

XI - IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE CONJUNTOS MOTOR-BOMBA UTILIZANDO TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Abigail Trindade de Almeida⁽¹⁾

Técnico em Eletrotécnico pela Escola Técnica Federal de Goiás (ETFGO). Tecnólogo em Redes de Computadores pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Engenheiro Eletricista pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). Especialista em Instrumentação e Controle de Processos Industriais pela Faculdade de Tecnologia Senai Ítalo Bologna. Técnico em Eletrotécnica na SANEAGO.

Hugo Souza Silva

Técnico em Eletrotécnica pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Engenheiro Mecânico pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). Engenheiro de Segurança do Trabalho pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG). Técnico em Mecânica na SANEAGO.

Silas Teixeira de Oliveira

Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA). Tecnólogo em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI Ítalo Bologna. Técnico em Eletrotécnica na SANEAGO.

Endereço⁽¹⁾: Rua 90, n.º 220, Setor Sul, Goiânia, GO, Brasil. email: abigail@saneago.com.br

RESUMO

A SANEAGO tem investido em diversas ações de melhorias em seus sistemas de água e esgoto, por meio da adoção de novas tecnologias, dentre as quais destacam-se trabalhos que visam o aumento da confiabilidade, disponibilidade e eficiência de seus equipamentos e instalações. O presente trabalho é baseado em conceitos da indústria 4.0 e tem como objetivo apresentar a implantação de um Sistema de Monitoramento Preditivo de Equipamentos (SMPE) por meio de uma supervisão inteligente e virtual, que visa o aumento da vida útil dos ativos e a redução das ações de manutenção emergencial, bem como de paradas não programadas dos sistemas de água e esgoto da cidade de Goiânia-GO.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento, Indústria 4.0, Equipamentos, Manutenção Preditiva.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da condição operacional de equipamentos industriais tornou-se um aspecto crítico na gestão de manutenção no setor de saneamento. Dentre os diversos equipamentos existentes nos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto, os conjuntos motobomba são quase onipresentes em todas as fases desses sistemas. Eventualmente, podem ocorrer falhas imprevistas nos equipamentos provocando elevados prejuízos econômicos e transtornos junto à população atendida e a órgãos reguladores, tornando assim imprescindível a manutenção dos mesmos.

Diante desse cenário, a gestão da manutenção passou nos últimos anos a incorporar os conceitos de eficiência, meta e excelência, passando de um setor secundário para uma função estratégica das empresas de saneamento. De acordo com a NBR 5462 (ABNT, 1994) manutenção é uma combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Para Kardec e Nascif (2006), existem seis tipos diferentes de manutenção (Figura 1). Dentre elas destaca-se a manutenção preditiva, cujas ações são norteadas pelo acompanhamento de parâmetros do equipamento com valores e patamares de rendimento definidos. Enquanto a manutenção reativa tradicional só realiza atividades de manutenção após a detecção de falhas e a manutenção preventiva generalizada consiste em atividades periódicas de manutenção com base na experiência anterior sobre a periodicidade de falha; a manutenção preditiva destaca-se como uma abordagem ideal para economizar custos e prevenir falhas de equipamentos, uma vez que, por meio de monitoramento constante pode antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos, agindo quando ainda somente se encontram sintomas.

Utilizando-se dos conceitos da Indústria 4.0, que segundo Hermann, Pentek e Otto (2016), consiste na aplicação de quatro princípios fundamentais: interconexão, transparência das informações, decisões descentralizadas e sustentabilidade, o monitoramento de condições é uma ferramenta poderosa para manutenção preditiva, pois baseia-se no acompanhamento em tempo real de variáveis físicas, tais como vibração, temperatura e perfis de corrente elétrica nos domínios do tempo e da frequência, para diagnóstico de falhas.

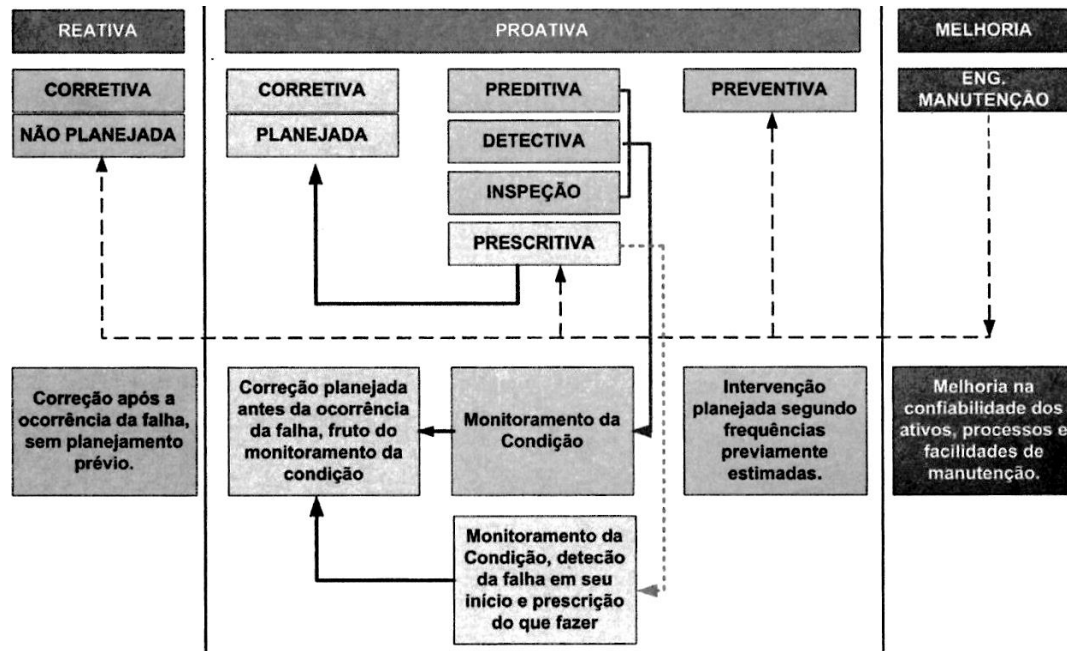


Figura 1: Tipos de Manutenção (Adaptado Kardec e Nascif, 2006).

O monitoramento das condições de um conjunto motobomba é feito ao longo do seu tempo de funcionamento, com o objetivo de estimar as horas de trabalho e a vida útil do equipamento, substituindo os elementos desgastados, de forma a preservar as características necessárias ao bom funcionamento. Após a montagem em seu devido local de instalação, é verificado o alinhamento dos eixos, ruído e vibração do conjunto motobomba, tanto antes como depois da partida (quando necessário).

São verificados também parâmetros importantes como corrente elétrica a vazio e a plena carga, as respectivas temperaturas de trabalho e as vibrações correspondentes a um determinado momento de sua operação. Estes parâmetros iniciais nos permitem comparar com os valores medidos posteriormente e assim detectar o desgaste e envelhecimento de componentes, vazamento de óleo, lubrificação insuficiente, perda de rendimento do conjunto mecânico, sobrecarga no eixo, anomalias em mancais, etc.

OBJETIVO

Implementar um Sistema de Monitoramento Preditivo de Equipamentos (SMPE) utilizando as novas tecnologias da indústria 4.0, com supervisão inteligente e virtual de equipamentos dos sistemas de água e esgoto da cidade de Goiânia-GO operados pela SANEAGO, visando o aumento da vida útil dos equipamentos e evitando assim ações de manutenção emergenciais. Utilizar o SMPE para detectar anomalias operacionais e coletar conjuntos de dados de variáveis físicas para implementar a manutenção preditiva de conjuntos motobomba, com um custo significativamente menor que o dos dispositivos de monitoramento profissionais, provendo monitoramento contínuo, disparo de alertas via aplicativo de mensagens Telegram e computação em nuvem privada ou pública.

O SMPE é desenvolvido a partir de componentes de hardware de baixo custo (sensores de temperatura, sensores de vibração de um eixo e computador de placa única), software de código aberto com possibilidade de acesso em nuvem aberta ou privada, onde todas as informações relevantes são armazenadas.

METODOLOGIA

Os conjuntos motobomba contêm elementos que sofrem desgaste influenciado pelo número de horas de trabalho, velocidade e temperatura de operação, tipo de lubrificante, número de partidas e possível operação em cavitação. Os rolamentos, em especial, sofrem desgastes que dependem do número de ciclos, da velocidade, das forças aplicadas, de sua posição em relação ao eixo da bomba, do lubrificante utilizado e do modo de lubrificação do rolamento.

Três parâmetros representam muito bem o comportamento do conjunto motobomba: a potência consumida, a temperatura de trabalho e a vibração. Mudanças bruscas nesses parâmetros indicam sinais de desgaste do conjunto e a interpretação paralela da potência e temperatura medidas durante um longo período de tempo pode criar um modelo para determinar o tipo de desgaste existente no equipamento.

Os próximos tópicos visam apresentar a base teórica necessária para o desenvolvimento da solução de monitoramento em questão considerando atingir o melhor custo-benefício, principalmente com eventuais custos de licenças de softwares.

- a) **Protocolo de comunicação de campo:** O protocolo de campo adotado como padrão pela SANEAGO é o Modicon Communication Bus, mais conhecido como Modbus, sendo um dos protocolos mais utilizados no controle de sistemas industriais. Foi desenvolvido em 1979 pela empresa Modicon para apoiar a comunicação dos seus PLC's. Em 2004 tornou-se um protocolo aberto e disponível sem a necessidade de qualquer tipo de licença (MODBUS, 2013). Uma rede MODBUS tem como objetivo a comunicação entre os mais diversos dispositivos, e seu respectivo protocolo define um conjunto de regras e padrões que possibilitam a leitura e escrita de variáveis entre os equipamentos interligados entre si (COELHO, 2008). Embora o Modbus tenha começado a ser usado principalmente na comunicação por cabo serial, atualmente existe uma adaptação para comunicações em redes TCP/IP, podendo comunicar por outros meios físicos (Ethernet, WiFi, etc.) além do cabo serial.
- b) **Protocolo de comunicação MQTT:** O Message Queue Telemetry Transport (MQTT) é um protocolo de comunicação Máquina para Máquina (M2M) baseado em transporte de mensagens cliente / servidor por meio dos conceitos de publicação (Publisher) e assinaturas (subscribers) do chamado "Tópico", tornou-se um dos principais pilares do IoT por sua simplicidade e leveza (MQTT.ORG, 2021). Por definição, o protocolo depende de um elemento chamado broker, uma aplicação responsável por receber a mensagem do publisher e enviá-las para os subscribers, que pode estar instalada em qualquer dispositivo que tenha conexão com o broker. Para filtrar as mensagens que são enviadas para cada cliente, as mensagens são alocadas em tópicos organizados hierarquicamente. Um cliente pode postar uma mensagem sobre um determinado tópico. Outros clientes podem se inscrever neste tópico, e o broker envia aos subscribers, as mensagens assinadas.
- c) **Software de Programação Node-Red:** A programação do Node-Red é baseada em fluxo cujas funções são realizadas a partir de uma rede de nodes (TAIJI HAGINO, 2021). Os nodes são uma espécie de caixas nas quais o código Node.js está oculto e realiza uma determinada tarefa, e são a unidade básica de programação do Node-Red, pois através deles toda a lógica de programação gráfica acontece, tal facilidade desobriga o usuário de conhecer a linguagem JavaScript por trás dos elementos interconectados e permitindo assim, o desenvolvimento de múltiplas tarefas de forma mais ágil (NODE-RED, 2021).
- d) **Banco de dados de série temporal:** O InfluxDB é considerado um gerenciador de bancos de dados de séries temporais, ou seja, pode ser entendido como um armazenamento de dados organizados ao longo do tempo. Este gerenciador é comumente usado para monitoramento de operações, análise em tempo real de sistemas e armazenamento de dados para equipamentos utilizados na Internet das Coisas. A principal característica desta ferramenta é que os dados são salvos com um timestamp (dados de hora, minutos e segundos) do momento em que os dados são armazenados. Nesta proposta, esta base de dados é utilizada para o armazenamento de todos os dados provenientes dos sensores que monitoram cada uma das variáveis físicas dos conjuntos motor-bomba.

- e) **Visualização e Análise dos dados:** O Grafana é uma ferramenta de código aberto que permite visualizar e monitorar dados em tempo real através de dashboards baseados em consultas feitas em um banco de dados, estes podem ser MySQL, PostgreSQL, InfluxDB, Prometheus, entre outros bancos de dados.
- f) **Hardware computacional:** Um Computador de Placa Única (do inglês Single Board Computer - SBC) é um computador embarcado de forma reduzida e pronto para uso. Pode ser considerado como uma solução genérica em hardware e software que pode ser utilizada no desenvolvimento de sistemas embarcados (MACIEL, 2019). Tais dispositivos têm características semelhantes aos computadores desktop como memória, processador, armazenamento, entradas e saídas porém um pouco mais limitado, tornando seu custo de produção mais barato e consequentemente, mais acessível a qualquer pessoa.

Diante do exposto, pode-se resumir que a solução adotada consiste em uma aplicação Node-Red instalada em um Raspberry Pi, usado como gateway, responsável pela aquisição de dados de um CLP e/ou uma Remota instalada no campo através do protocolo Modbus TCP e pelo encaminhamento desses dados a um broker MQTT, hospedado em uma máquina virtual, este por sua vez publica as mensagens recebidas para todos os clientes inscritos. Uma segunda aplicação Node-Red, hospedada na mesma máquina virtual, grava os dados publicados pelo broker MQTT em um banco de dados Postgres ou Influx e os disponibiliza um Dashboard Web Grafana, uma plataforma de visualização e análise métricas por meio de gráficos. Para reduzir os custos de implementação foi utilizado somente softwares livres e protocolos de comunicação abertos garantindo assim um custo zero com softwares. O esquema proposto para o fluxo de informações desse projeto está ilustrado na Figura 2.

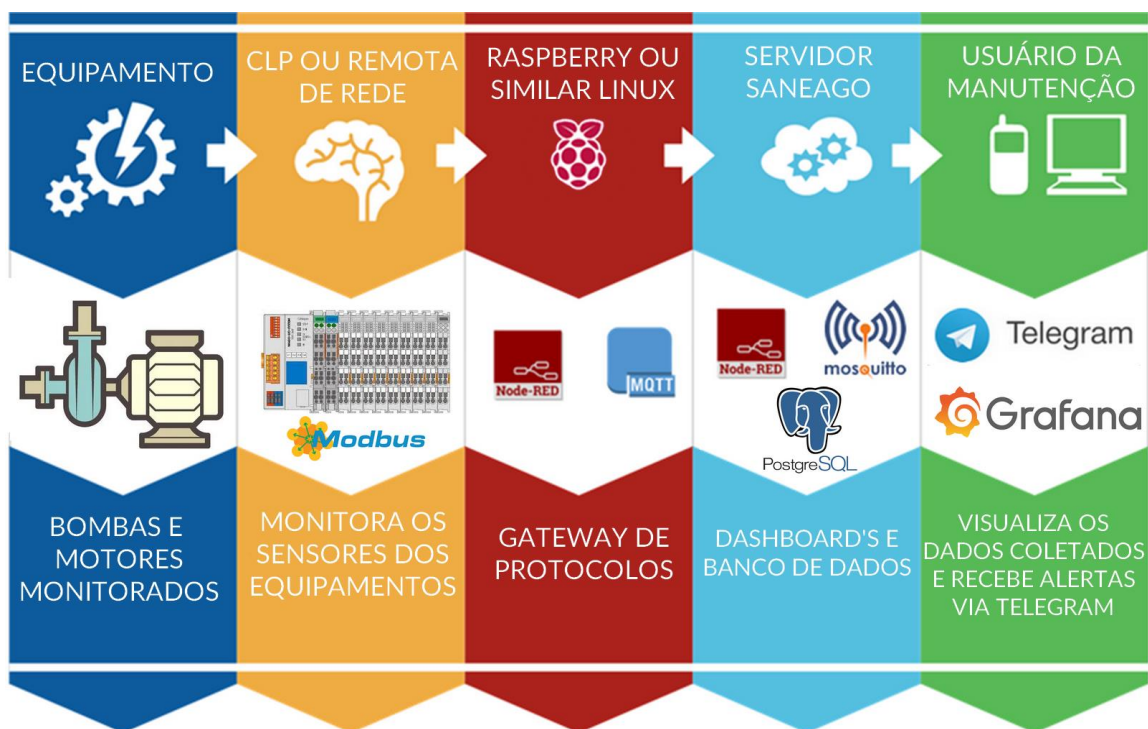


Figura 2: Fluxograma da solução proposta.

Como premissa de segurança para essa implementação, serão realizadas somente ações de leitura das variáveis do CLP das unidades contempladas, não havendo, portanto, qualquer lógica de programação no CLP ou em algum fluxo do Node-Red que permita a escrita de algum dado que possa interferir na automação ou funcionamento da unidade.

RESULTADOS

O estudo de caso foi realizado em duas unidades da cidade de Goiânia, sendo uma elevatória de água tratada denominada Estação Elevatória de Água Tratada Meia Ponte e uma segunda unidade chamada Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto.

Os gráficos de monitoramento de temperatura e vibração de três conjuntos motobomba e duas centrífugas de desidratação da Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto podem ser visualizados pelo aplicativo Grafana conforme Figura 3.



Figura 3: Gráficos de vibração e temperatura das bombas da ETE Dr. Hélio Seixo de Brito.

Os gráficos de monitoramento de vibração do conjunto motobomba da Estação Elevatória de Água Tratada Meia Ponte (EAT Meia Ponte) podem ser visualizados pelo aplicativo Grafana conforme Figura 4.

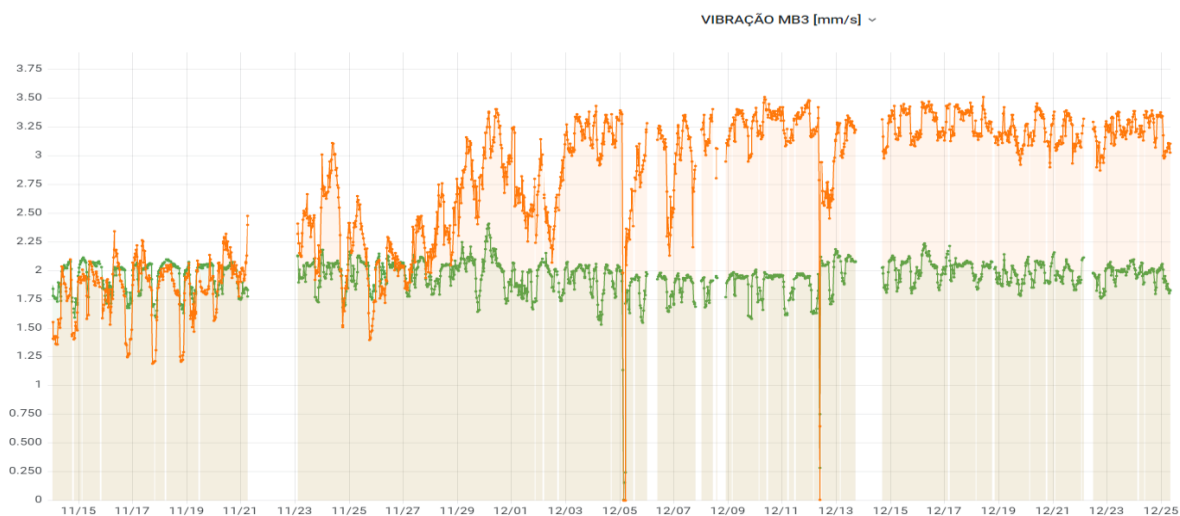


Figura 4: Gráficos de vibração do conjunto motor bomba 3 da EAT Meia Ponte.

Além do sistema de visualização apresentado acima, foram combinadas as ferramentas Node-Red e aplicativo Telegram para supervisão on line dos valores dos dados coletados. Caso tais valores não atendessem uma série de regras operacionais previamente definidas, alertas são disparados para as equipes de manutenção de campo inscritos no grupo, tal ferramenta proporciona agilidade nas tomadas de decisão e antecipação das ações de manutenção para corrigir falhas dos equipamentos, conforme apresentado na Figura 5.

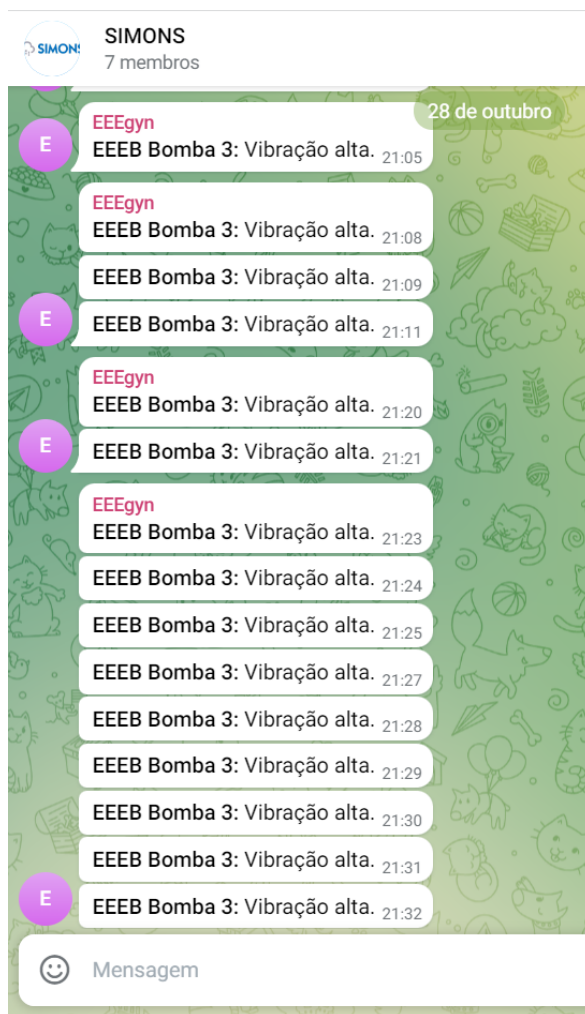


Figura 5: Alertas no aplicativo Telegram.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados mostram que o sistema proposto pode ser usado para monitoramento contínuo de qualquer equipamento rotativo com precisão e rapidez, semelhante aos dispositivos de monitoramento profissionais, mas com um custo significativamente menor.

A própria ferramenta Node-Red é dotada de recursos que podem melhorar a gestão da informação, pois possibilita a interação com as equipes administrativa e de manutenção, de maneira gráfica com fácil manipulação e geração de relatórios. Ainda assim, a partir de uma massa de dados coletados em determinado ciclo de tempo, podem ser criados índices e indicadores visando a garantia da melhoria contínua nos processos de manutenção preditiva.

O baixo custo de implantação combinado com a facilidade de uso de ferramentas e protocolos explanados neste trabalho, além do uso das tecnologias empregadas serem open source, traz grande viabilidade para

aplicação em unidades operacionais do setor de saneamento. Além das vantagens já citadas, a aplicação dessa solução pode trazer redução no custo operacional otimizando melhor os recursos da empresa como, por exemplo, executar intervenções antes da quebra de um equipamento.

CONCLUSÕES

A implementação proposta mostrou resultados satisfatórios e confiáveis, cumprindo seu objetivo, portanto, pode ser considerada parte de uma solução completa de sistema de monitoramento. A grande vantagem de se ter um sistema dessa natureza é a possibilidade de armazenamento de dados para análise futura e dinâmica no processo de tomada de decisão.

Como conclusão final, deve-se considerar que o Node-Red, por ser um software livre e com uma grande comunidade ativa, é uma ferramenta muito poderosa e adequada para usuários que não possuem muito conhecimento de programação, sendo esse um grande diferencial, pois, aprendendo o básico, como usar nodes, variáveis e dados, pode-se criar grandes aplicativos e serviços como os que foram apresentados neste trabalho. Como trabalhos futuros pode-se:

- Utilizar de outro protocolo IoT para comunicações;
- Utilizar de inteligência artificial para análise da massa de dados que serão gerados;
- Implementar políticas de segurança necessárias na máquina virtual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994
2. CAPELLI, A. Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos. São Paulo: Érica, 2007.
3. Georgini, M., (2000). Automação Aplicada Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs. São Paulo: Érica
4. Junior, Noris. Segurança em redes sem fio e móveis. Brasil, Editora Senac São Paulo, 2021.
5. KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção – Função Estratégica. 5ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2019
6. MODBUS. Modbus Protocol. Disponível em: <<http://www.modbus.org/specs.php>>. Acesso em: 28 jan. 2023.
7. MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Engenharia de Automação Industrial. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 295p
8. MQTT.ORG. What is MQTT? Disponível em: <<http://mqtt.org/faq>>. Acesso em: 27 dez. 2022.
9. NATIONAL INSTRUMENTS. O protocolo Modbus em detalhes. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>>/. Acesso em: 18 jan.2023.
10. Node-RED. Disponível em: <<https://nodered.org>>. Acesso em: 27 jan. 2023.
11. OLIVEIRA, Sérgio de. Internet das coisas com ESP8366, Arduino e Raspberry PI. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2017.
12. PETRUZELLA, Frank D. Controladores Lógicos Programáveis, ano 2013, edição 4
13. RASPBERRY PI FOUNDATION. Especificações. Disponível em: <<https://www.Raspberrypi.org/products/Raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em 26 jan. 2023.
14. Revista Controle & Instrumentação, São Paulo, mai/2006, edição nº 119. Disponível em: <http://www.controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_119/special_com.html>Acesso em: 28 jan.. 2021.
15. SERVICES, Ibm's Emerging Technology. Node-Red. Disponível em: <<https://nodered.org/>>. Acesso em: 23 jan. 2023.
16. TAJI HAGINO. PRACTICAL NODE-RED PROGRAMMING: learn powerful visual programming techniques and best... practices for the web and iot. S.L.: Packt Publishing Limited, 2021.
17. VEIGA, F. 10 Passos para se criar um Bot no Telegram. Disponível em: <<https://medium.com/tht-things-hackers-team/10-passos-para-se-criar-um-bot-no-telegram-3c1848e404c4>>. Acesso em: 13 jan. 2023.
18. YUAN, Michael. Getting to know mqtt. IBM, 2017. Disponível em: <https://developer.ibm.com/br/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/> Acesso em 09 de jan. de 2023