

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

Gabriel Henriques Pontes

Iago Mateus Rodrigues

Lucas de Oliveira

Lucas Moreto Nery

ESTAÇÃO DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE
DRENAGENS PLUVIAIS

São Paulo

2021

Gabriel Henriques Pontes

Iago Mateus Rodrigues

Lucas de Oliveira

Lucas Moreto Nery

ESTAÇÃO DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE DRENAGENS PLUVIAIS

Monografia apresentada à
Universidade São Judas Tadeu,
como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro
em Controle e Automação.

Orientador: Dr. Carlos López
Noriega

São Paulo

2021

DEDICATÓRIA

*Dedicamos este trabalho a todos os
nossos familiares e amigos que
sempre nos apoiaram e
acreditaram em cada um de nós.*

RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso tem como foco principal estudar, na cidade de São Paulo, os alagamentos, as enchentes e as enxurradas, quando ocorrem longos períodos de chuva e como esta anomalia pode ser controlada, monitorada e até mesmo evitada através do uso da automação. O objetivo principal é utilizar os mais novos recursos tecnológicos para realizar o monitoramento e acompanhamento dos pontos com maiores fluxos hídricos na região, e com base nisso decidir quais rotas o fluido deve seguir até chegar no efluente final, sem que haja o transbordamento ou o sobrecarga das vias de escoamento. O controle de abertura e fechamento de válvulas é feito remotamente com base nos dados colhidos em tempo real, e com a referência preestabelecida anteriormente de acordo com a vazão máxima de cada ponto já definido pelo órgão responsável pelo saneamento na metrópole, Sabesp (SABESP, São Paulo, SP, Brasil). O objetivo final é que os cidadãos não sofram mais com a perda de bens materiais, as vias públicas se mantenham livres para serem usufruídas quando se diz respeito ao direito de ir e vir, e como consequência o trânsito de São Paulo se mantenha estável e sem casos de pessoas ilhadas em carros e estabelecimentos, além de inovar no conceito de expansão urbana para bairros que ainda não possuem o sistema de drenagem pluvial implantado eficiente.

Palavras-chave: Enchente; Chuva; Controle; Monitoramento; Automação.

ABSTRACT

This Conclusion of Course Work has as main focus to study the floods and runoff caused in the city of São Paulo, when long periods of rain occur and how this anomaly can be controlled, monitored and even avoided through the use of automation. The main objective is to use the newest technological resources to carry out the monitoring and follow-up of the points with the largest water flows in the region, and based on this decide which routes the fluid must follow until it reaches the final effluent, without overflow or overflow of the flow pathways. The control of opening and closing the valves is done remotely based on the data collected in real time, and with the setpoint previously established according to the maximum flow of each point already defined by the body responsible for sanitation in the metropolis, Sabesp (SABESP., São Paulo, SP., Brazil). The final dream is that citizens no longer suffer from the loss of material goods, public roads remain free to be enjoyed when it is said about the right to come and go and that as a consequence the traffic in São Paulo remains stable and without cases of people stuck in cars and establishments, in addition to innovating in the concept of urban expansion for neighborhoods that do not yet have an efficient rainwater drainage system implemented.

Keywords: Flood; Rain; Control; Monitoring; Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diferença entre inundação, enchente e alagamento	12
Figura 2 - Vertedouro retangular	19
Figura 3 - Vertedouro triangular.....	19
Figura 4 - Vertedouro trapezoidal	20
Figura 5 - Funcionamento do sensor ultrassônico.....	24
Figura 6 - Sensor ultrassônico HC-SR04	26
Figura 7 - CLP LOGO SIEMENS	28
Figura 8 - Hardware de uma Raspberry PI 4.....	29
Figura 9 - Bomba de transferência de tubulação	30
Figura 10 - Válvula borboleta com atuador elétrico	32
Figura 11 - Válvula eletromecânica responsável pelo direcionamento do fluído	33
Figura 12 - Funcionamento da válvula 2/2 vias em diagrama e vista lateral.....	34
Figura 13 - Exemplo de sistema supervisório (Scada) para controle e monitoramento de uma estação de tratamento de efluentes industriais Johnson & Johnson	35
Figura 14 - Sequenciamento do Projeto	37
Figura 15 - Exemplo de Dashboard e como são plotados os dados coletados	39
Figura 16 - Tempo das Atividades	41
Figura 17 - Diagrama de funcionamento do Protótipo	42
Figura 18 - Diagrama elétrico do Projeto	43
Figura 19 - Pinagem Raspberry	44
Figura 20 - Vista Frontal Desenho Técnico.....	44
Figura 21 - Vista Frontal Protótipo	45
Figura 22 - Vista Lateral Desenho Técnico.....	45
Figura 23 - Vista Lateral Protótipo	46
Figura 24 - Vista Superior Desenho Técnico	46
Figura 25 - Vista Superior Protótipo.....	47
Figura 26 - Programação do Protótipo.....	48
Figura 27 - Dashboard de acompanhamento dos níveis em tempo real	49
Figura 28 - Programação do Dashboard.....	49
Figura 29 - BOT CGE em funcionamento	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas sensor ultrassônico HC-SR04.....	26
Tabela 2 - Especificações técnicas Raspberry PI 4.....	29
Tabela 3 - Tabela de especificações técnicas bomba de transferência.....	31
Tabela 4 - Especificações técnicas da válvula eletromecânica.....	34
Tabela 5 - Custo do projeto	41

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
1.1. Justificativa.....	12
1.2. Objetivos	13
2. Revisão bibliográfica.....	14
2.1. Drenagem urbana	14
2.2. Saneamento 4.0	14
2.3. O novo Marco do Saneamento Básico	15
2.4. Monitoramento Hidrológico	15
2.4.1. Medição da água da chuva.....	16
2.4.2. Medição da vazão dos rios	16
2.4.2.1. Medição por recipiente	16
2.4.2.2. Medição por flutuador	17
2.4.2.3. Medição com correntômetro	17
2.4.2.4. ADCP	18
2.4.2.5. Medição da vazão com vertedouro.....	18
2.4.3. Medição da vazão das redes pluviais	20
2.4.3.1. Linígrafo.....	20
2.4.3.2. Método da curva-chave	21
2.5. Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas.....	21
2.6. Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo	22
3. Metodologia.....	23
3.1. Descrição de funcionamento do projeto	23
3.2. Dados analisados.....	23
3.3. Sensor de nível ultrassônico.....	24
3.3.1. Sensor Ultrassônico HC-SR04 - Protótipo.....	24
3.4. Controle.....	27
3.4.1. Controlador lógico programável	27
3.4.2. <i>Raspberry</i> PI 4 – Protótipo	28
3.5. Bomba de transferência 4.2W 240LH – Protótipo	30
3.6. Válvula borboleta controlada por atuador elétrico	31
3.6.1. Válvula eletromecânica acionada por solenoide - Protótipo	32
3.7. Sistema supervisório	34
3.8. Serviços Digitais Baseados no Conceito de Nuvem.....	36

3.8.1.	Google Cloud Platform	36
3.9.	MQTT	37
3.9.1.	MQTT – Protótipo.....	37
3.10.	Node-red	38
3.10.1.	Node-Red – Protótipo	38
3.11.	Dashboard	38
3.11.1.	Dashboard - Protótipo.....	39
3.12.	BOT	40
3.12.1.	BOT - Protótipo.....	40
3.13.	Custo e Mão de obra	40
4.	Resultados e discussão	42
4.1.	Diagrama Elétrico	43
4.2.	Estrutura mecânica	44
4.3.	Programação	47
4.4.	Dashboard	48
4.5.	BOT	49
5.	Conclusões.....	51
6.	Referências	53

1. Introdução

“O Brasil é reconhecido mundialmente por seu clima tropical, e isso se deve a sua geolocalização, presente entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio” (OLIVEIRA, 2019), onde a radiação solar é vigorosa e com altas temperaturas, entretanto, este mesmo fator contribui grandemente para que o índice pluviométrico seja elevado, a ponto de receber grandes quantidades de chuva em regiões específicas do país. Outro fator importante que tem impacto direto no fluxo pluviométrico, são as vegetações presentes ao redor do Brasil, inclusive a Floresta Amazônica, que tem uma alta taxa de liberação de umidade e acaba influenciando no índice atmosférico, que é transportado pelo ar para outras localidades, e se torna uma das fontes de chuva, conforme (PENA, 2019). Além dos elementos mencionados, tem-se a massa de ar como outro grande contribuinte para a distribuição de chuva em cada região do país, “Massas de ar são grandes volumes de ar com característica homogêneas, em relação à temperatura e vapor de água. A circulação geral dá origem às massas de ar e provoca também seu deslocamento, além disso suas características estão diretamente vinculadas com sua localização ou região de origem” (AZEREDO, 2017). Existem ainda, muitas outras causas para justificar a grande quantidade de chuva que esse país recebe, como a ação humana, porém os principais fatores são estes, citados anteriormente.

Assim como na maior parte do Brasil, o estado e a cidade de São Paulo especificamente, possuem também um clima considerado tropical, que tende a ter verões quentes e chuvosos e meses de inverno secos e pouco gelados, segundo (SILVA, 2017). Durante os verões paulistanos, o índice pluviométrico é facilmente sentido pela população da região, pois o grande volume de água normalmente resulta em problemas para a capital, devido a um problema de infraestrutura da cidade e a sua má projeção realizada a longo prazo.

A cidade de São Paulo, considerada uma das dez mais populosas do mundo com aproximadamente 12 milhões de habitantes, foi declarada, segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (NACIONAL DE SANEAMENTO, 2019) que 99,3% da população tinha acesso a água potável e 96,3% dos habitantes tinha acesso a coleta de esgoto, desses 96,3% mencionados anteriormente apenas 68,6% eram realmente tratados e devolvidos corretamente ao meio ambiente, além disso, conforme a Prefeitura de São Paulo (PAULO, 2021) apenas 76% da cidade é coberta pelo serviço de coleta domiciliar seletiva, gerando um baixo rendimento no que se diz respeito a eficiência de processamento de esgoto e lixo, e como resultado as redes pluviais metropolitanas são diretamente afetadas recebendo esgotos

inadequadamente e também detritos deixados nas vias públicas que normalmente as encontram durante os períodos de chuva (SABESP, 2020), outro ponto importante seria a composição do solo que dependendo do tipo pode impactar na drenagem da água e somados podem gerar todo o transtorno nas redes pluviais, resultando na sobrecarga das redes de drenagem e levando toda esta água para ruas e imóveis.

Atualmente na cidade de São Paulo durante os períodos de chuva intensa é possível presenciar muitos casos de estragos e perdas ocasionadas (ESCOVAR, 2020) porque são reflexos das sobrecargas das redes pluviais de drenagem, além disso, existem muitos pontos de alagamentos de vias urbanas impedindo o direito de ir e vir dos cidadãos, que consequentemente estabelece o caos ao redor da maior cidade do país (DALL'OLIO, 2019). A drenagem urbana é o escoamento da água da chuva para rios, mares, bacias hidrográficas e estações de tratamentos através de redes pluviais, que normalmente fazem parte da infraestrutura de cidades urbanizadas conforme informado pela BRK (AMBIENTAL, 2018a). O intuito principal da drenagem urbana é evitar inundações, alagamentos e enchentes nas vias públicas e em imóveis ao seu redor, que normalmente causam grande prejuízo financeiro e problemas de mobilidade urbana. Outro grande impacto, agora gerado pelo mau gerenciamento, é o ambiental, causando uma deterioração forçada dos pontos de água potável como mananciais que também trazem consequências para a comunidade ao seu redor, conforme BRK (AMBIENTAL, 2018b). Para que se tenha um bom escoamento nas vias urbanas, segundo a EOS (SISTEMAS, 2018), “é necessário que alguns itens componham o sistema, sendo eles: Pavimentação, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de drenagem, trincheiras e valas, sistemas de retenção e infiltração nos lotes e pavimentos”. Caso contrário pode haver inundações que acarretam em alagamentos e enchentes em dias chuvosos como mencionado anteriormente, onde a inundação é a invasão da água das redes pluviais e/ou rios e lagos. Os alagamentos são locais que existem uma grande presença de água parada com dificuldade de drenagem e um outro evento fluvial é a enchente que tem suas causas semelhantes às do alagamento, porém com danos mais severos, como invasão de casas, comércio e veículos, este fenômeno também causa a poluição das fontes aquíferas devido ao lixo carregado para o efluente final de acordo com os estudos realizados pela SEMASA SP (INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).



Figura 1- Diferença entre inundações, enchente e alagamento

(SILVA, 2017)

Então, pensando nos dias caóticos de chuva na cidade de São Paulo (NACIONAL, 2020b) que geram enchentes e alagamentos, foi elaborada uma solução inovadora e tecnológica para amenizar os estragos, prever a piora dos níveis das redes hídricas de cada rua, e ajudar a conter o transbordamento das vias. Um estudo baseado em uma estação de engenharia, foi realizado para ter controle das vias pluviais, com um monitoramento e tomada de decisões em tempo real. Para a demonstração do estudo, um bairro em expansão urbana será utilizado como exemplo, devido a oportunidade da interligação entre as galerias pluviais de cada uma das ruas, situação que é diferente da arquitetura atual. A expectativa é que o número de enxurradas e ruas dominadas pela água no bairro em desenvolvimento seja menor do que nas demais regiões da cidade, e que esta estação de engenharia sirva de exemplo para replicar em outros pontos críticos distribuídos ao redor desta metrópole, além de ser o passo inicial para futuras reformas nos sistemas atuais de drenagem urbana.

1.1. Justificativa

Pensando na alta correlação entre chuva e enchentes que é presenciada de maneira recorrente na cidade de São Paulo, o foco principal deste projeto é coordenar um estudo para uma nova estação de engenharia que gradativamente terá o controle das vias pluviais de um bairro em desenvolvimento na cidade de São Paulo, onde será possível monitorar e controlar em tempo real o status das vias e galerias pluviais, e posteriormente expandir para o restante da capital e então para outras regiões do Brasil. A ideia é utilizar instrumentos de medição e atuadores para monitorar, comandar e direcionar o fluxo pluvial para a melhor rota de

desaguamento possível, além de informar o CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas), que hoje compartilha em seu site os pontos de alagamentos presentes na metrópole, e que serve de referência para aplicativos de rotas, informação e também notícia. Nos dias atuais, os pontos não transitáveis são informados por agentes de trânsito, defesa civil, corpo de bombeiros ou então pessoas físicas que entram em contato com a subprefeitura para relatar problemas em seus bairros, e o objetivo do grupo, também é incluir mais uma fonte de dados na base de informações do CGE de forma totalmente remota e automática, com todos os detalhes gerados pela estação de engenharia. Com o sistema implementado, o resultado desejado pelo grupo é a diminuição dos casos de enchentes e perdas para toda a sociedade ao redor, além de tornar previsíveis os locais que tem risco iminente de sobrecarga da rede pluvial e tornar essa informação mais acessível para todos os cidadãos.

1.2. Objetivos

O objetivo principal do projeto é efetuar um estudo de caso, no qual é proposto o desenvolvimento de um novo método de monitorar e controlar as vias e galerias pluviais a fim de amenizar os impactos gerados pelas enchentes e alagamentos ao entorno da cidade de São Paulo, além de informar ao CGE de forma antecipada qual região tem a maior probabilidade de transbordamento nas vias urbanas. Para cumprir o objetivo geral, foram definidos os três objetivos específicos descritos a seguir:

1. Analisar e identificar os parâmetros que caracterizam o fenômeno denominado de enchente.
2. Identificar as características que permitem comportar um sistema de controle e monitoramento de vias pluviais.
3. Desenvolver e implementar através de um protótipo uma proposta de automatização de concessionária de tratamento e distribuição de redes pluviais, baseados nos parâmetros anteriormente edificados.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Drenagem urbana

Uma das formas de conter a grande quantidade das águas pluviais são os piscinões que são interligados com as redes de drenagem e que servem para armazenar milhares de litros excedentes nas vias pluviais, embora sejam eficientes, na maioria das vezes os piscinões não são suficientes para evitar que o caos se estabeleça na cidade. O que se espera é que o destino final de toda essa água seja o despejo em rios ao redor da cidade, que também recebem o deságue de diversos outros pontos, e também, segundo pesquisas realizadas (MANCUSO, 2017), atualmente não existe um método eficiente ou comprovado para realizar o controle e o monitoramento das vias e galerias pluviais a fim de controlar o fluxo e prever o transbordamento dos mesmos. Além disso, a única manutenção prevista por lei é a de limpeza das rotas para a remoção do lixo contido nelas, que normalmente são feitas de forma corretiva, após focos de enchentes na região. “A falta de investimento do governo e de empresas privadas é devido à ausência do retorno financeiro, por se tratar de uma ação mais social do que rentável, projetos de melhoria e inovação são deixados de lado” (TROISE, 2020)

2.2. Saneamento 4.0

Uma nova era no ramo do saneamento vem sendo desenvolvida com o avanço da tecnologia e seus recursos. Um dos tópicos que vem ganhando força é o Saneamento 4.0 no qual a inteligência artificial e a Internet das Coisas (*IoT*) são as principais ferramentas utilizadas para o monitoramento dos efluentes, rios e das redes de distribuição e coleta de água e esgoto. No estado de São Paulo precisamente na cidade de Itatiba, conforme (SHIMABUKURO, 2021) a Sabesp, em parceria com empresas de tecnologia, está desenvolvendo um projeto para obter-se a análise físico-química dos efluentes em tempo real, além da medição de gases e até mesmo o nível do rio da cidade. A iniciativa tem como foco principal o ganho de tempo para a tomada de decisões mais rápidas e precisas por parte da Sabesp, visando também o aumento da produtividade, redução de manutenções e a qualidade durante as atuações. O Saneamento 4.0 tem como missão a otimização de processos com a inovação e o uso de métodos já utilizados em outros setores como a coleta de dados em tempo real, o uso da nuvem para o armazenamento, big data para análise de dados, e os recursos de automação e robótica para

definir ações eficazes de acordo com as informações obtidas. Ainda conforme AESabesp (AESABESP, 2019), as maiores dificuldades de implementação deste conceito são a falta de investimento financeiro e a resistência da população a mudanças.

2.3. O novo Marco do Saneamento Básico

O Novo Marco do Saneamento Básico introduzido por meio da Lei nº 14.026, de 15 de Julho de 2020 (NACIONAL, 2020a) é uma das sanções aprovadas pelo atual presidente da república Jair Bolsonaro, na qual promove a melhoria da prestação de serviço e expande o alcance do saneamento básico no país, com uma meta de que até 2033 seja garantido que 99% da população tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e coleta de esgoto, garantindo uma melhor qualidade de saúde e de vida para a grande maioria dos cidadãos brasileiros (REGIONAL, 2020). Outros grandes benefícios que são contemplados com este marco são a contribuição para o meio ambiente, cujas bacias hidrográficas serão revitalizadas, diminuição da perda de água potável, e a geração de empregos que aquece a economia e traz esperança para as famílias. Esta lei prevê a obrigatoriedade do cumprimento de metas de desempenho mensurado pelo governo local, isso gera o estímulo de concorrência de empresas privadas e a privatização de estatais de saneamento, atrai novos investidores para o setor, e desenvolve a inovação e busca continua por novas soluções da área.

2.4. Monitoramento Hidrológico

“O monitoramento hidrológico é a atividade realizada por órgãos regulamentados para tratar, coletar, armazenar e gerenciar os dados sobre as condições climáticas” segundo o Comitê de Gerenciamento Bacia Hidrográfica do Rio Canoas (CANOAS, 2020), cujo determinam o volume das chuvas e dos rios através das informações obtidas nas estações pluviométricas, meteorológicas e fluviométricas. Através dos dados colhidos e analisados é possível compreender com clareza o ciclo da água e os próximos passos deste fenômeno, além de ajudar nas decisões e precauções antes mesmo de uma nova chuva atingir a região.

2.4.1. Medição da água da chuva

A medição da água da chuva pode ser feita de diversas maneiras, a mais fácil e prática segundo Meiry Sakamoto, Meteorologista da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos em entrevista concedida ao Diário do Nordeste (REDAÇÃO, 2019a) é feita através de um pluviômetro, que é um instrumento o qual armazena o líquido coletado durante um período de chuva, onde cada milímetro armazenado é convertido para 1 litro de água por metro quadrado. Os pluviômetros normalmente estão localizados nas estações meteorológicas espalhadas por toda a cidade. Para que haja a coleta dos dados em tempo real é necessário que o pluviômetro seja digital, e tenha acesso à rede GSM/GPRS (CLIMA, 2021) para que a informação seja enviada para uma nuvem, onde haverá todo o tratamento e gerenciamento dos mesmos.

2.4.2. Medição da vazão dos rios

A medição da vazão dos rios pode ser feita de muitas formas, as mais conhecidas são pelo método do recipiente, medida com flutuador, medição com correntômetro, ADCP e medição com vertedouro, conforme NBR 13403 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995). Cada método tem a sua característica típica, variando em confiabilidade, custo e precisão, entretanto não existe uma forma mais indicada, tudo depende do estudo e da aplicação realizada para que seja definido o melhor método.

2.4.2.1. Medição por recipiente

A medição por recipiente consiste na utilização de um material com um volume já definido e através deste, é feito um cálculo com a equação a seguir conforme (ELECTRICAL LIBRARY, 2019), onde Q é vazão em m³/s V é o volume já definido e t é o tempo de enchimento.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots(1)$$

Para definir a média do rio ao decorrer do ano deve ser feito o seguinte cálculo:

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} \quad \dots(2)$$

É recomendado o uso deste método apenas para rios de pequeno porte.

2.4.2.2. Medição por flutuador

Este método é utilizado um flutuador que percorre um trecho do rio que deve ser o mais reto possível para que não haja variações na medição, realizar a medida do trecho escolhido **L** e de sua profundidade **A** através de um batímetro, colocar uma boia do outro lado do trecho escolhido para que ela percorra e o tempo **t** seja cronometrado, com isso é possível obter-se a velocidade **V**, conforme a equação 3 prevista pelo (ELECTRICAL LIBRARY, 2019) para medição de velocidade do rio.

$$V = \frac{L}{t} \quad \dots(3)$$

E com o valor da velocidade **V** em mãos é possível obter a vazão real do rio.

$$Q = 0,8 \cdot V \cdot A \quad \dots(4)$$

Onde 0,8 equivale a velocidade média de 80% da velocidade superficial e Q é dado em m³/s.

2.4.2.3. Medição com correntômetro

“Medição com correntômetro ou por molinete é um método muito tradicional, onde uma hélice é alocada em uma das extremidades do instrumento que fica submerso no rio de forma contrária a da corrente hídrica” (ELECTRICAL LIBRARY, 2019), e de forma proporcional, a rotação realizada pelas pás da hélice transforma a corrente elétrica obtida em um sinal convertido e tratado que informa em um display o valor atual da velocidade do rio, e para ser o mais preciso possível é extremamente importante a medição do fluxo em diferentes pontos e níveis do rio, portanto, para obter o resultado final deve ser utilizada a equação 5 e conforme mencionado anteriormente, **A** é profundidade e **V** a velocidade.

$$Q = \sum A_i \cdot V_i \quad \dots(5)$$

2.4.2.4.ADCP

“Abreviatura de *Acoustic Doppler Current Profiler* ou em português perfilador de correntes marinhas, é um método que utiliza um instrumento que emite pulsos de ultrassom em uma frequência predeterminada, que analisa a movimentação das partículas presentes na água” (ELECTRICAL LIBRARY, 2019), e com esta informação é possível calcular a velocidade do rio e em sequência sua vazão.

$$f_D = f \frac{v}{v \pm v_s}$$

f_D é a frequência detectada pelo sensor.

f é a frequência da onda sonora transmitida.

v é a velocidade do som na água.

v_s é a velocidade da partícula suspensa.

...(6)

Normalmente os ADCP's são distribuídos em boias, barcos e estruturas submersas presentes nos rios e conta com o auxílio de um software para ler e processar os valores das variáveis de forma rápida e precisa. Entretanto, trata-se de um equipamento caro e que depende de mão-de-obra especializada para instalação, manutenção e acompanhamento do equipamento.

2.4.2.5. Medição da vazão com vertedouro

“A medição da vazão através de um vertedouro nada mais é que a existência de uma pequena barragem com a abertura para que haja a passagem do fluxo hídrico, e para que esse valor seja calculado depende diretamente de sua estrutura construída” (ELECTRICAL LIBRARY, 2019), sendo retangular, triangular e trapezoidal. E com isso temos respectivamente:

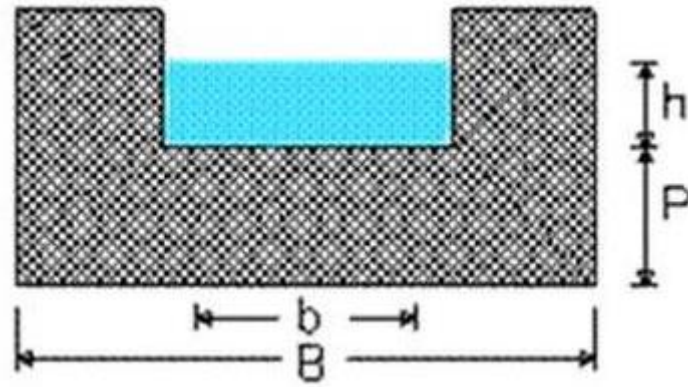


Figura 2 - Vertedouro retangular

(ELECTRICAL LIBRARY, 2019)

$$Q = 1,838(b - 0,2h)h^{3/2} \quad \dots(7)$$

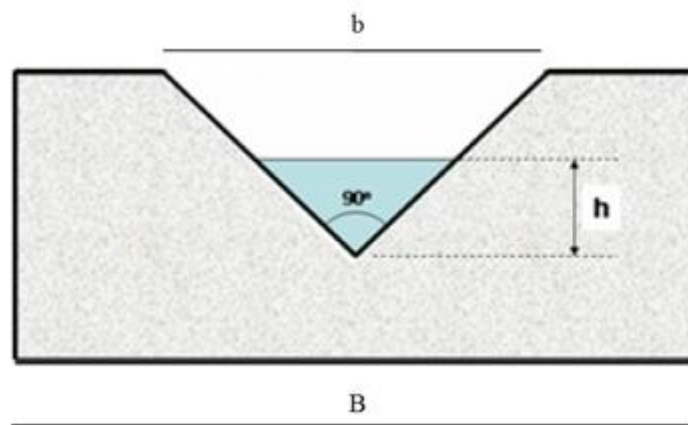


Figura 3 - Vertedouro triangular

(ELECTRICAL LIBRARY, 2019)

$$Q = 1,4h^{5/2} \quad \dots(8)$$

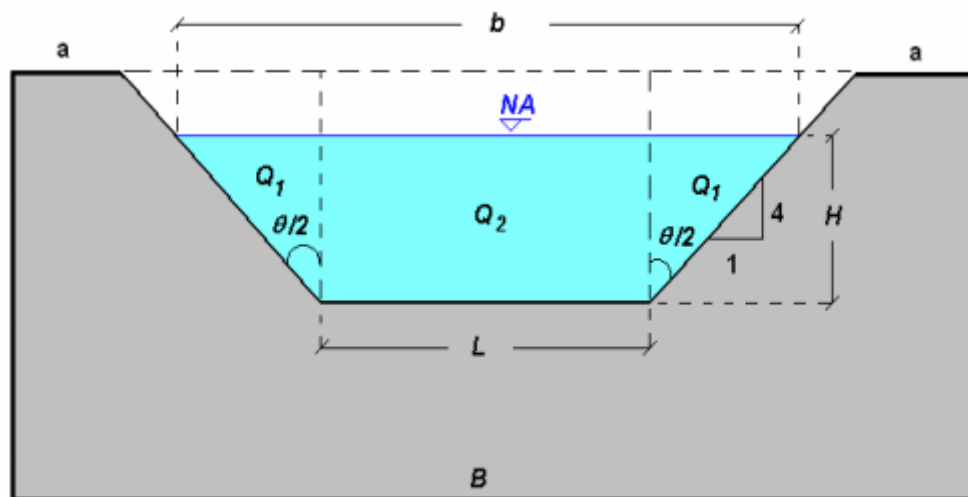


Figura 4 - Vertedouro trapezoidal

(ELECTRICAL LIBRARY, 2019)

$$Q = 1,9 \cdot b \cdot H^{3/2} \quad \dots(9)$$

2.4.3. Medição da vazão das redes pluviais

Segundo o (INMETRO, 2011) não existe ao certo um padrão para medição de redes pluviais, seja a vazão ou acompanhamento de capacidade das redes e galerias pluviais, e raramente é encontrada uma forma de monitoramento em tempo real do estado das galerias, contudo, existem algumas formas de medição hidrométrica que podem auxiliar no acompanhamento destes indicadores, com o uso do linígrafo e a utilização do método de medição da curva-chave.

2.4.3.1. Linígrafo

O linígrafo, linímetro ou sonda de nível é um instrumento de medição comumente utilizado em pontos que necessitam realizar a medição dos níveis de água de forma submersa segundo (SIGMA SENSORS, 2021). Esta medição pode ser realizada através de diferentes maneiras, como uso de estruturas com contrapeso, medição dentro de tubos metálicos ou PVC, e até mesmo submersão livre. A medição geralmente é feita de forma digital, onde os dados são colhidos em um período de amostragem, processados, e compartilhado com os usuários através de dispositivos móveis com conexão *bluetooth* por exemplo ou a realização da telemetria das

informações pela internet dependendo da robustez do equipamento instalado. Outras variáveis como temperatura e pressão também podem ser registradas, e por se tratar de um conjunto completamente blindado, é possível utilizar os linígrafos em profundidade de até 76 m de profundidade.

2.4.3.2. Método da curva-chave

“A curva-chave é uma representação matemática entre a vazão e o nível de um rio, ou efluente” (TUCCI, 2017). Com a curva-chave definida é possível basear-se em uma vazão de acordo com o nível atual do rio. Este método é bem conhecido e serve como base para estudos de melhoria e conhecimento dos cursos d’água. Para obter-se a curva-chave é necessário realizar medições de vazão em diferentes momentos do dia durante um curto ciclo de semanas e também medição da profundidade de forma contínua com o uso do linígrafo, e então correlacionar os dados obtidos no mesmo período para que seja determinada a equação de relação vazão/nível e, além disso, de forma unívoca, é desprezada a força de inércia e de pressão do fluxo. Outro detalhe importante é que a curva-chave não pode ser determinada para todo o percurso, pois pode variar de acordo com a inclinação do ponto, novos abastecimentos e outras variedades.

2.5. Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas

“O Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CGE) é o órgão da Prefeitura de São Paulo responsável pelo monitoramento das condições meteorológicas na Capital” (CGE - CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS, 2021). O foco desta organização é coletar, armazenar e gerenciar todas as informações possíveis referentes às condições climáticas da cidade. Em colaboração com a Defesa Civil, CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), Corpo de Bombeiros, prefeituras regionais e também com grandes veículos de imprensa, o CGE procura manter os cidadãos informados, de acordo com as informações geradas por seus equipamentos como radares, satélites, dados de estações meteorológicas, modelos numéricos de previsão e telemetria. O CGE em parceria com outros órgãos procura agir de forma preventiva na cidade de São Paulo, evitando com que os estragos provocados pelas chuvas sejam de grandes proporções.

2.6. Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo

“O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) é um centro de monitoramento tecnológico que acompanha o status das chuvas e suas devidas consequências na cidade de São Paulo” (SAISP, 2021), através de relatórios que são gerados a cada 5 minutos. Este monitoramento é realizado pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo radar Meteorológico de São Paulo. As atualizações são lançadas de forma *online* em forma de gráfico e é possível acompanhar o *status* de cada estação meteorológica e também de cada bacia hidrográfica da cidade de São Paulo, com alguns dados disponíveis, como a vazão, fluxo pluviométrico, temperatura, umidade, entre outros.

3. Metodologia

Nas seções a seguir são apresentadas as descrições do projeto detalhadamente, portanto em todos os casos serão exemplificados os equipamentos recomendados para o uso em campo e como foi feito no protótipo, em escala reduzida.

3.1. Descrição de funcionamento do projeto

A representação prática do estudo consiste no uso de três galerias pluviais, onde cada uma delas está representando uma região presente no bairro. Através de sensores, posicionados estrategicamente nas galerias, será possível obter os dados e interpretá-los em tempo real para a identificação dos níveis de cada rota d'água, e então prever qual delas tem o maior risco de ocupação de 100% do espaço disponível e assim direcionar o fluído para outra galeria que esteja com o nível mais baixo, retardando ou impedindo o transbordamento das vias pluviais, que leva a enchentes e alagamentos. Com as informações coletadas e com a ajuda de um controlador lógico programável, será possível determinar os momentos ideais de abertura e fechamento das válvulas de interligação entre as galerias. O controle será feito através de uma lógica programada, com parâmetros predefinidos, além disso, um *dashboard*, também conhecido como interface gráfica, para acompanhamento será desenvolvido para auxiliar os operadores da estação de controle e monitoramento, como um método de gestão a vista. Outro item importante é o aviso para o CGE que o sistema de monitoramento envia automaticamente assim que uma das vias pluviais fica em estado de alerta, ou seja, com a maior parte de sua ocupação cheia, e também de transbordamento iminente, quando a galeria chega a 100% de sua capacidade de drenagem.

3.2. Dados analisados

Os sensores previamente instalados em campo são os responsáveis pela coleta de dados das galerias pluviais, essas informações obtidas tem como destino um CLP (Controlador Lógico Programável) para que lá seja analisada e tomada a melhor decisão de forma automática, através de uma lógica já determinada que analisa todo o cenário e proporciona a melhor solução possível de estabilidade para toda a rede de galerias. O foco é sempre manter todo o sistema controlado e estável, para que não haja sobrecarga de nenhuma via pluvial.

3.3. Sensor de nível ultrassônico

“O sensor de nível ultrassônico é capaz de medir a distância entre o transdutor e a superfície, com base no tempo gasto pelo pulso de ultrassom para se deslocar do transdutor até o fluido e retornar” (SILVEIRA, 2018). A frequência operacional do sensor de nível é de dezenas de kilohertz e os tempos de viagem são de aproximadamente 6 m/s. A composição da mistura de gases no meio de medição e a temperatura afetam a velocidade do som (340 m/s no ar a 15°C). Sendo assim, mesmo que o sensor compense a temperatura, ele é limitado a medições atmosféricas em nitrogênio ou ar.

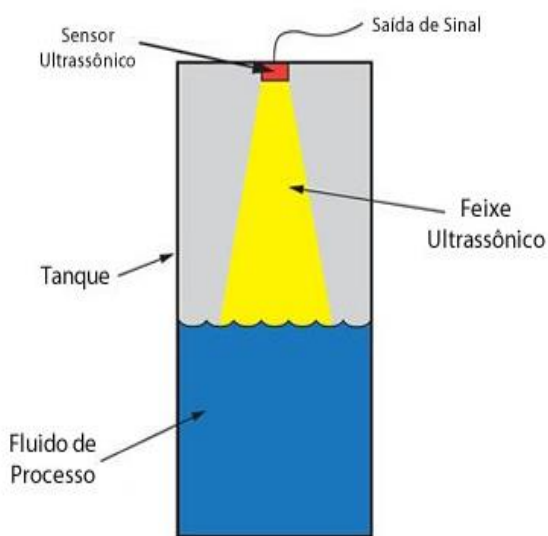


Figura 5 - Funcionamento do sensor ultrassônico

(SILVEIRA, 2018)

Com as informações obtidas por este sensor é possível verificar quão congestionada está cada galeria e então definir se será preciso traçar uma rota alternativa para não ocorrer nenhum transbordo.

3.3.1. Sensor Ultrassônico HC-SR04 - Protótipo

O sensor ultrassônico HC-SR04 é utilizado para realizar a leitura do nível do fluxo hídrico, preso em um suporte com uma posição fixa, o transdutor é capaz de medir os valores de distância entre ele e a altura da água segundo (ELETROGATE, 2021), de acordo com o resultado, algumas ações podem ser tomadas, ou então tudo pode se manter como está. O HC-

SR04 emite ondas sonoras que vão de encontro ao objeto mais próximo, e de acordo com o tempo de resposta tem-se um valor.

A equação que define a distância é a seguinte:

$$d = v \times t \quad \dots(10)$$

Onde, d é a distância percorrida pela onda, v é a velocidade da onda, e t o tempo de retorno. Para interpretar o tempo de resposta do sensor o fabricante indica que seja feita uma conversão de unidades, sendo 340 m/s a velocidade do som em uma temperatura e pressão ambiente. Portanto deve ser convertido de m/s para us/cm como mostra a equação abaixo:

$$Distance = \frac{Speed}{170.15 \text{ m}} \times \frac{Meters}{100 \text{ cm}} \times \frac{1e6 \mu S}{170.15 \text{ m}} \times \frac{58.772 \mu S}{cm} \quad \dots(11)$$

Além disto, outra conversão é solicitada para chegar a uma medida em centímetros, que é a seguinte:

$$Distance = \frac{time}{58} = \frac{\mu s}{\mu s/cm} = cm \quad \dots(12)$$

Este sensor é uma das peças fundamentais para o controle do processo, os dados são colhidos de forma analógica e transformados em medidas através de uma conversão matemática, e os valores obtidos guiam o controlador de acordo com as referências determinadas, sendo nível baixo, nível médio e nível de atenção, e então as válvulas de interligação passam a trabalhar transferindo o líquido para outra via. Caso haja alguma com o nível alto, alertas passam a serem emitidos de forma preventiva para o CGE, as galerias em níveis altos são consideradas críticas e com risco iminente de transbordamento.



Figura 6 - Sensor ultrassônico HC-SR04

(ELETROGATE, 2021)

Na tabela a seguir, o detalhamento técnico do dispositivo.

Tabela 1 - Especificações técnicas sensor ultrassônico HC-SR04

Especificação	Detalhe	Unidade
Fabricante	ETC-1	-
Peso aproximado	10	g
Dimensão	45x20x15	mm
Ângulo efetivo	15	°
Ângulo de medida	30	°
Range de leitura	2 ... 400	cm
Resolução de leitura	3	mm
Trigger do pulso	10	uS
Potência da bobina	75	mW
Tensão de trabalho	5	VDC
Corrente de trabalho	15	mA

(ELETROGATE, 2021)

3.4. Controle

Através dos sinais obtidos por sensores e instrumentos instalados no meio físico, o CLP e outros controladores digitais como o Arduino (Arduino, Ivrea, Itália) e a *Raspberry* (*Raspberry PI Foundation*, Cambridge, Reino Unido), com a devida programação, são capazes de analisar e processar dados e então tomar decisões e enviar comandos para atuadores de campo, quando necessário. Todas as condições e parâmetros a serem seguidos devem estar presentes na programação de cada um dos controladores para que uma ação seja executada.

3.4.1. Controlador lógico programável

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o CLP como “um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com as aplicações industriais”. Segundo (SIEMBRA AUTOMAÇÃO, 2021) o CLP foi desenvolvido para trabalhar em diferentes ambientes industriais e também prediais, capaz de suportar algumas condições de instalação como vibrações, ruídos, poeira, altas e baixas temperaturas, além de funcionar 24 horas por dia durante longos anos, praticamente sem qualquer manutenção. Por ser o principal dispositivo de um equipamento e/ou processo, o CLP é bastante flexível e possibilita a troca de informações com outros dispositivos do local da instalação, através de uma rede de comunicação ou por sinais elétricos, sendo do mesmo fabricante ou não, como no caso de instrumentos, sensores e outros CLPs. O foco desta flexibilidade é executar processos e programações predeterminados de forma assertiva, veloz e precisa, de acordo com as variáveis de campo, sempre visando o funcionamento de equipamentos de produção e garantindo a baixa variabilidade de processos, além de ter um ganho expressivo no tempo de produção e na tomada de decisões, um dispositivo que possui hardware e software desenvolvidos para atender as expectativas de trabalho em diferentes situações, sendo na indústria ou não.



Figura 7 - CLP LOGO SIEMENS

(SIEMENS, 2021)

3.4.2. Raspberry PI 4 – Protótipo

“A *Raspberry* é um pequeno computador compacto, porém com grandes capacidades de processamento, assim como os notebooks e computadores convencionais” (REDAÇÃO, 2019b), a *Rasp* como é chamada, também tem características de montagem relevantes, como porta USB, porta *Ethernet*, entrada HDMI, comunicação *Wi-fi* e *Bluetooth*, homologado pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) esse minicomputador vem sendo utilizado cada vez mais em pequenos projetos de automação, devido ao seu baixo custo, e grande entrega de resultados, além disto, já vem com um sistema operacional de fácil manuseio por parte dos usuários. As constantes atualizações e a alta recepção por parte dos usuários, também fazem parte do sucesso deste dispositivo.

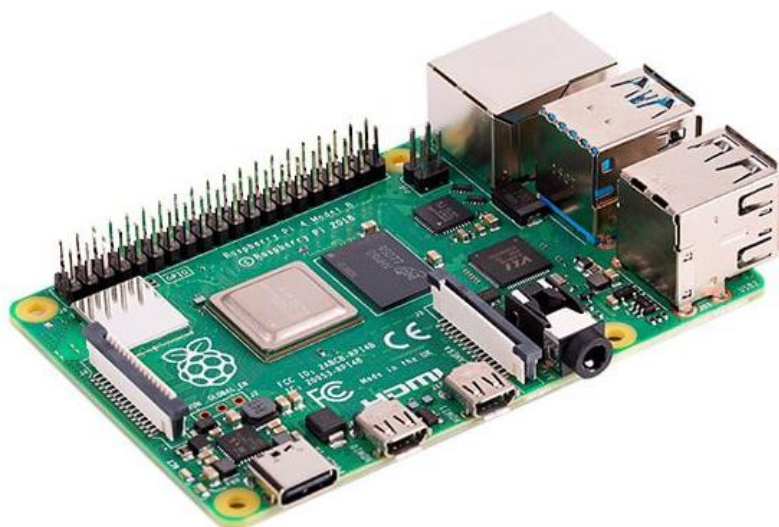


Figura 8 - Hardware de uma Raspberry PI 4
(FILIPEFLOP, 2021)

Na tabela a seguir, o detalhamento técnico do dispositivo.

Tabela 2 - Especificações técnicas *Raspberry PI 4*

Especificação	Detalhe	Unidade
Fabricante	PI Foundation	-
Modelo	Raspberry PI-4 Model B ANATEL	-
Processador	Broadcom BCM2711 Quad-core Cortex-A72	ARM68 – 64bit - SoC
Dimensões	85 x 56 x 17	mm
Memória RAM	2	GB
Bluetooth	5.0	BLE
Wi-fi	2.4	GHz
Portas	3.0	USB
Portas	2.0	USB
GPIO	40 pinos	-
Conectores	Áudio e vídeo	-
Slot	SD	-
Interface para câmera	CSI	-
Interface para display	DSI	-
Potência	15,3	W
Tensão	5,1	VDC
Corrente	3	A

(FILIPEFLOP, 2021)

3.5. Bomba de transferência 4.2W 240LH – Protótipo

A bomba de transferência é responsável por realizar o envio do fluído de uma tubulação até a outra, e somente entra em operação quando alguma das válvulas é aberta, o intuito principal no protótipo é simular a pressão da água que é gerada pela chuva, para que a mudança de rota da drenagem funcione conforme o esperado, já que em condições normais de queda d'água neste protótipo não há pressão suficiente.



Figura 9 - Bomba de transferência de tubulação

(GIANT ELECTRIC TECH, 2020)

Na tabela a seguir, o detalhamento técnico do dispositivo.

Tabela 3 - Tabela de especificações técnicas bomba de transferência

Especificação	Detalhe	Unidade
Fabricante	Giant Electric Tech	-
Estrutura	ABS	-
Peso	65	g
Diâmetro de entrada	8	mm
Diâmetro de saída	8	mm
Tipo	Centrifuga	-
Vazão	4	l/min
Dimensões	55x34x41	mm
Ruído	32	dB
Altura máxima de coluna	3	m
Temperatura máxima de trabalho	60	°C
Potência	4.2	W
Tensão	12	VDC
Corrente	0,4	A
Condição de uso	Contínuo e imerso ou submerso	-
Tipos de fluidos	Água, óleo, soluções químicas	-
Índice de proteção	IP68	-

(GIANT ELECTRIC TECH, 2020)

3.6. Válvula borboleta controlada por atuador elétrico

“A válvula borboleta ou também a chamada válvula de ¼ de volta, é utilizada em diferentes ocasiões onde há a necessidade do manuseio e controle de direção de fluidos através de tubulações” (BONGAS, 2021), onde de acordo com a posição aberta ou fechada, pode ser definida qual rota o fluxo deve seguir. Uma peculiaridade deste tipo de equipamento é que não é necessário um giro completo para que haja uma mudança de estado, mas sim, apenas um movimento de ângulo 90° o que torna o seu controle e manuseamento mais simples. A borboleta da válvula é o material que restringe ou permite a passagem de fluxo, esta fica encaixada dentro de uma vedação, também conhecida como sede, que pode ser de diferentes tipos de materiais, mas que em grande maioria das vezes é de borracha, que garante que não haja passagem de um lado ao outro da válvula caso a mesma esteja fechada. O conjunto formado de válvula borboleta

e atuador é comumente utilizado na automação de processos industriais, com variações nos tipos de atuador, dentre eles o pneumático, hidráulico ou elétrico, e o que define onde cada um destes é utilizado é a complexidade da aplicação, tamanho da tubulação, e pressão do fluido. O atuador elétrico é um motor elétrico que é usado para movimentar o eixo da válvula, liberando, restringindo ou regulando o fluxo do fluido circulante na tubulação. O atuador converte a energia elétrica em energia cinética, portanto, em movimento mecânico, acionando a válvula borboleta. O motor normalmente é operado à distância, através de comandos elétricos acionados por pessoas ou então por decisões tomadas pelo CLP, que permite a realização de movimentos de forma remota, pois em alguns casos o acionamento presencial/manual poderia gerar riscos para o operador devido à insalubridade do ambiente onde a válvula está localizada, ou devido ao fato desta estar presente em local de difícil acesso ou ainda em aplicações que requerem saídas de alto torque.



Figura 10 - Válvula borboleta com atuador elétrico
(BONGAS, 2021)

3.6.1. Válvula eletromecânica acionada por solenoide - Protótipo

A válvula eletromecânica acionada por solenoide utilizada no protótipo, tem seu funcionamento mecânico baseado em 2/2 vias de acionamento, e é ela que permite a passagem

de fluxo entre duas vias pluviais, porém este equipamento só é acionado quando o nível de uma das galerias chega em ponto de atenção e a via ao lado está em condições de receber a carga hídrica.



Figura 11 - Válvula eletromecânica responsável pelo direcionamento do fluído
(ODE, 2019)

Na tabela a seguir, o detalhamento técnico do dispositivo.

Tabela 4 - Especificações técnicas da válvula eletromecânica

Especificação	Detalhe	Unidade
Fabricante	ODE	-
Estrutura	Latão	UNI EN 12165 CW617N
Vedação	Borracha	-
Conexão	G ¼	ISSO 228/1
Diâmetro	5,5	Mm
Temperatura de trabalho	- 10 ... 140	°C
Vazão	9	l/min
Viscosidade	53	cSt
Pressão mín. de trabalho	0	bar
Pressão máx. de trabalho	7	Bar
Potência da bobina	12	W
Tensão da bobina	12	VDC
Corrente da bobina	1	A

(ODE, 2019)

E o funcionamento mecânico pode ser visto conforme a figura a seguir:

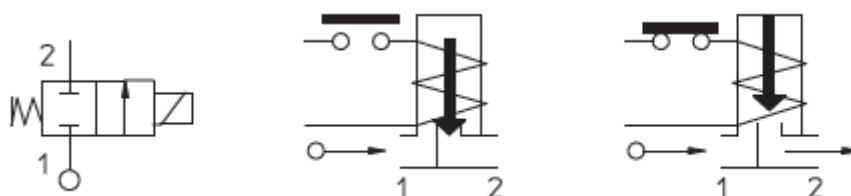


Figura 12 - Funcionamento da válvula 2/2 vias em diagrama e vista lateral

(ODE, 2019)

3.7. Sistema supervisório

Conforme definido por (ELIPSE SOFTWARE, 2019) os sistemas supervisórios são representações gráficas de uma área produtiva ou de um equipamento e seus respectivos periféricos como motores, válvulas, sensores e instrumentos que são monitorados e também escritos comandos de um processo produtivo ou de uma instalação física em tempo real. Tais informações são coletadas e processadas através do PLC, que em seguida, envia para um banco

de dados onde é armazenado e, posteriormente, apresentado ao usuário, após o refinamento e um detalhamento da informação, como TAG, descrição de onde é o valor obtido e entre outras opções. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). O intuito principal do uso do sistema supervisorio é facilitar a visualização de todas as informações de processo, em uma única vez e de forma remota. Com a presença de um ou mais operadores acompanhando todo o sistema, em algumas situações é necessário tomar decisões diferentes das já programadas, também conhecido como ação manual, onde a decisão é tomada por uma pessoa que está responsável pelo controle da área. Os sistemas de supervisão só podem ser utilizados em locais que existam um ou mais CLPs, e normalmente ficam concentrados em uma sala única, com visão geral para o espaço físico. Existem muitas formas de comunicação entre um CLP e o SCADA, mas para a melhor escolha deve ser calculada a distância entre a CPU do controlador lógico programável e o servidor do supervisorio, o ambiente de trabalho, caso seja úmido ou não, topologia da rede, quantidade de dados trocados, entre outros.

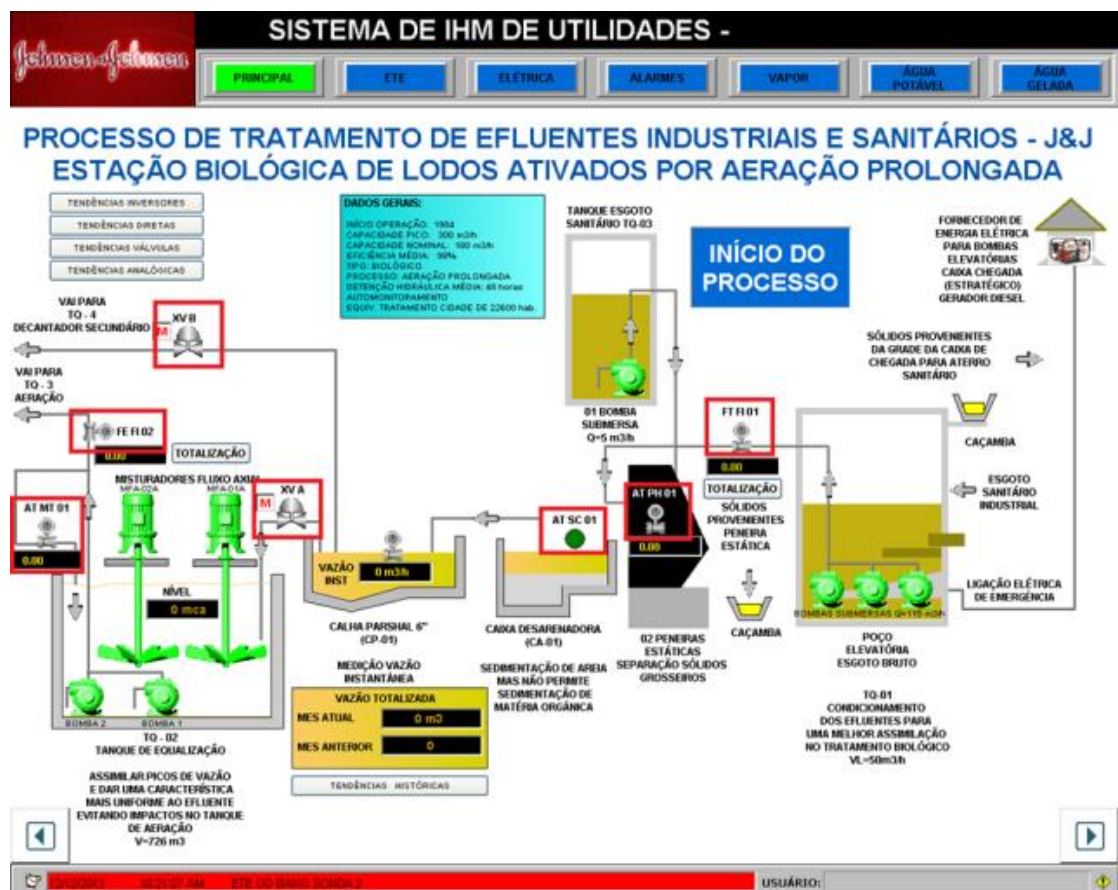


Figura 13 - Exemplo de sistema supervisorio (Scada) para controle e monitoramento de uma estação de tratamento de efluentes industriais Johnson & Johnson

(INFOENG, 2018)

3.8. Serviços Digitais Baseados no Conceito de Nuvem

“A definição de serviços em nuvem é a execução de serviços de computação/informática utilizando a internet como principal canal”(COSTA, 2020). Os serviços mais conhecidos são a utilização de bancos de dados para armazenamento e acesso à informação de forma remota, uso de softwares sem a necessidade de efetuar um *download* previamente e coleta de informação, devido a grande quantidade de *big datas*. As maiores empresas de tecnologia do mundo prestam serviços de nuvem atualmente, como *Amazon*, *Microsoft*, *Google* e etc.

As principais vantagens do uso da nuvem são:

- **Custos** – Pois os serviços de nuvem eliminam os gastos de compra de hardware, softwares, energia elétrica, refrigeração.
- **Segurança** – Os servidores em nuvem possuem altos níveis de segurança cibernética.
- **Produtividade** – Os dados armazenados em um *Cloud Data Center* podem ser acessados facilmente de qualquer lugar do mundo, desde que tenham-se as permissões necessárias, portanto, isso facilita com que os produtos sejam escalonáveis e replicáveis para onde quer que seja.

3.8.1. Google Cloud Platform

“A *Google Cloud Platform* é uma das mais populares e completas plataformas de nuvem atualmente, com altos fatores de segurança, velocidade e escalabilidade, vem comumente sendo utilizada em diferentes aplicações e modelos de negócio” (GOOGLE, 2021). Outro grande atrativo da *GCP* (*Google Cloud Platform*) é a flexibilidade de recursos, onde são oferecidos diversos serviços e o cliente é quem decide quais ele quer contratar ou não, isso reflete no custo-benefício e se torna vantagem em relação a concorrência.

Neste projeto, o *GCP* é utilizado para armazenar todas as informações processadas em campo, ou seja, do protótipo, com o auxílio do *software Node-red* que foi utilizado para tratar os dados coletados em campo e consequentemente distribuir para um *dashboard*, que tem como propósito melhorar o ambiente de trabalho, utilizando o método de gestão a vista, que vem sendo comum em grandes empresas.

3.9. MQTT

O *MQTT* (*Message Queue Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação baseado no já conhecido TCP/IP que é utilizado para trocar informação entre máquinas, como foi afirmado anteriormente por (HI TECNOLOGIA, 2020), não só isso, mas também para comunicar dispositivos que sejam compatíveis com o conceito de *IoT* como no caso da *Raspberry*. Devido a sua rapidez, facilidade e alta *performance*, é uma das formas de troca de dados mais eficientes e recomendadas da atualidade, sendo capaz de suportar diversos dispositivos na mesma rede.

3.9.1. MQTT – Protótipo

No protótipo, uma das suas grandes funcionalidades, conhecida como *Broker*, é utilizada para gerir todo o conteúdo fornecido da *Rasp*, até que chegue ao *Node-Red* de forma clara, rápida e precisa.

O *Broker* é um servidor que administra os dados lidos e escritos e é quem garante que a troca de dados funcione corretamente, com seus devidos filtros que direcionam os valores para tópicos preestabelecidos, isso facilita a organização de onde vem e vai o conteúdo. E por se tratar de um servidor e um local que necessita salvar toda a informação recebida e gerida, é ele quem funciona em conjunto com o *Google Cloud*, portanto a rota de comunicação é a seguinte: Campo, *Raspberry*, *MQTT* + *Cloud*, *Node-Red*, *BOT* + *Dashboard*, e pôr fim ao usuário.

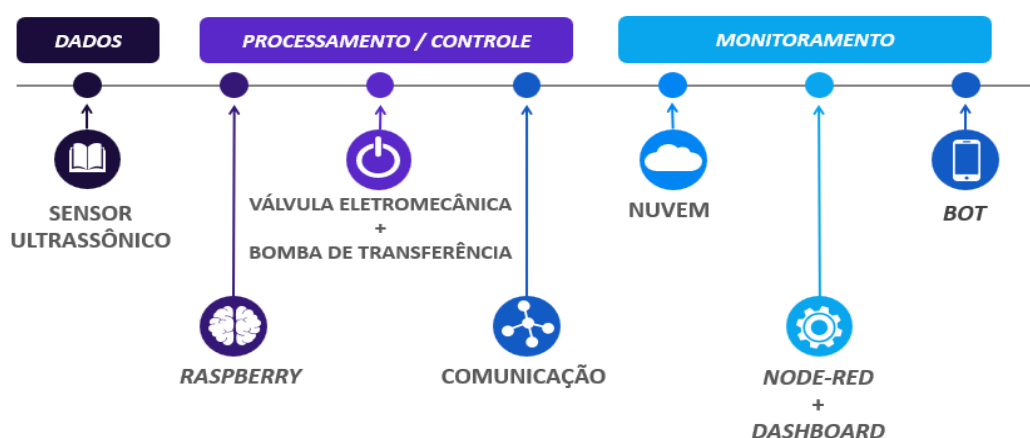


Figura 14 - Sequenciamento do Projeto

(AUTORIA PRÓPRIA)

3.10. Node-red

Node-red é uma ferramenta que utiliza o princípio de “nós” e “fluxos” para criar lógicas de tratamento e refinamento de dados, visando a criação de ambientes para soluções em *IoT* e também para ambientes em que são necessárias informações com histórico para disponibilidade imediata, segundo (PERRY, 2020), como discussões em reuniões. Existem muitas formas de aplicação da ferramenta, como no caso da automação industrial e também para a criação de *dashboards*.

3.10.1. Node-Red – Protótipo

No caso deste protótipo, o *NR (Node-Red)* foi utilizado como uma plataforma que transforma os dados em informação, ou seja, todo dado lido no campo como os valores dos sensores de nível reflete em alguma ação como a abertura de válvulas e o acionamento das bombas, dependendo do nível prescrito, além de informar via *Telegram* os respectivos alertas de nível ao CGE. Além disto, o *NR* alimentou com informações já tratadas, os gráficos e status exibidos no *dashboard* de acompanhamento da estação de monitoramento e controle.

3.11. Dashboard

“*Dashboard* é um painel visual que contém informações relevantes e de fácil acesso, normalmente utilizado para acompanhar indicadores, evolução, e também fazer comparações de valores entre duas datas diferentes” (GOMES, 2017), mas em todos os casos o objetivo é o mesmo: Analisar dados de forma rápida e eficiente. Os *dashboards* foram criados para facilitar e simplificar a visualização de um montante de dados e sair das tão utilizadas planilhas, de forma mais amigável e visual. Estes painéis são comumente utilizados em reuniões para simplificar explicações que antes poderiam ser complexas. O uso das telas é uma forma dinâmica de realizar a gestão de uma área, por exemplo, com o acesso das informações mais relevantes e precisas, e tudo isto em tempo real e atualizado automaticamente.

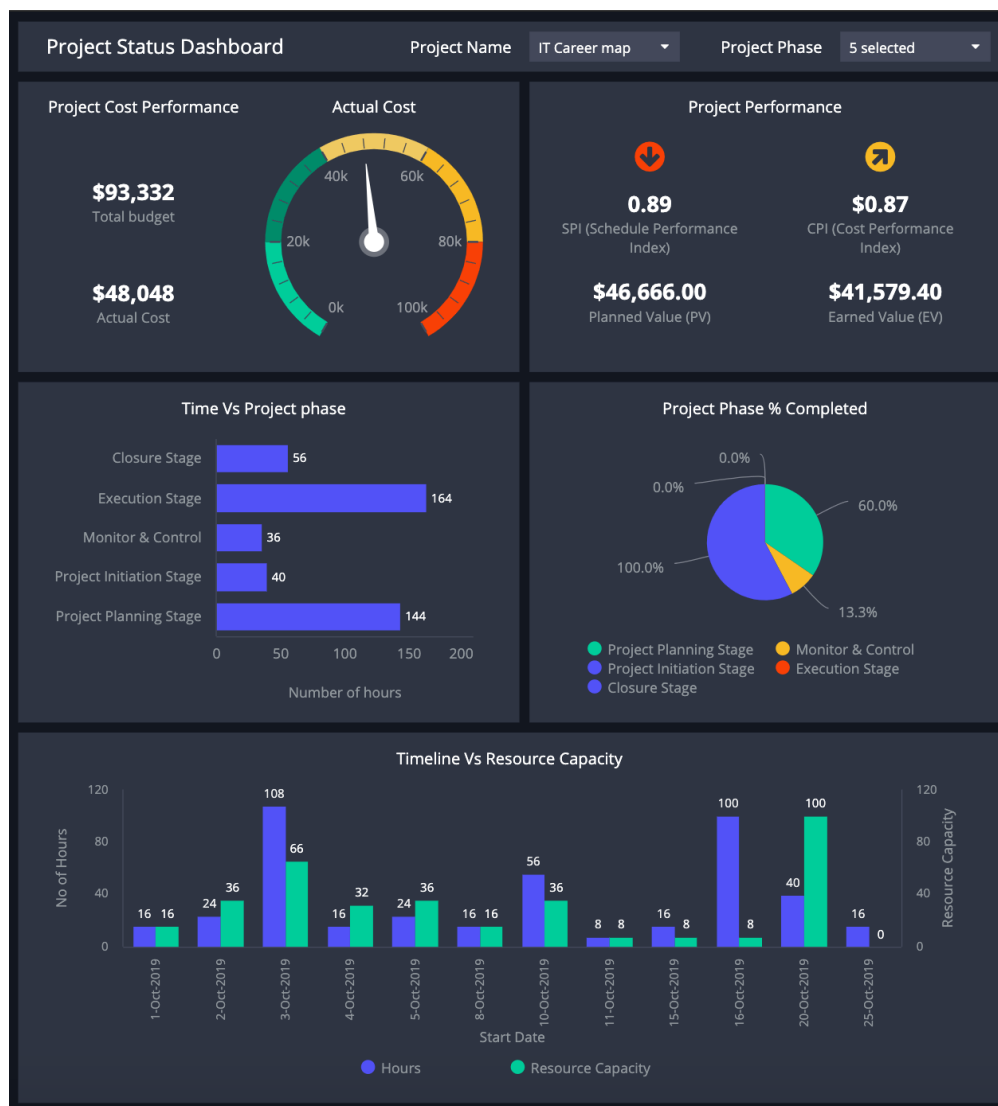


Figura 15 - Exemplo de Dashboard e como são plotados os dados coletados
 (CLIC DATA, 2021)

3.11.1. Dashboard - Protótipo

Na situação em questão, foi decidido o uso de *dashboard* para monitorar o *status* do campo, devido a sua facilidade e melhor visualização e compreensão ao invés de utilizar um sistema supervisorio. Outro fator contribuinte para este método de visualização é o fato de que toda ação é previamente definida no controlador, portanto, não há nenhuma ação manual e pensando em economia de projeto, um *dashboard* fica muito mais acessível em relação a um sistema *Scada*.

3.12. BOT

“Os *BOTs* são aplicações que funcionam de forma repetitiva e automática em plataformas que envolvam troca de mensagens, atendimentos rápidos e também em casos de interação simples com os usuários” (GARRET, 2018). São robôs, pré-programados com respostas padrões, definidas de acordo com as mensagens ou escolhas feitas por cada pessoa, o seu foco é realizar atividades que são consideradas básicas e que antes eram realizadas por algum ser humano, e agora passam a ser feitas por um programa, de forma ágil, assertiva e disponível a qualquer momento.

3.12.1. BOT - Protótipo

A utilização do *BOT* neste projeto tem como objetivo complementar a base de dados do CGE que hoje é alimentada de forma manual por pessoas e órgãos que são responsáveis pelo monitoramento climático e atendimento emergencial da cidade. A ideia é que o *BOT* informe ao CGE o nível da galeria pluvial em porcentagem e em volume preenchido, grau de atenção que deve ser tomada de acordo com o volume em função do tempo, além de informar quais rotas estão funcionando como alívio.

3.13. Custo e Mão de obra

Para a construção do protótipo foi necessário realizar a aquisição de alguns itens, conforme a tabela abaixo.

Tabela 5 - Custo do projeto

Material	QTD	Valor Unitario	Valor total
Raspberry PI 4 – 2GB	1 un	R\$ 454,90	R\$ 454,90
Válvula eletromecânica ODE ¾"	4 un	R\$ 205,87	R\$ 823,48
Bomba de transferência 240LH	4 un	R\$ 62,42	R\$ 249,68
Sensor ultrassônico HC-SR04	3 un	R\$ 18,30	R\$ 54,90
Suporte para sensor ultrassônico	3 un	R\$ 8,46	R\$ 25,38
Mangueira de plástico ¾"	2 m	R\$ 4,60	R\$ 9,20
Tubo PVC 4"	2 m	R\$ 46,85	R\$ 93,70
Pacote de cabos para Arduino com 40 unidades	2 un	R\$ 26,00	R\$ 52,00
Pacote cabo 4 x 1 mm ² com 25m	1 un	R\$ 6,00	R\$ 6,00
Kit com 8 Relés 5 VDC	1 un	R\$ 49,98	R\$ 49,98
Protoboard 830 pontos com base	1 un	R\$ 75,91	R\$ 75,91
Termo retrátil 3 mm	3 m	R\$ 2,00	R\$ 6,00
Parafuso Philips para madeira	20 un	R\$ 0,42	R\$ 8,40
Valor Total	-	-	R\$ 1909,53

A base do protótipo, onde estão sustentadas as tubulações, é feita de madeira e o material é fruto de reutilização (reciclagem), portanto, não houve um custo para este item.

Também foi necessário dividir as tarefas para os membros do grupo.

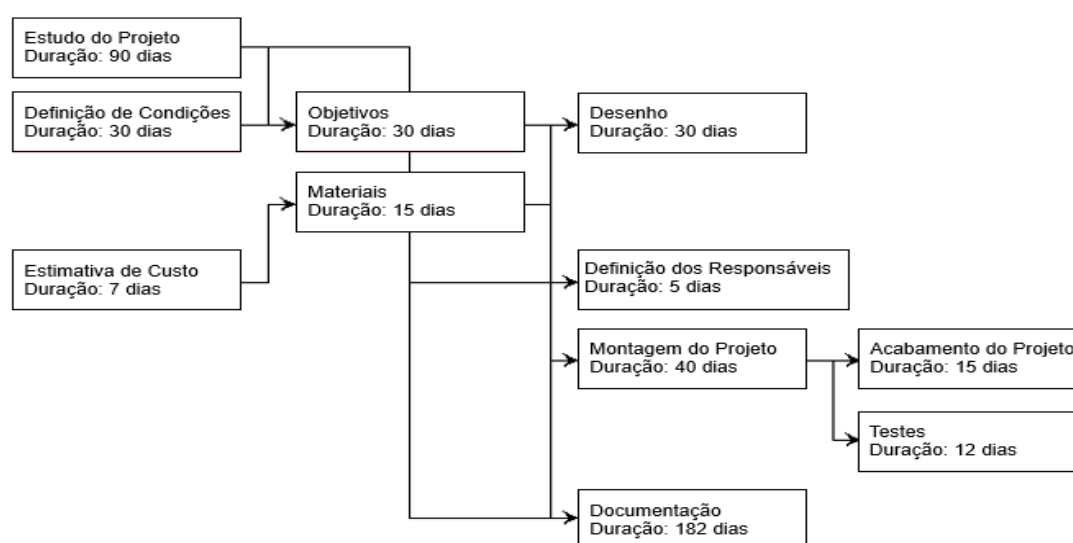


Figura 16 - Tempo das Atividades

(AUTORIA PRÓPRIA)

4. Resultados e discussão

Durante os testes do protótipo foram realizados três tipos de simulações para demonstrar na prática a solução descrita em teoria.

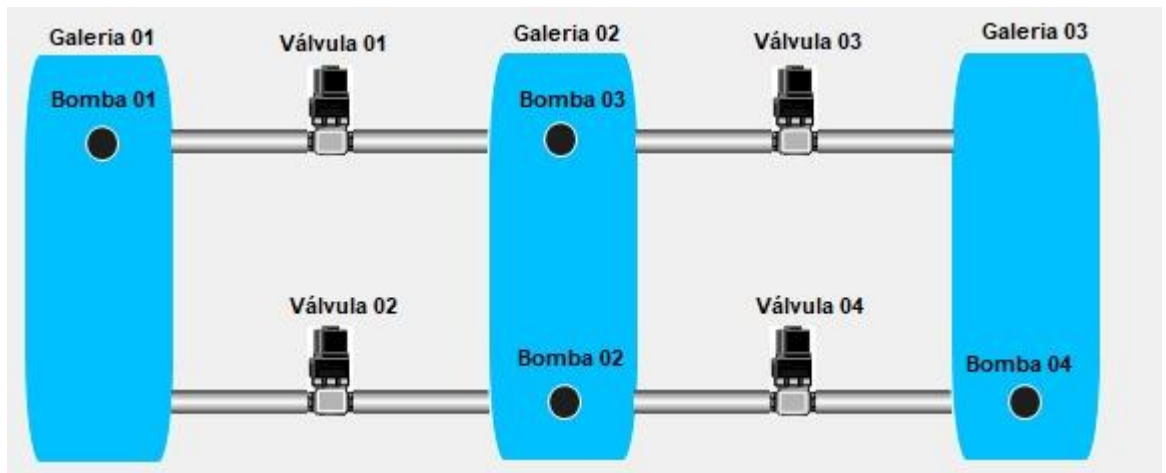


Figura 17 - Diagrama de funcionamento do Protótipo

(AUTORIA PRÓPRIA)

1. Simulação de nível crítico para galeria 01. Após a galeria 01 ter ultrapassado o nível estabelecido na programação, cujo valor era de 75% da capacidade total, medido pelo sensor ultrassônico, foi enviado o sinal do sensor para a *Raspberry*. O sinal recebido passou pela lógica programada fazendo com que o comando fosse enviado para acionamento da bomba 01 e válvula 01. Com os dois atuadores acionados, a transferência do fluido da galeria 01 para a galeria 02 foi liberada e assim o nível de ambas as galerias foi estabilizado.
2. Simulação de nível crítico para galeria 02. Após a galeria 02 ter ultrapassado o nível estabelecido na programação, cujo valor era de 75% da capacidade total, medido pelo sensor ultrassônico, foi enviado o sinal do sensor para a *Raspberry*. O sinal recebido passou pela lógica programada e realizou a comparação entre os níveis das galerias vizinhas para identificar a que tinha o menor nível. Após a identificação, a bomba e a válvula da mesma foram acionadas, e assim foi realizada a transferência de fluido entre as galerias. Logo os níveis foram estabilizados.
3. Simulação de nível crítico para galeria 03. Após a galeria 03 ter ultrapassado o nível estabelecido na programação, cujo valor era de 75% da capacidade total, medido pelo sensor ultrassônico, foi enviado o sinal do sensor para a *Raspberry*. O sinal recebido passou pela

lógica programada fazendo com que o comando fosse enviado para acionamento da bomba 04 e válvula 04. Com os dois atuadores acionados, a transferência do fluído da galeria 01 para a galeria 02 foi liberada e assim o nível de ambas as galerias foi estabilizado.

4.1. Diagrama Elétrico

Demonstração do esquema elétrico utilizado no protótipo e pinagem da *Raspberry*.

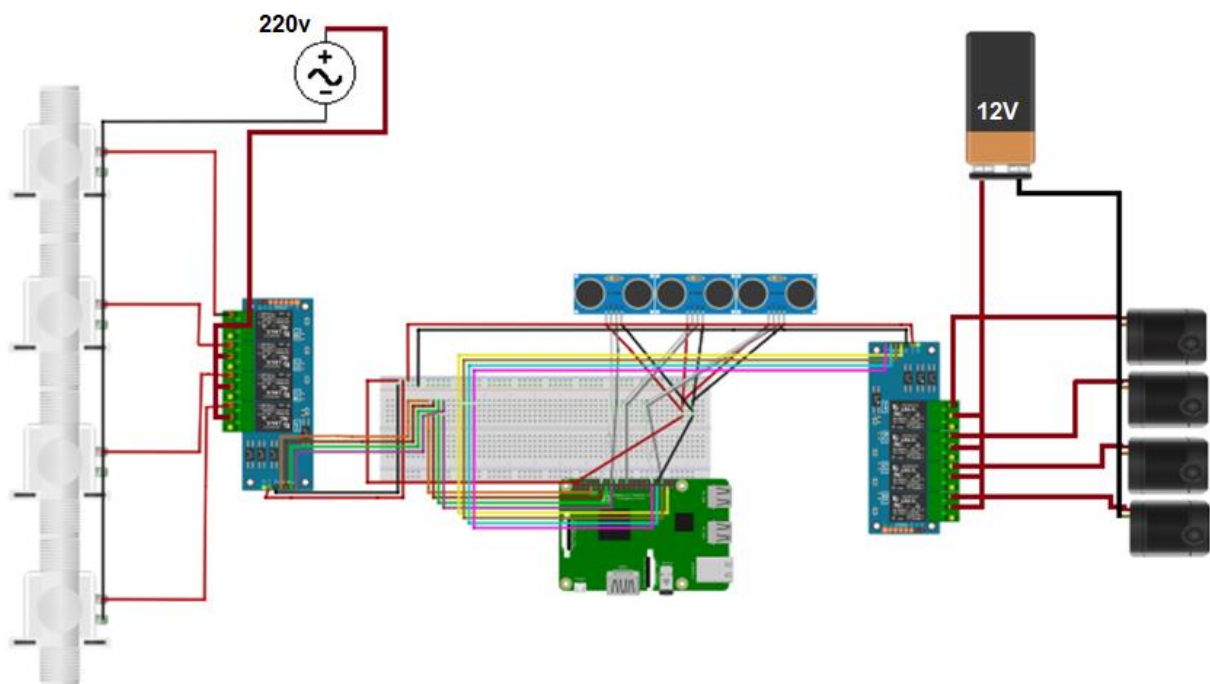


Figura 18 - Diagrama elétrico do Projeto
(AUTORIA PRÓPRIA)

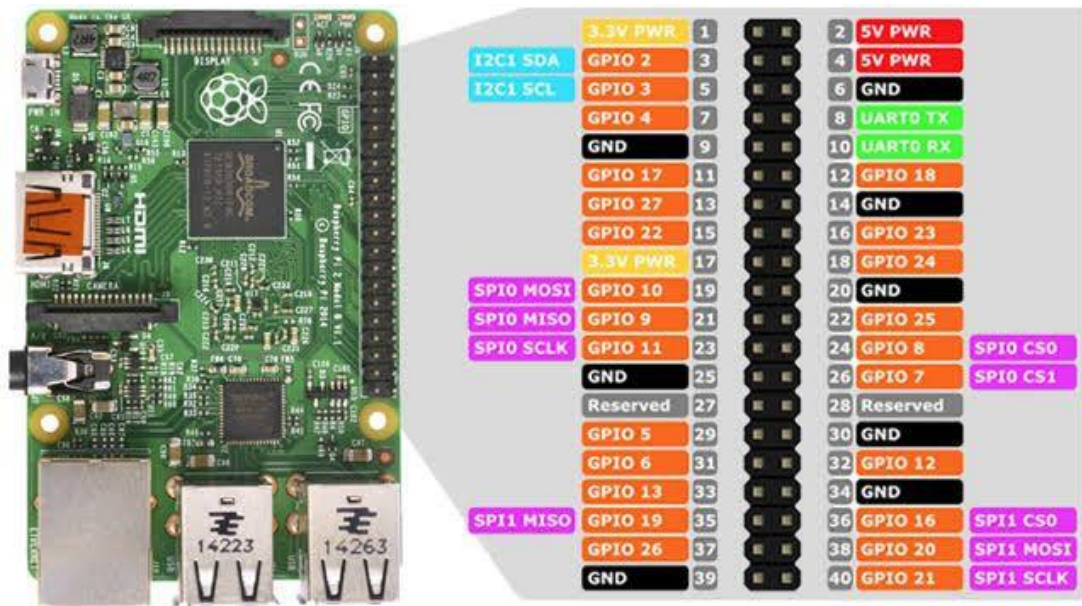


Figura 19 - Pinagem Raspberry
(SUHANKO, 2017)

4.2. Estrutura mecânica

A seguir é exibido os desenhos técnicos do protótipo em conjunto das imagens reais.

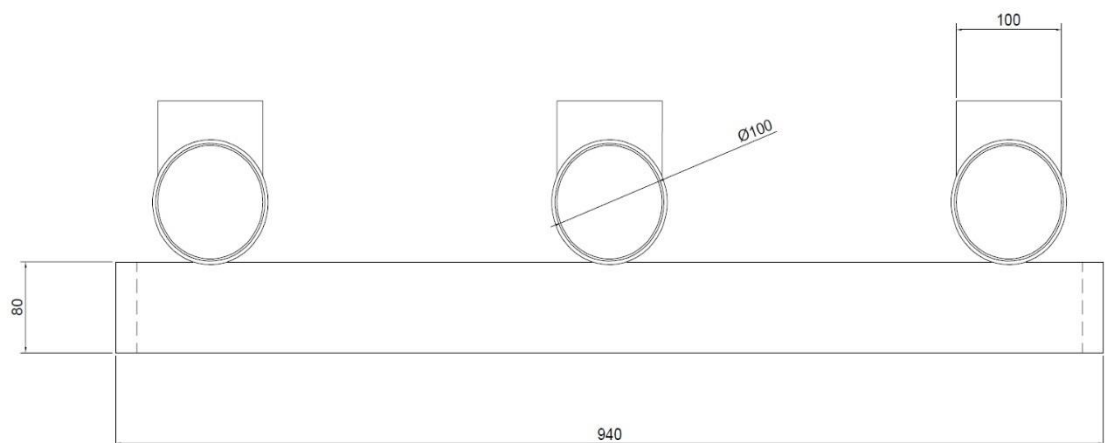


Figura 20 - Vista Frontal Desenho Técnico
(AUTORIA PRÓPRIA)

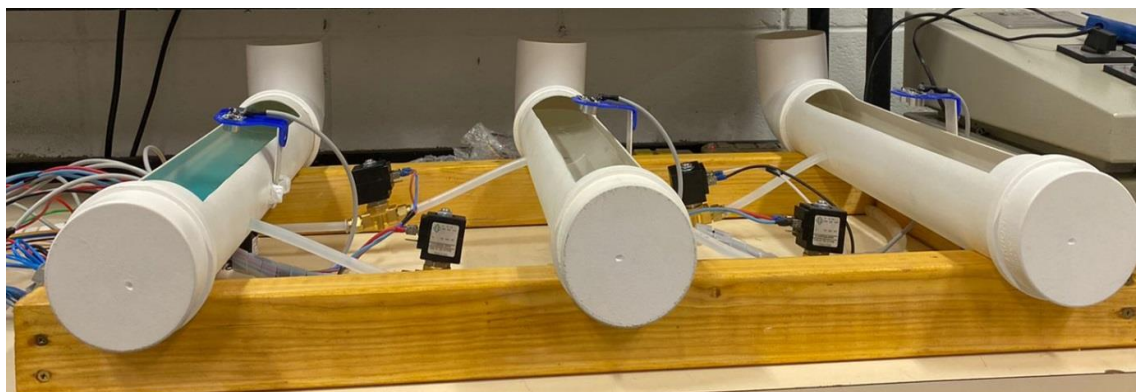


Figura 21 - Vista Frontal Protótipo
(AUTORIA PRÓPRIA)

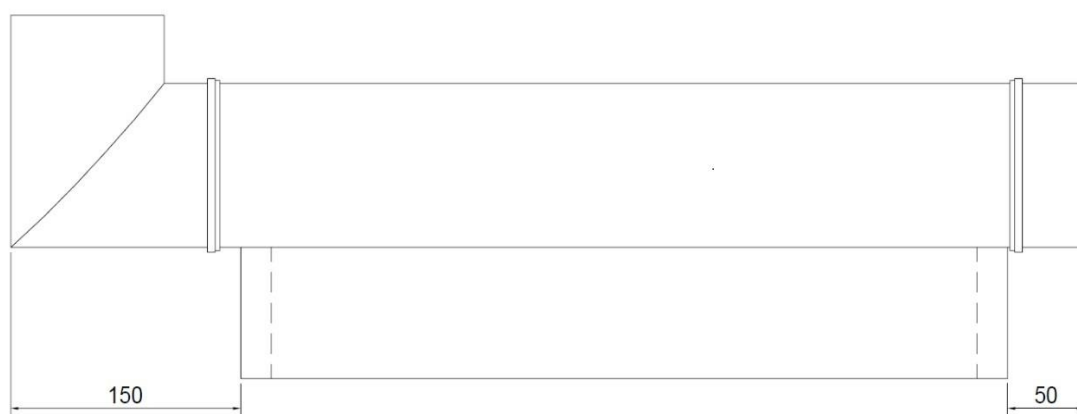


Figura 22 - Vista Lateral Desenho Técnico
(AUTORIA PRÓPRIA)

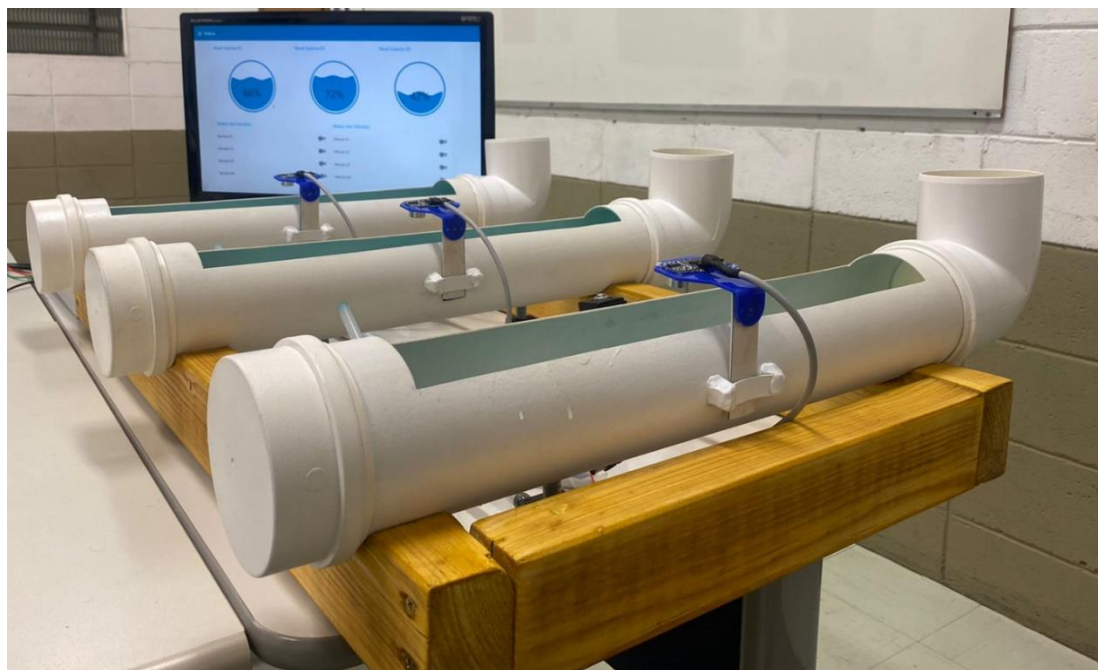


Figura 23 - Vista Lateral Protótipo
(AUTORIA PRÓPRIA)

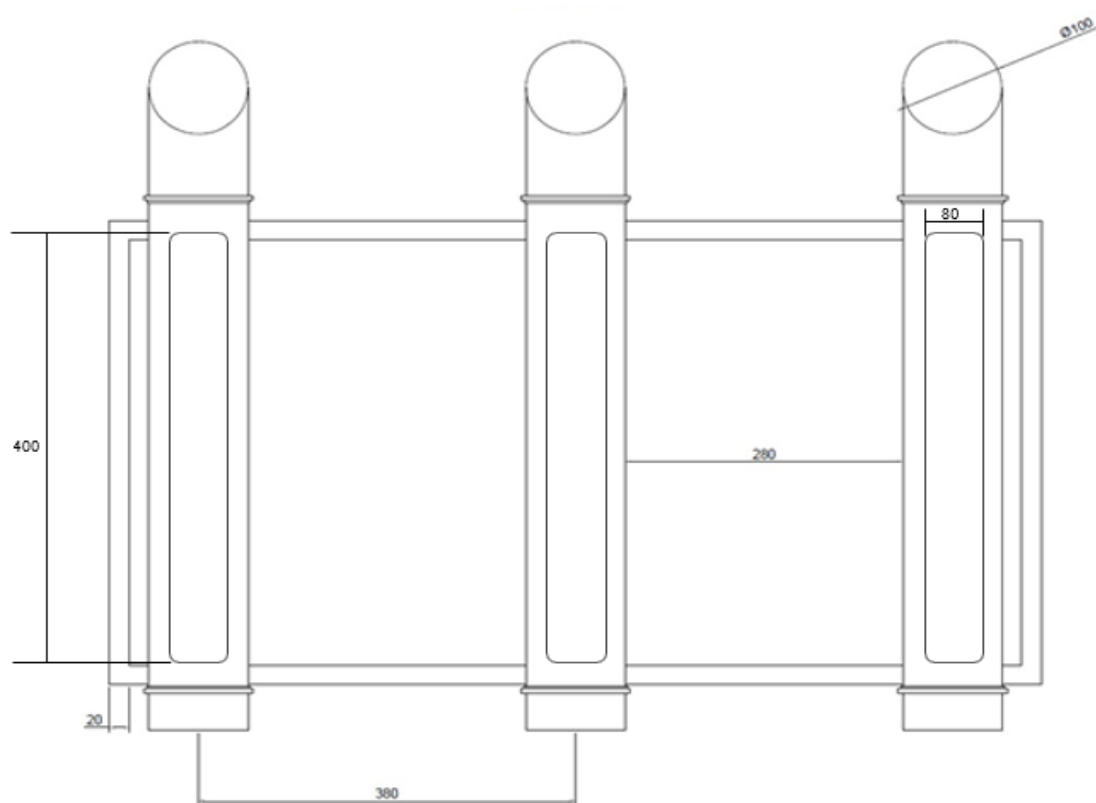


Figura 24 - Vista Superior Desenho Técnico
(AUTORIA PRÓPRIA)

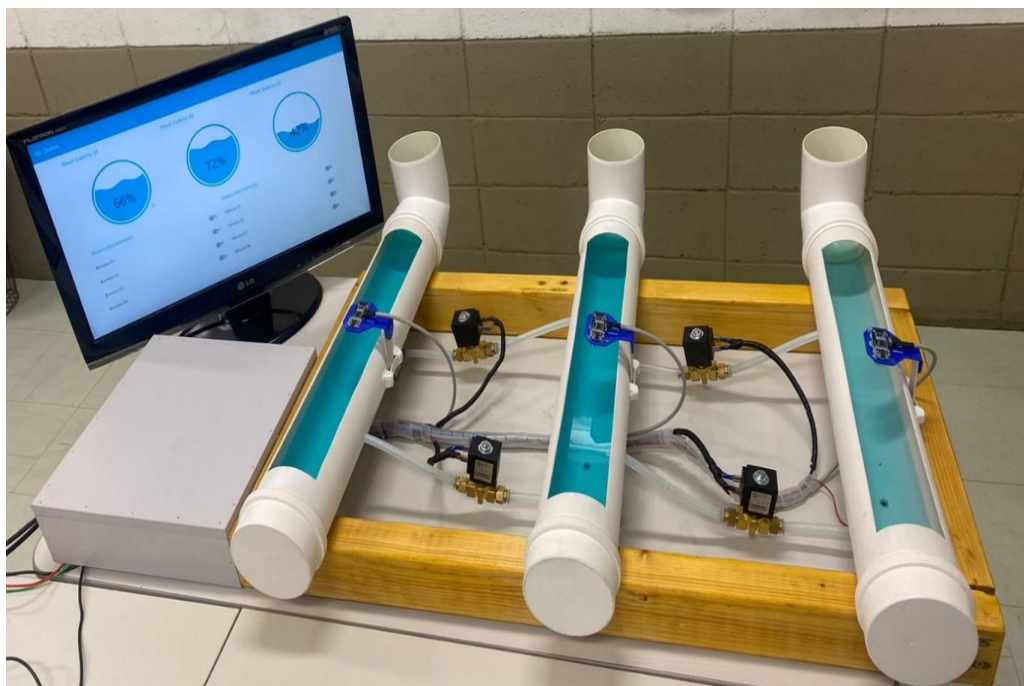


Figura 25 - Vista Superior Protótipo
(AUTORIA PRÓPRIA)

4.3. Programação

A programação foi desenvolvida na ferramenta *Node-red*, devido sua facilidade de integração com tecnologias *IOT*, sem a necessidade de programações extensas e com o visual mais amigável.

O código é dividido em leitura dos valores dos sensores, conversão desses valores para real, comparação dos níveis das galerias e por fim o acionamento das bombas e válvulas. Durante a lógica enviamos os valores dos sensores e o status das saídas para nosso broker *MQTT*, mantendo nosso *Dashboard* atualizado.

- Leitura dos valores é realizada através de uma biblioteca específica para os sensores.
- Conversão dos valores para real, pois o a biblioteca devolve o valor em texto.
- Comparação dos valores é feita através de uma função em *JavaScript*.
- Acionamento das saídas é realizado utilizando a biblioteca de entradas e saídas da *raspberry*.

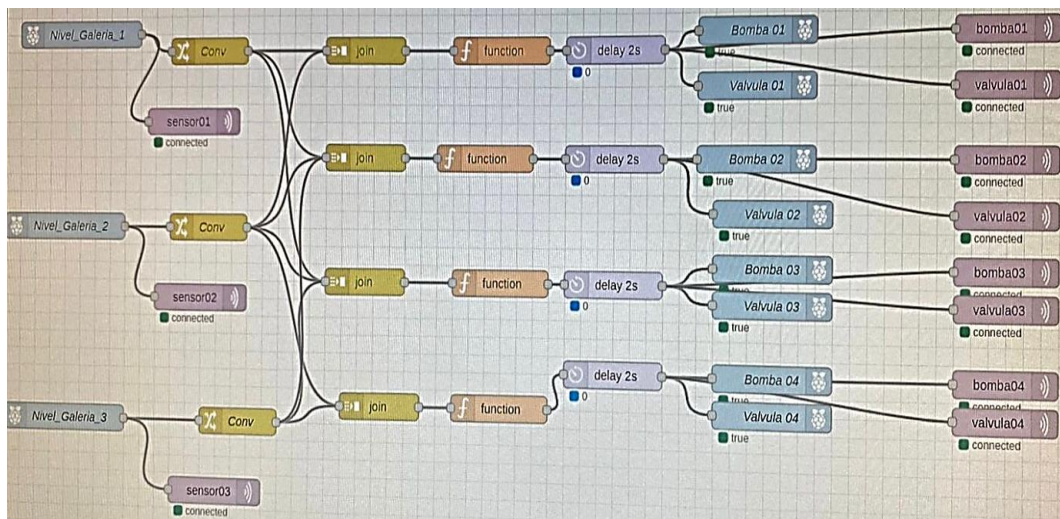


Figura 26 - Programação do Protótipo
(AUTORIA PRÓPRIA)

4.4. Dashboard

O *Dashboard* também foi desenvolvido utilizando a ferramenta *Node-Red*, só que utilizando uma máquina virtual na plataforma da *Google Cloud*, assim podemos ter uma ferramenta online com a segurança necessária.

A ferramenta já conta com uma biblioteca que permite a criação de uma interface gráfica sem muitas dificuldades, assim só recebemos os valores do protótipo via MQTT, convertamos para real e transformamos o valor para a escala de 0 a 100%.

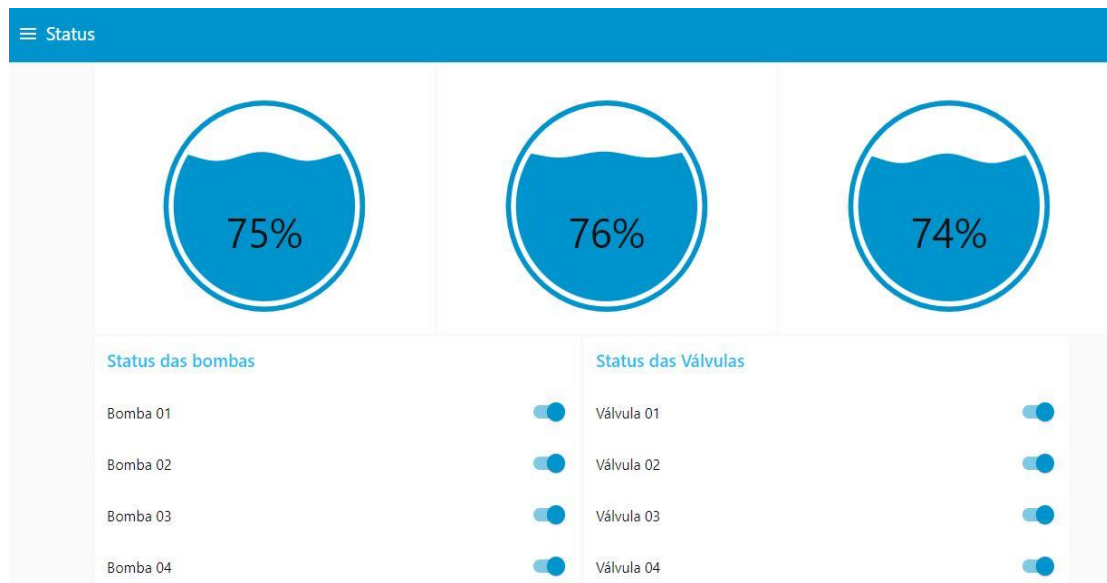


Figura 27 - Dashboard de acompanhamento dos níveis em tempo real

(AUTORIA PRÓPRIA)

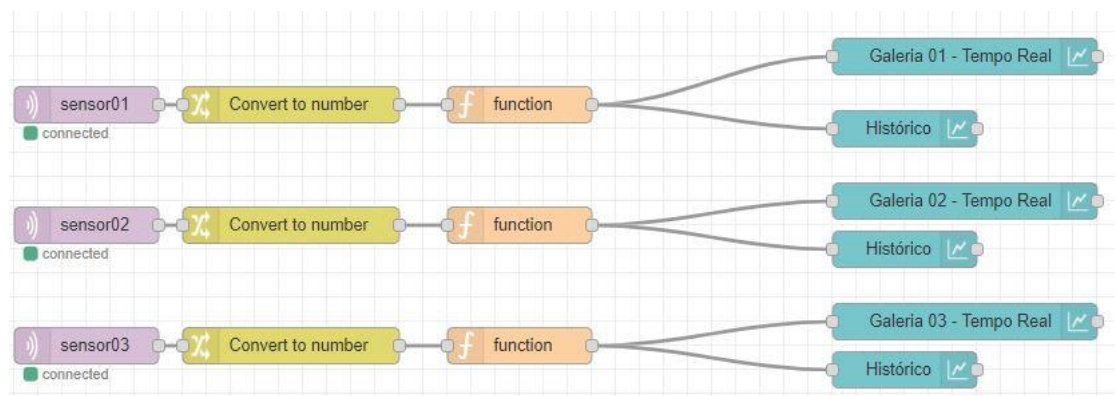


Figura 28 - Programação do Dashboard

(AUTORIA PRÓPRIA)

4.5. BOT

O BOT é criado através do próprio *Telegram*, gerando um *token* e um *Chat-ID*, com essas informações conseguimos parametrizar a biblioteca de comunicação entre *Telegram* e *Node-Red*. Depois da comunicação estabelecida, só nos resta criar as condições de mensagens.

- Nível da galeria 01 maior que 75%.
- Nível da galeria 02 maior que 75%.

- Nível da galeria 03 maior que 75%.



Figura 29 - BOT CGE em funcionamento
(AUTORIA PRÓPRIA)

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos nesse estudo e também nos testes e pesquisas, é possível concluir que:

Os parâmetros que estão diretamente conectados aos fenômenos de enchentes e alagamentos são em grande parte falha na estruturação do projeto urbano de drenagem pluvial e a falta de investimento após o crescimento metropolitano, que na grande maioria interfere nas rotas naturais de drenagem, e por não haver novas rotas ou caminhos alternativos, os efluentes finais ficam sobrecarregados e refletem nas drenagens que o alimentam, obstruindo parte do escoamento, além da obstrução das galerias. Outros fatores também são cruciais para a sobrecarga, como o excesso de entulhos e objetos que impedem a correnteza da água até seu destino final. Atualmente não há uma previsão, controle ou qualquer tipo de tecnologia para acompanhar e/ou amenizar os efeitos colaterais deste problema nas galerias das ruas, portanto, conclui-se que é necessário o investimento de novos recursos tecnológicos para monitoramento e controle, além da reestruturação de modelos atuais de galerias pluviais, e de projetos futuros. Ao analisar o atual método de acompanhamento das galerias pluviais, percebe-se grande disparidade tecnológica e até mesmo total ausência, o que concede a oportunidade de implementação de novas formas de controlar e monitorar o nível e o seu respectivo grau de gravidade, ao que se diz respeito às redes pluviais metropolitanas, portanto para que haja um equilíbrio em toda a rede hídrica da cidade é necessário que todas as galerias estejam conectadas entre si, para que o fluxo entre em circulação por ela, em busca de algum local mais vazio, de forma lógica e automática, para finalmente ir de encontro ao efluente final. Outro detalhe importante é que, enquanto o fluxo busca alguma galeria com o nível um pouco mais baixo para ser drenado, isto reduz o risco com que a sobrecarga seja elevada até os níveis das vias públicas, ou seja, retarda e até mesmo pode evitar com que as enchentes e alagamentos aconteçam, e também em casos inevitáveis, o funcionamento da rede de drenagem com rotas alternativas diminui consideravelmente o volume de extravasamento, logo, os danos causados tomam pequenas proporções, se comparados com os níveis atuais de perdas e consequências, e até mesmo com casos passados.

Além das informações citadas, é possível observar também a falta de investimento no setor, pois atualmente não há nenhum atrativo para investidores e empresas que visam retornos financeiros, e por parte da gestão pública, o argumento é semelhante ao setor privado, como não há um retorno financeiro, e as possíveis ações de melhoria funcionariam apenas como ações

de prevenção, acabam sendo deixadas de lado, com alegações de que outras frentes públicas são prioridades e que este tipo de solução, não é factível.

Através do estudo de caso foi desenvolvida uma nova proposta de controle e monitoramento das galerias pluviais voltados para as concessionárias que administram este tipo de processo urbano em São Paulo, mas que também pode servir de exemplo para o Brasil e para o mundo. Diferente do modelo atual, que chega a monitorar apenas os efluentes finais, mas que não tomam nenhuma ação, apenas geram gráficos para acompanhamento, este protótipo conseguiu reinventar a forma como a drenagem pluvial é tratada, sendo capaz de definir qual a melhor rota para o fluxo hídrico prosseguir até desaguar no efluente final, praticamente sem que cause extravasamento das vias públicas, mas para que o sistema funcione corretamente foi visto a necessidade da criação de uma teia hídrica, onde diversos caminhos podem servir como atalhos ou melhores rotas para seguir, uma analogia que também pode servir como base são as ruas e avenidas, da mesma forma que existem suas paralelas que servem para desafogar o trânsito, e os faróis para administrar os caminhos disponíveis. O protótipo tem sua lógica definida através de sensores de nível que abrem rotas alternativas através de válvulas e bombas, é de conhecimento do grupo que o sistema não seria totalmente capaz de controlar as enchentes e alagamentos, mas que seria capaz de reduzir drasticamente a quantidade de alagamentos e seus respectivos impactos, além de avisar a população previamente, ação que hoje não acontece.

6. Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13403**. [s.l: s.n.].
- AESABESP. Indústria 4.0 e precariedade num cenário de contrastes. 29 mar. 2019.
- AMBIENTAL, B. **Como preservar a rede de águas pluviais e contribuir para o saneamento da sua cidade**. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/bueiro-livre/>>. Acesso em: 20 set. 2021a.
- AMBIENTAL, B. **Você sabia que água da chuva e esgoto não devem se misturar?** Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/chuva-e-esgoto-nao-se-misturam/>>. Acesso em: 20 set. 2021b.
- AZEREDO, T. **Massas de ar** Disponível em: <<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/massas-de-ar.html>>. Acesso em: 03 dez.2021.
- BONGAS. **VÁLVULA BORBOLETA COM ATUADOR ELÉTRICO: FUNCIONAMENTO E VANTAGENS**. Disponível em: <<https://bongas.com.br/valvula-borboleta-com-atuador-eletrico-funcionamento-e-vantagens/>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- CANOAS, C. DE G. B. H. DO R. **MONITORAMENTO HIDROLÓGICO**. Disponível em: <<https://www.aguas.sc.gov.br/base-documental-rio-canoas/noticias-rio-canoas/item/7150-monitoramento-hidrologico/7150-monitoramento-hidrologico>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- CGE - CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS. **Fontes de Informação**. Disponível em: <<https://www.cgesp.org/v3/fontes-de-informacao.jsp>>. Acesso em: 20 out. 2021.
- CLIC DATA. **DASHBOARDS PARA GESTÃO DE PROJETOS**. Disponível em: <<https://www.clicdata.com/pt/exemplos/gestao-projetos/>>. Acesso em: 1 nov. 2021.
- CLIMA, M. **Pluviômetro Automático com Transmissão GSM**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.mundoclima.com.br/produtos/pluviometro-automatgico-com-transmissao-gsm/>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- COSTA, M. **O que é armazenamento em nuvem e como funciona**. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/internet/armazenamento-em-nuvem-o-que-e/>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- DALL’OLIO, C. A metrópole improvável: por que São Paulo virou a maior cidade do Brasil. **Exame**, 25 jan. 2019.
- ELECTRICAL LIBRARY. **5 métodos de medição de vazão dos rios**. Disponível em: <<https://www.electricalibrary.com/2019/10/26/5-metodos-de-medicao-de-vazao-dos-rios/>>. Acesso em: 31 out. 2021.
- ELETROGATE. **Módulo Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- ELIPSE SOFTWARE. **O que são sistemas supervisórios?** Disponível em: <<https://kb.elipse.com.br/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>>. Acesso em: 24 set. 2021.
- ESCOVAR, J. V. Enchentes em SP: Brasil perde mais de R\$ 1 milhão por ponto de alagamento. **O Consumerista**, 10 fev. 2020.

FILIFELOP. **Raspberry Pi 4**. Disponível em: <<https://www.filieflop.com/produto/raspberry-pi-4-model-b/>>. Acesso em: 31 out. 2021.

GARRET, F. **O que é bot? Conheça os robôs que estão “dominando” a Internet**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/07/o-que-e-bot-conheca-os-robos-que-estao-dominando-a-internet.ghml>>. Acesso em: 31 out. 2021.

GIANT ELECTRIC TECH. **D1 - Manual - Mini Bomba 4.2W 240LH 12V - D1**. 2020.

GOMES, P. **O QUE É UM DASHBOARD? O GUIA COMPLETO E DEFINITIVO!** Disponível em: <<https://www.opservices.com.br/o-que-e-um-dashboard/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

GOOGLE. **Dream, build, and transform with Google Cloud**. Disponível em: <<https://cloud.google.com/>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

HI TECNOLOGIA. **O que é o protocolo MQTT?** Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/>>. Acesso em: 31 out. 2021.

INFOENG. **JOHNSON & JOHNSON - REESTRUTURAÇÃO DA ETE**. Disponível em: <<https://www.infoeng.com.br/conteudo/johnson-johnson-reestruturacao-da-ete.html>>. Acesso em: 19 out. 2021.

INMETRO. **Medidores de efluentes: As novas tecnologias disponíveis no Mercado**, 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/medidores_de_efluentes_as_tecnologias_disponiveis_no_mercado_marcos_antonio_kokol.pdf>. Acesso em: 31 out. 2021

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qual a diferença entre enchente, inundação e alagamento**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Enchente>>.

MANCUSO, F. Cidade de São Paulo tem 22 piscinões; saiba como eles funcionam. **G1**, 14 abr. 2017.

NACIONAL, C. LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. . 15 jul. 2020 a.

NACIONAL DE SANEAMENTO, S. **Do SNIS ao SINISA Abastecimento de Água Ministério do Desenvolvimento Regional**. [s.l: s.n.].

NACIONAL, J. São Paulo tem chuva recorde e dia de caos para motoristas e moradores. **Jornal Nacional**, 10 fev. 2020b.

ODE. **21A2KV55-ORW (Internes technisches datenblatt)**. [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, F. **CLIMA TROPICAL**. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/geografia/clima-tropical>>. Acesso em: 2 set. 2021.

PAULO, P. DE S. **Coleta Domiciliar Seletiva**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/coleta_seletiva/index.php?p=4623>. Acesso em: 20 set. 2021.

PENA, R. **Chuvas no Brasil**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/chuvas-no-brasil.htm>>. Acesso em: 2 set. 2021.

PERRY, S. **Os 5 principais motivos para usar o Node-RED agora**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/software/163254-5-principais-motivos-usar-node-red.htm>>. Acesso em: 10 out. 2021.

REDAÇÃO. Como se mede a quantidade de chuva? Meteorologista da Funceme tira dúvidas. **Diário do Nordeste**, 19 jan. 2019a.

REDAÇÃO. **O que é Raspberry?** Disponível em:

<<https://olhardigital.com.br/2019/02/18/noticias/raspberry-pi-o-que-e-para-que-serve-e-como-comprar/>>. Acesso em: 31 out. 2021b.

REGIONAL, M. DO D. **Novo Marco de Saneamento é sancionado e garante avanços para o País.**

Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/07/novo-marco-de-saneamento-e-sancionado-e-garante-avancos-para-o-pais>>. Acesso em: 20 set. 2021.

SABESP. **ÁGUAS PLUVIAIS**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.sabesp.com.br>.

SAISP. **O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP)**. Disponível em:

<<https://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.html>>. Acesso em: 17 out. 2021.

SHIMABUKURO, I. **Sabesp anuncia projeto-piloto baseado em IoT e Inteligência Artificial**. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2021/03/18/pro/sabesp-anuncia-projeto-piloto-baseado-em-iot-e-inteligencia-artificial/>>. Acesso em: 20 set. 2021.

SIEMBRA AUTOMAÇÃO. **CLP - Controlador Lógico Programável. Você sabe o que é?** Disponível em:

<<https://www.siembra.com.br/noticias/clp-controlador-logico-programavel-voce-sabe-o-que-e/>>.

Acesso em: 19 set. 2021.

SIEMENS. **Módulo Lógico para Pequenos Projetos - Logo!** Disponível em:

<<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/controladores/logo/modulo-pequenos-projetos.html#BasicModuleswithdisplay>>. Acesso em: 29 out. 2021.

SIGMA SENSORS. **Linígrafo Digital Para Registro de Nível de Água**. Disponível em:

<<https://sigmasensors.com.br/linigrafo-digital-registro-nivel-agua>>. Acesso em: 31 out. 2021.

SILVA, R. **Clima de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/clima-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 30 set. 2021.

SILVEIRA, C. **Sensor de Nível: 10 Tipos Diferentes para Aplicar na Indústria**. Disponível em:

<<https://www.citisystems.com.br/sensor-de-nivel/>>. Acesso em: 19 set. 2021.

SISTEMAS, E. ORGANIZAÇÃO. **COMO FUNCIONA A DRENAGEM URBANA?** Disponível em:

<<https://www.eosconsultores.com.br/como-funciona-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 20 set. 2021.

TROISE, T. **SANEAMENTO 4.0**. Disponível em: <<https://tudosobreiot.com.br/saneamento-4-0/>>.

Acesso em: 20 set. 2021.

TUCCI, C. **Curva-chave**. [s.l: s.n.].