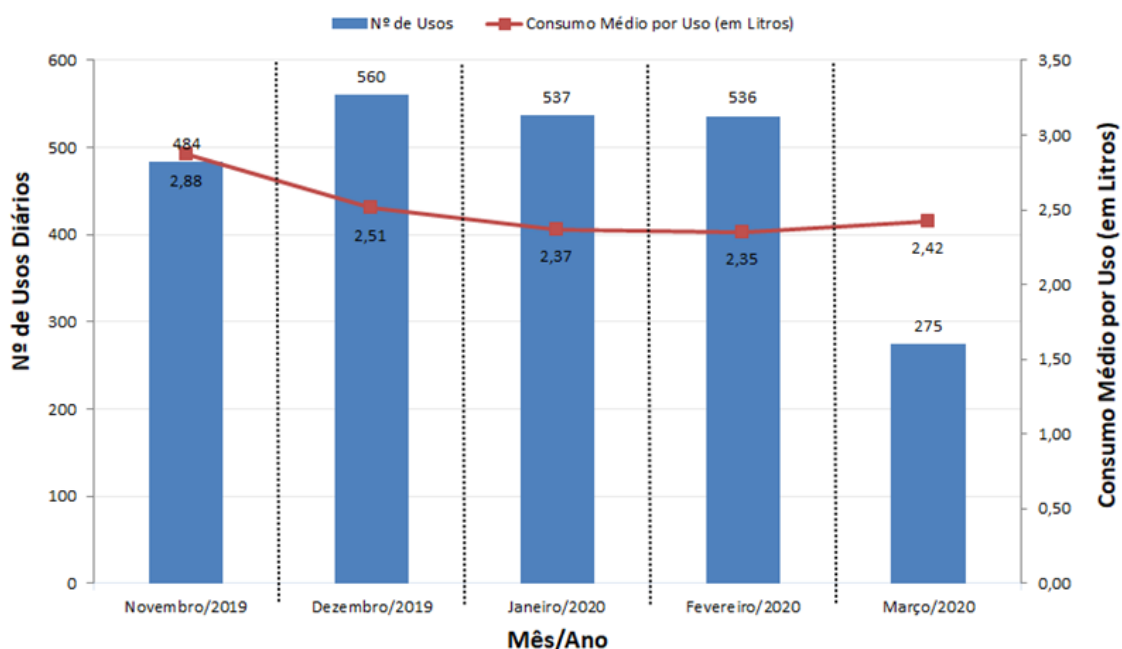
Figura 78 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 79 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para a redução de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

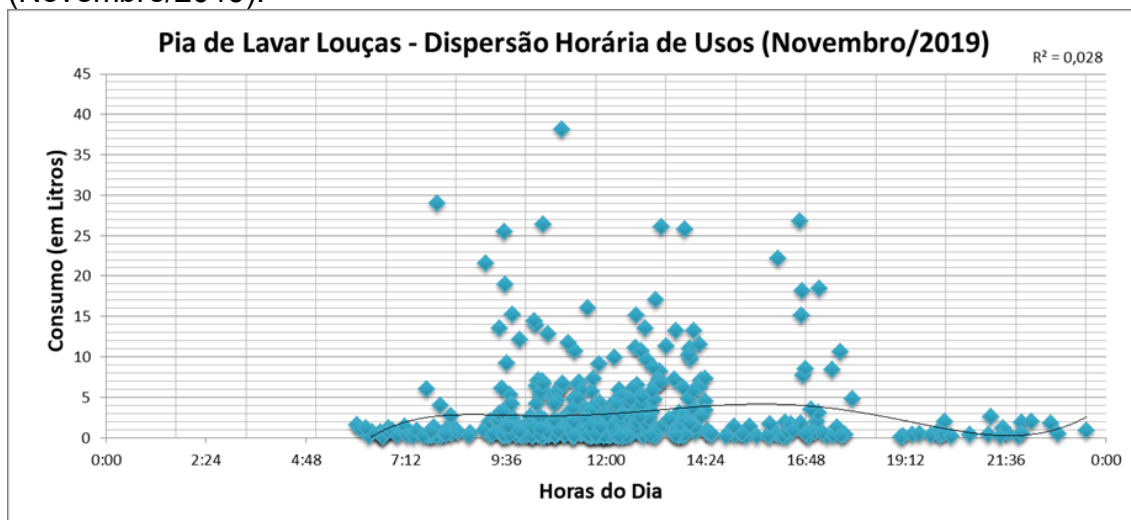
Figura 79 - Pia de Lavar Louça - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)



Fonte: Autor.

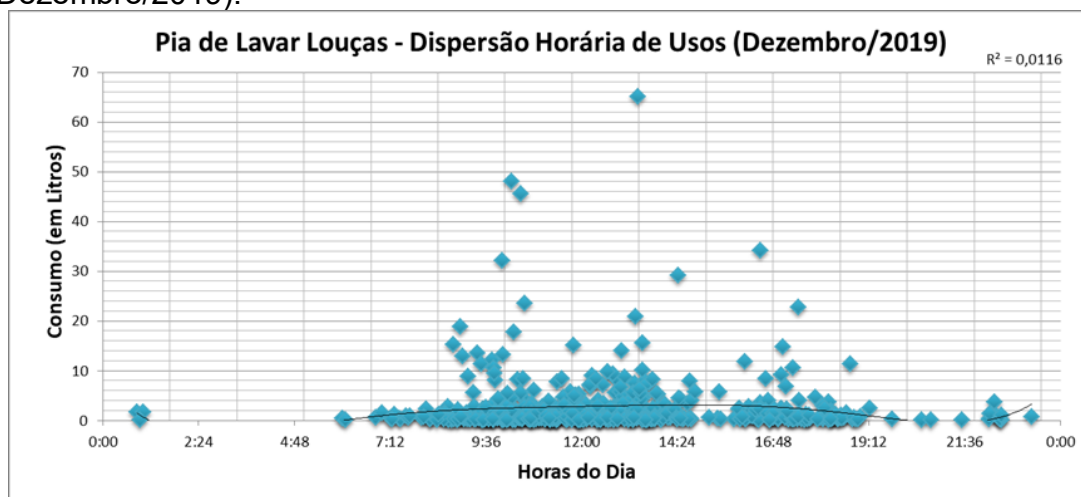
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 80, 81, 82, 83 e 84, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020.

Figura 80 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



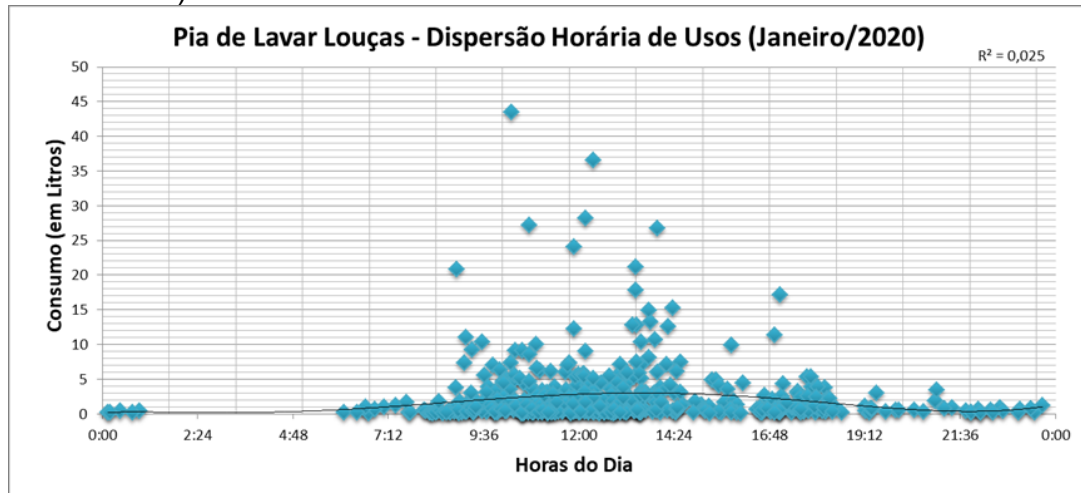
Fonte: Autor.

Figura 81 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



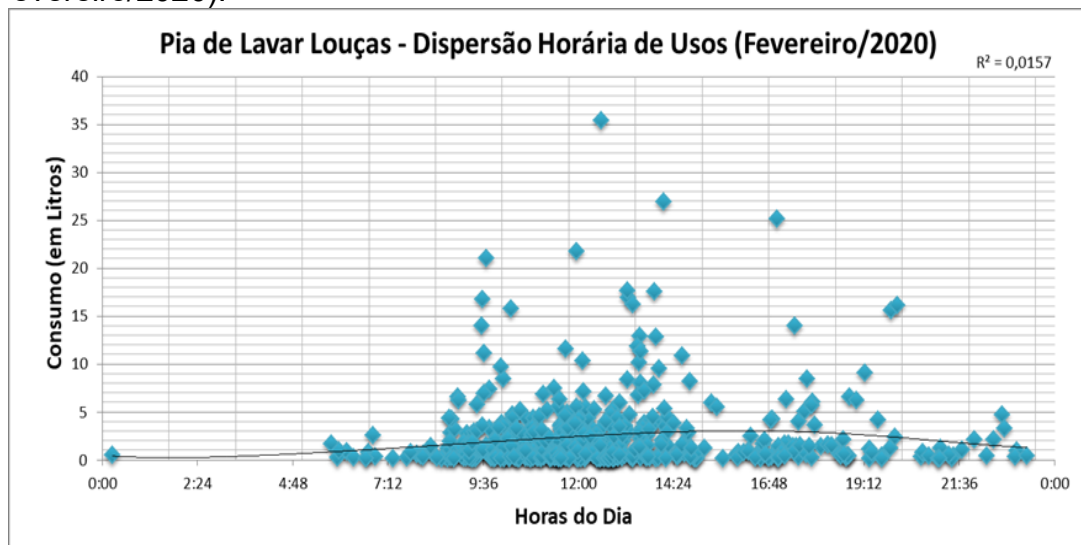
Fonte: Autor.

Figura 82 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



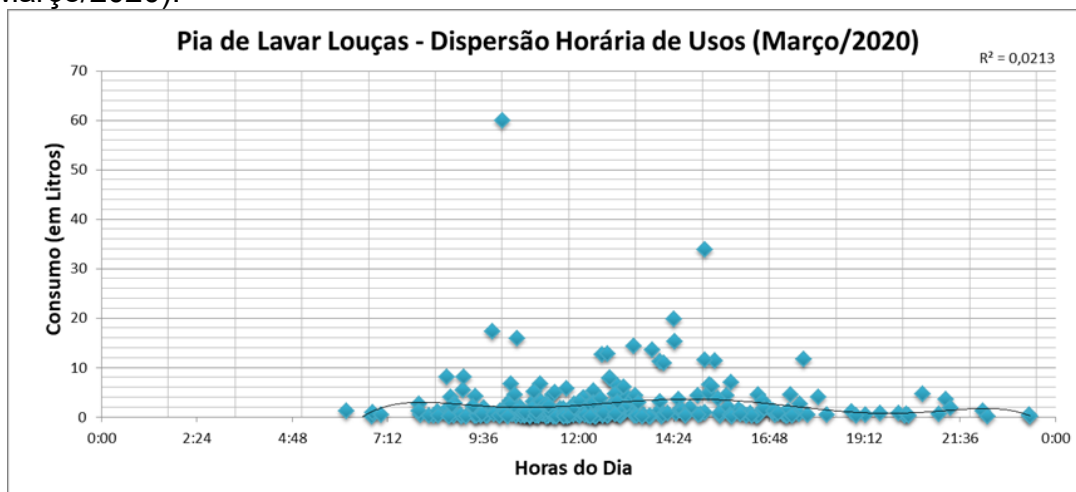
Fonte: Autor.

Figura 83 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 84 - Pia de Lavar Louças - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).



Fonte: Autor.

4.4. COMPARATIVO COM ESTUDOS PRECURSORES

Na Tabela 9 foi mostrado um comparativo entre os perfis de consumo mapeados neste trabalho e àqueles presentes no último estudo similar patrocinado pelo governo brasileiro (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO / BRASIL, 2005). Por meio desta comparação, podemos concluir que os valores de consumo desta residência estão abaixo da média nacional, o que os classifica, pelos dados coletados, como consumidores conscientes do uso racional de água.

Tabela 9 - Perfis de Consumo de água no âmbito residencial - Comparativo de resultados.

Perfis de Consumo Residencial de Água	Consumo em Litros	
	Autor	BRASIL (2005)
Uma Descarga no WC	Média de 6,8 litros	10 a 16 litros
Um Minuto no Chuveiro	Pico de 5,7 litros	15 litros
Uma Lavagem de Mãos	Até 1 litro	3 a 5 litros
Uma Lavagem com Máquina de Lavar	Até 50 litros	150 litros
Escovar os Dentes	Até 2 litros	11 litros

Fontes - Autor e BRASIL (2005)

No Quadro 3 foi apresentado um paralelo entre este trabalho e estudos precursores publicados com o intuito de monitoramento do consumo residencial.

Quadro 3 - Comparativo - Estudos Predecessores.

Fonte	Abrangência	Principais Resultados
AUTOR, 2020	Nove sensores coletando dados reais em nove pontos de uma residência entre novembro/2019 e julho/2020, conectado em nuvem e com <i>reports</i> via web de consumo de água. Fonte de energia - rede elétrica residencial.	Geração de Base de dados com mapeamento e medição de nove usos distintos de consumo de água dentro da residência, bem como a identificação dos perfis de consumo e sazonalidade do mesmo dentro do período de observação. Análise do desempenho da rede sem fio construída.
A. RAY, GOSWAMI, 2020	Dois sensores instalados em ambiente controlado, conectados em nuvem, com <i>reports</i> de consumo via aplicativo em smartphone e modelo de <i>machine learning</i> . Projeto idealizado originalmente para otimização de recursos hídricos na Índia. Fonte de energia - solar.	Geração de base dados de consumo e alimentação o modelo de <i>machine learning</i> a fim de identificar padrões de uso e disparar ações de mitigação de consumo excessivo. Identificação de riscos e problemas operacionais futuros com o sistema em operação comercial.
ALVES, MANERA & CAMPOS, 2019	Um sensor em ambiente controlado, ligado via protocolo <i>ZigBee</i> ao nó coordenador há 8,5 metros de distância. Fonte de energia - baterias	Testes de conectividade entre o sensor e o nó coordenador realizados com sucesso, com detalhamento dos aspectos de rádio frequência e tráfego de pacotes de dados na rede sem fio construída. Testes de funcionalidade do aplicativo bem sucedidos, com report do consumo de água monitorado pelo sensor. Não foi informado se houve geração de base dados .
LUCIANI ET AL., 2018	292 usuários conectados na alimentação geral de água dos imóveis via módulo de rádio ISM, coletando dados de uso geral de água entre junho/2016 e setembro/2017. Fonte de energia - não informado	Geração de Base de Dados de Consumo geral das residências, , para efeito de geração de cobrança e estudos futuros envolvendo sazonalidades e vazamentos.

Fontes - Autor; (RAY; GOSWAMI, 2020); (ALVES; MANERA; CAMPOS, 2019) e (LUCIANI et al., 2018)

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4

Ao longo de todo este capítulo, foram mostrados todos os resultados obtidos a partir do funcionamento do protótipo, desde os testes de funcionalidade dos sensores e sua calibração, passando pela análise de conectividade com o servidor MQTT em nuvem, a geração da base de dados com a coleta das medições de consumo de água, a análise de pós-processamento dos dados via ferramenta matemática e a análise do desempenho da rede sem fio.

Também foi apresentado neste capítulo um comparativo entre os resultados apresentados nos trabalhos citados na seção 2.6 e àqueles obtidos neste trabalho, ajudando-nos a estabelecer um paralelo entre o escopo dos mesmos, suas semelhanças, diferenças e possibilidades de cooperação e melhorias futuras.

Ao longo do período de medição dos dados, o trabalho apresentou diversos desafios, tais como:

- a) A disponibilidade da conexão dos microcontroladores com a internet;
- b) Necessidade de melhorias no algoritmo para reset automático após perdas longas de conexão com a internet;
- c) Automação da extração dos backups da base de dados off-line.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho estabeleceu e aplicou uma metodologia diferente dos trabalhos predecessores pesquisados para o monitoramento do consumo interno de água, com a utilização de microprocessadores ESP32 combinado com o servidor em nuvem do Adafruit.io, construindo uma base de dados que revela bastante do comportamento de típicos moradores de um bairro da periferia da cidade de Fortaleza, Ceará, apesar dos desafios encontrados em relação a instabilidade da conexão *Wi-Fi* da residência e de algumas quedas de energia ao longo do período de medição.

Em termos de dados existentes sobre o perfil do consumo e usos finais da água, verificou-se pela pesquisa realizada que ainda não há muitos dados locais disponíveis sobre o assunto. A pesquisa realizada apresentou uma contribuição no conhecimento sobre o tema, e os resultados obtidos oferecem valores de referência para estudos futuros sobre o comportamento dos usuários desta região.

Os resultados apresentados, mesmo que ainda não tenham sido monitoradas outras residências do bairro, demonstraram que o trabalho realizado contribuiu para ampliar o conhecimento sobre as necessidades metodológicas e aplicadas no levantamento do perfil do consumo e usos finais da água, permitindo à academia e aos órgãos governamentais a atualização dos valores do perfil de consumo e usos finais da água em residências com este mesmo perfil socioeconômico.

A criação de uma certificação ou selo de uso consciente de água no âmbito residencial, fortalecendo futuras políticas públicas de saneamento e abastecimento de água para consumo humano, poderia estimular o uso deste e outros protótipos similares ao deste trabalho.

Tanto a base de dados gerada quanto o sistema de monitoramento e armazenamento de dados podem ser explorados para novos estudos, bem como melhoramentos tecnológicos que aumentem sua acurácia, a saber:

- a) Adição de dispositivo de reconhecimento individual para precisar especificamente qual usuário faz uso da água em cada instante;

- b) Incremento do módulo de alimentação individual por baterias de lítio ou solares;
- c) Incremento de válvulas solenoides para implementação sistema de controle de consumo por ponto consumidor, preditivamente estimado por *machine learning*.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. DE. **Programação de Sistemas Embarcados**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2016.

ALVES, A. J. R.; MANERA, L. T.; CAMPOS, M. V. **Low-cost wireless sensor network applied to real-time monitoring and control of water consumption in residences** *Revista Ambiente e Água*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v14n6/1980-993X-ambiagua-14-06-e2407.pdf>>.

ANA. **Conjuntura Dos Recursos Do Brasil**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel.pdf>.

ARDUINO. **Introdução ao Arduíno**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ASHTON, K. **That ‘Internet of Things’ Thing**. Disponível em: <<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

AUTOCOREROBOTICA. **Auto Core Robótica - Loja Virtual**. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CAGECE. **Relatório Mensal de Qualidade da Água - Outubro de 2019**. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/RelatorioQualidadeAgua/2019/10-outubro/10-Fortaleza-Relatório-CQ-para-Consumidor-OUTUBRO-2019.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2019a.

CAGECE. **Especificações Técnicas - Hidrômetro padrão**. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <<https://ww2.cagece.com.br/component/phocadownload/category/17-manual-de-procedimentos-comerciais?download=117:especificacoes-tecnicas-simplificadas-do-hidrometro-padrao-cagece>>. Acesso em: 13 nov. 2019b.

CERP-IOT. Internet of Things Authentication: A Blockchain solution using SRAM Physical Unclonable Functions. **Guardtime**, p. 1–50, 2009.

CHRISTIAN, F.; MATTERN, F. “From the Internet of Computers to the Internet of Things” in From Active Data Management to Event-Based Systems and More. In: **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**. [s.l.: s.n.].

CPQD. **Do M2M a uma rede global de objetos inteligentes**. Disponível em: <<https://www.cpqd.com.br/webinar/webinar-iot-do-m2m-a-uma-rede-global-de-objetos-inteligentes/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

DEVORE, J. L. **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**. 8th. ed. Boston: [s.n.].

DORNELAS, E.; CAMPELLO, S. Monitoramento de consumo doméstico de água utilizando uma meta-plataforma de IoT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 2, p. 136–147, 2017.

ESPRESSIF. **ESP32 Series - Datasheet**. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

FACCIONI FILHO, M. **Internet das coisas: livro digital**. 1. ed. Palhoça: UnisulVirtual, 2016. v. 1

GARTNER. Gartner Says Worldwide Wearable Device Sales to Grow 26 Percent in 2019. **Gartner**, 2018a.

GARTNER. **Hype Cycle de Tecnologias Emergentes em 2018**. Disponível em: <https://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2018/08/PR_490866_5_Trends_in_the_Emerging_Tech_Hype_Cycle_2018_Hype_Cycle.png>. Acesso em: 14 nov. 2019b.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará**. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/PLANO-DE-ACOES-ESTRATEGICAS-DE-RECURSOS-HIDRICOS-CE_2018.pdf>.

HARWOOD, T. **IoT Overview Handbook**. Disponível em: <<https://www.postscapes.com/iot/>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

HIDROMETER. **Hidrômetro Multijato MJ H padrão ABNT NBR 8194**. Disponível em: <<https://www.hidrometer.com.br/multijato-relojoaria-inclinada>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

HOBBYIST. **How to use Flow meter with Arduino - Flow Meter Working Principle**. Disponível em: <<https://www.hobbyist.co.nz/?q=arduino-with-YF-S201-flow-meter>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

HOBBYTRONICS. **Medidor / Sensor de fluxo de água com efeito Hall YF-S201**. Disponível em: <<http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter>>.

HÖLLER, J. et al. M2M to IoT – An Architectural Overview. In: PRESS, A. (Ed.). **From Machine-To-Machine to the Internet of Things**. 1. ed. Oxford: [s.n.]. p. 61–77.

IBGE/BRASIL. **Censo 2010 - Atlas Demográfico**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

JEWETT, JOHN W., SERWAY, R. A. **Physics for Scientists and Engineers**. 9th. ed. Boston: Brooks/Cole, 2014.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet**. 5. ed.

STAMFORD, Conn.: Adisson Wesley, 2013.

LU, W. et al. Wearable computing for internet of things: A discriminant approach for human activity recognition. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 2, p. 2749–2759, 2019.

LUCIANI, C. et al. From Water Consumption Smart Metering to Leakage Characterization at District and User Level: The GST4Water Project. **Proceedings**, v. 2, n. 11, p. 675, 2018.

MEURER, F. **Concepção e Análise de Dispositivos Aplicados à Internet das Coisas**. [s.l.] UFSC, 2015.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO / BRASIL. **Manual de Educação para o Consumo sustentável**. Brasília: [s.n.].

MORAES, A. F. DE. **Redes sem fio: instalação, configuração e segurança: fundamentos**. 8^o Edição ed. São Paulo: Érica, 2010.

OASIS. **mqtt-v5.0-os Specification URIs**. Disponível em: <<https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>>.

OGATA, K. **Modern Control Engineering**. 5th. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011.

OLIVEIRA, S. DE. **Internet das Coisas com Esp8266, Arduino e Raspberry Pi**. 1^a ed. São Paulo: Novatec, 2017.

OLIVEIRA NETO, I. R. **Síntese de requisitos de segurança para internet das coisas baseada em modelos em tempo de execução**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2015.

POPLI, S.; JHA, R. K.; JAIN, S. A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NBloT): Architecture , Application and Challenges. **IEEE Access**, v. 7, p. 16739–16776, 2020.

PORTO, R. DE M. **Hidráulica Básica**. 4^a Edição ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Desenvolvimento Humano, por Bairro, em Fortaleza**. Fortaleza: [s.n.]. Disponível em: <<https://pt.calameo.com/read/0032553521353dc27b3d9>>.

RAY, A.; GOSWAMI, S. IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. **2020 International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control, PARC 2020**, p. 308–313, 2020.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**., p. 50, 2016.

SILVA, L. J. **Internet das Coisas**. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/3940>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SMAR TECHNOLOGY COMPANY. **Sensor Hall - A tecnologia dos Posicionadores Inteligentes de última geração**. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sensor-hall-a-tecnologia-dos-posicionadores-inteligentes-de-ultima-geracao>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

TORRES, L. A. B. **Medição de Velocidade Angular. Girômetros. Sensor de Efeito Hall. Medição de Força. Células de Carga. Medição de Torque/Conjugado**. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~torres/wp-content/uploads/2018/02/sensores_parte_3.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

TOZLU, S. et al. Wi-Fi enabled sensors for internet of things: A practical approach. **IEEE Communications Magazine**, v. 50, n. 6, p. 134–143, 2012.

TWC. **Clima Mensal - Fortaleza, Ceará**. Disponível em: <<https://weather.com/pt-BR/clima/mensal/l/412369665d8f477dfedca849cb6a5d80f177b54851726927a3c714980578d0e4>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

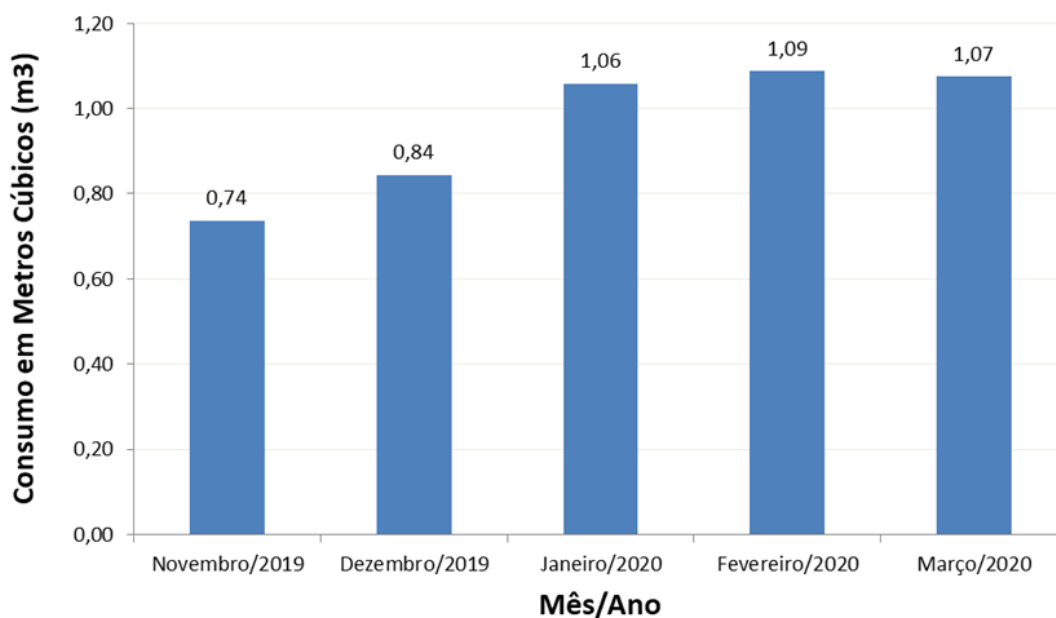
UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4). 2012.

VASSEUR, J.-P.; DUNKELS, A. **Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet**. Burlington: Elsevier, 2010.

APÊNDICE A – SENSOR 2 – WC SUÍTE – VASO SANITÁRIO

Representando 19,22% do consumo total de água monitorado, o sensor do vaso sanitário do WC da suíte ficou em terceiro lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 85.

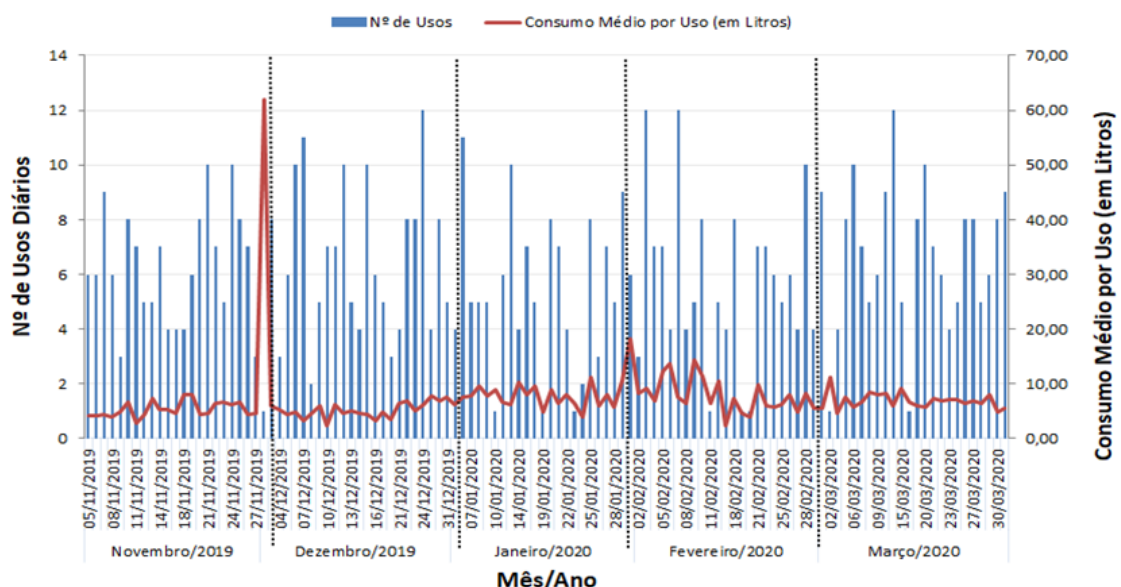
Figura 85 - Consumo Mensal em m3 – Vaso Sanitário – WC Suíte.



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 86 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 6,1 usos por dia, com um consumo médio geral de 6,8 litros por uso. A média geral de usos foi de 2 usos por usuário por dia.

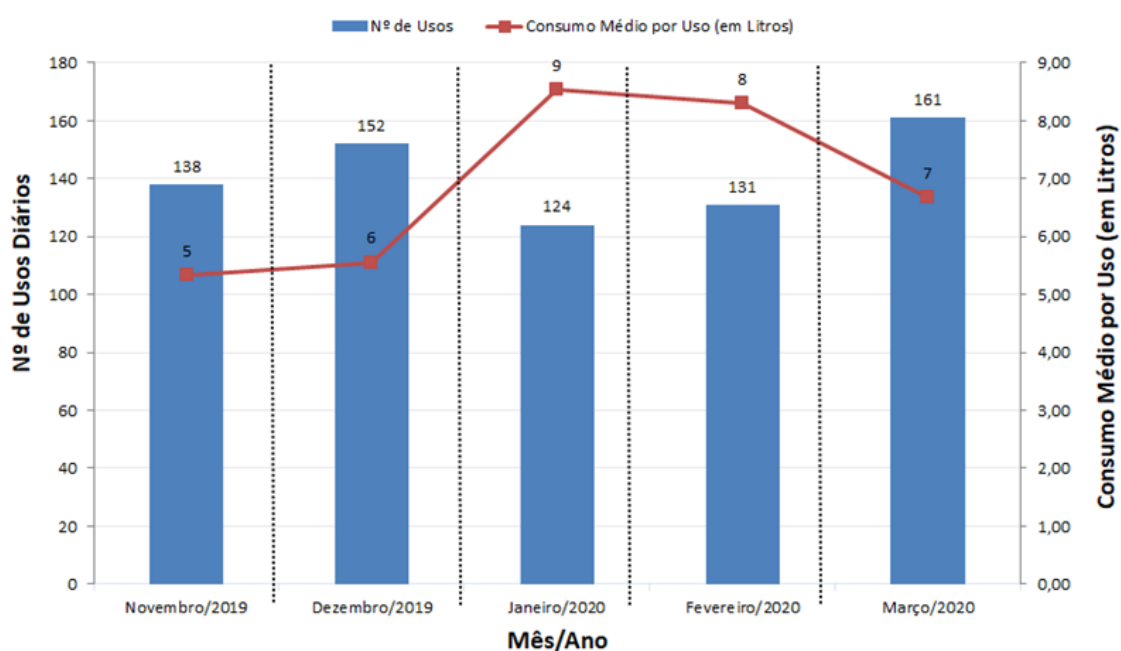
Figura 86 - Vaso Sanitário WC Suíte – Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 87 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

Figura 87 - Vaso Sanitário WC Suíte – Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).

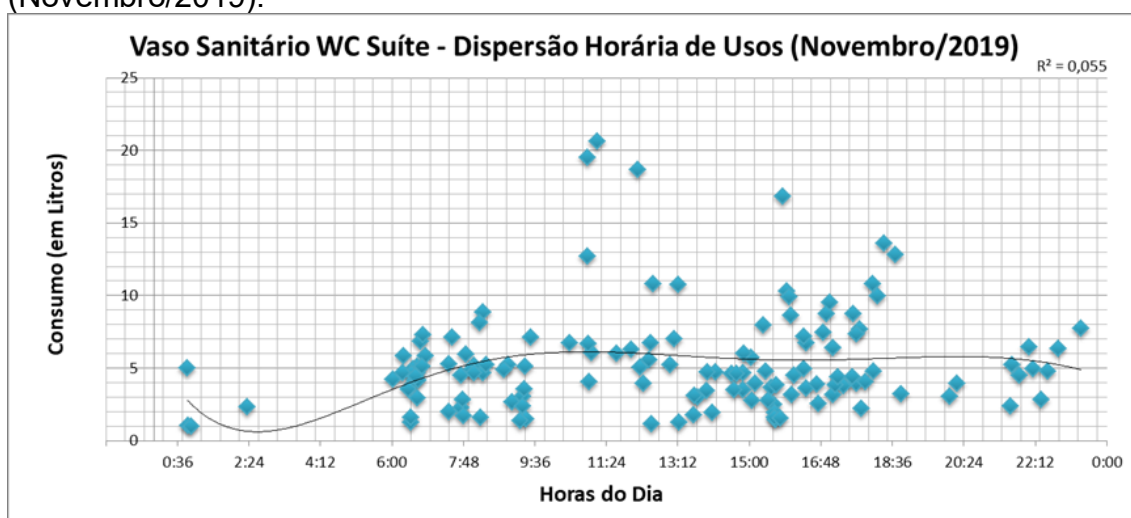


Fonte: Autor.

Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos

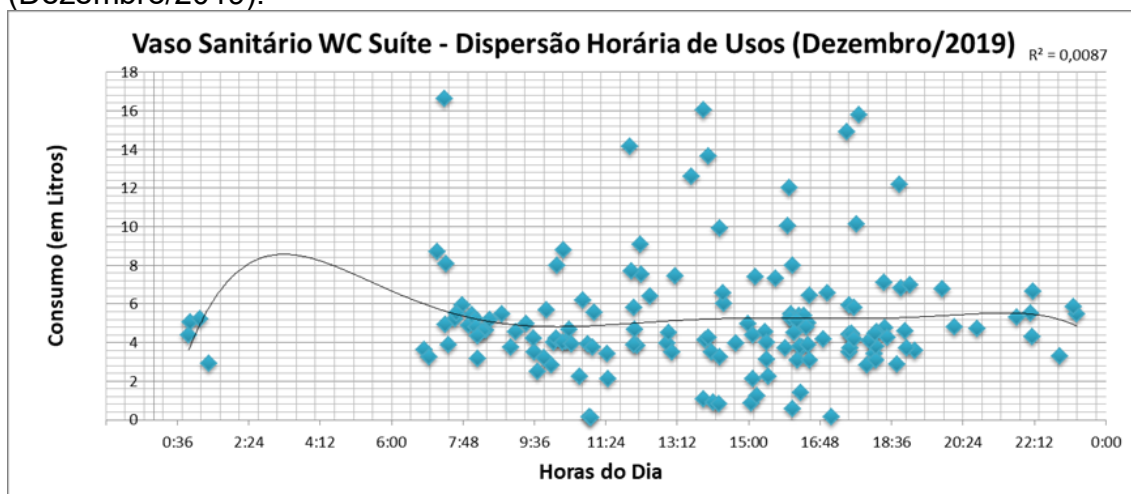
gráficos das Figuras 88, 89, 90, 91 e 92 referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020. A partir destes gráficos, podemos observar uma concentração maior de usos a partir do horário de 6 horas da manhã nos meses que pertencem ao calendário escolar do morador infantil da residência monitorada (novembro, janeiro, fevereiro e março). O mês de dezembro, por ser um mês de férias, possui um comportamento mais disperso em relação aos horários de uso. Um destaque especial deve ser dado ao mês de março de 2020, que a partir do dia 17 sofreu uma alteração de comportamento de usos devido ao início do confinamento residencial devido a pandemia do covid-19, o que pode ser evidenciado pela maior dispersão horária e de consumo em cada uso.

Figura 88 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



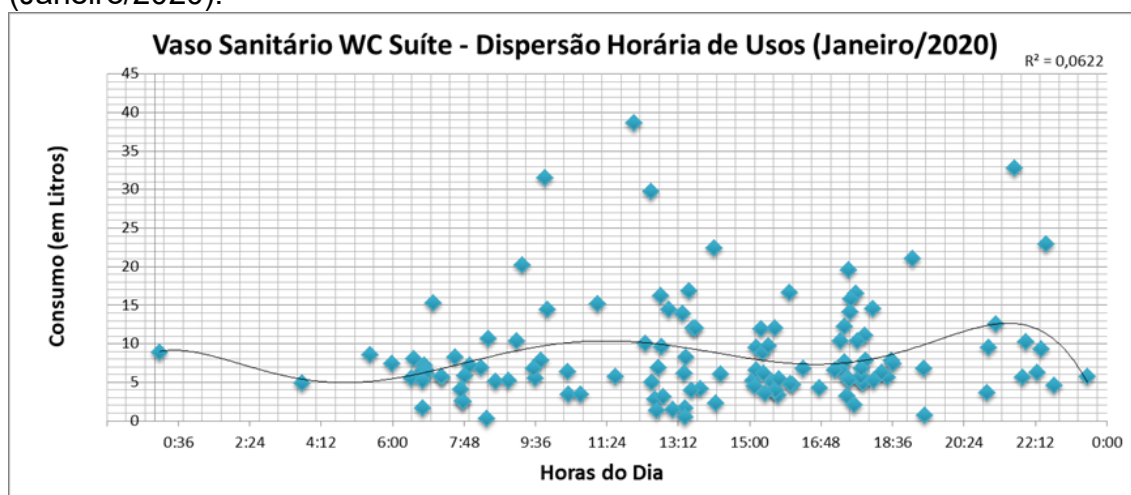
Fonte: Autor.

Figura 89 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



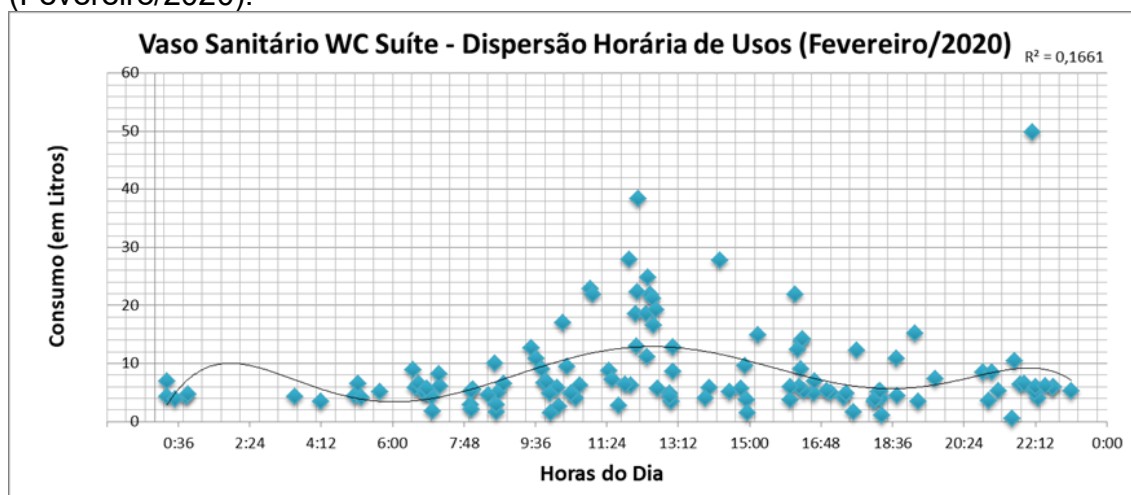
Fonte: Autor.

Figura 90 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



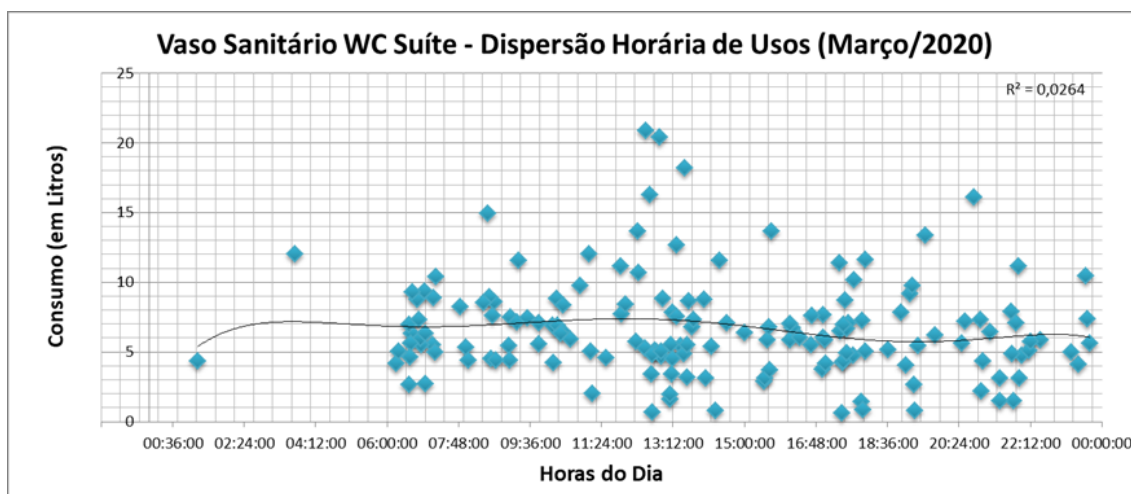
Fonte: Autor.

Figura 91 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 92 - Vaso Sanitário WC Suíte – Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

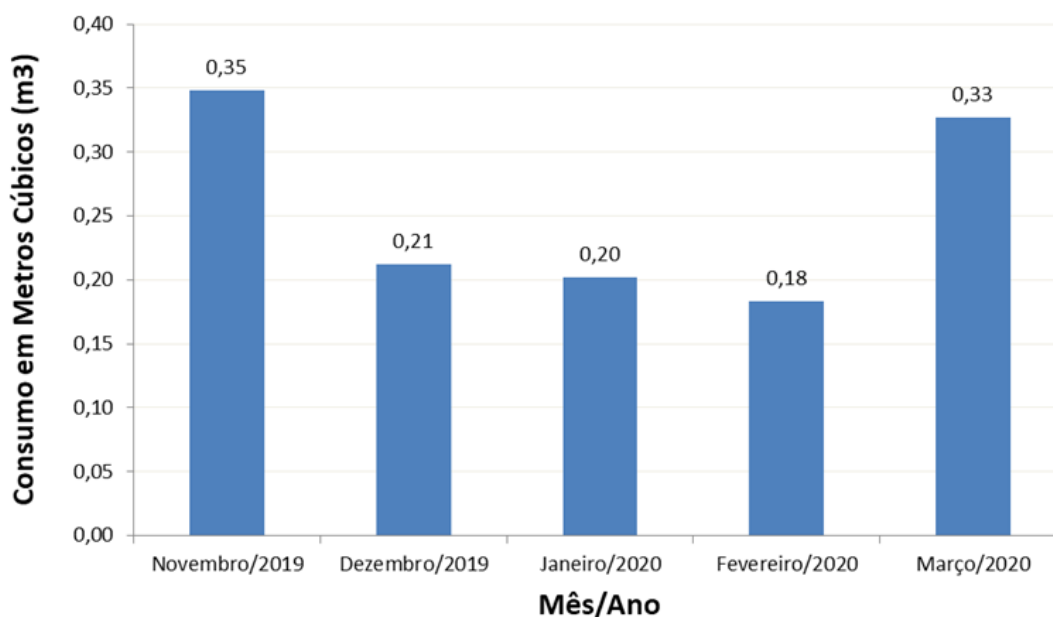


Fonte: Autor.

APÊNDICE B – SENSOR 4 – WC SOCIAL – CHUVEIRO

Representando 5,10% do consumo total de água monitorado, o sensor do chuveiro do WC social ficou em sexto lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 93.

Figura 93 - Consumo Mensal em m3 - Chuveiro - WC Social.

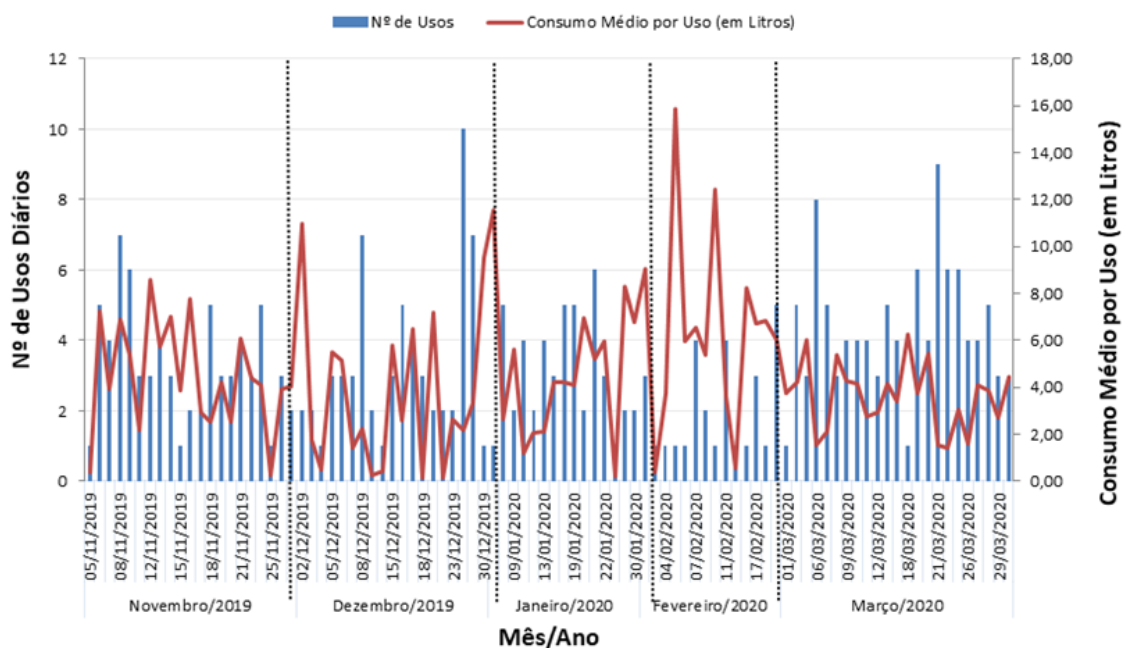


Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 94 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 3,1 usos por dia, com um

consumo médio geral de 4,1 litros por uso. A média geral de usos foi de 1,1 usos por usuário por dia.

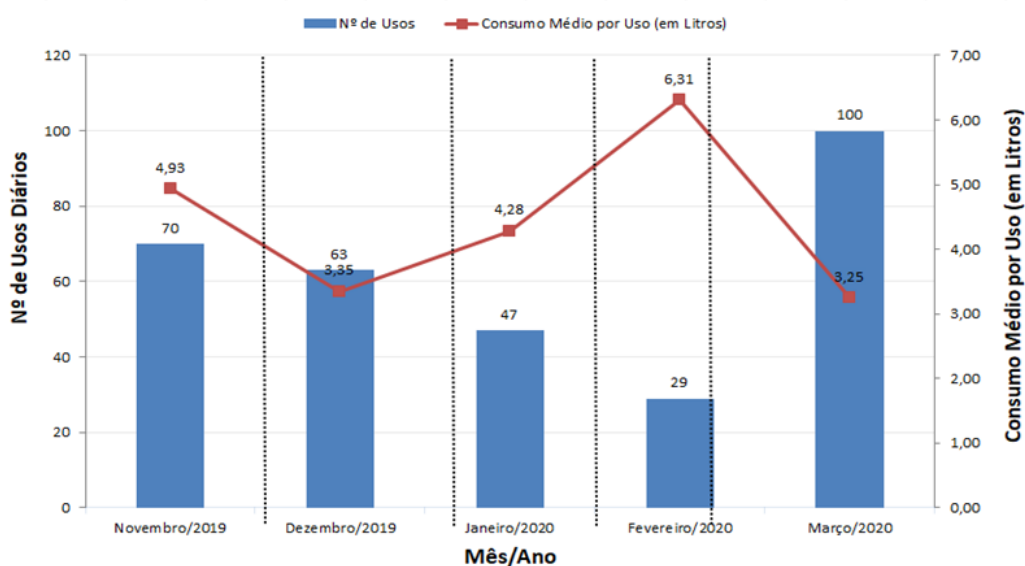
Figura 94 - Chuveiro - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 95 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

Figura 95 - Chuveiro - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).

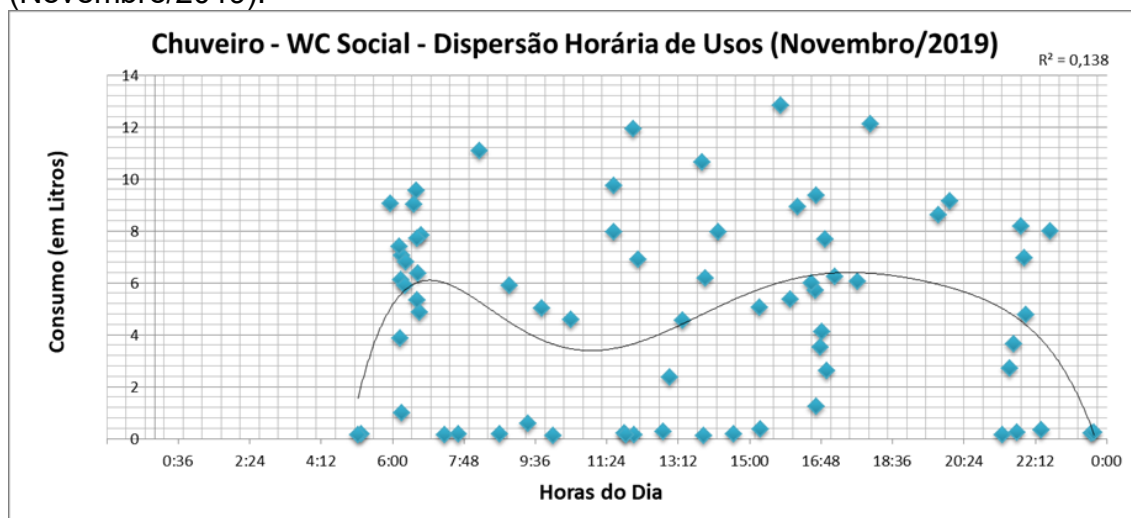


Fonte: Autor.

Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 96, 97, 98, 99 e 100, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020. A partir destes gráficos, podemos observar uma concentração maior de usos do chuveiro a partir do horário de 6 horas da manhã nos meses que pertencem ao calendário escolar do morador infantil da residência monitorada (novembro, janeiro, fevereiro e março). O mês de dezembro, por ser um mês de férias, possui um comportamento mais disperso em relação aos horários de uso. Um destaque especial deve ser dado ao mês de março de 2020, que a partir do dia 17 sofreu uma alteração de comportamento de usos devido ao início do confinamento residencial devido à pandemia do covid-19, o que pode ser evidenciado pela maior dispersão horária e de consumo em cada uso.

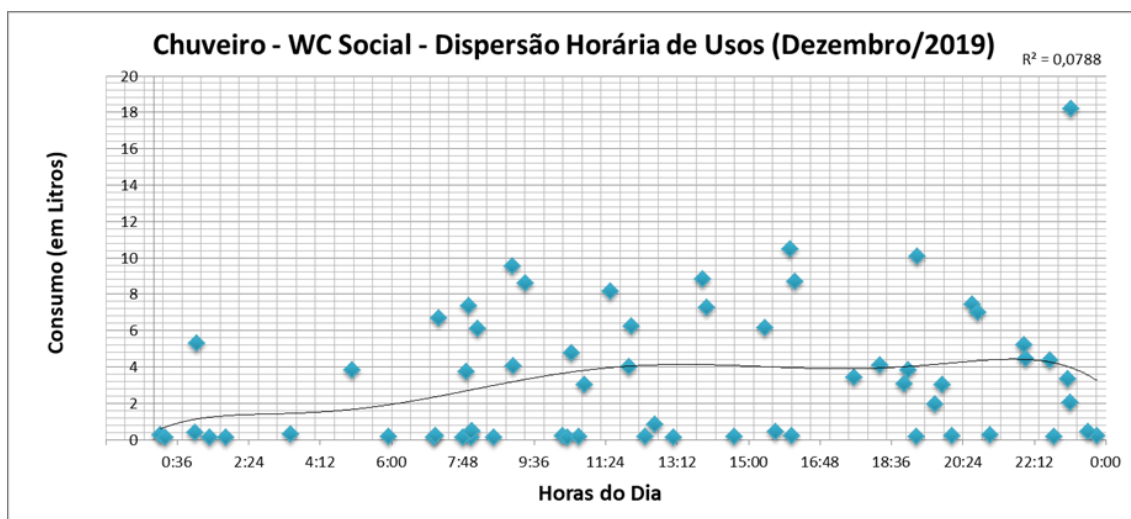
Especificamente este sensor detectou a presença de vazamentos ao longo dos cinco meses de coleta de dados, representados pelos usos menores que 1 litro e em todos os horários do dia, o que motivou o conserto do chuveiro e sua respectiva torneira no mês de abril.

Figura 96 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



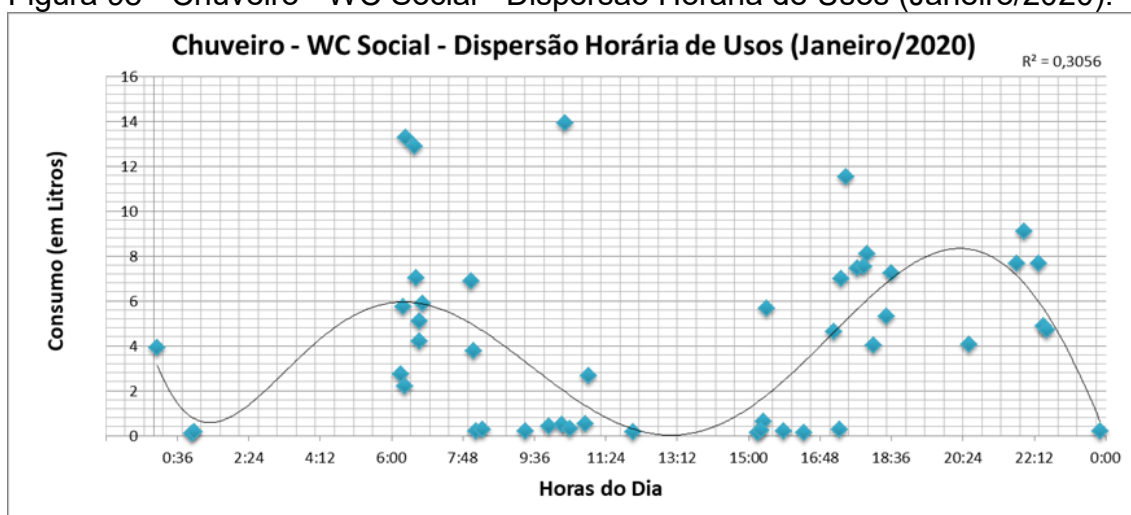
Fonte: Autor.

Figura 97 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



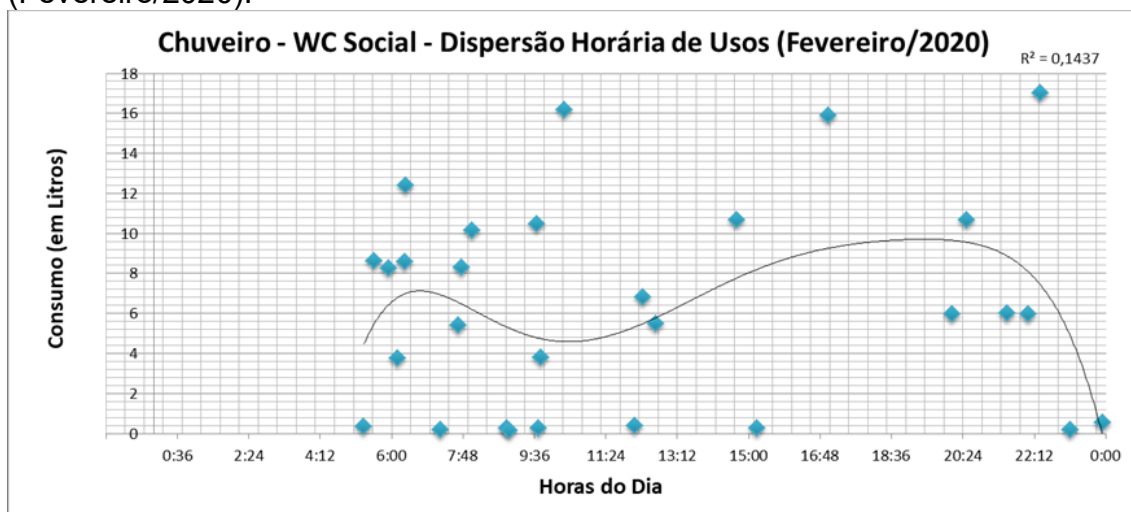
Fonte: Autor.

Figura 98 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



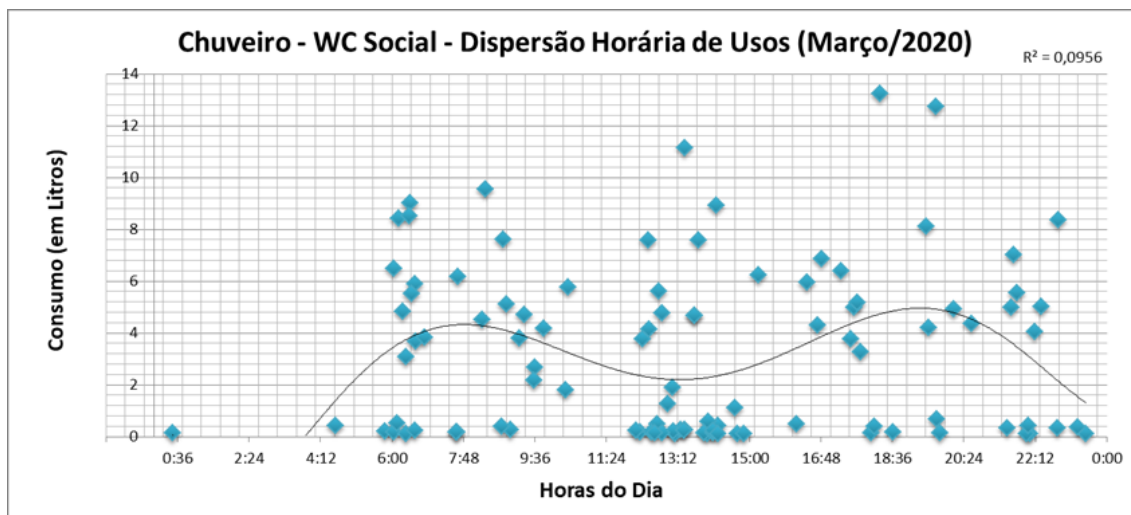
Fonte: Autor.

Figura 99 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 100 - Chuveiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

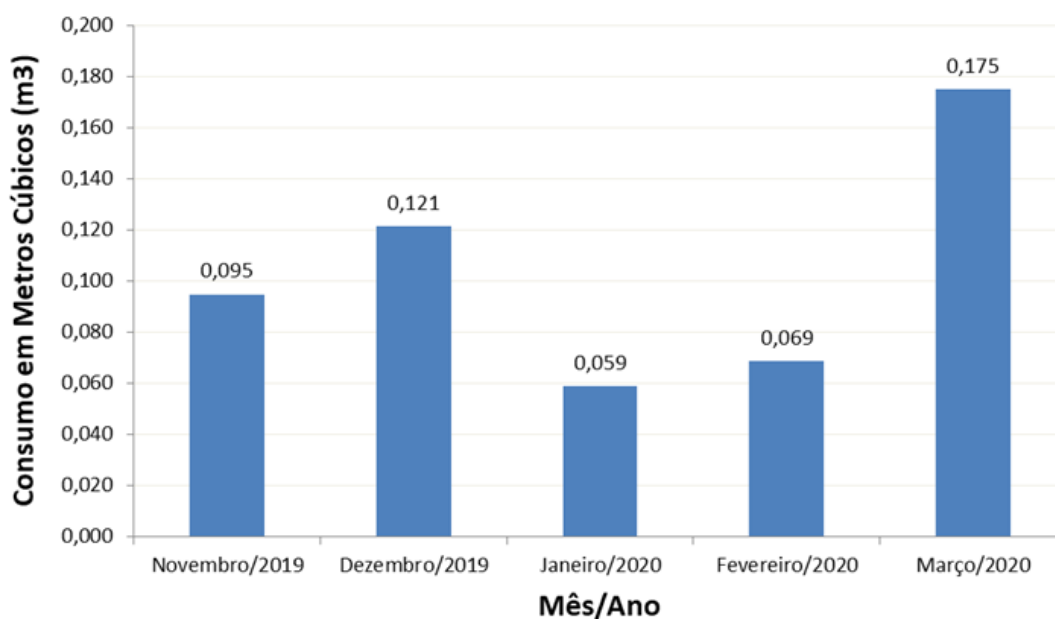


Fonte: Autor.

APÊNDICE C – SENSOR 6 – WC SOCIAL – PIA DO BANHEIRO

Representando 2,07% do consumo total de água monitorado, o sensor da pia do banheiro do WC social ficou em nono (último) lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 101.

Figura 101 - Consumo Mensal em m3 - Pia do Banheiro - WC Social.

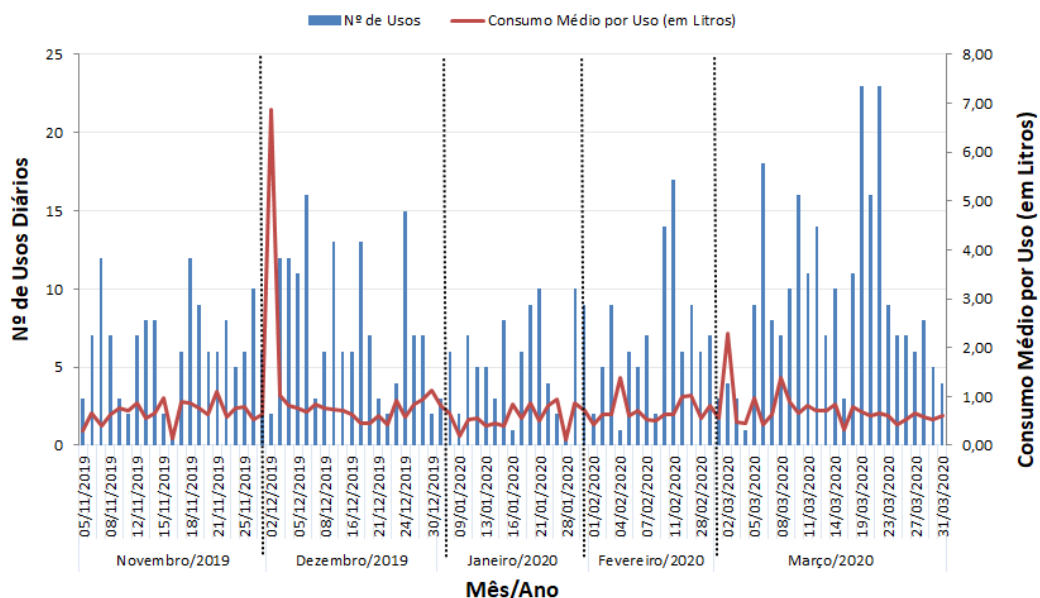


Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 102 nos mostra essa visão evolutiva

no tempo, onde tivemos uma média geral de 7,1 usos por dia, com um consumo médio geral de 0,7 litros por uso. A média geral de usos foi de 2 usos por usuário por dia.

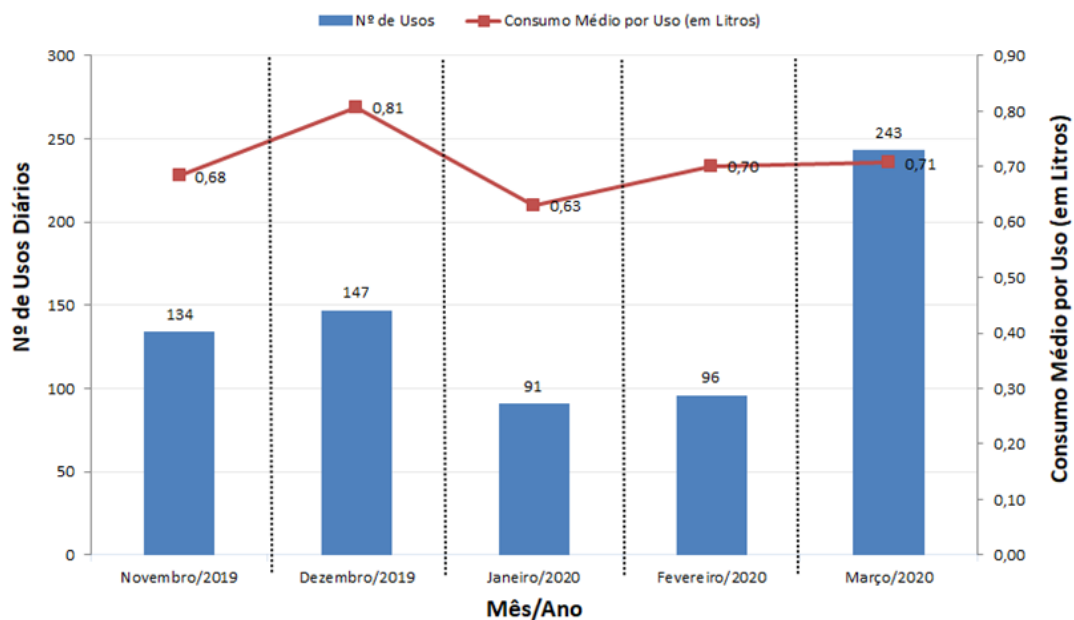
Figura 102 - Pia do Banheiro - WC Social - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 103 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento de usos em março, motivado pelo início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

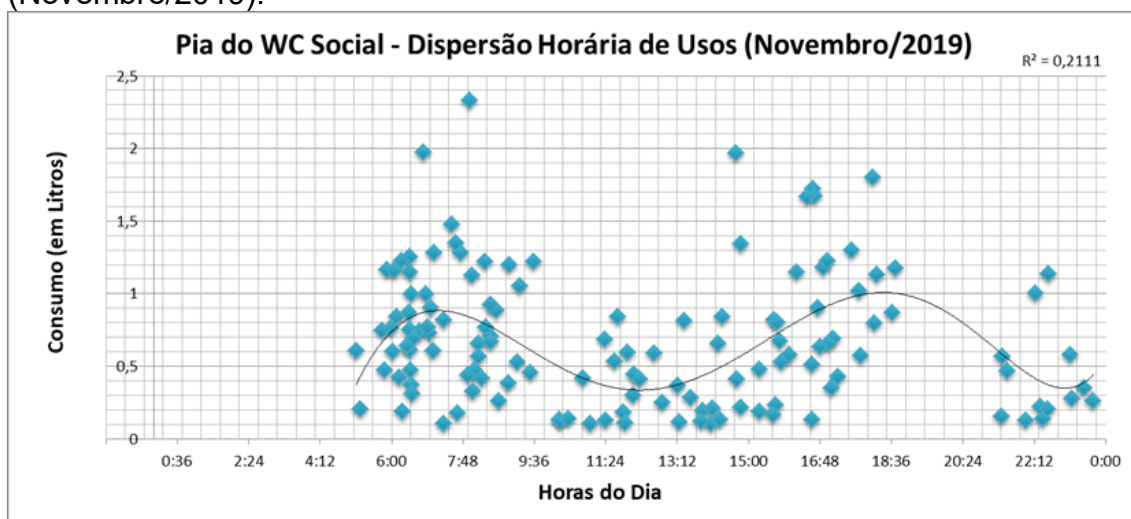
Figura 103 - Pia do Banheiro - WC Social - Consolidado Mensal de Usos e Consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

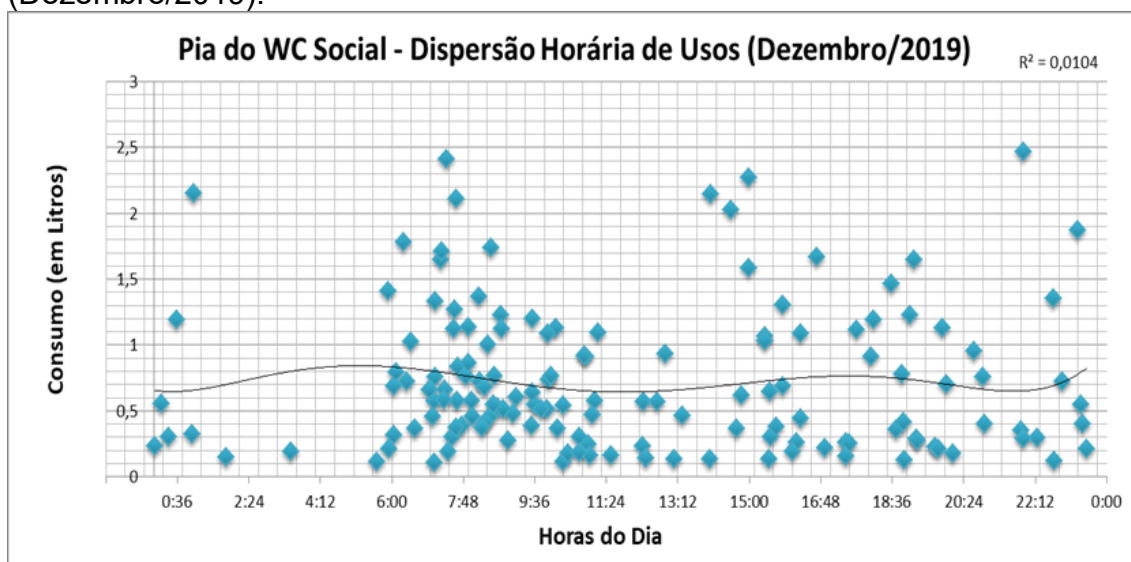
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 104, 105, 106, 107 e 108, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020. Uma particularidade dos usos na pia do banheiro é exatamente a multiplicidade de usos diferentes, a saber - lavar as mãos (até 1 litro), escovar os dentes (até 2 litros) e barbear (até 7,6 litros), o que torna essas amostras visivelmente mais dispersivas em relação ao consumo individual de cada uma delas.

Figura 104 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



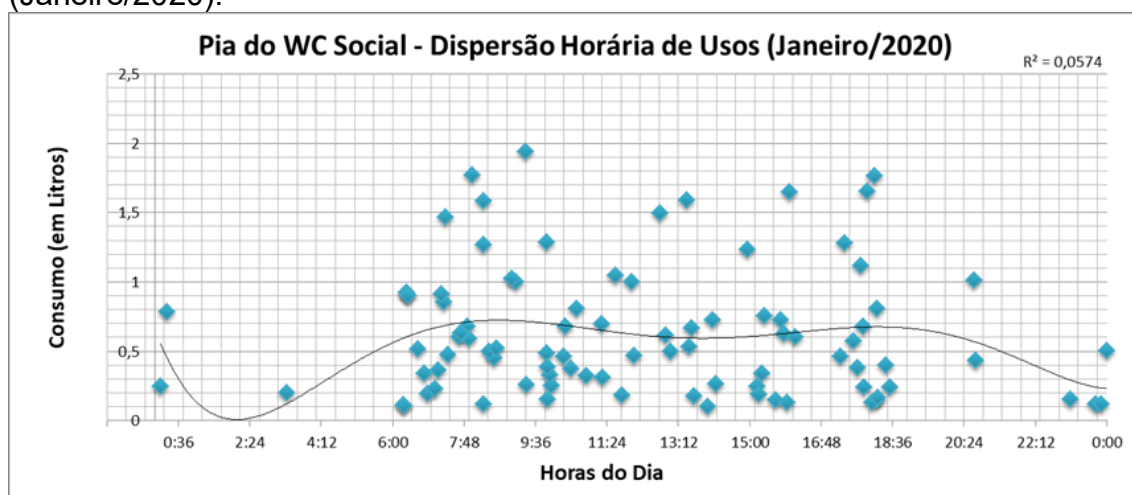
Fonte: Autor.

Figura 105 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



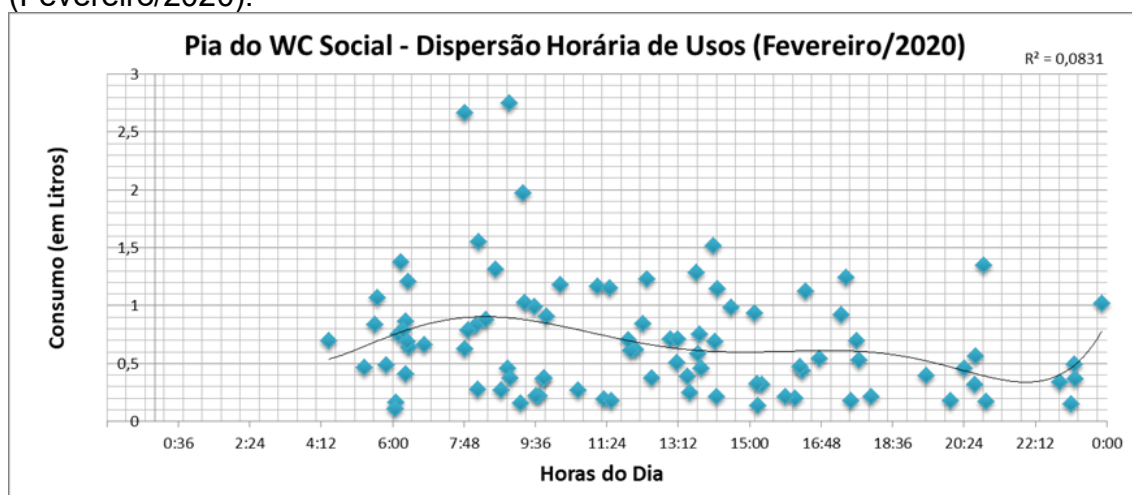
Fonte: Autor.

Figura 106 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



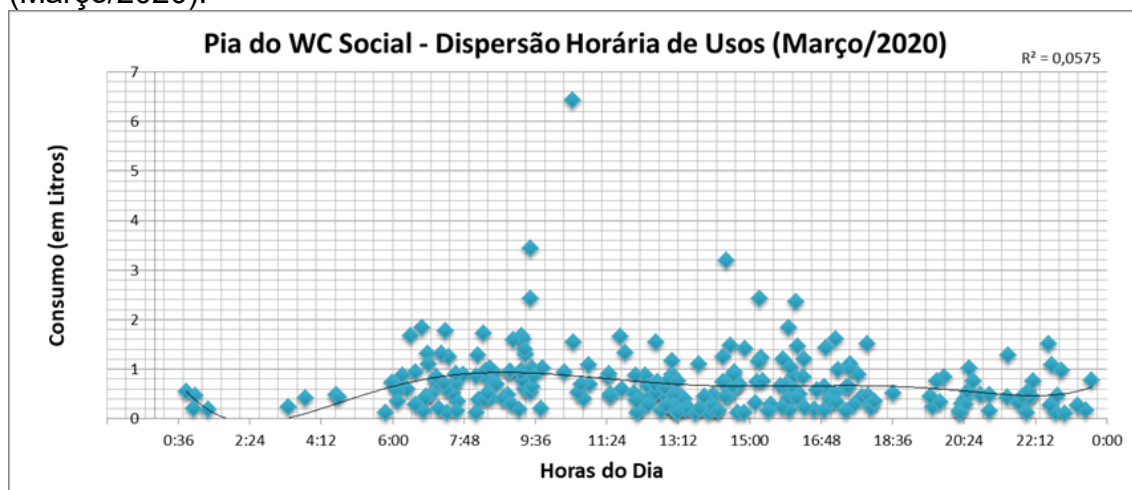
Fonte: Autor.

Figura 107 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 108 - Pia do Banheiro - WC Social - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

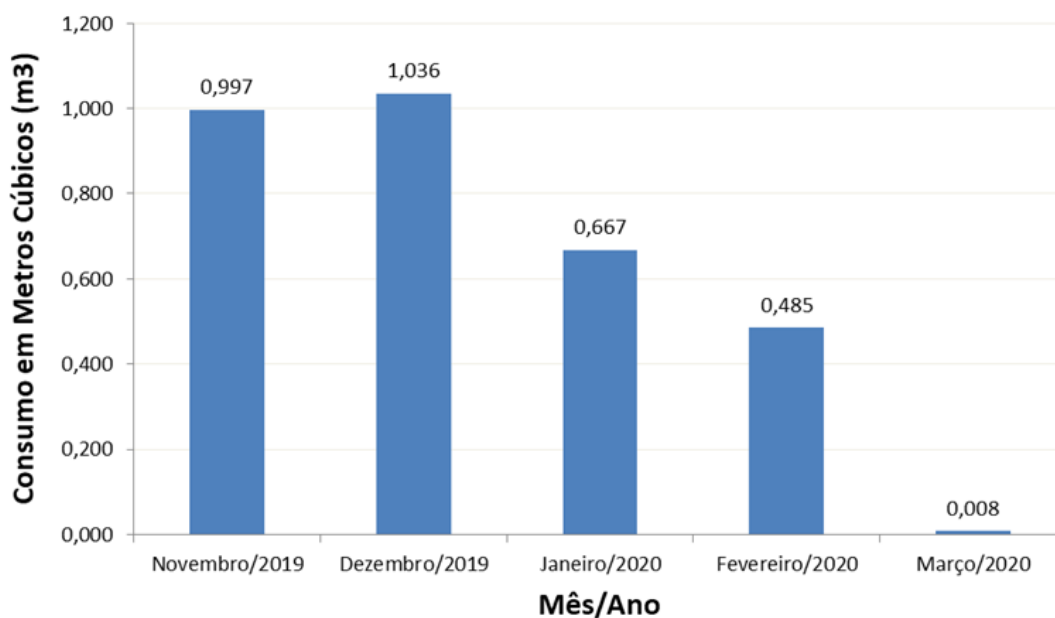


Fonte: Autor.

APÊNDICE D – SENSOR 8 – ÁREA DE SERVIÇO – PIA DE LAVAR ROUPA

Representando 12,79% do consumo total de água monitorado, o sensor da pia de lavar roupas da área de serviço ficou em quarto lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 109.

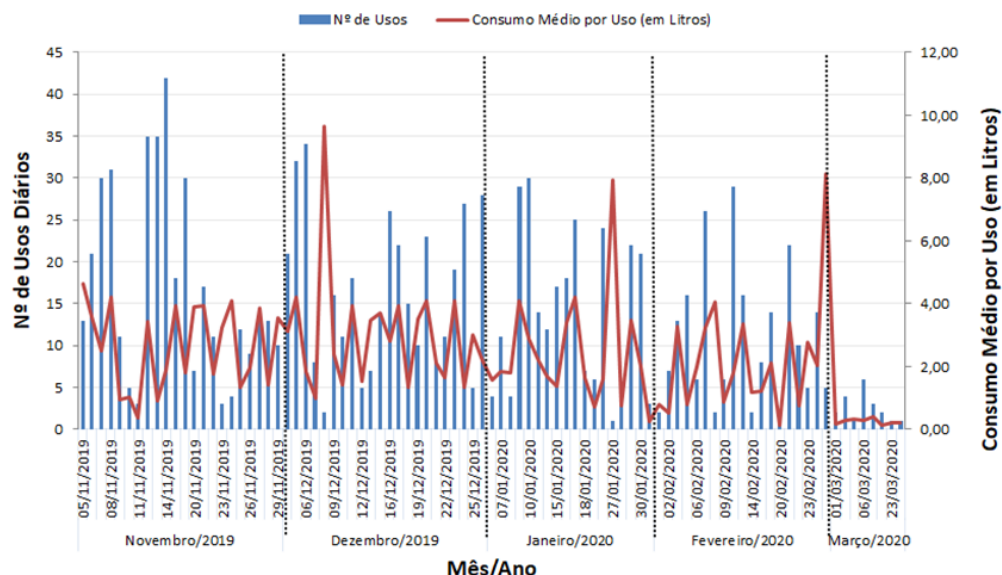
Figura 109 - Consumo Mensal em m3 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço.



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 110 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos uma média geral de 12,1 usos por dia, com um consumo médio geral de 2,6 litros por uso.

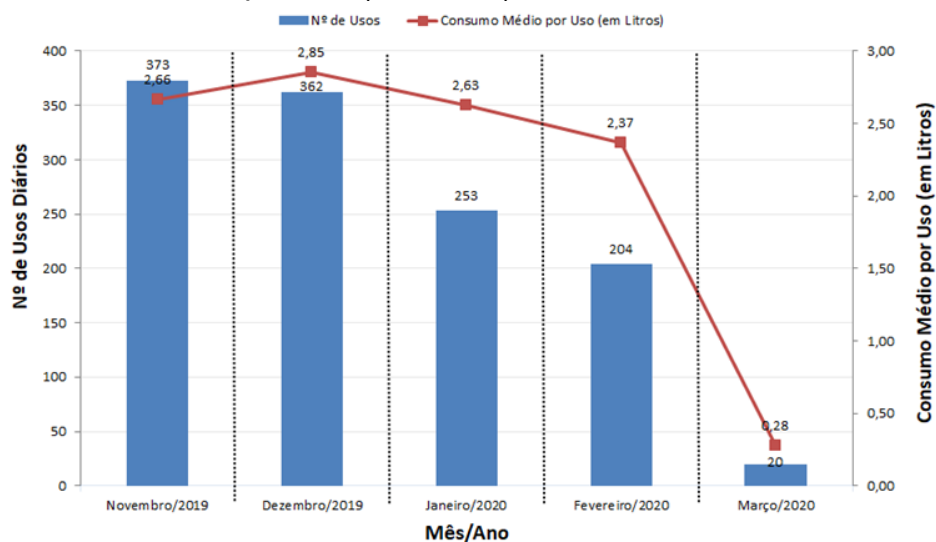
Figura 110 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

A Figura 111 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para a redução gradual de usos em janeiro, fevereiro e março, motivado principalmente pelo início da quadra chuvosa na cidade da residência monitorada, migrando a lavagem de roupas para a máquina de lavar (sensor 9), já que a pia de lavar roupas fica no quintal e exposta a céu aberto, além do início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020, devido à pandemia de covid-19.

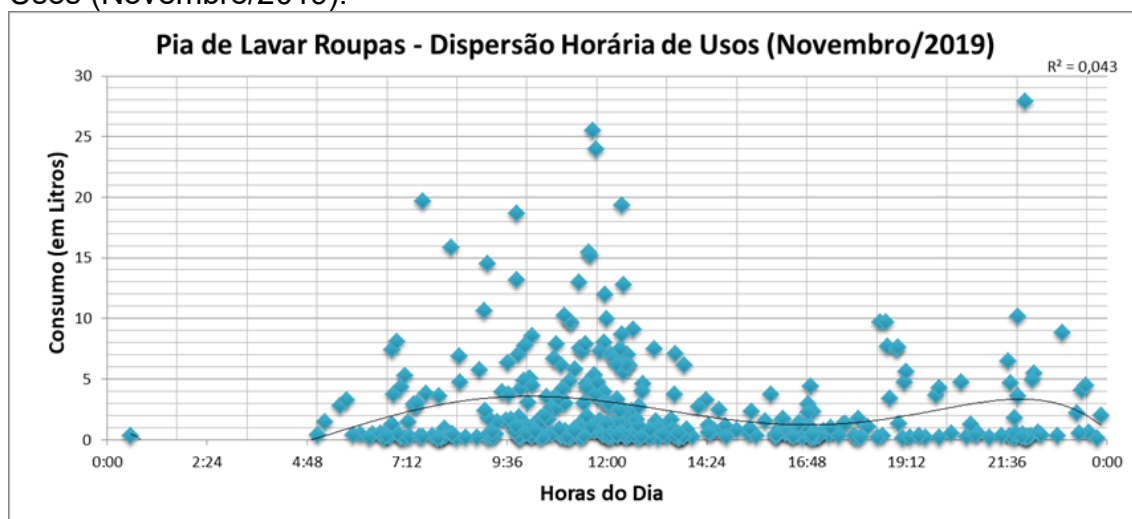
Figura 111 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

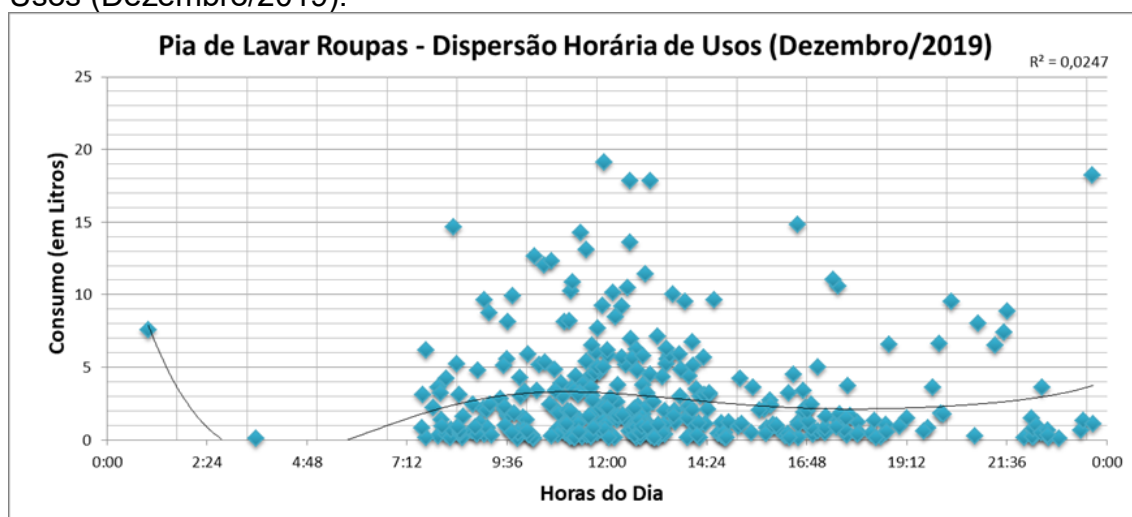
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 112, 113, 114, 115 e 116, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020.

Figura 112 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



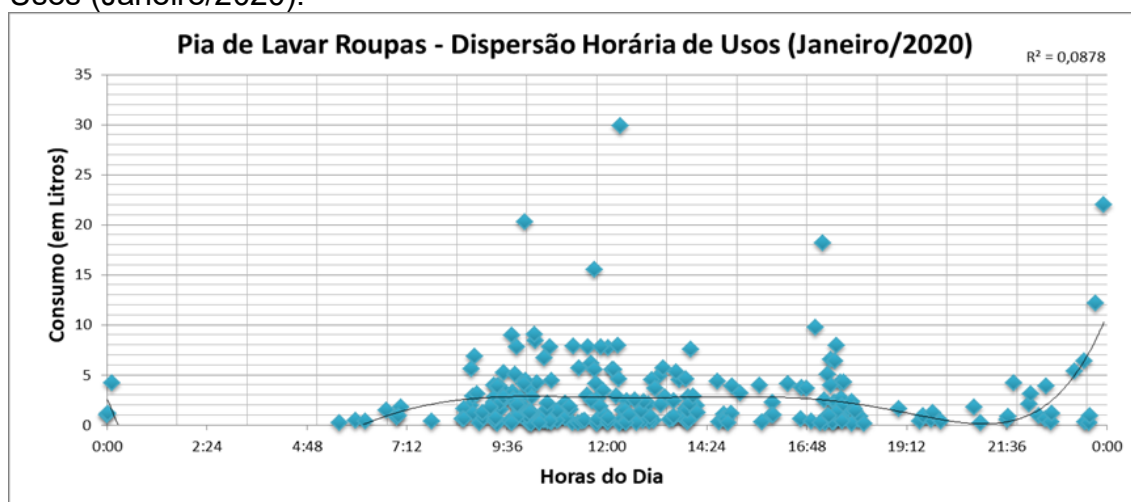
Fonte: Autor.

Figura 113 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



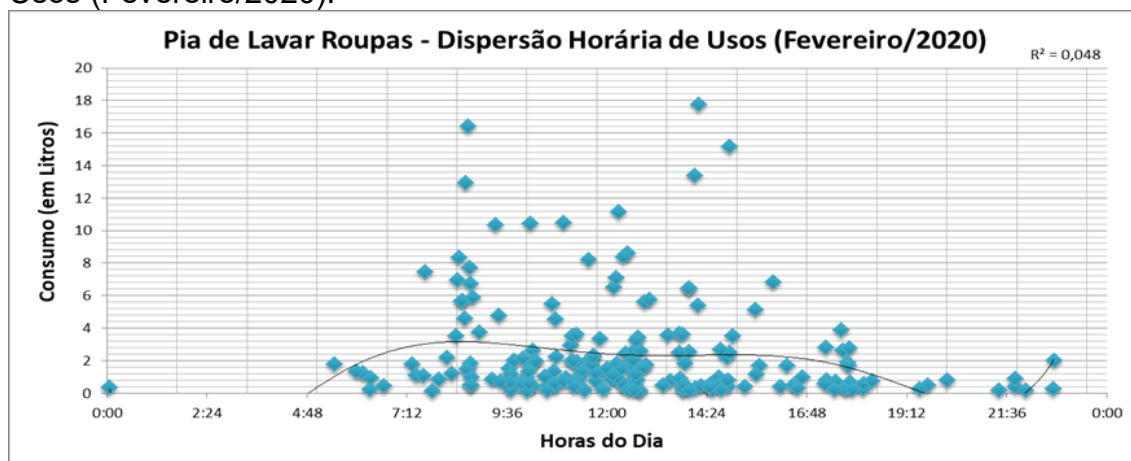
Fonte: Autor.

Figura 114 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



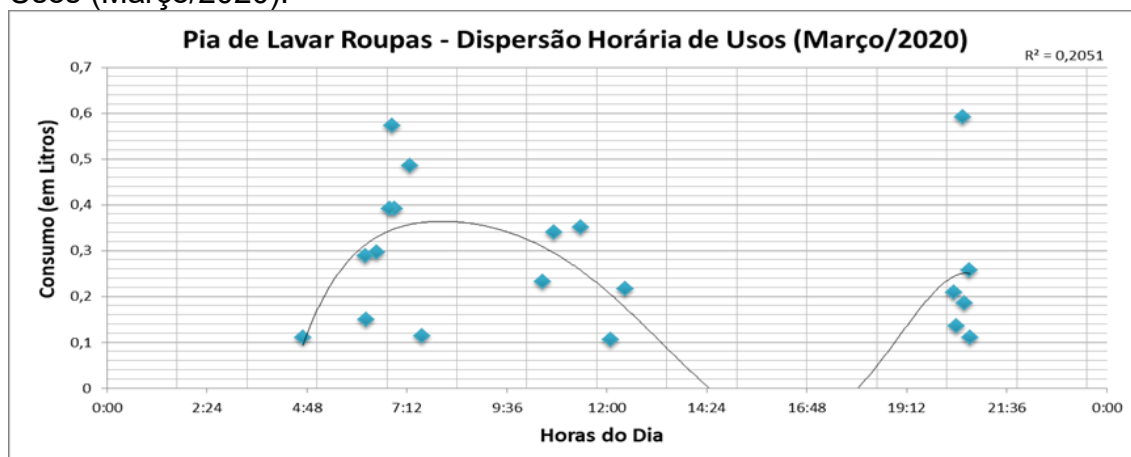
Fonte: Autor.

Figura 115 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 116 - Pia de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).

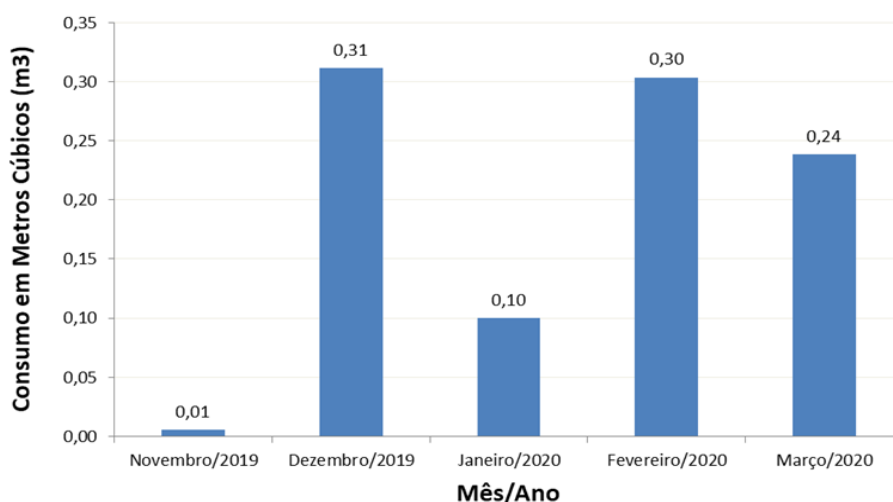


Fonte: Autor.

APÊNDICE E – SENSOR 9 – ÁREA DE SERVIÇO – MÁQUINA DE LAVAR

Representando 3,84% do consumo total de água monitorado, o sensor da máquina de lavar roupas da área de serviço ficou em sétimo lugar no ranking dos consumidores, cujo consumo mensal em metros cúbicos pode ser visto no gráfico da Figura 117.

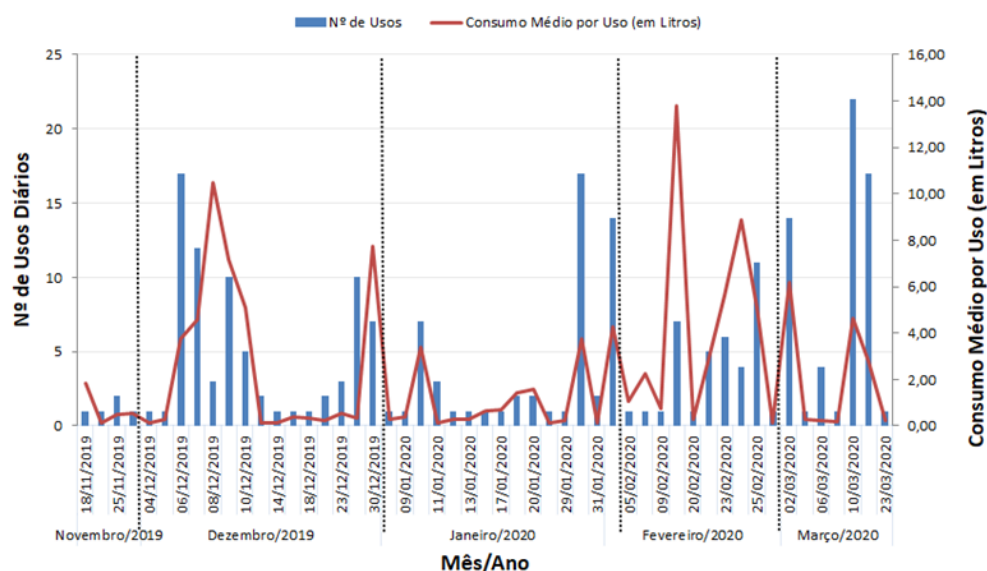
Figura 117 - Consumo Mensal em m³ - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço.



Fonte: Autor.

Considerando a frequência diária de usos bem como a média de consumo em Litros de cada uso, A Figura 118 nos mostra essa visão evolutiva no tempo, onde tivemos um consumo médio geral de 4,1 litros por uso.

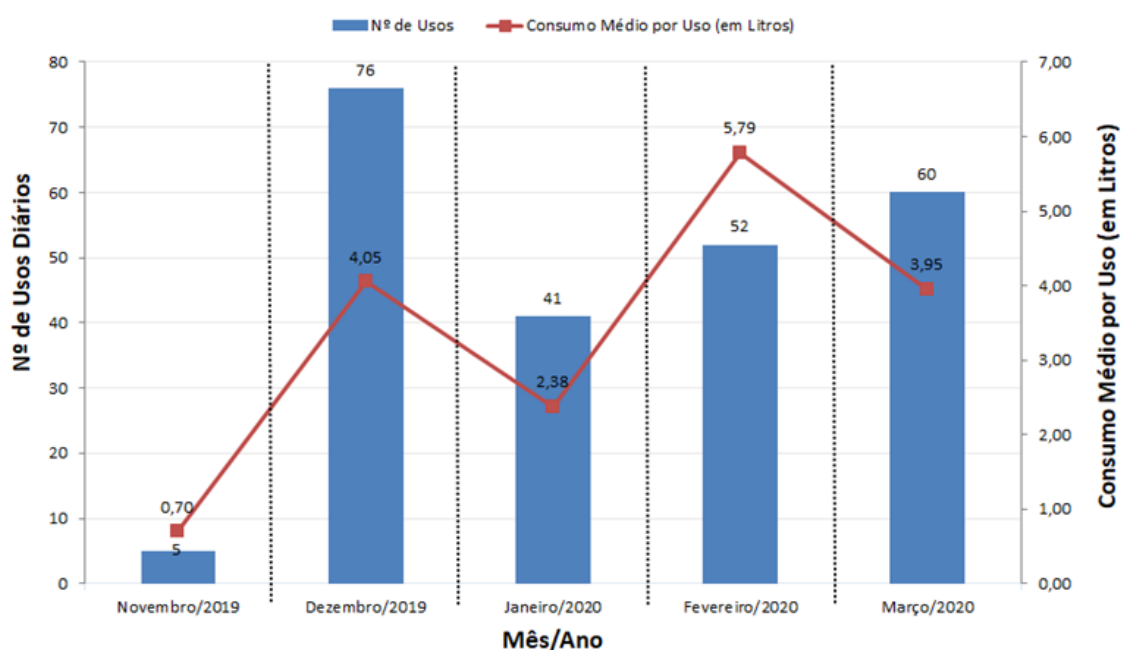
Figura 118 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros)



Fonte: Autor.

A Figura 119 foi apresentada uma visão consolidada por mês do número de usos e da média de consumo por uso (em litros). Destaque para o aumento gradual de usos em janeiro, fevereiro e março, motivado principalmente pelo início da quadra chuvosa na cidade da residência monitorada, migrando a lavagem de roupas para a máquina de lavar (sensor 9), já que a pia de lavar roupas fica no quintal e exposta a céu aberto, além do início do confinamento familiar na residência monitorada, a partir de 17 de março de 2020.

Figura 119 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Frequência diária de Usos e consumo médio por uso (em Litros).



Fonte: Autor.

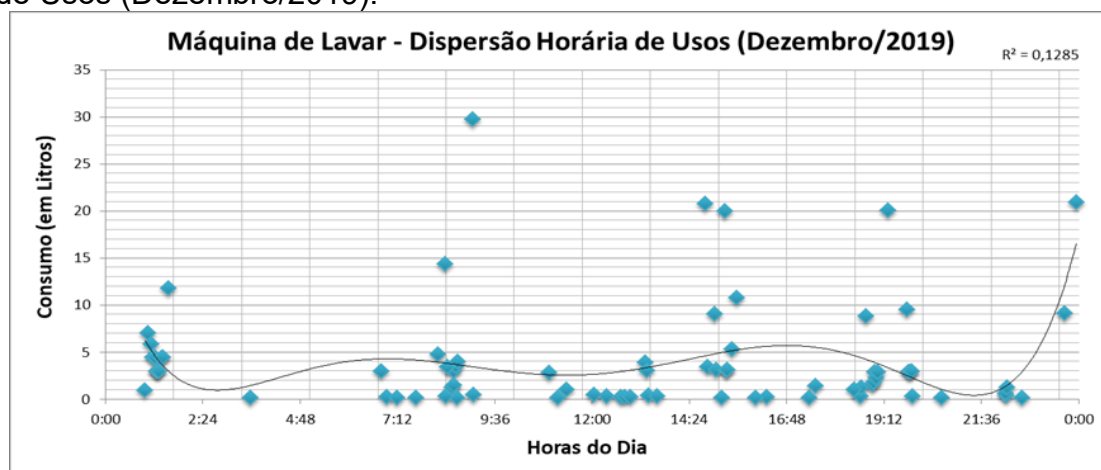
Analisando a dispersão horária dos usos, foi notado um comportamento diferente dependendo do mês observado, conforme mostrado a seguir nos gráficos das Figuras 120, 121, 122, 123 e 124, referente aos meses de novembro de 2019 a março de 2020.

Figura 120 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Novembro/2019).



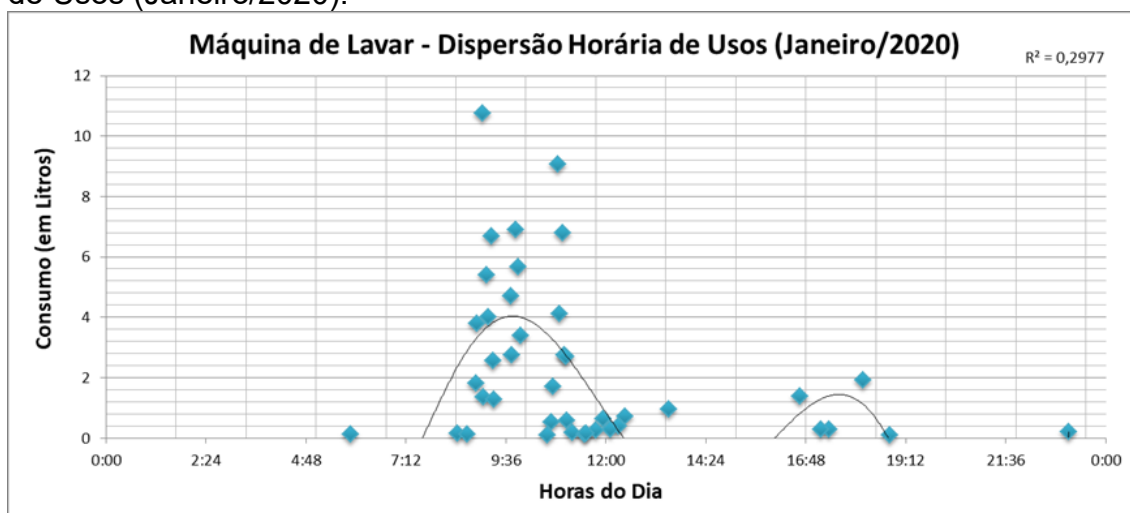
Fonte: Autor.

Figura 121 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Dezembro/2019).



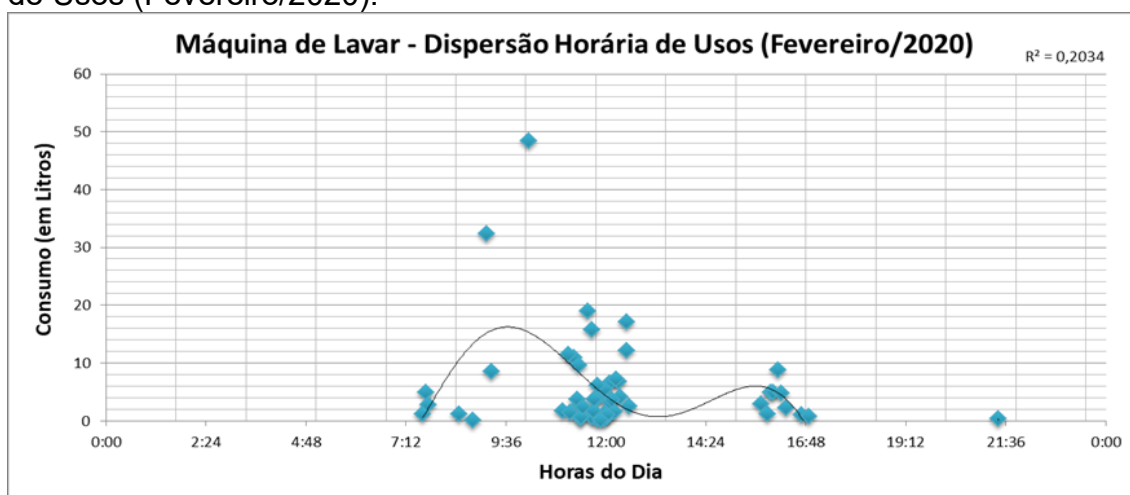
Fonte: Autor.

Figura 122 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Janeiro/2020).



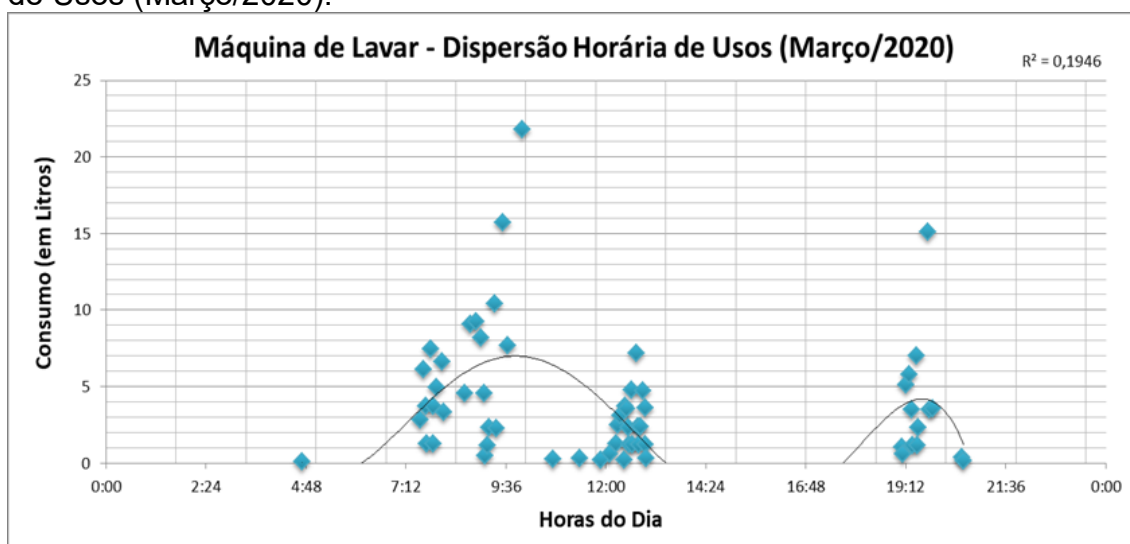
Fonte: Autor.

Figura 123 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Fevereiro/2020).



Fonte: Autor.

Figura 124 - Máquina de Lavar Roupas - Área de Serviço - Dispersão Horária de Usos (Março/2020).



Fonte: Autor.