

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC (RES_020/2016 – 2024_2)		
() PRÉ-PROJETO	(X) PROJETO	ANO/SEMESTRE: 2024/1

DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA MONITORAMENTO DE SINAIS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA COM INTERNET DAS COISAS

Maria Eduarda Krutzsch

Prof. Miguel Alexandre Wisintainer – Orientador

Maicon Jean Krutzsch – Coorientador

1 INTRODUÇÃO

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um instrumento pelo qual o Poder Público autoriza, concede ou permite a um usuário fazer uso deste bem público, garantindo o controle e o gerenciamento das atividades que possam impactar o meio ambiente. De acordo com o Sistema de Informações de Recursos Hídricos de Santa Catarina (SIRHESC), a lei estadual 9.748, de 30 de novembro de 1994, define qualquer empreendimento ou atividade que alterar as condições quantitativas e/ou qualitativas das águas, dependerá de outorga.

Para garantir o uso correto por parte dos outorgados, a SIRHESC propõe a fiscalização do regime, que foi estabelecida no Estado através do decreto 4.778, de 11 de outubro de 2006. Dentre elas, inspecionar e realizar vistoria, coletar amostras e medições, avaliações e comparações, com os usos autorizados, dos dados das instalações e dos usos praticados pelos outorgados (SANTA CATARINA, s.d.). Alguns usos que são sujeitos a outorga são, por exemplo, derivação/captação de parcela de água existente em um corpo hídrico, extração de água para consumo final, e outras ações que envolvam intervenções que demandem o uso de recursos hídricos.

Sendo assim, se torna dever do outorgado fornecer informações as autoridades competentes, a fim de se manter em conformidade com as autoridades ambientais. Esse processo é especialmente relevante para o setor industrial, que utiliza grandes volumes de água. Com isso, surge a necessidade de existir uma solução, que permita acessar essas informações, sobretudo de maneira prática. Neste contexto, a Internet of Things (IoT), pode facilitar a coleta e o monitoramento de dados em tempo real.

A IoT é atualmente considerada uma das tecnologias mais disruptivas para o monitoramento digital, proporcionando maior transparência e visibilidade, além de facilitar o compartilhamento de informações e dados para a execução de planos e tomada de decisões (Jagtap *et al.*, 2021). De acordo com Zulkifli *et al.* (2022), embora IoT seja amplamente utilizado em diferentes contextos, o conceito de IoT é útil em uma variedade de cenários de aplicação. Devido ao avanço, muitas tecnologias modernas estão agora utilizando a IoT como uma plataforma para monitoramento. Sendo assim, para atender a essas exigências de maneira eficiente e prática, a IoT surge como uma solução, visto que oferece uma forma de monitorar dados sobre o uso da água de maneira automatizada.

O estudo dos autores Jagtap *et al.* (2021) descreveu uma arquitetura de IoT para o monitoramento contínuo do uso de água em uma fábrica de bebidas alimentícias, considerada uma grande consumidora de recursos hídricos. O estudo de caso analisou atividades com alto consumo de água dentro da fábrica e identificou oportunidades de economia, demonstrando bons resultados. Após a instalação do sistema IoT, a fábrica conseguiu reduzir o consumo de água em quase 11%, reutilizando água em processos como torres de resfriamento e caldeiras. Esse exemplo demonstra a capacidade da IoT em otimizar a gestão da água.

Com isso, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado que utiliza IoT para monitorar em tempo real variáveis de medida de água em ambientes industriais, com o objetivo de garantir fornecer instrumentos para a análise e fiscalização do regime de outorga. O sistema será capaz de coletar, gravar e permitir a análise e o monitoramento dos dados de forma eficiente, permitindo que as indústrias acompanhem e gerenciem seu consumo de água de maneira automatizada. Ao possibilitar a visualização e análise dos dados em tempo real, as indústrias poderão identificar qualquer desvio ou problema relacionado ao consumo, o que contribuirá para a gestão mais eficiente e para a conformidade com a legislação ambiental.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é disponibilizar um sistema que possibilite a leitura e o monitoramento de variáveis de medida da água, bem como permitir análise por meio de gráficos oferecidos pelo sistema.

Os objetivos específicos são:

- a) encontrar a forma mais eficiente de integrar componentes IoT selecionados para realizar a leitura dos dados e o monitoramento;
- b) desenvolver um sistema que ofereça a visualização dos dados e que seja escalável, permitindo disponibilizar os dados lidos para outros dispositivos que necessitem dos dados;

- c) gerar relatórios que atendam às exigências legais e técnicas para a gestão ambiental.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção serão descritos trabalhos que possuem relação com o estudo proposto. Na subseção 2.1 será abordada uma revisão sistemática contendo a metodologia de pesquisa, com o objetivo de identificar três principais correlatos que mais fazem referência a este projeto, analisando as abordagens, metodologias e tecnologias utilizadas. Os trabalhos selecionados possuem áreas de aplicações semelhantes, porém empregam abordagens diferentes do projeto proposto, para resolver os problemas. Na subseção 2.2, será apresentado os detalhes dos trabalhos correlatos que foram considerados mais relevantes.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Para o desenvolvimento desta subseção, foi realizada uma pesquisa buscando apresentar trabalhos com características semelhantes ao estudo proposto. A pesquisa foi realizada com base no período de 2019 a 2024, utilizando a biblioteca digital do Google Acadêmico, visto que disponibiliza uma base sólida de publicações de artigos e revistas. No Quadro 1 são apresentadas as sínteses dos trabalhos correlatos selecionados e quais filtros foram utilizados para busca.

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos correlatos selecionados

Assunto	Filtro	Referência
Sistema de controle de pressão constante em distribuição de água para monitoramento via IoT.	“Water” AND “Raspberry Pi” AND “MQTT” AND “Paper”	Syufrijal <i>et al.</i> (2019)
Framework para um sistema inteligente de medição de água usando IoT.	“Water” AND “Raspberry Pi” AND “MQTT” AND “Paper”	Mankad <i>et al.</i> (2022)
Sistema de gerenciamento inteligente de água baseado em IoT.	“IoT water management system” AND (“Raspberry Pi” OR “MQTT”)	Muthukumar <i>et al.</i> (2023)
Sistema para controle de nível de tanque de água usando CLP baseado em IoT.	“Iot water system” AND “Raspberry” OR “CLP” OR “MQTT”	Methaq <i>et al.</i> (2020)
Sistema na nuvem com IoT para monitoramento do consumo de água.	“IoT” AND “water consumption” AND “system” AND “raspberry” AND “paper”	Harika <i>et al.</i> (2020)

Fonte: elaborado pela autora (2024).

2.2 SÍNTESE DOS TRABALHOS CORRELATOS

Nesta subseção serão descritos três trabalhos que possuem características semelhantes ao trabalho proposto. O Quadro 2 detalha o trabalho de Syufrijal *et al.* (2019) que propõe um sistema de controle de pressão de água utilizando Controlador Lógico Programável (CLP), *Raspberry Pi* e *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), com monitoramento remoto. Já o Quadro 3 descreve o trabalho de Mankad *et al.* (2022), que desenvolveram um framework para medição inteligente de água, com sensores de fluxo e comunicação *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN). Por fim, o Quadro 4 apresenta o trabalho de Muthukumar *et al.* (2023), que aborda um sistema de gerenciamento de água baseado em nuvem, utilizando *Raspberry Pi* com sensores conectados.

Quadro 2 – Construction design system of constant pressure control in water distribution system with PID method using CLP based on IoT

Referência	Syufrijal <i>et al.</i> (2019)
Objetivos	Desenvolver um sistema de controle de pressão constante em fornecimento de água usando o método <i>Proportional Integral Derivative</i> (PID) com CLP e monitorar o processo remotamente via IoT utilizando <i>Raspberry Pi</i> e o protocolo MQTT.
Principais funcionalidades	Monitoramento remoto, comunicação com servidor na nuvem via MQTT, leitura de sensores conectados ao CLP, leitura de dados do CLP pelo <i>Raspberry Pi</i> e coleta de dados em tempo real.
Ferramentas de desenvolvimento	<i>Raspberry Pi</i> para ler dados do CLP e realizar comunicação com a nuvem, <i>JavaScript</i> para ler dados do CLP no <i>Raspberry Pi</i> , broker MQTT para distribuir as mensagens publicadas pelo <i>Raspberry Pi</i> , e CLP usado como controlador do sistema.
Resultados e conclusões	Os testes realizados nos diferentes componentes do sistema demonstraram eficácia. No teste de IoT, os dados do CLP foram corretamente enviados para a nuvem via <i>Raspberry Pi</i> e protocolo MQTT, permitindo o monitoramento remoto da pressão da água, do ponto de ajuste e da frequência do motor utilizando <i>Human Machine Interface</i> (HMI). A implementação do sistema mostrou que o CLP utilizado juntamente com o <i>Raspberry Pi</i> e a comunicação MQTT, são eficazes para controlar e monitorar a pressão da água.

Fonte: elaborado pela autora (2024).

O artigo de Syufrijal *et al.* (2019) busca utilizar o método PID para realizar pressão constante em fornecimento de água. De acordo com os autores, a pressão da água é um fator chave que preocupa os usuários; a falta da pressão da água em uma indústria, por exemplo, pode tornar o trabalho de uma máquina que utiliza água,

menos otimizado. Os autores também abordam o uso de inversores para ajustar a velocidade de motores de bombas com base na pressão necessária, sendo controlados por meio de um método PID disponível em CLP. Tendo em mente estes conceitos, os autores buscaram em sua pesquisa, construir um sistema de controle para pressão da água em distribuição com o método PID, utilizando CLP, *Raspberry Pi*, MQTT e sendo baseado em HMI.

O método da pesquisa de Syufrijal *et al.* (2019) envolve a criação e implementação de um programa. Foi utilizado um CLP *Siemens S7-1200*, que é usado como sistema de controle, recebendo sinais de um botão de pressão, sensor de pressão e de uma HMI, que controla o modo automático/manual e o valor de um *setpoint*. Os dados do CLP são lidos por um *Raspberry Pi* via wi-fi e enviados a um servidor. No sistema IoT, os autores utilizaram o protocolo *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) para comunicar o *Raspberry pi* com o CLP. Os autores programaram o *Raspberry Pi* para ler os dados do CLP em *JavaScript*, e assim, são lidos os valores desejados, sendo essas informações enviadas para a nuvem via MQTT. Syufrijal *et al.* (2019) também afirmam que o protocolo MQTT, sendo leve, é ideal para troca de informações entre dispositivos IoT com recursos limitados, garantindo a entrega de mensagens via *Transmission Control Protocol* (TCP).

A principal relação entre os dois projetos é o fluxo utilizado entre os componentes descritos para auxiliar no controle e monitoramento de variáveis em sistemas de distribuição de água. O trabalho de Syufrijal *et al.* (2019) também agrega a este estudo devido as ferramentas que foram utilizadas pelos autores, como CLP, *Raspberry Pi*, e o protocolo MQTT para comunicação de dados, mostrando a integração bem-sucedida das tecnologias que se deseja empregar para este projeto.

Quadro 3 – Smart Water Metering Implementation

Referência	Mankad <i>et al.</i> (2022)
Objetivos	Desenvolver um sistema de medição inteligente de água que utiliza dispositivos IoT para coletar dados de consumo, buscando otimizar o gerenciamento do uso de água.
Principais funcionalidades	Medição de fluxo de água com sensores, monitoramento remoto, comunicação com a nuvem via LoRaWAN, coleta de dados em tempo real.
Ferramentas de desenvolvimento	ESP32 utilizado como microcontrolador, LoRaWAN para comunicar sensores e gateway.
Resultados e conclusões	O protótipo de Mankad <i>et al.</i> (2022) foi implementado com três medidores conectados ao gateway. Os testes realizados pelos autores demonstraram que, mesmo com a perda de pacotes de dados, o sistema recupera a leitura no ciclo seguinte, sem impacto no cálculo total de consumo. Os autores também mencionam que a latência de comunicação via LoRaWAN foi insignificante, com um atraso de 0,4 segundos.

Fonte: elaborado pela autora (2024).

O artigo proposto por Mankad *et al.* (2022) consiste em um framework para desenvolver um sistema de medição inteligente de água. Os autores justificam que Smart Water Networks (SWN) abrangem inúmeras possibilidades de permitir um uso mais eficiente da água. Elas consistem em uma rede de dispositivos IoT, sensores e tecnologias responsáveis por controlar dispositivos, coletar, armazenar e analisar dados. O sistema utiliza sensores de água para medir o fluxo da água por segundo. Em seguida, para realizar a transmissão dos dados, estes são transmitidos duas vezes ao dia via o protocolo de comunicação LoRaWAN para um gateway, que agrega as informações e as envia para um servidor na nuvem, sendo um diferencial em relação ao projeto proposto.

O sistema utiliza o conceito de *Edge Computing*, ou seja, minimiza a carga na rede e proporciona espaço no servidor da nuvem. Portanto, o sistema coleta, transmite e processa os dados de medição e com isso consegue fornecer relatórios e permitir o pagamento de contas por meio de gráficos. Apesar das diferenças em protocolos e na ausência de um controlador centralizado como o CLP, o sistema se alinha ao objetivo de monitoramento remoto e gestão eficiente de recursos hídricos, demonstrando uma outra possível abordagem bem-sucedida.

Quadro 4 – Cloud-based Smart Water Management System

Referência	Muthukumar <i>et al.</i> (2023)
Objetivos	Desenvolver um sistema de gerenciamento de água, utilizando sensores e atuadores para coleta e comunicação de dados em tempo real.
Principais funcionalidades	Monitoramento remoto, sistema de alerta por Short Message Service (SMS), comunicação com a nuvem via wi-fi, <i>Raspberry Pi</i> para ler dados dos sensores diretamente conectados, plataforma na nuvem para armazenamento e análise de dados.
Ferramentas de desenvolvimento	<i>Raspberry Pi</i> para ler dados, <i>Python</i> para programação e interface com os sensores.
Resultados e conclusões	O sistema demonstrou melhorias significativas na gestão da água, com redução do desperdício e aumento da eficiência geral. A coleta e análise de dados em tempo real permitiram uma melhor gestão dos recursos hídricos e a implementação de alertas para situações críticas.

Fonte: elaborado pela autora (2024).

Muthukumar *et al.* (2023) em seu artigo, descrevem um sistema inteligente de gerenciamento de água baseado em IoT. Os autores afirmam que é possível utilizar o sistema por meio de um aplicativo para smartphone, podendo monitorar e gerenciar o uso de água, contando com um *dashboard*. Foram utilizados sensores conectados diretamente ao *Raspberry Pi*, por meio de suas interfaces. Com isso, o *Raspberry Pi* é utilizado para ler as medidas

dos sensores, sendo conectado a um servidor na nuvem via Wi-fi, realizando o upload dos dados lidos pelos sensores.

Os autores afirmam que para reduzir a quantidade de dados enviados, o *Raspberry Pi* pode realizar operações de filtragem e análise básica antes de transmitir as informações. Por fim, para realizar os alertas, em relação a determinadas condições de água, de acordo com um conjunto de regras especificadas no sistema, o sistema tem como diferencial a possibilidade de envio de mensagens SMS automáticas. Assim como o trabalho proposto, que emprega um *Raspberry Pi* para captar dados e enviar para um servidor MQTT na nuvem, ambos os projetos visam otimizar o monitoramento e gestão da água, utilizando IoT e provando que o *Raspberry Pi* em si, pode ser utilizado para realizar a leitura diretamente e agregar ao sistema.

3 PROPOSTA DO SISTEMA

Esta seção apresenta a subseção 3.1 com a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho, indicando por que este estudo será feito, e a subseção 3.2, que apresenta a metodologia que será adotada para a implementação do projeto proposto.

3.1 JUSTIFICATIVA

No Quadro 5, é apresentado um comparativo das principais características entre os trabalhos correlatos escolhidos. As linhas contêm as características de cada trabalho e as colunas, os trabalhos correlatos.

Quadro 5 - Comparativo dos trabalhos correlatos

Trabalhos Correlatos Características	Syufrijal <i>et al.</i> (2019)	Mankad <i>et al.</i> (2022)	Muthukumar <i>et al.</i> (2023)
Utiliza <i>Raspberry Pi</i>	Sim	Não	Sim
Possui monitoramento remoto	Sim	Sim	Sim
Utiliza controlador CLP	Sim	Não	Não
Uso de MQTT para comunicação	Sim	Não	Não
Interface de usuário remota	Sim	Sim	X
Integração com sensores	Sim	Sim	Sim
Funcionalidade de relatórios e análises	Não	Sim	Não

Fonte: elaborado pela autora (2024).

O Quadro 5 resume e mostra como cada trabalho se relaciona com o projeto proposto. Todos os projetos analisados compartilham algumas semelhanças com o sistema proposto, como o uso de *Raspberry Pi*, monitoramento remoto e, em um caso, a integração com controladores CLP e o uso de MQTT para comunicação. O trabalho de Syufrijal *et al.* (2019) é o mais semelhante ao projeto proposto, visto que compartilha de quase todas as características técnicas no comparativo. O foco principal está na comunicação dos dados para a nuvem, utilizando uma HMI para controlar a pressão da água. Os testes realizados por Syufrijal *et al.* (2019) mostram que o sistema desenvolvido foi bem-sucedido. O uso de IoT permitiu o monitoramento remoto atingindo o objetivo proposto.

O segundo trabalho de Mankad *et al.* (2022) se assemelha por ter coleta e análise de dados em tempo real. Este trabalho é semelhante ao projeto proposto na utilização de IoT e armazenamento em nuvem. Demonstrou uma abordagem diferente do trabalho proposto, e obteve êxito nos testes realizados pelos autores, conseguindo alcançar seu objetivo em permitir melhor gestão do consumo de água. Por fim, o trabalho mais recente, apresentado por Muthukumar *et al.* (2023) se demonstrou mais simples, utilizando o *Raspberry Pi* para ler diretamente os dados e estando conectado diretamente ao Wi-fi para enviar dados ao servidor na nuvem. Apesar das contribuições com os testes feitos demonstrando êxito no protótipo, Muthukumar *et al.* (2023) implementou o sistema com foco nas mensagens SMS afim de alertar em situações específica. Ainda que mencione no artigo, um aplicativo que tornasse possível a visualização dos dados, não especifica o mesmo, dificultando o objetivo principal de gerenciar.

Este trabalho se fundamenta na necessidade crescente de soluções eficientes para o monitoramento e gestão de recursos hídricos em conformidade com legislações ambientais. Como apontado por Ismail *et al.* (2022, p. 1, tradução nossa), "soluções sustentáveis de IoT são a próxima geração de métodos para gerenciar e monitorar recursos naturais valiosos, como a água". A IoT se destaca por permitir o monitoramento contínuo e em tempo real, além de facilitar a automação de processos, contribuindo para uma gestão ambiental mais eficaz. Ao integrar tecnologias como o Raspberry Pi, MQTT e CLP, o sistema proposto se apresenta como uma solução diferente para a coleta e análise de dados ambientais, permitindo o cumprimento das normas de outorga, e também promovendo a eficiência no uso da água.

Diante deste contexto, este trabalho se torna relevante pois visa desenvolver um sistema de monitoramento ambiental para captar sinais externos, como sinal de captação de água, buscando oferecer uma solução integrada e automatizada. A capacidade do sistema de gerar relatórios e permitir que o usuário realize análises dos dados obtidos atende às exigências de conformidade ambiental, proporcionando uma forma mais transparente e eficaz de gerenciar o consumo de água. Com isso, o sistema visa oferecer não apenas uma solução técnica, mas também uma contribuição significativa para a gestão ambiental no contexto industrial.

3.2 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: realizar pesquisas sobre monitoramento ambiental, uso de *Raspberry Pi*, uso do MQTT para comunicação, e o emprego de servidores em nuvem. Além disso, também serão analisados mais trabalhos correlatos;
- b) definição de requisitos: com base na pesquisa realizada, elencar os requisitos necessários para a implementação do sistema. Envolve o processo de levantamento e verificação da viabilidade técnica das soluções propostas;
- c) especificação do sistema: pesquisar e (re) definir qual será o fluxo empregado entre os componentes selecionados para compor o sistema. Serão especificadas as etapas de desenvolvimento, incluindo os componentes e ferramentas envolvidas;
- d) coleta e análise dos dados: coletar os dados que serão utilizados para alimentar o sistema referentes à captação de sinais externos;
- e) implementação do sistema: desenvolver as funcionalidades do sistema para possibilitar a coleta e o processamento dos dados obtidos, bem como o acesso, visualização e gerenciamento;
- f) validação e testes: realizar testes do sistema implementado, verificando se todas as funcionalidades estão de acordo com a especificação definida para o sistema.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção descreve brevemente os assuntos que fundamentam o estudo a ser realizado. A subseção 4.1 aborda o conceito de IoT, considerando suas características e aplicabilidade. A subseção 4.2 apresenta um breve entendimento sobre Controladores Lógico Programáveis (CLP), bem como suas funcionalidades. Já a subseção 4.3 busca mostrar a relação existente entre IoT e computação em nuvem, mostrando como IoT pode se beneficiar. Por fim, a subseção 4.4 apresenta a plataforma *Raspberry Pi*, abordando seus conceitos e seu contexto na indústria.

4.1 INTERNET OF THINGS

A IoT se refere ao processo de conectar objetos físicos do dia a dia à internet para a troca de dados. Ela abrange qualquer sistema de dispositivos que recebe e transfere dados por redes sem fio, com pouca intervenção humana, sendo possível por meio da integração de dispositivos de computação simples. Um sistema de IoT funciona ao enviar, receber e analisar dados continuamente em um ciclo. Dependendo da tecnologia empregada, é possível utilizar inteligência artificial ou machine learning para conduzir a análise (Redhat, 2024).

A IoT na agricultura, por exemplo, revolucionou várias áreas, inclusive com o uso de sensores de umidade. Os produtores rurais podem receber dados mais precisos para configurar períodos de irrigação, sendo possível também conectar esses sensores de umidade às aplicações de IoT que controlam os próprios equipamentos (Redhat, 2024).

A IoT também traz diversos benefícios em áreas como a agricultura e o gerenciamento de recursos, permitindo que sensores conectados colem dados em tempo real sobre variáveis como umidade do solo, temperatura e condições climáticas, ajudando os agricultores a tomarem decisões mais precisas. Isso resulta em uma gestão mais eficiente dos recursos, como a água e os fertilizantes, o que não só aumenta a produtividade, mas também reduz o impacto ambiental. O uso de IoT na agricultura tem demonstrado economias significativas de água, além de promover maior sustentabilidade ao otimizar o uso de insumos e reduzir o desperdício (Amazon, 2018).

Além disso, de acordo com a IBM (2024), a IoT possibilita o monitoramento contínuo e previsões mais precisas em setores como energia, transporte e manufatura. Ao integrar dados de sensores com análises avançadas, as empresas podem identificar problemas antes que eles ocorram, aumentando a eficiência operacional e reduzindo o tempo de inatividade. Isso também contribui para a redução de custos e o aumento da resiliência frente a condições ambientais adversas. Em ambientes industriais, a IoT permite que equipamentos sejam monitorados de forma constante, otimizando a manutenção preventiva, reduzindo falhas inesperadas e melhorando a sustentabilidade das operações.

Um ponto em relação à IoT é a sua estrutura, baseada em três componentes principais: os dispositivos de coleta de dados (sensores), a conectividade (redes de comunicação) e as plataformas de processamento (análise e

gerenciamento dos dados). Como citado por Godoi e Araújo (2019), na revista “Interface Tecnológica”, a capacidade de gerar e compartilhar grandes volumes de dados é o que permite à IoT viabilizar novos serviços e otimizar processos em áreas como saúde, manufatura e transporte.

4.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo eletrônico onde são armazenados programas conforme o destino do sistema. São equipamentos designados para executar tarefas de temporização, contagem, operações matemáticas, supervisões de máquinas, entre outros (Nascimento, 2020). Ele possui capacidade de processar sinais digitais e analógicos, permitindo a automação de processos industriais complexos. Com o avanço da tecnologia, CLPs passaram a suportar comunicações digitais, facilitando a integração com outros sistemas como Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) e Human Machine Interfaces (HMI), além de aumentar sua aplicação em indústrias como petroquímica, aço e manufatura discreta (Walker *et al.*, 2010).

O CLP é composto por um processador principal, que processa sinais de entrada e emite sinais de saída, e uma memória de armazenamento que guarda a lógica do processo. Possui uma estrutura que permite a adição de diferentes módulos, como entradas e saídas analógicas e de comunicação. A programação de um CLP utiliza a linguagem *Ladder*, que foi originalmente desenvolvida para construir circuitos de relés, utilizados em processos industriais (Nascimento, 2020).

4.3 COMPUTAÇÃO EM NUVEM INTEGRADA A INTERNET DAS COISAS

A computação em nuvem é uma tendência de tecnologia com o objetivo de proporcionar serviços de tecnologia da informação sob demanda, com pagamento baseado no uso. De acordo com Cloudpanel (2023), IoT e computação em nuvem são tecnologias que podem estar extremamente interligadas. A autora aborda algumas possíveis relações entre ambas as tecnologias, como o possível armazenamento dos dados gerados por dispositivos IoT, na nuvem. Sendo assim, a aplicação IoT toma vantagem da escalabilidade e flexibilidade da nuvem. Nesse contexto, a nuvem também funciona como um facilitador para a aplicação IoT, visto que empresas, por exemplo, podem armazenar seus dados em servidores remotos, permitindo acesso a qualquer hora e de qualquer lugar,

Com isso, a combinação de IoT com computação em nuvem resolve desafios importantes de escalabilidade, interoperabilidade, confiabilidade, flexibilidade, disponibilidade e segurança. A nuvem oferece infraestrutura para o processamento remoto de dados, tornando possível a coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de informações de forma econômica. Além disso, essa integração permite a criação de algoritmos preditivos e a tomada de decisões orientada por dados (Tyagi *et al.*, 2020).

4.4 RASPBERRY PI

Raspberry Pi é uma plataforma de computação de baixo custo e alto desempenho. Desde 2012, a plataforma busca oferecer computadores de placa única baseados na arquitetura *Arm*, que roda sistemas operacionais como Linux. O objetivo é fornecer a engenheiros, educadores e entusiastas uma ferramenta versátil para aprendizado e desenvolvimento de projetos tecnológicos (Raspberry Pi, s.d.).

Raspberry Pi é reconhecido por seu uso em projetos de IoT devido ao seu baixo custo, poder de processamento e capacidade de conectividade. Um dos maiores atrativos do *Raspberry Pi* é a presença de pinos *General Purpose Input/Output* (GPIO), que permitem a interação com sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos, tornando-o ideal para projetos que envolvem monitoramento remoto e automação, como casas inteligentes, sistemas de irrigação automática, e soluções industriais (Deepsea Development, 2023). Além disso, pode também ser utilizado em projetos industriais de Internet Industrial das Coisas (IIoT) e *edge computing*, onde pode coletar, processar e transmitir grandes volumes de dados em tempo real.

De acordo com Armenta (2022) em seu artigo, o *Raspberry Pi* tem várias aplicações potenciais na indústria, especialmente em automação e controle de processos, destacando que apesar de sua utilidade, não é um substituto direto aos CLPs. Ele se demonstra como uma ferramenta para a criação de protótipos e provas de conceito, permitindo que empresas testem soluções de baixo custo antes de investir em ferramentas comerciais mais caras, como é o caso da manutenção preditiva baseada em IoT. O *Raspberry Pi*, com suas capacidades de comunicação via *Ethernet* (com e sem fio), pode ser usado para coletar e processar grandes volumes de dados em tempo real.

Além disso, de acordo com Armenta (2022), contando com a ajuda de adaptadores adequados, o *Raspberry Pi* pode operar em ambientes industriais, sendo conectado a dispositivos de entrada e saída, transformando-o em um pequeno CLP capaz de resistir a vibrações e altas temperaturas. O *Raspberry Pi* tem a capacidade de multi-processamento, velocidade de processamento e relógio em quase tempo real, provando ser eficiente em tarefas complexas de automação, aproximando-se dos CLPs de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- ALI, Methaq; MIRY, A. H.; SALMAN, T. M. **IoT Based Water Tank Level Control System Using CLP**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND SOFTWARE ENGINEERING (CSASE), 2020, Duhok, Iraq. Anais [...]. Duhok: IEEE, 2020. p. 7-12. DOI: 10.1109/CSASE48920.2020.9142067. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9142067>
- AMAZON. (2018). AWS IoT-Driven Precision Agriculture. Acessado em 27 de setembro de 2024, de <https://aws.amazon.com/pt/blogs/iot/aws-iot-driven-precision-agriculture/>.
- ARMENTA, Antonio. **Raspberry Pi Applications in Industrial Automation**. [2022]. Disponível em: <https://control.com/technical-articles/raspberry-pi-applications-in-industrial-automation/>. Acesso em: 20 set. 2024.
- CLOUDPANEL. **IoT and Cloud Computing: How Do They Work Together?** [2023]. Disponível em: <https://www.cloudpanel.io/blog/iot-and-cloud-computing/>. Acesso em: 20 set. 2024.
- DEEPSEA DEVELOPMENT. **IoT with Raspberry Pi: The Perfect Match for Smart Solutions**. 2023. Disponível em: <https://www.deepseadev.com/en/blog/iot-with-raspberry-pi/>. Acesso em: 27 set. 2024.
- GODOI, Maiko; ARAÚJO, L. S. **A Internet das Coisas: evolução, impactos e benefícios**. Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 1, p. 19-30, 2024. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/538/363>. Acesso em: 20 set. 2024.
- HARIKA, G.; CHOWDARY, H.; KIRANMAL, T. S. **Cloud-based Internet of things for Smart Water Consumption Monitoring System**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION AND ELECTRONICS SYSTEMS (ICCES), 5., 2020, Coimbatore, India. Anais [...]. Coimbatore: IEEE, 2020. p. 967-972. DOI: 10.1109/ICCES48766.2020.9138074.
- IBM. (2024). **What is the Internet of Things (IoT)**. Acessado em 27 de setembro de 2024, de <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>.
- ISMAIL, Shereen; DAWOUD, D. W.; ISMAIL, N.; MARSH, R.; ALSHAMI, A. S. **IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction**. IEEE Access, v. 10, p. 35942-35952, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3163742.
- JAGTAP, S.; SKOUTERIS, G.; CHOUDHARI, V.; RAHIMIFARD, S.; DUONG, L. N. K. **An Internet of Things Approach for Water Efficiency: A Case Study of the Beverage Factory**. Sustainability, v. 13, n. 6, p. 3343, 2021. DOI: 10.3390/su13063343. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3343>. Acesso em: 20 set. 2024.
- MANKAD, Urja; AROLKAR, Harshal. **Smart Water Metering Implementation**. In: SMART ENVIRONMENTAL MONITORING USING IOT TECHNOLOGIES. Cham: Springer, 2022. p. 1047-1064. DOI: 10.1007/978-981-16-9967-2_68. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Urja-Mankad/publication/361783195_Smart_Water_Metering_Implementation/links/65eafbef9ab2af0ef897e075/Smart-Water-Metering-Implementation.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.
- MUTHUKUMAR, V.; SELVAKUMAR, M.; NALINI, B.; CHITRADEVI, B. **Cloud-based Smart Water Management System**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE COMPUTING AND SMART SYSTEMS (ICSCSS), 2023, Coimbatore, India. Anais [...]. Coimbatore: IEEE, 2023. p. 1633-1638. DOI: 10.1109/ICSCSS57650.2023.10169753.
- NASCIMENTO, Viviane. **O uso do Controlador Lógico Programável (CLP)**. Paraná: Atena, 2020.
- RASPBERRY PI FOUNDATION. **About Us**. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/about/>. Acesso em: 20 set. 2024.
- REDHAT. **IoT (Internet das Coisas)**. [2024]. Disponível em: <https://www.redhat.com/pt-br/topics/internet-of-things/what-is-iot>. Acesso em: 20 set. 2024.
- SANTA CATARINA. Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina. Instrumentos de Outorga Principal. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/instrumentos/instrumentos-outorga-principal/item/1900/1900#fiscalizacao>. Acesso em: 27 set. 2024.
- SYUFRIJAL, S.; RIF'AN, M.; MEDIA'S, E. **IoT-based Environmental Monitoring Using PLC and Raspberry Pi**. Journal of Physics: Conference Series, v. 1402, 022060, 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1402/2/022060. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1402/2/022060/pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.
- TYAGI, H.; KUMAR, R. **Cloud Computing for IoT**. In: ALAM, M.; SHAKIL, K.; KHAN, S. (eds.). Internet of Things (IoT). Cham: Springer, 2020. p. 37-52. DOI: 10.1007/978-3-030-37468-6_2.
- WALKER, Mark; BISSELL, Chris; MONK, John. **The PLC: a logical development**. Measurement and Control, v. 43, p. 175-178, 2010. DOI: 10.1177/002029401004300904. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/48989787_The_PLC_a_logical_development. Acesso em: 20 set. 2024.
- ZULKIFLI, C. Z.; GARFAN, S.; TALAL, M.; ALOMOODI, A. H.; ALAMLEH, A.; AHMARO, I. Y. Y.; SULAIMAN, S.; IBRAHIM, A. B.; ZAIDAN, B. B.; ISMAIL, A. R. et al. **IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review**. Water, v. 14, p. 3621, 2022. DOI: 10.3390/w14223621. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/22/3621>. Acesso em: 20 set. 2024.