



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SOROCABA

Felipe Quilici

**A IMPORTÂNCIA DA TELEMETRIA E DA RASTREABILIDADE: CASO DE
APLICAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Sorocaba/SP

2023

FELIPE QUILICI

**A IMPORTÂNCIA DA TELEMETRIA E DA RASTREABILIDADE: CASO DE
APLICAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como parte dos pré-requisitos para a
obtenção do título de Engenheiro de Controle e
Automação, à Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Alexandre Marques.

Sorocaba / SP

2023

Q6i

Quilici, Felipe

A importância da telemetria e da rastreabilidade : caso de aplicação em redes de distribuição de água / Felipe Quilici. -- Sorocaba, 2023
39 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Márcio Alexandre Marques

1. Detectores de vazamento. 2. Saneamento. 3. Resíduos Industriais.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

**A IMPORTÂNCIA DA TELEMETRIA E DA RASTREABILIDADE: CASO DE
APLICAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

FELIPE QUILICI

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Prof. Dr. Márcio Alexandre Marques
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Márcio Alexandre Marques
Orientador / UNESP – Campus Sorocaba

Prof. Dr. Eduardo Verri Liberado
Avaliador / UNESP – Campus Sorocaba

Eng. Roberto Eyama
Avaliador / Externo

Sorocaba

2023

RESUMO

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) divulgou em 2020 uma preocupante estatística que revela que cerca de 40% da água tratada no Brasil é perdida durante a sua fase de distribuição, e grande parte desse volume é constituída por vazamentos invisíveis. Esse desperdício não apenas representa uma perda significativa de um recurso vital, mas também resulta em um consumo desnecessariamente elevado de produtos químicos usados no processo de tratamento da água. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desempenhar um papel crucial no setor de saneamento, adotando abordagens inovadoras do conceito de Saneamento 4.0. Ele visa desenvolver algoritmos sofisticados e robustos capazes de identificar vazamentos invisíveis em redes de distribuição de água, aproveitando-se de princípios de telemetria, rastreabilidade e técnicas de processamento de dados. Além disso, será incluído a criação de uma aplicação completa em uma plataforma IIoT (*Industrial Internet of Things*) para o monitoramento e acompanhamento em tempo real dos reservatórios de distribuição de água. Essa aplicação integrará de maneira cíclica um algoritmo que permitirá uma resposta ágil à detecção de vazamentos e a otimização da gestão dos recursos hídricos. O monitoramento foi implementado em um ambiente demonstrativo, utilizando dados simulados onde era conhecido a existência de vazamentos. A plataforma apresentou um grande potencial para contribuir com rotinas de manutenção de sistemas de distribuição, criando um processo mais ágil para reduzir o desperdício de água, e garantir uma atuação mais assertiva em casos de vazamento. Conclui-se que esse monitoramento em tempo real é um avanço significativo na telemetria e na rastreabilidade, pois permite uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos, reduzindo desperdícios.

Palavras-chave: identificação de vazamentos; desperdício; plataforma IIoT; saneamento.

ABSTRACT

The ANA (“Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico”) released a concerning statistic in 2020, revealing that approximately 40% of treated water in Brazil is lost during its distribution phase, with a significant portion of this volume consisting of invisible leaks. This wastage not only represents a substantial loss of a vital resource but also leads to unnecessarily high consumption of chemicals used in the water treatment process. Given this context, the present work aims to play a crucial role in the sanitation sector by adopting innovative approaches from the concept of Sanitation 4.0. It seeks to develop sophisticated and robust algorithms capable of identifying invisible leaks in water distribution networks, leveraging principles of telemetry, traceability, and data processing techniques. Furthermore, it will include the creation of a comprehensive application on an IIoT (Industrial Internet of Things) platform for real-time monitoring and tracking of water distribution reservoirs. This application will cyclically integrate an algorithm that enables a swift response to leak detection and optimization of water resource management. The monitoring was implemented in a demonstrative environment, utilizing simulated data where the existence of leaks was known. The platform demonstrated significant potential in contributing to distribution system maintenance routines, creating a more efficient process to reduce water wastage, and ensuring a more precise response to leakage incidents. In conclusion, this real-time monitoring represents a significant advancement in telemetry and traceability, enabling more effective and sustainable management of water resources while reducing wastage.

Keywords: leak detection; waste; IIoT platform; sanitation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
2.1 Saneamento 4.0.....	8
2.2 Perspectiva ESG.....	9
2.3 Marco Legal do Saneamento.....	10
2.4 Telemetria (Telemetry).....	10
2.5 Rastreabilidade (Traceability).....	11
2.5.1 Upstream/Downstream.....	12
2.5.2 Interna/Externa.....	13
2.6 Plataformas IIoT.....	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1 Algoritmos de identificação.....	15
3.1.1 Algoritmos de MatrixProfile (MP).....	15
3.1.2 Vazão mínima noturna.....	16
3.2 Metodologia.....	16
3.3 Plataforma do Projeto.....	20
3.3.1 WEGnology.....	20
3.3.2 Raspberry Pi 3B+.....	21
3.3.3 Metodologia.....	22
4 RESULTADOS.....	24
4.1 Algoritmos de Identificação.....	24
4.2 Plataforma do Projeto.....	30
5 CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

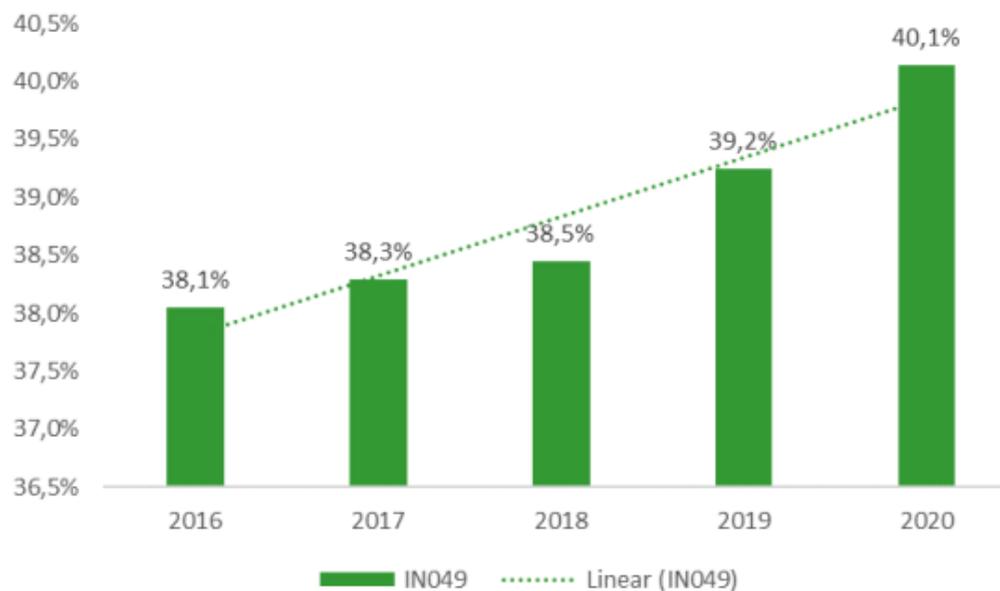
A água é um recurso absolutamente indispensável, sendo essencial tanto para a sobrevivência e sustento da vida quanto para o desenvolvimento e realização das atividades humanas. Embora a Terra possua uma quantidade imensa de água, cerca de 1386 milhões de km³, apenas uma fração diminuta desse total, equivalente a 2,5%, corresponde a reservatórios de água doce. E desse montante, somente 0,26% está localizado em locais facilmente acessíveis (SHIKLOMANOV, 1998).

A desigual distribuição geográfica dos recursos hídricos, agravada pela crescente demanda por água resultante do aumento da população e pela negligência no planejamento e investimento em processos de industrialização e urbanização, revelou uma fragilidade nos sistemas de abastecimento. Isso ficou evidente por meio de crises de escassez hídrica que ocorrem cada vez com mais frequência (ANA, 2019). Um exemplo recente é a crise hídrica na região Sudeste em 2014, que impactou principalmente o sistema Cantareira, levando-o ao esgotamento de sua capacidade de reserva (volume acima das comportas). Esse evento teve efeitos devastadores no abastecimento residencial, na produção industrial e até mesmo no fornecimento de energia (MARENGO *et al.*, 2015).

No contexto brasileiro, a distribuição de água enfrenta desafios significativos. Um ponto notável é o desperdício alarmante de recursos hídricos, com uma média de aproximadamente 40% de água tratada perdida devido a vazamentos, infraestrutura inadequada e práticas ineficientes (PONTES, 2022). Entretanto, o que acaba sendo mais preocupante, é que esse índice vem crescendo desde 2016, conforme apresentado na figura 1. Essa realidade coloca em evidência a necessidade urgente de abordar não apenas a disponibilidade de água, mas também a gestão responsável e sustentável desse recurso vital.

Considerando o cenário apresentado, o presente trabalho visa construir uma plataforma que terá como principal objetivo o apontamento automático de novos vazamentos nos sistemas de distribuição de água, utilizando como entrada, os dados de vazão de reservatórios ou de válvulas redutoras de pressão, assim como a incorporação de métodos já conhecidos pelo setor de saneamento junto a utilização de algoritmos de inteligência artificial que são capazes de realizar reconhecimento de padrões. Para efetuar os testes da plataforma, serão utilizados dados de vazão de macro reservatórios, onde é conhecida a existência de vazamentos.

Figura 1 - Gráfico representando a evolução do índice de perdas da distribuição de água no Brasil.



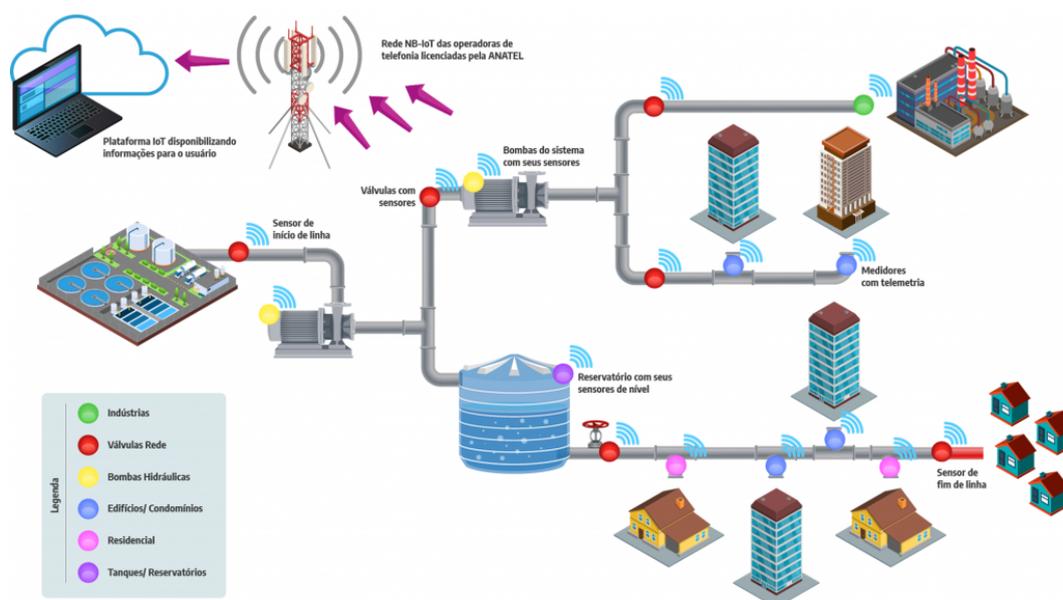
Fonte: Instituto Trata Brasil (2022).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Saneamento 4.0

A implementação das práticas da indústria 4.0 para o setor de Saneamento Básico vêm se tornando cada vez mais recorrentes desde o anúncio do Novo Marco Regulatório do Saneamento. Um panorama geral de sua implementação pode ser vista na figura 2. O marco emitiu normas referentes a tópicos como: implementação de padrões de qualidade e eficiência na prestação de serviços, metas de universalização do saneamento básico, e principalmente, a cobrança de atividades voltadas para a redução da perda de água.

Figura 2 - Exemplo de arquitetura implementada no Saneamento 4.0



Fonte: Reis (2020).

Atualmente o Brasil perde aproximadamente 40% de sua água tratada em seu processo de distribuição (PONTES, 2022). Os causadores dessa alta taxa de desperdício são, majoritariamente, causados por fissuras em ramais de ligação, assim como rompimentos de tubulações de distribuição.

O que torna ainda mais difícil combater esse alto índice, é que a maioria desses vazamentos são de origem não visível, ou seja, a perda se encontra no subterrâneo. Para auxiliar no combate, são utilizados instrumentos que permitem escutar ruídos da terra,

chamados de geofone, que tem o objetivo de identificar em específico o ponto em que o rompimento ocorreu (SAAE, 2020).

2.2 Perspectiva ESG

A perspectiva ESG (*Environmental, Social and Governance*) tem se tornado cada vez mais importante para as empresas e organizações que buscam se destacar no mercado. Nesse sentido, o setor industrial e de saneamento básico não é exceção, uma vez que as atividades desenvolvidas nesses setores têm impacto direto sobre o meio ambiente e a sociedade (RABELLO, 2023).

No caso do setor industrial, as empresas têm sido cada vez mais pressionadas a adotar práticas mais sustentáveis e responsáveis, que considerem não apenas o lucro financeiro, mas também o impacto de suas atividades sobre o meio ambiente e a sociedade. Essa pressão vem não apenas de organizações governamentais e ambientais, mas também dos próprios consumidores, que estão cada vez mais conscientes e exigentes em relação às práticas adotadas pelas empresas (VANZOLINI, 2022).

No que diz respeito ao setor de saneamento básico, a perspectiva ESG é fundamental para garantir a efetividade das ações desenvolvidas nesse setor. Isso porque as atividades de saneamento básico têm impacto direto sobre a saúde e o bem-estar das comunidades, bem como sobre o meio ambiente. Desse modo, é essencial que as empresas e organizações que atuam nesse setor adotem práticas responsáveis e sustentáveis, que considerem não apenas a eficiência dos serviços prestados, mas também a qualidade ambiental e social das comunidades atendidas (BRK AMBIENTAL, 2022).

No contexto do saneamento básico, a perspectiva ESG também está diretamente ligada ao conceito de Saneamento 4.0, que se refere à utilização de tecnologias digitais e de automação para melhorar a eficiência e a qualidade dos serviços de saneamento básico. A adoção de tecnologias sustentáveis e eficientes pode contribuir para a melhoria da qualidade dos serviços prestados, bem como para a redução do impacto ambiental das atividades desenvolvidas no setor (AESBE, 2021).

Dessa forma, é possível perceber que a perspectiva ESG é fundamental para o setor industrial e de saneamento básico, uma vez que as atividades desenvolvidas nesses setores têm impacto direto sobre o meio ambiente e a sociedade. A adoção de práticas responsáveis e

sustentáveis é essencial para garantir a efetividade das ações desenvolvidas no setor, bem como para atender às demandas e expectativas da sociedade e dos consumidores.

2.3 Marco Legal do Saneamento

O Marco Legal do Saneamento é uma lei federal sancionada em 2020 que estabelece novas regras para o setor de saneamento básico no Brasil. A lei tem como objetivo principal fomentar a ampliação dos investimentos no setor, visando garantir o acesso universal aos serviços de saneamento básico no país (GOVERNO FEDERAL, 2020).

Entre as obrigatoriedades estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento, destaca-se a obrigatoriedade de realização de licitações para a prestação dos serviços de saneamento básico. Isso significa que as empresas que atuam nesse setor deverão participar de processos licitatórios para prestar serviços em determinadas áreas, o que deve contribuir para a ampliação da concorrência e para a melhoria da qualidade dos serviços prestados.

Além disso, o Marco Legal do Saneamento estabelece metas de universalização do acesso aos serviços de saneamento básico, que deverão ser alcançadas até 2033. Essas metas incluem a universalização do acesso à água potável e a coleta e tratamento de esgoto, bem como a redução das perdas de água e a ampliação da cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos. (NEOWATER, 2022)

Outro ponto importante do Marco Legal do Saneamento é a criação de um novo marco regulatório para o setor. Isso significa que as agências reguladoras devem atuar de forma mais efetiva no controle e na fiscalização dos serviços prestados pelas empresas, garantindo a qualidade e a eficiência dos serviços prestados.

Por fim, é importante destacar que o Marco Legal do Saneamento tem como principal foco a ampliação dos investimentos no setor e a garantia do acesso universal aos serviços de saneamento básico no país. A lei busca estabelecer um novo marco regulatório para o setor, que seja mais eficiente e efetivo na garantia da qualidade e da eficiência dos serviços prestados, alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável e da perspectiva ESG.

2.4 Telemetria (*Telemetry*)

A telemetria de dados consiste na implementação de sistemas capazes de realizar o sensoriamento automatizado, assim como a medição de dados, possibilitando também o controle desses dispositivos de maneira remota (IBM, 2022).

A título de exemplo, quando utilizamos a telemetria implementada em uma esfera de gases (figura 3), normalmente encontrada no ramo de óleo e gás (petroleiro), ela garante o sensoriamento de grandezas como nível interno da esfera, temperatura em determinados pontos, pressão interna, assim como outros (PETROBRÁS, 2022)

Também garante o controle manual das válvulas responsáveis pela entrada e saída de sua substância, e permite a utilização de automação de funcionamento, como intertravamento devido a condições extremas de operações (temperaturas/pressões altas), interrompendo a operação e garantindo maior segurança ao processo.

Figura 3 - Esferas de gás encontradas em refinarias e centros de distribuição petrolíferos.



Fonte: Terra (2016)

2.5 Rastreabilidade (*Traceability*)

A rastreabilidade resume-se na capacidade de rastrear todas as etapas incluídas em um processo industrial, como por exemplo, na etapa de aquisição de insumos/matéria-prima, no próprio processo de produção, na etapa de envio de produto, entre outros (ABRAHAM, 2020).

Seu principal objetivo é poder, de maneira prática e simples, esclarecer quando o produto foi produzido, como foi produzido, por quem e para quem foi enviado. Essa metodologia está se tornando cada vez mais crucial devido a altos padrões de controle de qualidade, assim como uma melhor conscientização da segurança e “saúde” do cliente final (SANKHYA, 2020).

Sua adoção já abrange diversos setores industriais, sendo alguns deles o automotivo, eletrônico, alimentício e farmacêutico, ou seja, qualquer indústria manufatureira em geral. Existem duas classificações gerais de rastreabilidade, sendo divididas em *Upstream* ou *Downstream*, e Interna ou Externa.

2.5.1 *Upstream/Downstream*

Como o próprio nome já sugere, essa variação da rastreabilidade define a direção do fluxo que ela tomará. A ***Upstream*** se refere a rastrear o produto no sentido normal à cadeia de produção. Tem como principal objetivo a verificação de destino do produto, possibilitando a execução de *recall* de lotes de produtos caso exista algum caso de anomalia na produção, inconsistência de produção ou até mesmo falhas provenientes de matérias primas (ABRAHAM, 2020).

Tipicamente a *Upstream* é utilizada para assegurar ao consumidor a maior transparência possível do processo, assim como também garantir uma melhor proteção ao mesmo. Um dos principais exemplos de sua utilização é na indústria alimentícia, principalmente devido às leis mais rígidas de controle de qualidade.

Já a ***Downstream*** se baseia no conceito inverso, voltada mais para o processo de produção. Tem como intuito principal conseguir identificar como, quando e com qual matéria prima o produto final foi produzido. Sua intenção é conseguir investigar ao máximo as possíveis causas de problemas encontrados, possibilitando a longo prazo, a melhoria da qualidade tanto do produto, quanto do próprio processo (ABRAHAM, 2020).

Normalmente são implementadas em indústrias de produtos com alto valor agregado que carregam com si alguma garantia. Um exemplo dessa metodologia é o estudo de causa-raiz realizado por indústrias automobilísticas quando algum modelo necessita de um recall. A figura 4 mostra um exemplo das classificações de rastreabilidade *Upstream* e *Downstream* (BERTOLINO, 2021).

Figura 4 - Exemplificação dos modelos Upstream e Downstream .



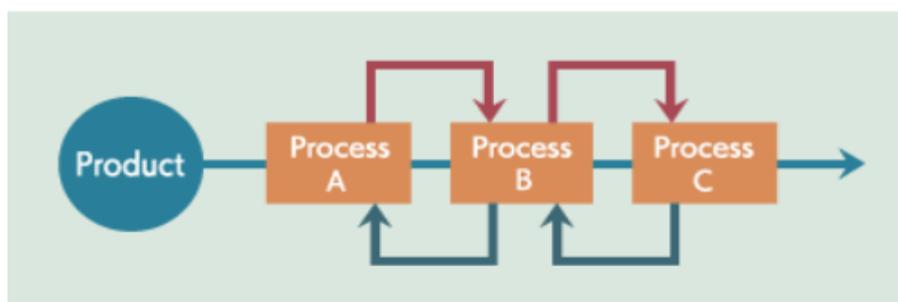
Fonte: Food Safety Brasil (2021).

2.5.2 Interna/Externa

Já o conceito de **interna** e **externa** aborda, principalmente, quais serão os envolvidos no processo de rastreio. A **interna** se caracteriza por todo o rastreio envolvendo as etapas de produção contidas dentro de uma única “planta”.

Uma de suas aplicações seria que através de alguma identificação de um lote de produção seja possível acompanhar em qual etapa do processo ele se encontra e verificar detalhadamente todos os processos em que já passou, conforme mostra a figura 5 (KEYENCE, 2022).

Figura 5 - Exemplo de acompanhamento interno de produção

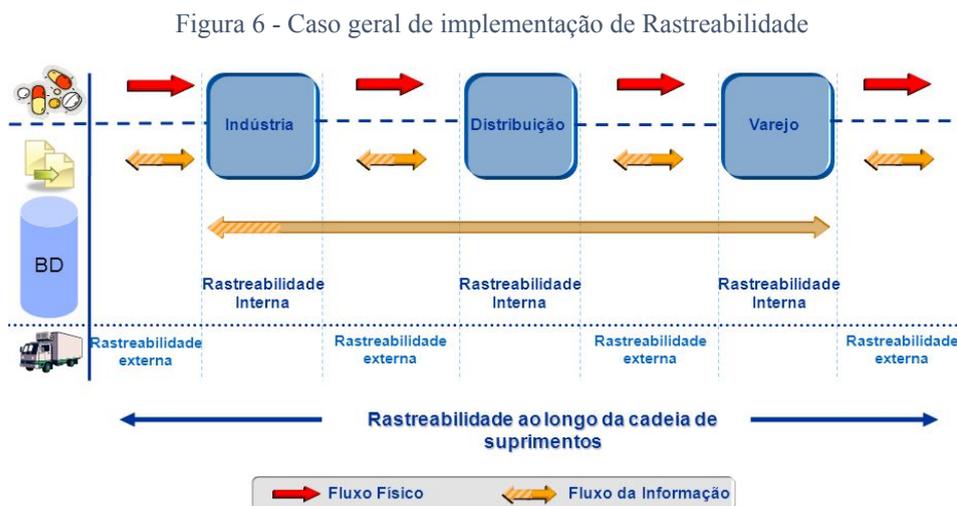


Fonte: Keyence Corporation of America (2022).

Enquanto para a **externa** o conceito se resume na interação entre diversos fabricantes/empresas, possibilitando que eles verifiquem por quais empresas e como sua

matéria-prima/insumos foram produzidos, assim como também qual será o destino futuro de seu produto (KEYENCE, 2022).

O acompanhamento **externo** está muito relacionado ao termo *supply-chain* (Cadeia de Fornecedores) (figura 6). Um dos benefícios da utilização dessa estratégia é a otimização de controles de estoque, custos de transporte e até mesmo reduções de *lead-time* (Tempo médio entre a abertura e o fechamento de um procedimento) (DANIEL, 2016).



Fonte: Liebhardt (2010).

2.6 Plataformas IIoT

Com o grande avanço do conceito de IoT (Internet das Coisas), iniciou-se a criação de subcategorias para facilitar comunicação e separação de conceitos. A IIoT (*Industrial Internet of Things*) é uma delas e cujo principal enfoque para a área industrial, consiste no monitoramento e processamento de dados gerados por uma malha de máquinas industriais (TECHTARGET, 2023).

Como facilitadores, surgiram as plataformas IIoT que basicamente são sistemas responsáveis pela conectividade entre as máquinas pertencentes a um processo industrial, unificação dos dados em uma base, assim como a possibilidade de gerar análises (BRAINCUBE, 2023).

Geralmente contam com ferramentas para desenvolvimento *front-end* (Visual) e *back-end* (Lógica), possibilitando que empresas criem aplicações customizadas para atenderem suas demandas. Algumas das plataformas existentes são: WEGnology (WEG), Mindsphere (Siemens) e Watson (IBM).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

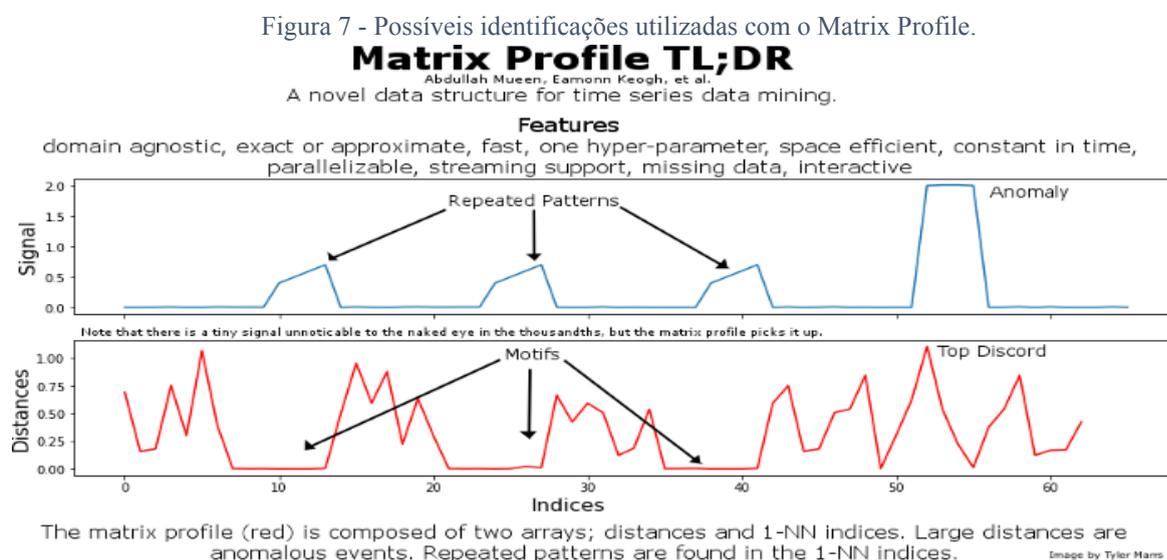
3.1 Algoritmos de identificação

3.1.1 Algoritmos de MatrixProfile (MP)

Os algoritmos de Matrix Profile são técnicas de análise de séries temporais que têm ganhado destaque nos últimos anos devido à sua alta eficiência e precisão na identificação de padrões em dados temporais complexos. Essa técnica utiliza o conceito de perfil de matriz, que é uma representação compacta dos padrões de uma série temporal (MATRIX PROFILE FOUNDATION, 2020).

O perfil de matriz é obtido a partir do cálculo de uma medida de dissimilaridade entre os valores de uma série temporal e os seus deslocamentos em relação a si mesma. Essa medida de dissimilaridade é conhecida como distância Euclidiana e permite identificar os padrões da série temporal que se repetem com frequência (MARSS, 2019).

Alguns dos exemplos de incidências que o Matrix Profile é capaz de identificar são exemplificados na figura 7.



Fonte: Marss (2019).

Os algoritmos de Matrix Profile podem ser utilizados em diversas áreas, como finanças, saúde, telecomunicações e meio ambiente. Na área de saneamento básico, esses algoritmos podem ser utilizados para a identificação de vazamentos de água, por exemplo, por meio da análise da variação dos valores de pressão da rede de distribuição de água.

Em resumo, os algoritmos de Matrix Profile representam uma técnica de análise de séries temporais bastante promissora e com grande potencial de aplicação em diversas áreas, incluindo o saneamento básico. Combinados com outras técnicas de inteligência artificial, esses algoritmos podem contribuir para aprimorar a identificação de padrões em séries temporais complexas e para a melhoria da eficiência e eficácia dos sistemas de saneamento básico.

3.1.2 Vazão mínima noturna

A vazão mínima noturna é uma medida crucial no monitoramento de sistemas de abastecimento de água, especialmente em sistemas urbanos de saneamento básico. Essa métrica envolve a medição das quantidades de água fornecidas durante os períodos de menor consumo, geralmente durante as horas da madrugada. A análise cuidadosa da vazão mínima noturna pode revelar informações valiosas sobre possíveis vazamentos na rede de distribuição de água. (BRESSANI, 2009)

A vazão mínima noturna é uma ferramenta eficaz para a detecção de vazamentos, uma vez que durante as horas de menor demanda, a maioria dos consumidores está inativa, e qualquer fluxo contínuo de água é altamente indicativo de um possível vazamento.

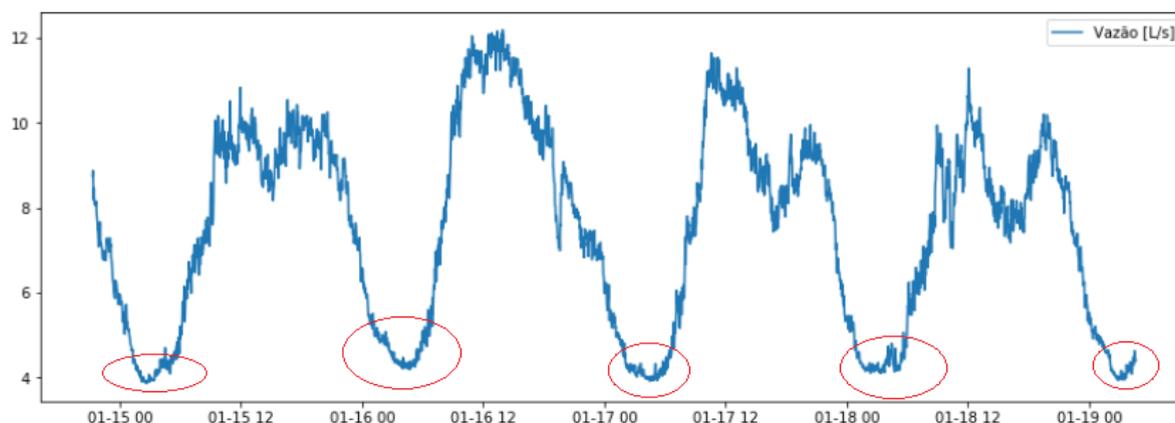
Abstraindo para o principal objetivo do projeto, para a identificação de novos vazamentos, é necessário fazer o monitoramento contínuo da mínima noturna, devido ao fato que, caso esse valor que deveria se manter constante aumentar, é um alto indício de um novo vazamento.

3.2 Metodologia

Os reservatórios de água analisados apresentam uma curva de comportamento padrão do consumo de água ao longo do dia. Uma curva exemplo pode ser verificada na figura 8.

O gráfico apresenta os valores de vazão em litros por segundo - L/s (eixo y) ao longo do tempo (eixo x) no formato de (mês-dia hora). Nota-se que para os períodos noturnos, os valores de vazão são próximos ao longo dos dias, conforme destacado em vermelho no gráfico. Em um funcionamento normal, conforme comentado anteriormente, a mínima noturna deve se manter constante.

Figura 8 - Perfil da vazão dos reservatórios ao longo do dia.



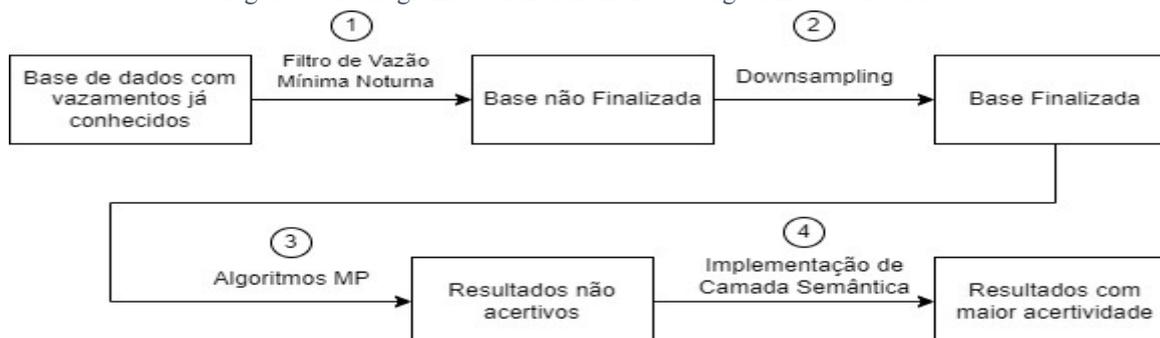
Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso aconteça o aumento na vazão noturna, existem as seguintes possibilidades a serem tomadas.

- Se ocorrer um consumo elevado em apenas um dia e depois normalizar, será considerado apenas como um consumo anômalo.
- Se ocorrer o consumo elevado, e ele persistir por mais dias, será checado se há algo que explique o mesmo, como a chegada de uma nova indústria, novo conjunto habitacional etc.
- Se não houver nada que comprove o aumento, ele será tratado como um possível novo vazamento.

O fluxograma da figura 9 representa a sequência de transformações feitas para o desenvolvimento do algoritmo. Foi utilizada uma base de dados já consolidada, onde já era conhecida a existência de novos vazamentos na rede. Os valores circunscritos representam as etapas utilizadas para a preparação do algoritmo, que serão descritas a seguir.

Figura 9 - Fluxograma de funcionamento do algoritmo desenvolvido.

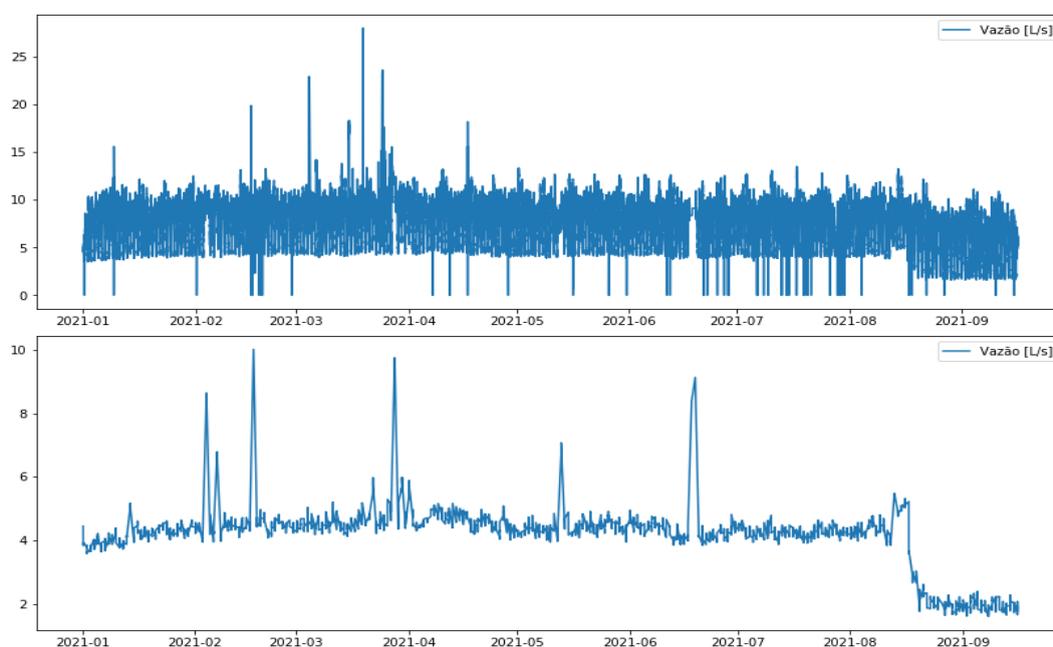


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a primeira etapa de preparação dos dados, será feito um filtro nos dados, baseado no horário de medição da vazão. Isso é feito para que possamos ter uma base mais próxima de uma constante, excluindo-se o consumo ao longo de todo o dia. A faixa utilizada será entre as 3:00 AM e 4:00 AM, ou seja, qualquer medição de vazão feita fora dessa janela será descartada.

Os gráficos da figura 10 representam a diferença entre a base de dados após a primeira etapa de tratamento. Para ambos os gráficos, os valores em y representam a vazão em L/s ao longo do tempo (mês/ano). Nota-se que os valores começam a ficar mais contínuos, sem a oscilação da vazão ao longo do dia.

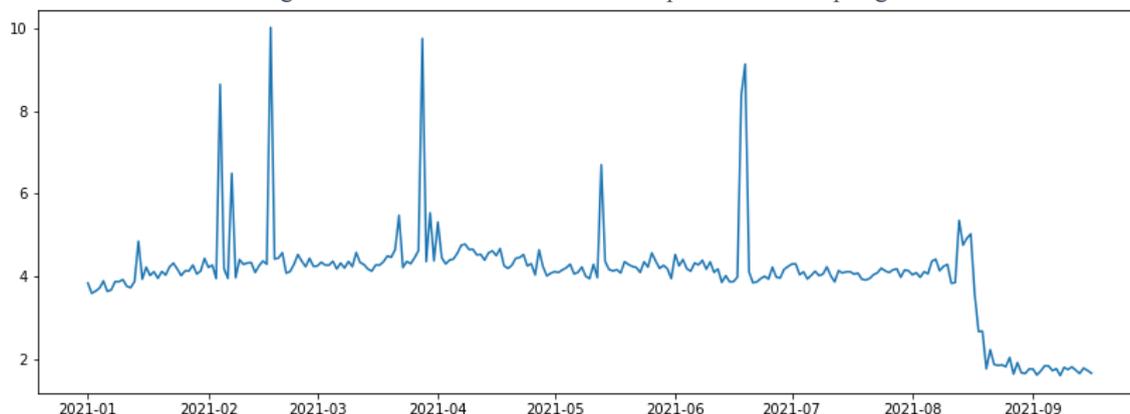
Figura 10 - Comparação entre base de dados antes e depois do primeiro pré-processamento de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na segunda etapa de tratamento será feito um *resample*, que consiste numa estratégia de dados para redimensionar uma base de dados. Para isso, precisa-se selecionar qual a frequência em que os dados serão redimensionados, assim como qual a estratégia que será usada (Média, Máximo, Mínimo etc.). Neste caso, será feito um *downsampling*, pelo fato de estarmos reduzindo o tamanho da base. Com essa etapa, será consolidada uma base de dados com uma frequência diária, utilizando o valor mínimo de vazão no período. O resultado encontrado pode ser visto na figura 11. O gráfico apresenta os valores da vazão mínima noturna ao longo dos dias(ano-mês), sendo no eixo y o valor em L/s.

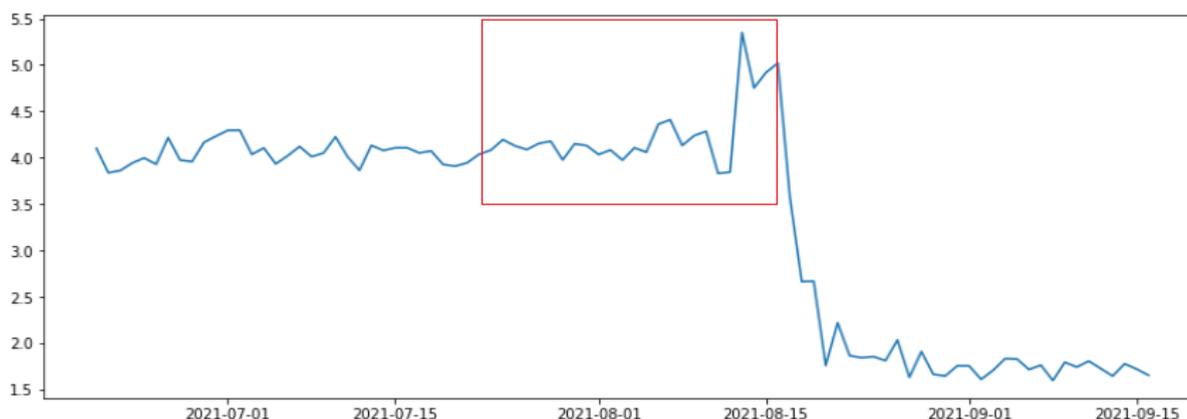
Figura 11 - Base de dados finalizada após o downsampling.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a base de dados já tratada, utilizou-se o algoritmo de Matrix Profile para o reconhecimento dos padrões de vazamento. Ele é utilizado para encontrar o perfil de onda que a vazão no reservatório apresenta casos de novos vazamentos. Seu perfil é bem semelhante à uma borda de subida. Um exemplo pode ser visto na figura 12 destacado em vermelho. O eixo y do gráfico representa os valores em L/s e o eixo x as datas que os dados foram obtidos (ano-mês-dia).

Figura 12 - Comportamento da vazão para casos de novos vazamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que antes do dia 15/08 a vazão estava estável em torno dos 4 L/s. Próximo do dia 15, ocorreu um novo vazamento na tubulação, cuja vazão média passou a ser em torno dos 5 L/s. Com esse aumento, foi verificado um vazamento real através de uma investigação local, assim como seu ajuste, por isso a redução para um valor em torno de 2 L/s.

Com o objetivo de ter uma análise mais assertiva, com uma menor quantidade de falsos positivos, implementou-se uma camada de semântica, que basicamente faz uma análise físico-matemática baseada nas características da aplicação em si, ou seja, serão apenas considerados vazamentos as identificações que tiverem um aumento de 20% em sua mínima noturna. Em linhas gerais, o funcionamento do algoritmo deverá respeitar as regras descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Regras de funcionamento do Algoritmo

Comportamento da vazão noturna do reservatório	Resultado Algoritmo	Filtro via Camada de semântica
Consumo normal	Não será identificado.	Não será identificado.
Consumo alto durante uma noite	Não será identificado.	Não será identificado.
Consumo alto durante três noites consecutivas	Será identificado o padrão	Será identificado o padrão
Consumo acima do normal durante três noites consecutivas, porém menor que 20% (Falso positivo)	Será identificado o padrão	Não será identificado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Plataforma do Projeto

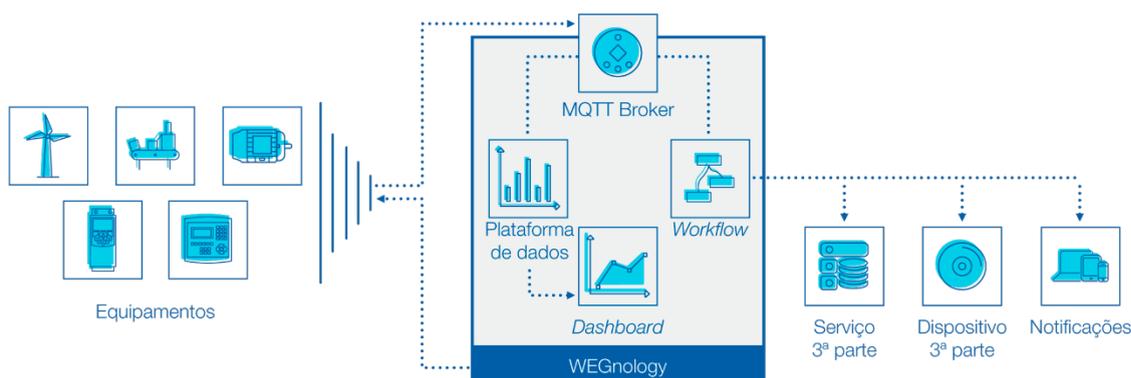
3.3.1 WEGnology

Como ferramenta centralizadora do projeto, será utilizada a plataforma WEGnology da empresa WEG (figura 13). Ela conta com uma licença gratuita, chamada de *Sandbox*, que comporta projetos de menor escala (WEG, 2022).

A plataforma conta com diversos métodos de aquisição de dados, sendo eles a partir de bases de dados em nuvem, como AWS e GCP, bancos locais SQL ou até mesmo chamadas de API. Também contêm inúmeras integrações prontas com serviços de notificações via *e-mail*, SMS, Slack, entre outros (WEG, 2022).

Um dos principais diferenciais é o cliente integrado de dispositivo de borda (*Edge-Device*) que a própria plataforma fornece. Com ele é possível que através de um minicomputador sejam coletados dados de processos dentro de uma fábrica, via inúmeros protocolos de comunicação industrial, sendo alguns deles o MQTT, OPC:UA e Modbus (WEG, 2022).

Figura 13 - Exemplo de um fluxograma de uma aplicação no WEGnology..



Fonte: WEG Industries (2022).

A ferramenta que será mais utilizada no projeto será a camada *Experience* da plataforma, representada pelo bloco *Dashboard* na figura 13, que é responsável pelo gerenciamento do UX (*User Experience*), ou seja, possibilita a criação de uma aplicação completa, contendo telas, *dashboards*, gerenciamento de acessos. A sua customização é possível a partir de duas abordagens distintas, sendo elas: programação básica de *sites*, composta por programação HTML/CSS/JS, ou pela ferramenta nativa da plataforma, o *Dashboard Builder* (WEG, 2022). Para este trabalho, será utilizada a abordagem de programação básica de *sites*, devido ao fato desta possibilitar uma gama maior de customização.

3.3.2 Raspberry Pi 3B+

Com o intuito de replicar uma aplicação industrial, será utilizado um Raspberry Pi para realizar o envio dos dados via MQTT, representando um *gateway*. O Raspberry Pi é uma série de minicomputadores, onde todo o seu hardware é incorporado em uma única placa com capacidade de conectar periféricos a ele para facilitar a sua utilização (RASPBERRY PI, 2022).

A placa que será utilizada neste trabalho será o Raspberry Pi 3 B+ (figura 14). Ela conta com uma memória de 1 GB de RAM e um *chip* de memória expansível uSD. Através de *Scripts* na linguagem Python, a placa será responsável por se conectar em um *broker* MQTT e através dele, disponibilizar os dados para a aplicação.

Figura 14 - Placa Raspberry Pi 3 B+ que será utilizada no projeto

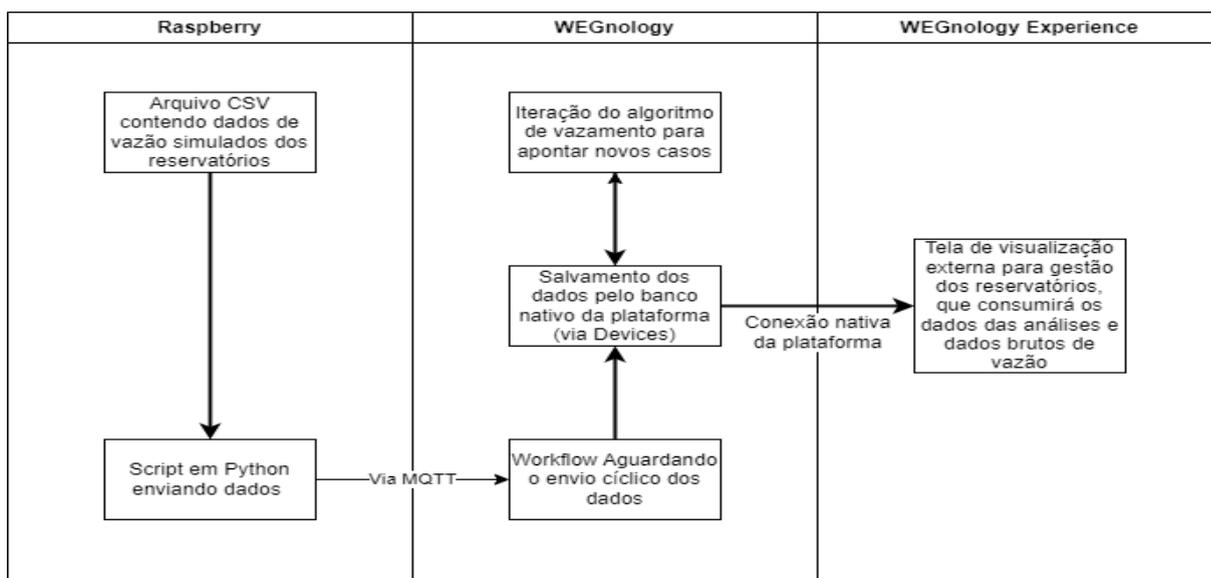


Fonte: Raspberry Pi Foundation (2022).

3.3.3 Metodologia

A arquitetura para a implementação da plataforma pode ser vista no fluxograma da figura 15. Ela contará com o recebimento de dados simulados (baseados na base previamente utilizada) para exemplificação do funcionamento, que serão enviados pelo Raspberry Pi 3B+. Em seguida, diariamente, a plataforma irá fazer a iteração do algoritmo de identificação de vazamentos, salvando seus resultados no próprio WEGnology.

Figura 15 - Fluxograma de funcionamento da plataforma desenvolvida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por último, serão compilados todos os dados em uma tela gerencial na camada *Experience*, que contará com um painel com o resumo das “saúdes” dos reservatórios, ou seja, se estão com novos vazamentos identificados ou não. Um mapa mostrando a posição geográfica de todos os reservatórios cadastrados junto de seus *status*, uma lista contendo os reservatórios junto da informação de vazão média de cada um. E por fim, uma tela de *pop-up* contendo o diagnóstico de um reservatório em específico, apresentando as datas dos últimos vazamentos, valores mínimos e médios de vazão, assim como o histórico das medições.

4 RESULTADOS

4.1 Algoritmos de Identificação

Para assegurar a qualidade e o desempenho do algoritmo desenvolvido, foram realizados testes nas seguintes condições:

- Interações feitas com uma janela de dados de 15 dias, com 15 iterações diferentes, para diversificar os cenários.
- Entre cada uma das iterações, avançou-se 1 dia da última iteração. Exemplo: Primeira iteração entre 01/01 à 15/01; segunda iteração entre 02/01 à 16/01, e assim por diante.
- Devido aos Algoritmos de MatrixProfile nativamente realizarem a normalização dos dados analisados, para facilitar a verificação visual, foram apresentados os dados antes e depois da normalização.
- Os mesmos testes foram realizados para o algoritmo pré e pós camada semântica, ou seja, sem e com a verificação do aumento de 20% da vazão mínima noturna no período.

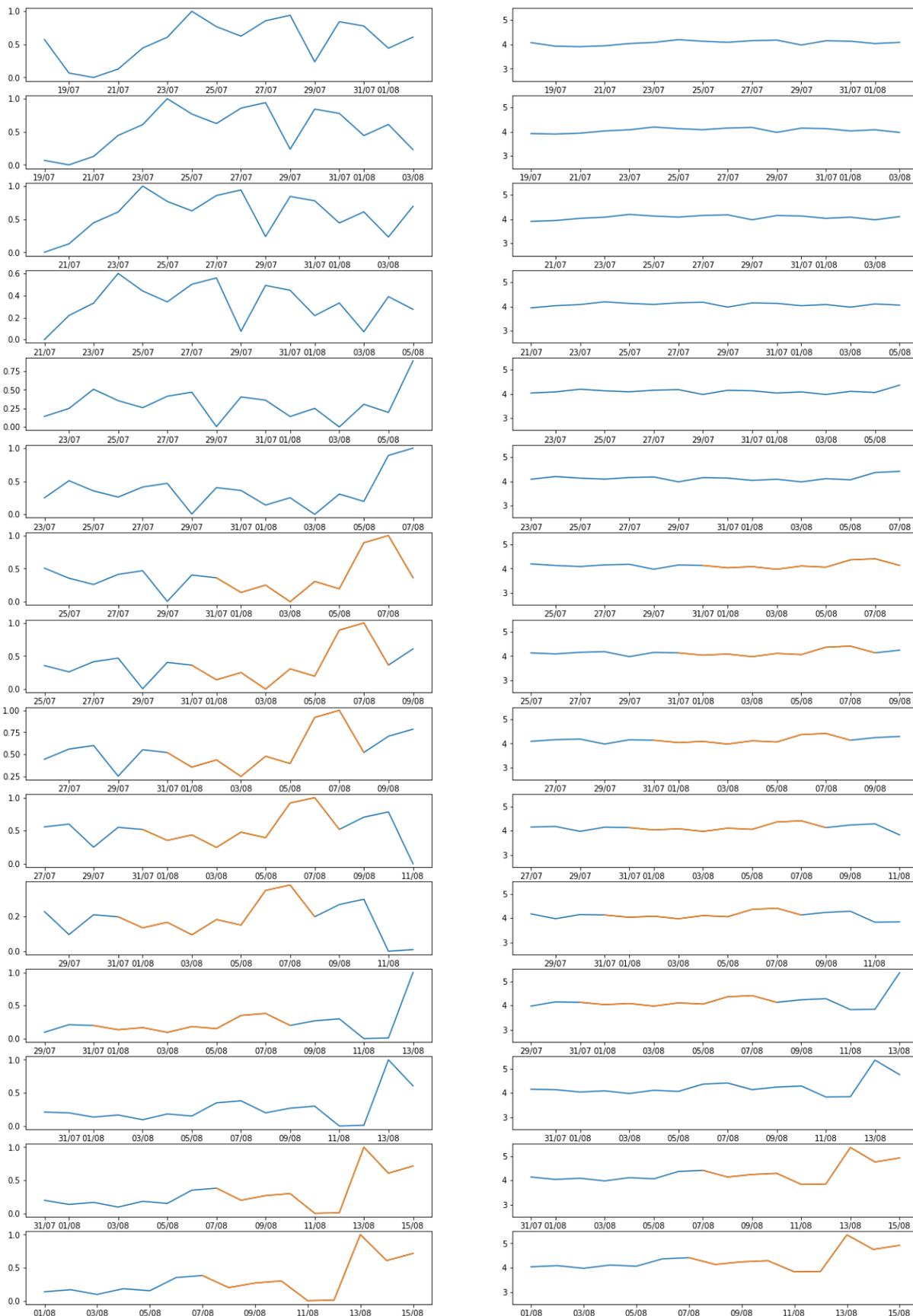
Foram utilizados 2 *datasets* diferentes (A e B) que, dentro da variação de 15 dias entre as iterações, apresentariam períodos sem vazamentos, e outros com a incidência de novos vazamentos.

Para os próximos gráficos, as seguintes regras se aplicam: cada linha representa a iteração de um período. Os dados em azul representam o valor da vazão mínima noturna no dia, e caso haja a existência da identificação do vazamento, ela será identificada com uma curva em laranja.

A coluna à esquerda apresenta os dados de vazão normalizados (conforme o algoritmo identifica durante a análise, convertendo os valores entre 0 e 1), enquanto a coluna à direita apresenta os dados de vazão pura em L/s, ou seja, sem nenhum processamento neles. As figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam os seguintes cenários:

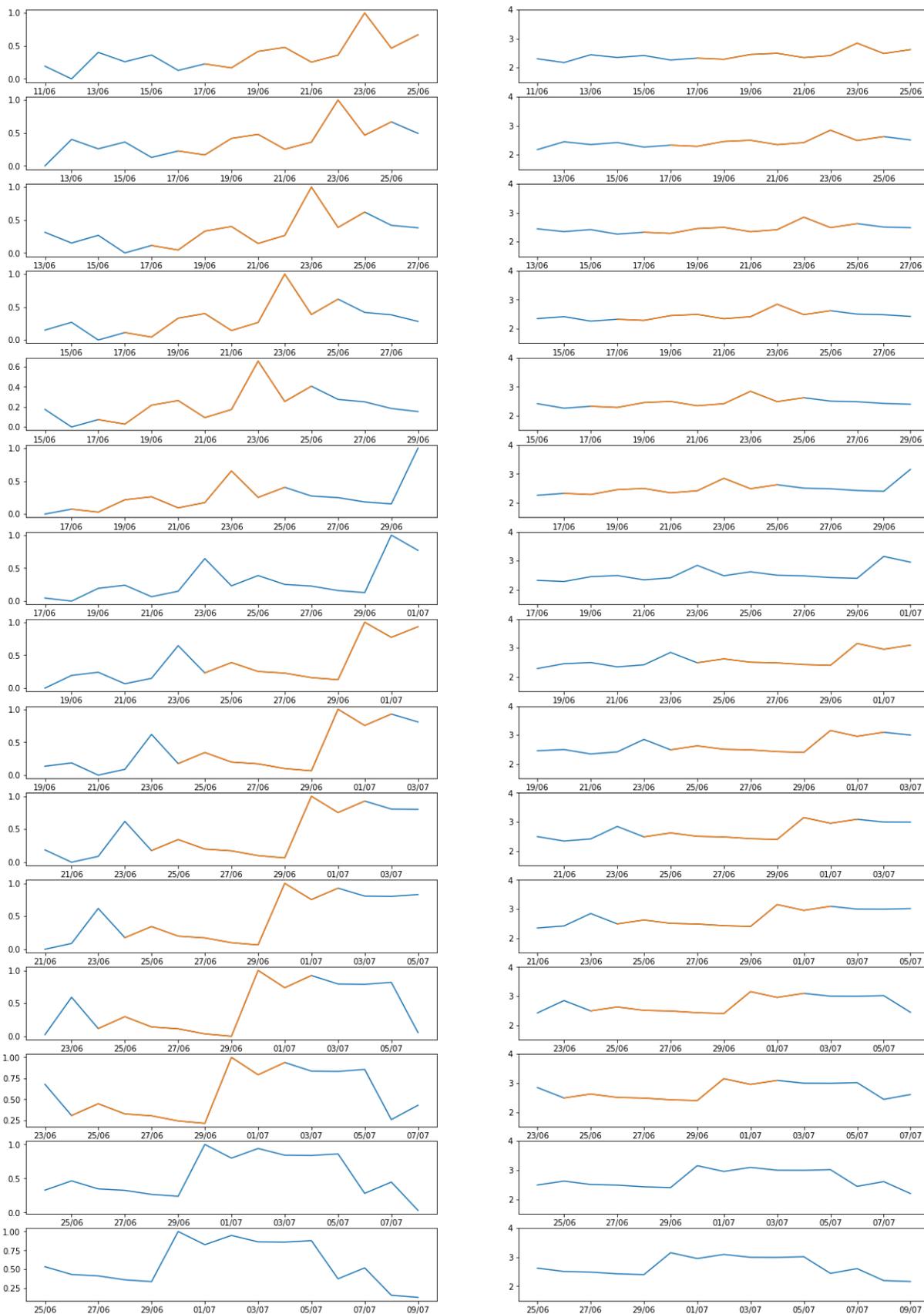
- Figura 16: *Dataset A*, sem a implementação da camada semântica
- Figura 17: *Dataset B*, sem a implementação da camada semântica
- Figura 18: *Dataset A*, com a implementação da camada semântica
- Figura 19: *Dataset B*, com a implementação da camada semântica

Figura 16 - Cenário A sem camada semântica



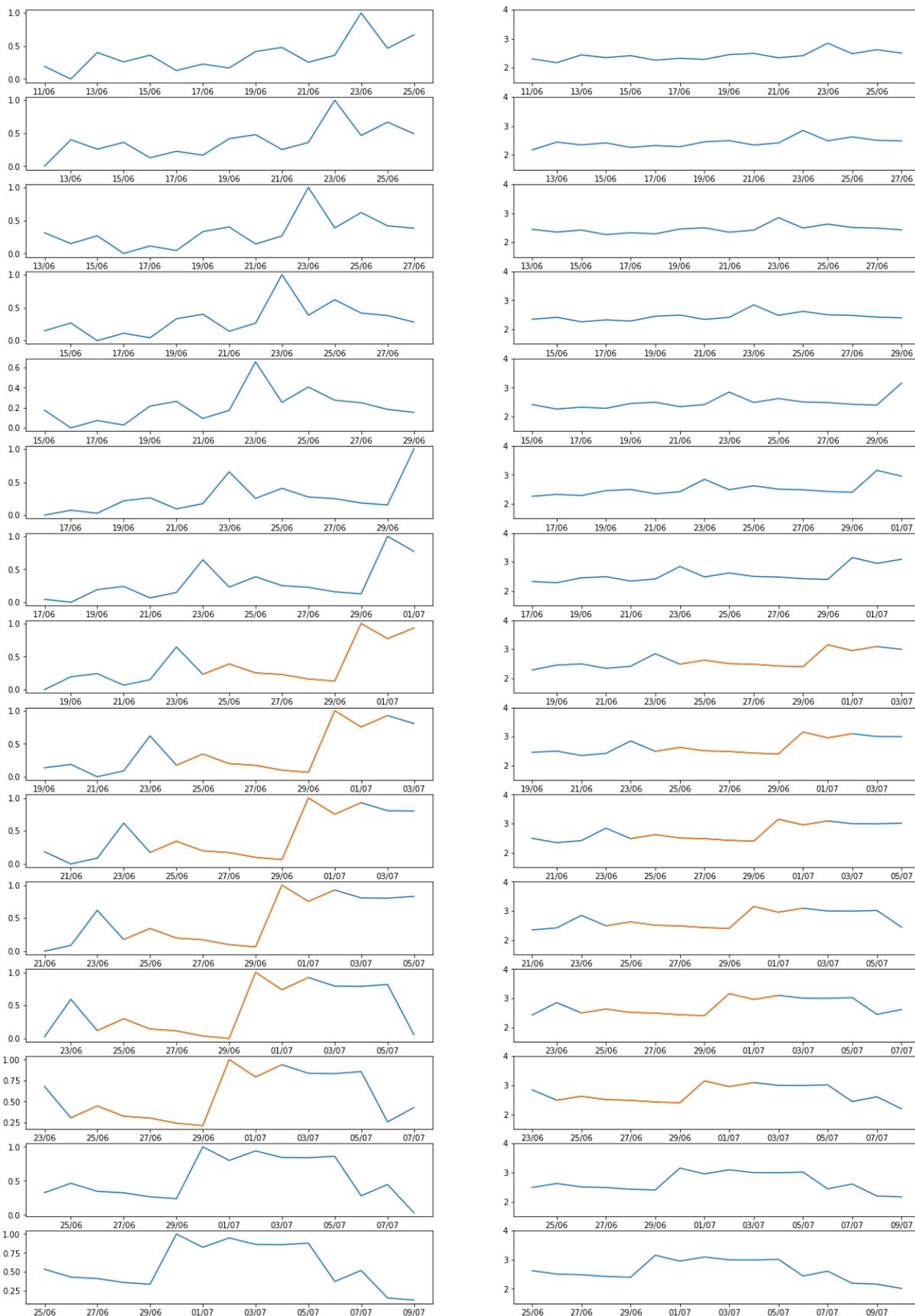
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Cenário B sem camada semântica



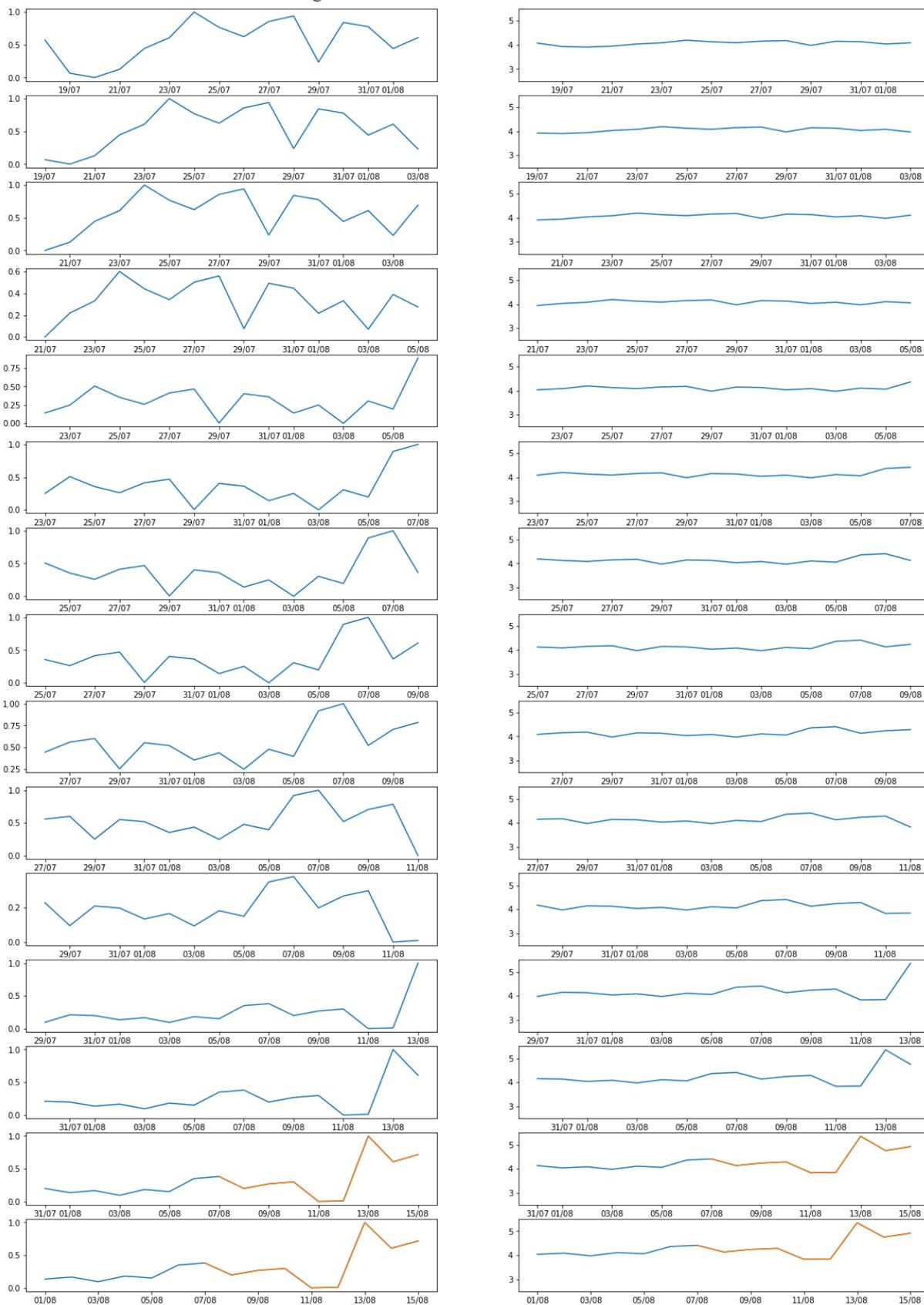
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Cenário A com camada semântica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Cenário B com camada semântica



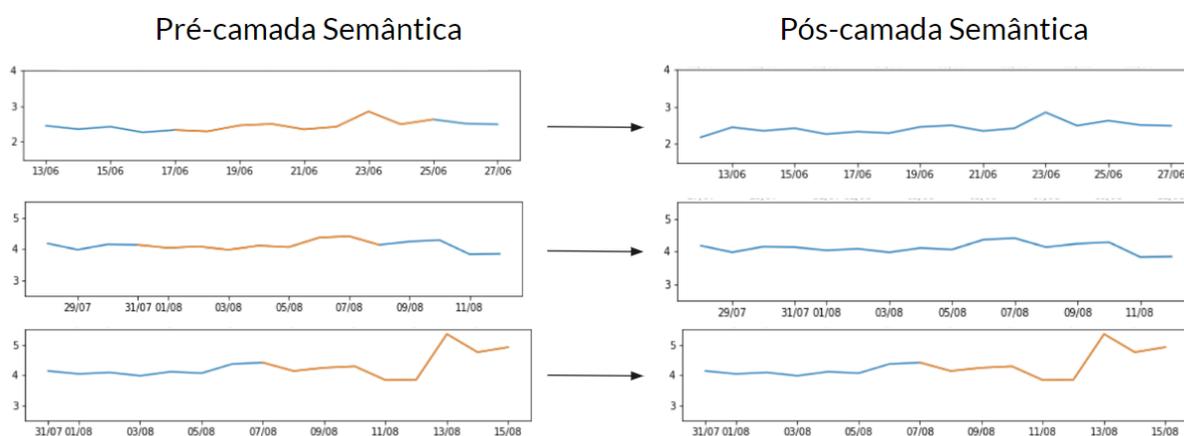
Fonte: Elaborado pelo autor.

A camada semântica será a responsável pela redução de falsos positivos. Ela fará a verificação da variação dos valores de vazão nos períodos identificados pelo algoritmo, e apenas julgará como um real vazamento para os casos em que tenha o aumento de 20% do valor de vazão.

Nota-se que em ambas as análises sem a implementação da camada semântica, foram identificados casos de falsos positivos, ou seja, onde o algoritmo identificou um vazamento, porém não havia realmente acontecido. Isso pode ser visto quando há um padrão de borda de subida nos gráficos à esquerda (com o dado normalizado), porém, quando comparado com os da mesma região nos gráficos na seção à direita, sua alteração é ínfima. Com isso, mostra-se que com a verificação, o algoritmo se tornou mais robusto.

Para ilustrar esse panorama, podemos ver na figura 20 o diferencial na utilização da camada semântica. Os gráficos do lado esquerdo da figura 20, estão três incidências de padrões de vazamento encontrados pelo algoritmo, enquanto no lado direito, são os mesmos três padrões encontrados, porém com a verificação de camada semântica.

Figura 20 - Comparativo de falsos positivos da camada semântica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que nos dois primeiros padrões observados, a curva apresenta uma semelhança com uma borda de subida, fazendo com que o algoritmo de MP acuse como um vazamento. Porém após a verificação do aumento do valor absoluto em 20% (camada semântica), ambos foram descartados, reduzindo a frequência de falsos positivos. Já o terceiro caso, baseia-se em um vazamento confirmado, não sendo eliminado pela camada semântica.

4.2 Plataforma do Projeto

A primeira etapa do desenvolvimento da plataforma contou com a preparação do código em Python para que o *Raspberry* pudesse enviar os dados para o WEGnology. A figura 21 apresenta o funcionamento do código. O *debug* apresenta os valores de vazão que foram enviados pelo *Raspberry Pi 3B*, assim como o horário do envio.

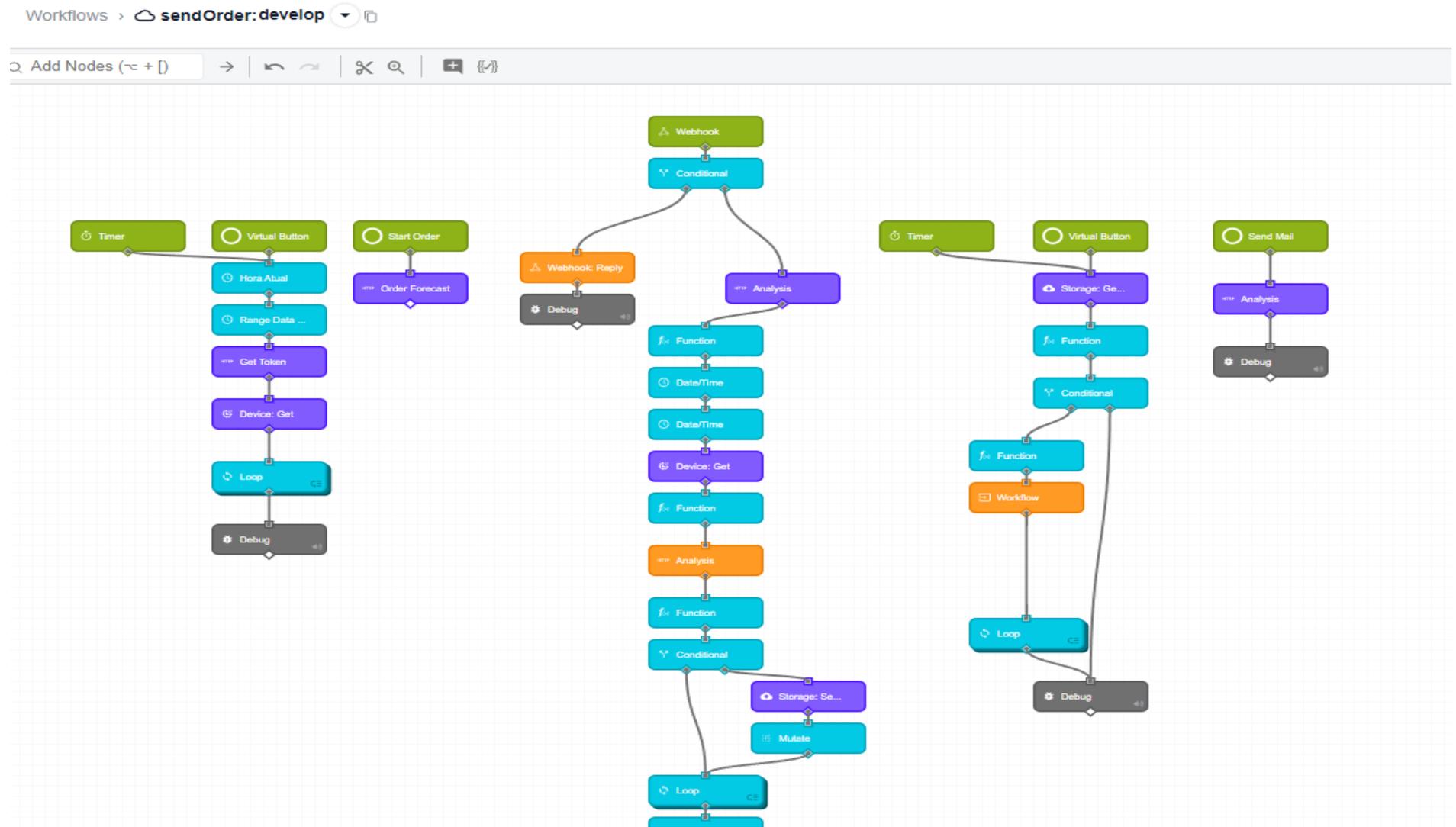
Figura 21 - Raspberry enviando os dados de vazão via MQTT.

```
Message published at 2023-09-05 23:01:45.708870
2 1.07 2.10 2.08 2.12 4.32 15.75 3.00 5.94 10.20 20.40
Connected to MQTT broker
Message published at 2023-09-05 23:02:45.765999
3 1.07 1.96 1.88 2.14 4.40 15.30 2.79 5.40 10.10 19.40
Message published at 2023-09-05 23:03:45.829700
4 0.95 1.90 1.82 2.10 4.04 15.45 3.18 6.06 9.60 20.00
Message published at 2023-09-05 23:04:45.892940
5 1.02 2.12 1.94 2.06 4.16 14.25 2.85 5.76 10.30 20.00
Message published at 2023-09-05 23:05:45.906040
6 0.90 1.96 2.08 1.82 4.08 14.40 3.09 6.54 9.70 20.40
Message published at 2023-09-05 23:06:45.969196
7 0.98 2.18 2.10 1.92 4.20 15.45 2.91 6.42 10.00 20.20
Message published at 2023-09-05 23:07:46.032568
8 1.07 2.08 1.98 2.18 3.68 15.75 3.00 5.64 9.90 20.00
Message published at 2023-09-05 23:08:46.055394
9 1.10 2.16 2.10 1.94 3.68 14.55 2.85 5.40 10.10 20.40
Message published at 2023-09-05 23:09:46.118452
10 0.90 2.20 1.96 1.92 3.84 14.40 3.24 6.06 10.10 20.40
Message published at 2023-09-05 23:10:46.181491
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados já armazenados na plataforma, a próxima etapa engloba o desenvolvimento da rotina de iteração de análises. Pelo fato do WEGnology contar com uma linha de desenvolvimento Low-Code Visual, chamado de *workflows*, a rotina implementada ficou conforme a figura 22.

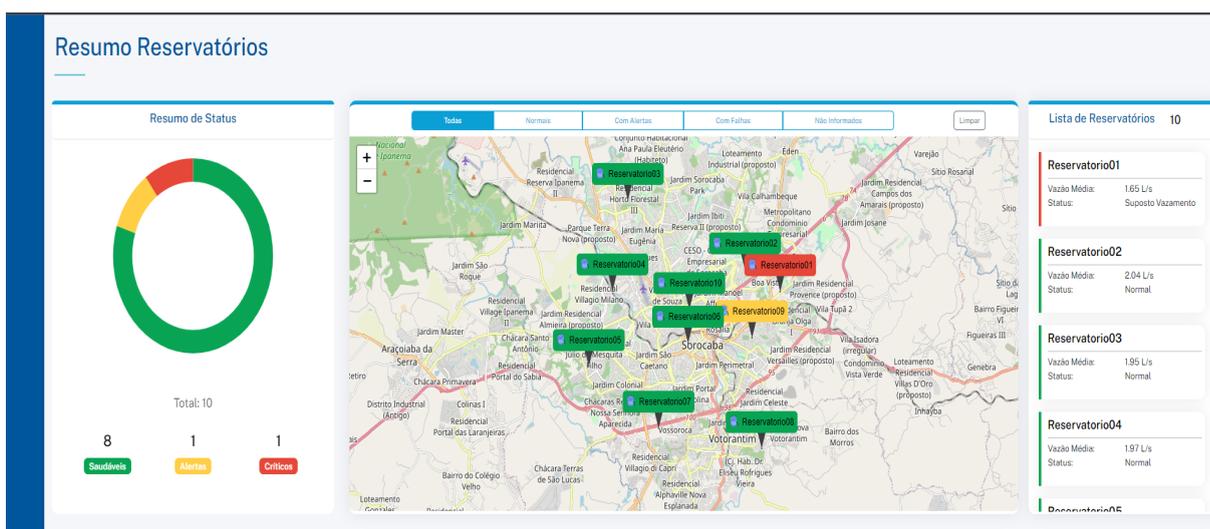
Figura 22 - Workflow contendo a rotina de iteração de análises.



Fonte: Elaborado pelo autor.

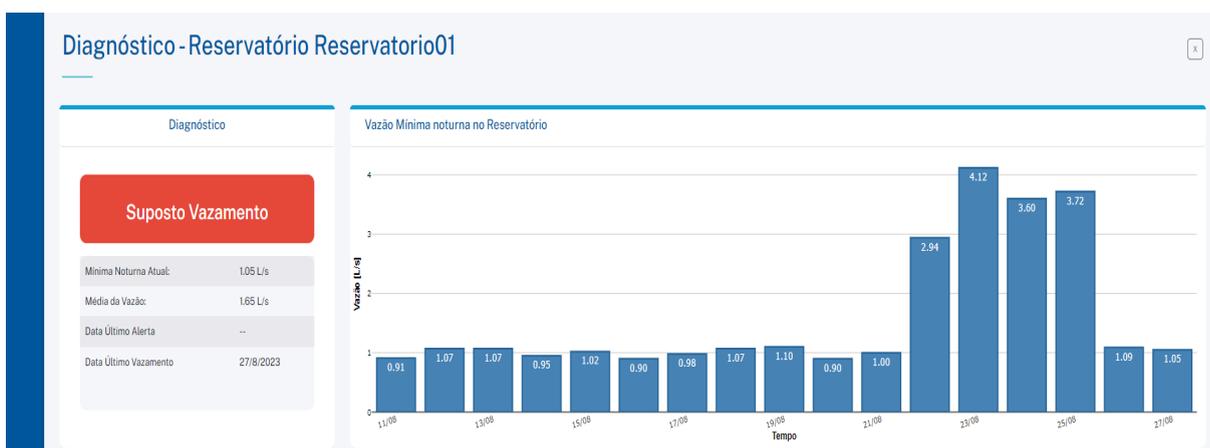
Por fim, o desenvolvimento da tela contou com duas principais seções para o acompanhamento dos reservatórios monitorados, sendo que a parte superior da tela contém o resumo geral dos reservatórios (figura 23), e a parte inferior contém o diagnóstico de um reservatório selecionado (figura 24).

Figura 23 - Parte superior da tela, apresentando resumo geral dos reservatórios monitorados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Parte inferior da tela, contendo os dados de diagnóstico de um reservatório selecionado.

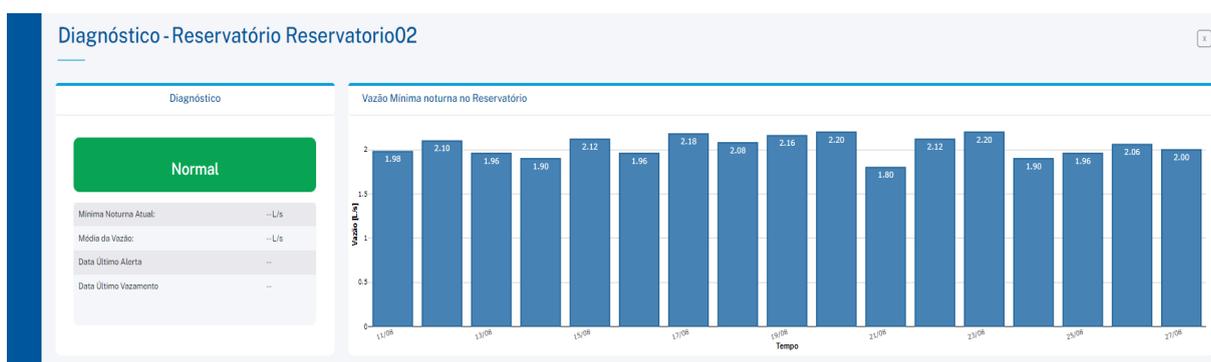


Fonte: Elaborado pelo autor.

No exemplo mostrado na figura 23 pode-se identificar que o sistema foi capaz de identificar os reservatórios que estão com indícios de novos vazamentos (reservatório em vermelho), e indicá-lo de maneira prática e rápida a sua localização e *status* no mapa geográfico.

Já a figura 24, comprova o comportamento identificado pelo algoritmo, onde os dados apresentam uma curva semelhante à uma borda de subida. Analogamente, a mesma aplicação deve ser capaz de apontar os casos de reservatórios que não estejam com a “saúde” comprometida, ou seja, sem vazamentos. Isso pode ser observado na figura 25, onde não foi encontrado nenhum padrão de onda semelhante a um vazamento, apontando a “saúde” como normal do reservatório.

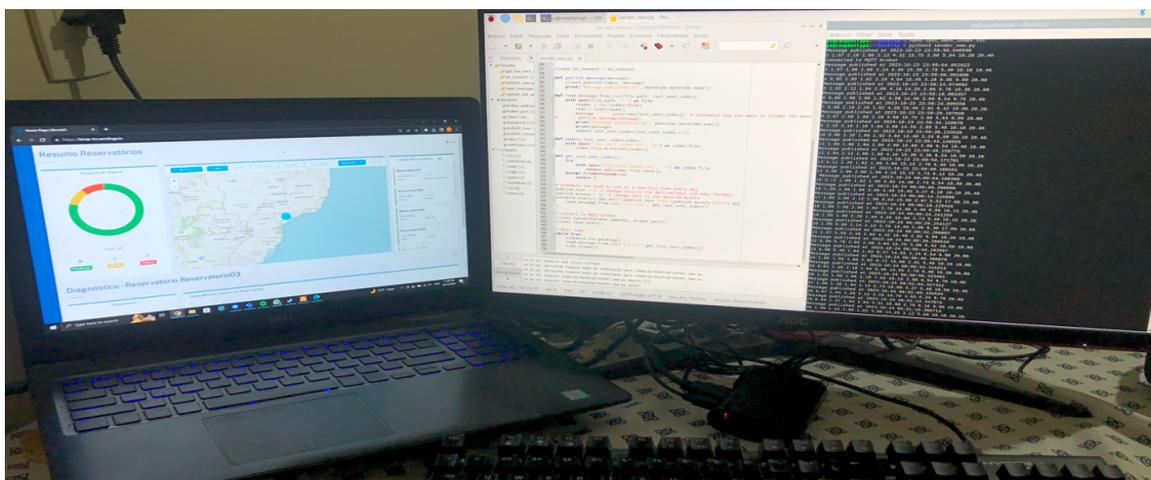
Figura 25 - Diagnóstico do reservatório para um caso normal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A aplicação como um todo pode ser visualizada na figura 26, que apresenta o *notebook* contendo o *dashboard*, o *Raspberry* (LED Vermelho) conectado a um monitor, apresentando sua rotina de envio de dados.

Figura 26 - Aplicação física como um todo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A aplicação pode ser analisada através do link: <https://temp-tcc.wnology.io/>.

5 CONCLUSÕES

Foi feita uma aplicação de algoritmos de Matrix Profile na identificação de vazamentos em sistemas de abastecimento de água, com foco na vazão mínima noturna. A metodologia desenvolvida incluiu o uso de uma plataforma centralizada, o WEGnology, juntamente com um Raspberry Pi para coleta e envio de dados.

O algoritmo de identificação de vazamentos foi testado em diferentes cenários, demonstrando sua eficácia na detecção de vazamentos quando combinado com uma camada semântica de verificação de aumento de 20% na vazão mínima noturna. Os resultados mostraram que a implementação da camada semântica contribuiu para reduzir falsos positivos, tornando o algoritmo mais robusto e confiável.

A plataforma desenvolvida permitiu a análise em tempo real dos reservatórios monitorados, fornecendo informações sobre a presença de vazamentos e o estado de “saúde” da rede de distribuição de água. Em um cenário de crescente preocupação com a conservação dos recursos hídricos e a eficiência dos sistemas de saneamento básico, este trabalho oferece uma abordagem promissora para a detecção precoce de vazamentos, o que pode resultar em economia de água e redução de perdas financeiras.

Conclui-se ainda, que com as devidas alterações, a plataforma pode ser utilizada em qualquer setor que trabalhe com medidas de vazão, como por exemplo, redes de ar-comprimido em indústrias, redes de vapor de caldeiras, entre outros. A única obrigatoriedade para sua implantação seria a abstração de uma janela de horário semelhante à utilizada na mínima vazão noturna, ou seja, algum horário que tenha pouca ou nenhuma utilização do sistema.

Considerando o contexto para a evolução e futura utilização do presente trabalho, será necessário que o usuário tenha a telemetria da vazão instalada em algum mecanismo, podendo ser em um reservatório, hidrômetro, VRP (válvulas redutoras de pressão) etc., e através de um *gateway* conectado à esse equipamento, enviar os dados para a plataforma, de maneira análoga ao simulado via Raspberry Pi.

Neste caso, não é recomendado a utilização de um Raspberry Pi, devido ao fato dele ser uma ferramenta de prototipação com pouca robustez que, mesmo contendo algumas *cases* relativamente resistentes, não apresentam grau de proteção contra situações adversas como, poeira e umidade, que são encontradas no caso de uso em um hidrômetro.

Hardware para trabalhos futuros

Um exemplo de hardware que poderia ser utilizado na aplicação prática, devem possuir as seguintes especificações:

- Porta Serial RS-485 (Para possível leitura de dados)
- Porta Ethernet (Para possível leitura de dados e/ou conexão com a internet)
- Entradas Analógicas (Para leitura de dados)
- Processamento o suficiente para ser capaz de enviar dados através de rotinas em python ou em node-red.
- Portabilidade com Wi-fi (Conexão com a internet)
- Entrada para cartão SIM (Conexão com a internet)
- Invólucro resistente à poeira e umidade. (Para aguentar situações adversas)

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, Sandy. **What is Traceability in Production & Why is it Important?** 2020. Disponível em: <https://forcam.com/en/what-is-traceability/>. Acesso em 03 out. 2023.

AESBE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. **Sabesp toma medidas em relação a ESG em saneamento**, 2021. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/sabesp-toma-medidas-em-relacao-a-esg-em-saneamento/>. Acesso em 03 out. 2023

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019: Informe anual. Brasília: Ana**, 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf. Acesso em 13 ago. 2023

BERTOLINO, Marco. **O relevante papel da rastreabilidade na indústria de alimentos**. 2021. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/papel-da-rastreabilidade-industria-de-alimentos/>. Acesso em 03 out. 2023.

BRAIN CUBE. **O que é uma plataforma de Industrial IoT (IIoT)? Benefícios, Cuidados, e Mais**. 2023. <https://br.braincube.com/resource/o-que-e-uma-plataforma-de-iiot/>. Acesso em 03 out. 2023.

BRESSANI, Fabrício. **PLANO DIRETOR DE COMBATE ÀS PERDAS DE ÁGUA**, 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/70aca6b0a6d3271042d0d2271f94531d_87f1d66519764c8c35cad8354e010cc6.pdf. Acesso em 15 ago. 2023.

BRK AMBIENTAL. Entenda o que é ESG e sua relação com o saneamento básico. 2022. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/esg-saneamento/>. Acesso em 14 ago. 2023.

DANIEL, Diann. **Definition of Traceability.** 2016. Disponível em: <https://searcherp.techtarget.com/definition/traceability>. Acesso em 03 out. 2023.

FOOD SAFETY BRASIL. **O relevante papel da rastreabilidade na indústria de alimentos.** 2021. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/papel-da-rastreabilidade-industria-de-alimentos/>. Acesso em 17 out. 2023.

GOVERNO FEDERAL. **Novo marco regulatório do Saneamento.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/novo-marco-legal-do-saneamento/>. Acesso em 03 out. 2023.

IBM. **Telemetry concepts and scenarios for monitoring and control,** 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/en/ibm-mq/7.5?topic=telemetry-concepts-scenarios>. Acesso em 03 out. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água do Instituto Trata Brasil,** 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo.pdf. Acesso em 10 nov. 2023.

KEYENCE. **Basic knowledge about traceability, an indispensable system for quality management.** 2022. Disponível em: https://www.keyence.com/ss/products/marketing/traceability/basic_about.jsp. Acesso em 03 out. 2023.

LIEBHARDT, Marcelo. **Rastreabilidade na cadeia farmacêutica.** 2010. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/360369/>. Acesso em 03 out. 2023.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, [S. l.], n. 106, p. 31-44, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101>. Acesso em: 22 nov. 2023.

MARSS, Tyler. **Introduction to Matrix Profiles**, 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-matrix-profiles-5568f3375d90>. Acesso em 03 out. 2023.

MATRIX PROFILE FOUNDATION. **Matrix Profile Documentation**, 2020. Disponível em: <https://matrixprofile.docs.matrixprofile.org/>. Acesso em 15 ago. 2023.

NEOWATER. **Novo marco legal do saneamento básico: o que muda e o que pode melhorar**, 2022. Disponível em: <https://www.neowater.com.br/post/marco-legal-saneamento>. Acesso em 13 ago. 2023.

PETROBRÁS. **Gás Liquefeito de Petróleo - Informações Técnicas**, 2022. Disponível em: https://petrobras.com.br/data/files/47/63/18/74/EB62F7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20GLP_%20fevereiro%202022.pdf. Acesso em 01 out. 2023.

PONTES, Nádia. **Mesmo com crise hídrica, Brasil perde 40% da água tratada**, 2022. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/mesmo-com-crise-h%C3%ADdrica-brasil-perde-40-da-%C3%A1gua-tratada/a-61208282>. Acesso em 03 out. 2023.

RABELLO, Guilherme. **O que é ESG: E como aplicá-lo aos negócios**, 2023. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/tendencias/esg-o-que-e/>. Acesso em 15 ago. 2023

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi Documentation - The official documentation for Raspberry Pi computers and microcontrollers**, 2022. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>. Acesso em 03 out. 2023.

REIS, Hélen. **Saneamento 4.0: o que esperar com a Indústria 4.0 e a Sociedade 5.0**, 2020. Disponível em: <https://engenharia360.com/saneamento-4-0-o-que-esperar-com-a-industria-4-0-e-a-sociedade-5-0/>. Acesso em 10 nov. 2023.

SAAE. **Controle de perdas: geofones auxiliam na detecção e eliminação de vazamentos**, 2020. Disponível em: <https://www.saaesorocaba.com.br/control-de-perdas-geofones-auxiliam-na-deteccao-e-eliminacao-de-vazamentos/>. Acesso em 01 out. 2023.

SANKHYA. **Rastreabilidade, o que é e qual a sua importância?** ,2020. Disponível em: <https://www.sankhya.com.br/blog/rastreabilidade/>. Acesso em 03 out. 2023.

SHIKLOMANOV, Igor A - **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: Unesco, 1998.

TECHTARGET. **What is the industrial internet of things?** ,2023. Disponível em: [https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT#:~:text=The%20industrial%20internet%20of%20things%20\(IIoT\)%20is%20the%20use%20of,enhance%20manufacturing%20and%20industrial%20processes](https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT#:~:text=The%20industrial%20internet%20of%20things%20(IIoT)%20is%20the%20use%20of,enhance%20manufacturing%20and%20industrial%20processes). Acesso em 01 out. 2023.

TERRA. **Justiça determina suspensão da venda da BR Distribuidora**, 2016. Disponível em: <https://www.terra.com.br/economia/justica-determina-que-petrobras-e-anp-suspendam-venda-da-br-distribuidora,d7a81657ce76eb6af7540d6462ef60eeo7vftlyn.html>. Acesso em 24 out. 2023.

TOWARDS DATA SCIENCE INC. **Introduction to Matrix Profiles**, 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-matrix-profiles-5568f3375d90>. Acesso em 17 out. 2023.

VANZOLINI. **ESG na indústria: o que é e quais as vantagens?** ,2022. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/blog/educacao/esg-industria/>. Acesso em 15 ago. 2023.

WEG INDUSTRIES. **WEGnology Documentation. Documentação Geral da plataforma IIoT da WEG**. 2022. Disponível em: <https://docs.app.wnology.io/>. Acesso em 03 out. 2023.