



SÃO PAULO

**FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**

**COLETA E ANÁLISE DE DADOS EM TEMPO REAL DAS MEDIÇÕES DE VARIÁVEIS EM
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA UTILIZANDO TECNOLOGIA IOT**

**REAL-TIME DATA COLLECTION AND ANALYSIS OF VARIABLE MEASUREMENTS IN POWER
TRANSFORMERS USING IOT TECHNOLOGIES**

**Luis Felipe Gomes Maia^{1, i}
Thiago Tadeu Amici^{2, ii}
José Roberto dos Santos^{3, iii}
Daniel Camusso^{4, iv}
Cláudio Luís Magalhães Fernandes^{5, v}**

RESUMO

No cenário atual da manutenção, no ambiente industrial ou portuário, vive-se um momento em que diversas empresas estão migrando da manutenção preventiva para a preditiva, onde a busca por tecnologias de monitoramento online de suas máquinas e equipamentos está cada vez maior. Dentre as tecnologias mais procuradas destaca-se a *Internet of Things* (IoT). Este artigo consiste na aplicação da tecnologia IoT na elaboração de um sistema para o monitoramento em tempo real de medições das variáveis em transformadores de potência, observando o estado atual dos equipamentos e diagnosticando, ou prevendo, eventuais falhas ou problemas. Esse trabalho será elaborado em um ambiente portuário, como o primeiro passo para a Indústria 4.0 na empresa.

ABSTRACT

In the current maintenance scenario, in the industrial or port environment, there is a time when several companies are migrating from preventive to predictive maintenance, where the search for online monitoring technologies of their machines and equipment is increasing. Among the most wanted technologies, the Internet of Things (IoT) stands out. This article consists of the application of IoT technology in the development of a system for real-time

¹ Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Inspetor de Manutenção Elétrica na empresa RUMO. E-mail: luis_felipe_gomes@hotmail.com

² Mestre em Controle e Automação de Processos. Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: thiago.amici@sp.senai.br

³ Especialista em Segurança da Informação da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: joseroberto@sp.senai.br

⁴ Esp. em Mecânica. Professor na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica. Diretor Acadêmico do Ensino Superior no SENAI São Paulo. E-mail: claudio.fernandes@sp.senai.br

monitoring of measurements of variables in power transformers, observing the current status of equipment and diagnosing, or predicting, any failures or problems. This work will be carried out in a port environment as the first step for Industry 4.0 in the company.

1 INTRODUÇÃO

Transformadores de potência são considerados os ativos mais importantes em uma subestação, seja elas de posse de concessionárias ou na indústria.

Azevedo et al. (2019, p. 1) comentam que os “desligamentos acidentais ou programados de transformadores causam sérios impactos e perdas financeiras significativas”. Para se evitar desligamentos em subestações devido a possíveis falhas ou problemas em transformadores é necessário que seja feita uma manutenção eficiente nesses componentes.

O método de manutenção que as empresas vêm adotando com mais frequência é a preditiva, que inclui o monitoramento de condições e prognóstico de condições futuras do sistema em que a tomada de decisões de manutenção se baseia nos resultados da previsão. (RAZA e ULANSKY, 2016).

No caso dos transformadores, análises preditivas são realizadas com a coleta de variáveis consideradas importantes, como por exemplo a temperatura ambiente, a temperatura do óleo, a temperatura dos enrolamentos e as tensões e correntes de carga.

Para se ter o conhecimento do atual estado do equipamento, a medição das variáveis citadas anteriormente é realizada através de sensores e/ou transdutores, instalados geralmente junto ao transformador. (ALVES e VASCONCELLOS, 2007).

A transmissão das informações obtidas através das variáveis de medição depende de algum dispositivo que concentre essas informações e as envie para uma central de supervisão e armazenamento desses dados, que geralmente são Controladores Programáveis (CP), inseridos em uma rede de comunicação industrial.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta para a aplicação de uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 para realizar essa transmissão e armazenamento dos dados obtidos dos transformadores, a *Internet of Things* (IoT), que significa Internet das Coisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Internet das Coisas

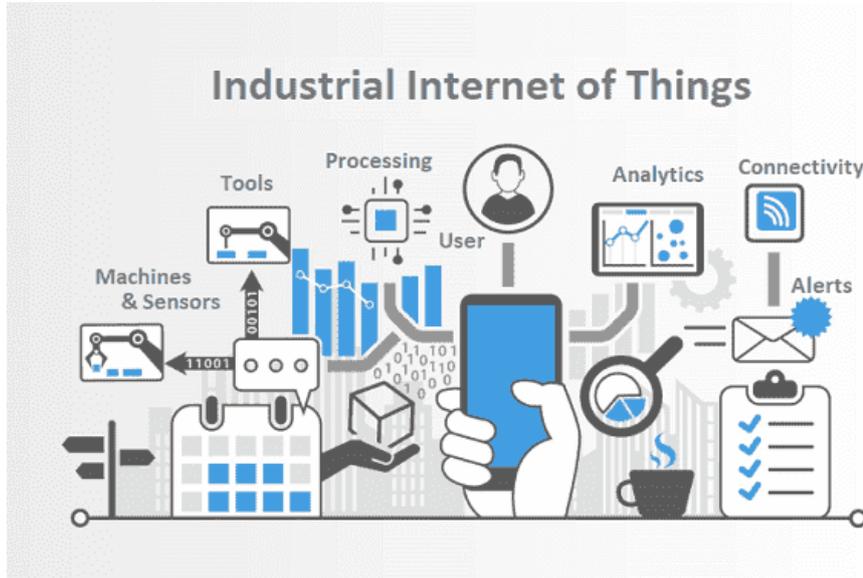
Segundo Xu et al. (2014) uma definição comumente aceita para *Internet of Things*, seria de uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração, com base em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde "Coisas" virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes, que são perfeitamente integrados à rede de informações.

Não há dúvidas que a *Internet of Things* é uma das tecnologias mais importantes deste século, pois conectando objetos e dispositivos à Internet, com a mínima intervenção humana, é possível monitorar, registrar, coletar, analisar e compartilhar dados, gerando uma cooperação entre o mundo físico e o digital.

Levando para o ambiente industrial o termo muda para *Industrial Internet of Things* (IIoT), como ilustra a Figura 1, onde esse mundo conectado de pessoas, dispositivos e máquinas criou oportunidades para aprimorar as operações em setores críticos de infraestrutura, como manufatura, agricultura e transporte. O IIoT pode ajudar a melhorar a maneira de coletar, analisar e compartilhar informações em tempo real para ajudar na tomada

de melhores decisões. As máquinas podem detectar e corrigir possíveis falhas antes que se tornem uma catástrofe e os objetos podem operar de forma autônoma enquanto são monitorados por pessoal de local remoto.

Figura 1 – Representação da IIoT



Fonte: OPTIWARE (2018)

Muitas empresas já estão desfrutando os benefícios dessa nova tecnologia por meio da manutenção preditiva, com a utilização de mais sensores para coletar dados em máquinas e, em seguida, usar a análise de dados e o aprendizado de máquina para determinar exatamente quando uma máquina precisará de manutenção.

Uma máquina quebrada em um processo de fabricação pode significar um grande prejuízo financeiro em produtividade perdida.

2.2 Protocolo de comunicação Modbus RTU

Em 1979 a empresa Norte Americana Modicon, parte da Schneider Automation, desenvolveu um dos protocolos de comunicação mais utilizados até hoje em sistemas de controle e automação devido ao seu modo relativamente simples de implantação, o protocolo Modbus.

São definidos dois modos seriais de transmissão para o protocolo, o *Modbus American Code for Information Interchange (ASCII)* e o *Modbus Remote Terminal Unit (RTU)*, onde o segundo modo é o que possui o melhor desempenho, sendo o mais utilizado.

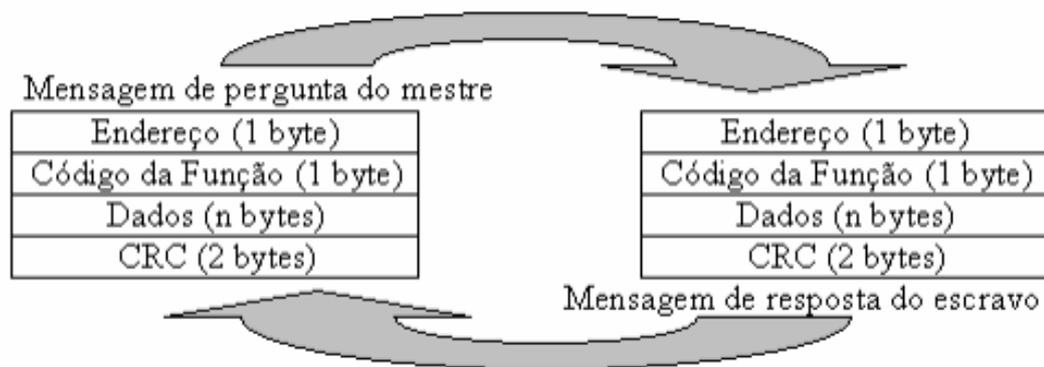
A utilização dos dois modos de transmissão em uma mesma rede não é possível. Cada modo tem a sua definição da forma de como os bytes são transmitidos nas mensagens. No quadro 1 é mostrada a sequência de bits para transmissão de um *byte* de dados.

Quadro 1 – Sequência de bits para transmissão de um byte no modo RTU

Start bit	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Stop bit	Stop bit
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------

Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de WEG (2007).

Uma rede Modbus RTU utiliza o sistema Mestre-Escravo, onde a quantidade de escravos pode ser de até 247, porém um único mestre. O mestre inicia a comunicação com uma solicitação (envio de *byte*) com o endereço do escravo a que se deseja enviar a mensagem, e o escravo responde ao mestre de acordo com o que foi solicitado, utilizando seu próprio endereço para que o mestre saiba qual escravo está respondendo. Este método de comunicação é denominado *polling*. A estrutura utilizada é a mesma em ambos os telegramas como é mostra a figura 2 e apenas o conteúdo dos dados possui tamanho variável.

Figura 2 – Estrutura das mensagens

Fonte: WEG (2007)

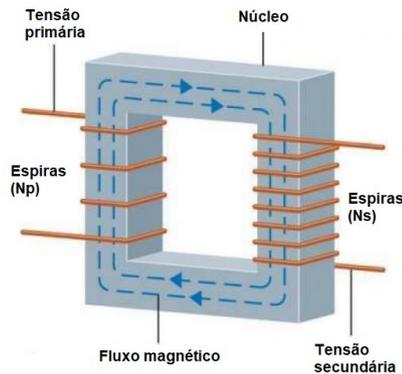
2.3 Medições das variáveis no transformador

Transformadores de potência são equipamentos que realizam a compatibilização dos níveis de tensão elétrica fornecidos por uma concessionária de energia para o uso em empresas e de consumidores em geral, podendo ser utilizado também pela concessionária para realizar ajustes necessários da tensão para a operacionalização do seu próprio sistema.

O seu funcionamento se inicia quando é aplicada uma tensão elétrica alternada no enrolamento primário, o que ocasiona a criação de um campo magnético em seu núcleo com o aumento da tensão, fazendo com que o fluxo gerado passe a sofrer variações que percorrem o enrolamento secundário. Com isso, surge uma corrente elétrica no condutor do enrolamento secundário devido a variação do fluxo magnético que passa a percorrer por ele. Logo, com a variação dos níveis da tensão no enrolamento primário, há uma variação do fluxo magnético no enrolamento secundário, induzindo uma tensão e corrente alternada nesse enrolamento. (WISE TRANSFORMADORES, 2021).

A figura 3 ilustra o funcionamento de um transformador.

Figura 3 – Funcionamento de um transformador de potência



Fonte: WISE TRANSFORMADORES (2021).

Alves e Vasconcellos (2007, p. 1) comentam que “os Sistemas de Monitoração On-line têm sido adotados como uma das principais ferramentas para possibilitar essa mudança sem colocar em risco a segurança e confiabilidade da operação dos transformadores”.

“Diante das necessidades do sistema elétrico, as atividades de manutenção tendem a migrar da manutenção preventiva para a manutenção preditiva, e da manutenção baseada no tempo para a manutenção baseada no estado atual do equipamento”. (PAULINO, 2014).

Para se realizar a escolha das variáveis que serão utilizadas no sistema de monitoração, deverá ser verificada primeiramente a aplicabilidade do transformador em questão, constatando a existência ou não, dos elementos que atuam diretamente, com as informações que se deseja coletar, e posteriormente as variáveis necessárias que permitirão conhecer a condição e diagnosticar eventuais problemas. (ALVES e VASCONCELLOS, 2007).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Estudo preliminar do projeto

Na empresa Elevações Portuárias S.A., que pertence a RUMO no porto de Santos, existem 10 subestações que rebaixam a tensão fornecida pelas duas concessionárias que abastecem o terminal portuário. As manutenções preventivas nas subestações são realizadas anualmente na parada geral de manutenção do terminal, porém muitas vezes esse tempo é prorrogado devido à grande demanda de embarque e recebimento de produtos, o que impede o desligamento do terminal. Contudo, ocorrem muitos desligamentos acidentais e quedas de energia no terminal, onde muitas vezes a causa é desconhecida.

Os transformadores de potência localizados nas subestações, principalmente nas mais antigas, não disponibilizam sensores de temperatura instalados junto a eles. Logo, não é possível uma análise preditiva do equipamento. Outros transformadores até disponibilizam sensores, porém eles não estão ligados a um sistema de monitoramento onde é possível acompanhar as variações de temperatura dos transformadores.

A subestação mais recente construída, que fornece energia ao Armazém X do terminal, é a que possui mais tecnologia, o que possibilita o monitoramento de variáveis de temperatura nos três transformadores, que tem potência de 3000KVA, 750KA e 300KVA conforme mostra a figura 4.

Figura 4 – Transformadores da Subestação do Armazém X



Fonte: Elaborado pelo autor.

O monitoramento das temperaturas das fases X1, Y1, W1 e o núcleo de cada um dos transformadores é realizado por três monitores de temperatura para transformadores secos, instalados em um painel dentro da sala da subestação, o que permite apenas a leitura visual das temperaturas a quem for autorizado a adentrar o local, como é mostrado na figura 5.

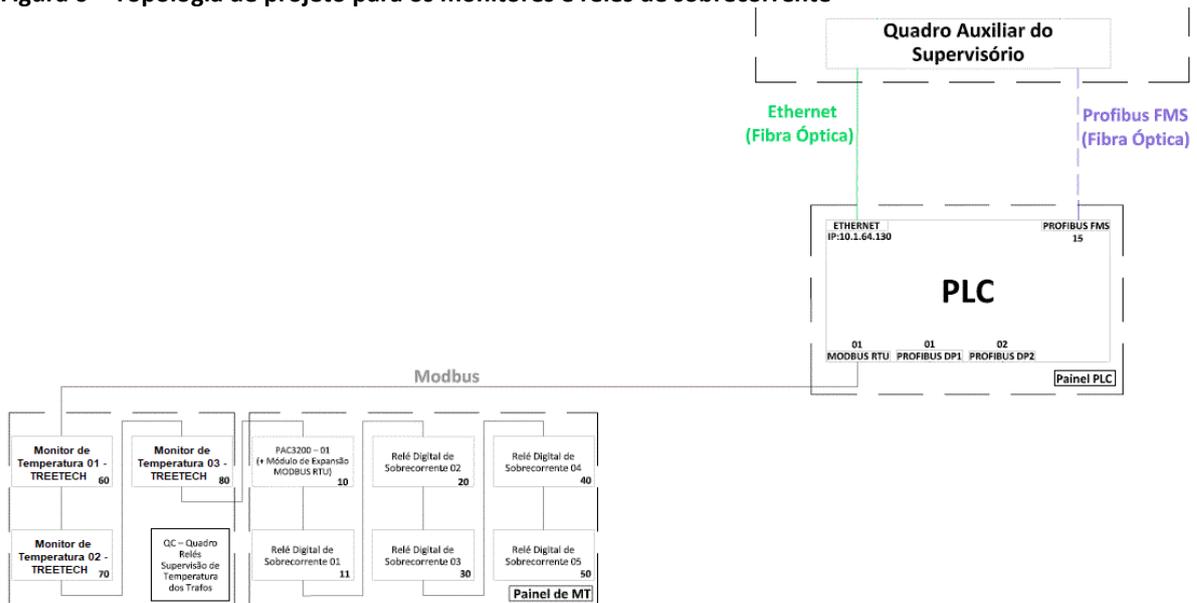
Figura 5 – Quadro de Controle e Supervisão de Temperaturas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este modelo de monitor, instalado na subestação, permite ligação via rede serial, com o protocolo de comunicação Modbus RTU. No projeto original foi proposto a elaboração de uma rede de comunicação Modbus entre os três monitores de temperatura, um multimedidor de grandezas elétricas, cinco relés digitais de sobrecorrente e um *Programmable Logic Controller* (PLC) localizado no Centro de Controle de Motores (CCM) que fica acima da subestação, como é ilustrado a seguir na figura 6.

Figura 6 – Topologia de projeto para os monitores e relés de sobrecorrente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, o projeto não foi levado a diante, deixando apenas os equipamentos instalados no local, sem a ligação da rede serial, conforme mostra a figura 7.

Figura 7 – Painel de média-tensão SIMOSEC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a utilização dos equipamentos já instalados na subestação do Armazém X, o trabalho tem como objetivo a implementação de uma rede serial entre os monitores, o

multimedidor e os relés, convertendo esse sinal Modbus para outro protocolo que possibilite subir as informações coletadas pelos dispositivos para um servidor na nuvem, onde esses dados serão armazenados, analisados e enviadas as informações necessárias para os tablets e smartphones dos líderes de área, e para a equipe de manutenção preditiva, possibilitando um acompanhamento *online* do *status* da subestação.

Este projeto apresentará uma nova tecnologia para auxiliar na manutenção da produtividade da empresa, e o início para o conceito de Indústria 4.0 no terminal portuária da RUMO.

3.2 Realização de testes nos equipamentos existentes na subestação

Inicialmente foi solicitada uma parada geral na subestação para a realização de testes e verificação de todos os componentes que serão necessários para a elaboração do projeto.

Durante a verificação do multimedidor e dos relés de sobrecorrente instalados no painel de média-tensão, foi observado que a fonte de alimentação geral do painel estava queimada, impossibilitando o funcionamento desses componentes.

Ao realizar os testes no Quadro de Controle e Supervisão de Temperaturas, foi constatado que todos os Monitores de Temperatura estavam em perfeitas condições de uso.

Nos sensores de temperatura PT-100 foi realizada a medição de todos eles diretamente nos transformadores instalados na subestação, onde foi possível verificar fisicamente todos os doze sensores que serão utilizados.

3.3 Mudança da ideia inicial do projeto

Com a incapacidade de se utilizar o multimedidor e os relés de sobrecorrente devido ao painel onde esses componentes estão instalados estar sem alimentação elétrica, foi necessário realizar uma mudança na ideia de projeto inicial.

No CCM acima da subestação existem três painéis gerais que recebem a alimentação dos transformadores, onde em cada painel tem instalado um multimedidor que disponibiliza as grandezas elétricas de saída de cada um dos transformadores individualmente, conforme a figura 8. Logo utilizá-los, tornou-se mais vantajoso do que a ideia inicial de coletar informações do multimedidor geral da subestação.

Figura 8 – Multimedidores dos Transformadores da Subestação Armazém X



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente também havia a ideia de utilizar o próprio CP existente no CCM, porém foi solicitado que não fosse utilizado, pois existia um certo receio em utilizar o equipamento por parte da coordenação, já que o equipamento é considerado de altíssima importância, pois através dele é feita toda a comunicação entre os outros controladores de toda a empresa.

3.4 Especificação dos componentes

Na figura 9, pode-se observar o modelo do multimedidor instalado nos painéis do CCM, que são do fabricante SIEMENS e possui o código de referência 7KM2112-0BA00-3AA0.

Figura 9 - Multimedidor SENTRON PAC 3200



Fonte: SIEMENS (2020).

O quadro 2 apresenta as características e especificações técnicas do multimedidor.

Quadro 2 – Especificação do Multimedidor

Especificação	Característica
Tensão de alimentação:	95...240VCA / 110-340VCC
Categoria de medição:	CATIII
Frequência de alimentação:	45...65HZ
Classe de proteção:	IP65 na parte frontal e IP20 na parte traseira
Corrente de serviço (em CA):	10A
Função do produto:	Medição de tensão, corrente, frequência, fator de potência, potência ativa, reativa e aparente.
Versão do visor:	LCD
Número de teclas:	4
Resolução de imagem:	128 x 96
Entrada e saída digital:	Sim
Interface:	Ethernet integrada e expansível com módulo de expansão opcional PROFIBUS DP ou RS485.
Dimensões:	96x72x56mm (AxLxP)
Temperatura ambiente:	-10...55°C

Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de SIEMENS (2008).

Como será utilizada comunicação Modbus, foi necessário a utilização de módulos de expansão PAC RS485, conforme mostra a figura 10. Esse módulo também é do fabricante SIEMENS e possui o código de referência 7KM9300-0AM00-0AA0.

Figura 10 - Módulo de expansão PAC RS485



Fonte: SIEMENS (2021b).

Na figura 11, pode-se observar o modelo do monitor de temperatura utilizados para indicar as temperaturas coletadas pelos sensores nos transformadores, que são do fabricante TREETECH e possui a referência LAD.

Figura 11 - Monitor de Temperatura para Transformador Seco - LAD



Fonte: TREETECH (2015).

O quadro 3 apresenta as características e especificações técnicas do monitor.

Quadro 3 – Especificação do monitor de temperatura

Especificação	Característica
Tensão de alimentação:	38 a 265 VAC/VDC 50/60Hz
Consumo máximo:	< 5 W
Temperatura de operação:	-10...+70°C
Grau de proteção:	Painel frontal IP 50. Parte traseira IP 20
Conexões Elétricas	0,3 a 2,5mm ² , 22 a 12 AWG
Saída analógica:	Apenas na versão com o opcional “Saída analógica”
Erro máximo:	0,5% do fim de escala
Saídas a relés:	Contatos livres de potencial
Tipo e funções (padrão):	Três Relés Reversíveis Configuráveis Dois Relés NF Configuráveis (padrão Resfriamento Forçado)
Capacidade máxima de chaveamento:	250 Vac 5A / 30 Vdc 5 A
Medições diretas de temperatura:	Seis entradas para sensores RTD com auto calibração contínua (cinco na versão “Saída Analógica”)
Sensor:	Pt100Ω a 0 °C
Faixa de medição:	-55...200 °C
Erro máximo a 20°C:	0,5% do fim de escala
Desvio por variação de temperatura:	20ppm/°C
Tipo de conexão:	Três fios
Previsão de Tempo de Vida Útil Restante:	Calculado
Protocolos de comunicação:	Modbus RTU (padrão) DNP 3.0 Nível 1 (opcional)
Portas de Comunicação Serial:	1 RS-485 para sistema de supervisão

Fonte: Elaborado pelo autor adaptado do manual (TREETECH, 2015).

Como não foi possível a utilização do CP existente no CCM para realizar a comunicação entre os monitores e multimedidores, foi necessário a confecção de um novo painel central para o projeto. Foi realizada a contratação de uma empresa terceirizada para confecção do novo painel, que foi instalado dentro do próprio CCM, conforme mostra a figura 12.

Figura 12 - Visão externa do Painel de Monitoramento de Transformadores do Armazém X



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro deste painel foi instalado um CP totalmente dedicado para o sistema, composto por um *Central Process Unit* (CPU), código 6ES7212-1AE40-0XB0, um módulo de comunicação serial RS422/485, código de referência 6ES7241-1CH32-0XB0, que recebe os sinais das variáveis de campo através do protocolo Modbus RTU, e um módulo processador de comunicação *Long Term Evolution* (LTE), código de referência 6GK7243-7SX30-0XE0 (SIEMENS, 2021c).

Neste módulo, código de referência 6GK5896-4ME00-0AA0 (SIEMENS, 2021a), foi instalado uma antena mobile wireless, que permite a comunicação em redes GSM (2G), UMTS (3G) e LTE(4G), transformando o CP em um IoT, conectado à rede 4G.

A disposição dos componentes internos do painel é mostrada na figura 13.

Figura 13 - CLP SIMATC S7-1200 SIEMENS



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 Armazenamento e aquisição dos dados

A plataforma em nuvem utilizada nesse projeto foi a Microsoft Azure, onde foi criado um servidor para o armazenamento dos dados obtidos através das variáveis de campo.

O protocolo de comunicação utilizado para a comunicação entre a CPU Siemens e o servidor na nuvem foi o *Open Platform Communications - Unified Architecture* (OPC UA), que se trata de um padrão aberto de comunicação *Machine to Machine* (M2M), enviando dados da máquina para a nuvem, independente de plataforma e fornecedor. A escolha da utilização desse protocolo se deve ao fato de ele ser um dos protocolos mais utilizados na Indústria 4.0, e ser um protocolo de fácil utilização com o modelo do processador de comunicação utilizado no projeto, além da parte de aquisição de dados ser bem simples de se configurar. A partir dos dados armazenados no OPC UA *Server* deste CP, foi feita a aquisição deles por um OPC UA *Client* na nuvem, salvando-os em um banco de dados.

3.6 Criação da interface gráfica e definição dos tipos de alarmes

Para a interação do usuário com o sistema foi elaborada uma interface gráfica onde é possível verificar de maneira simples e objetiva as variáveis em tempo real, alarmes e históricos através de telas com *dashboards*.

Foram criados os seguintes alarmes para o projeto:

- a) Temperatura Alta: Quando a variável de temperatura estiver acima de 140°C;
- b) Subtensão: Quando a variável de tensão estiver abaixo de 20% do valor nominal;
- c) Sobretensão: Quando a variável de tensão estiver acima de 20% do valor nominal;
- d) Assimetria de Tensão: Quando a diferença de tensão entre fases estiver maior que 20% em relação a tensão nominal;
- e) Subcorrente: Quando a variável de corrente estiver abaixo de 20% do valor nominal;
- f) Sobrecorrente: Quando a variável de corrente estiver acima de 20% do valor nominal;
- g) Assimetria Corrente: Quando a diferença de corrente entre fases estiver maior que 20% em relação a tensão nominal.

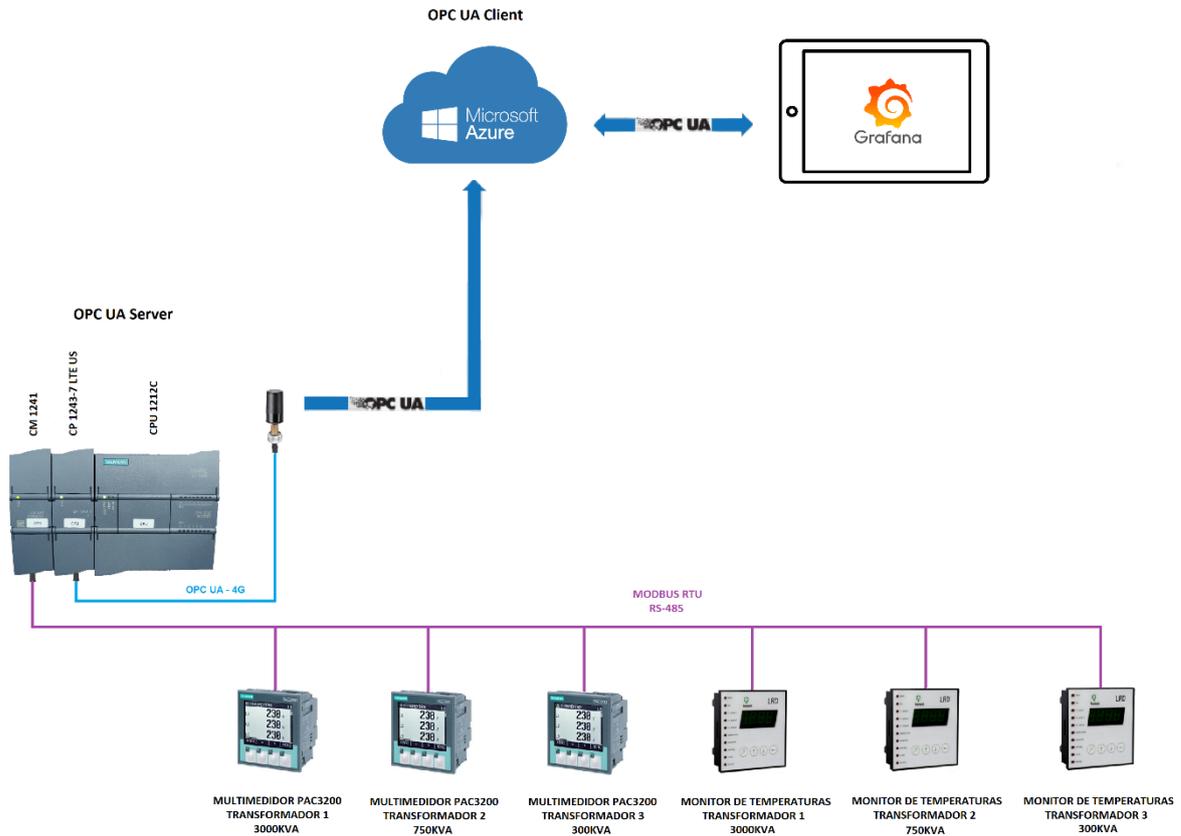
3.7 Acesso ao sistema

Como o sistema é uma aplicação web, deverá ser utilizar um navegador de sua preferência para inserir o endereço da aplicação e acessá-la com as credenciais geradas para os usuários finais

4 RESULTADOS

A nova topologia de rede é apresentada na figura 14, onde é possível observar os dispositivos e protocolos utilizados para a realização do projeto após as alterações feitas da ideia inicial.

Figura 14 - Nova topologia de rede



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 15 é apresentada a interface final do projeto, onde é possível acompanhar um histórico dos valores de cada variável coletada do Transformador 2, em forma de *dashboards*, sendo possível alterar o período de atualização e o intervalo de exibição do histórico das medições.

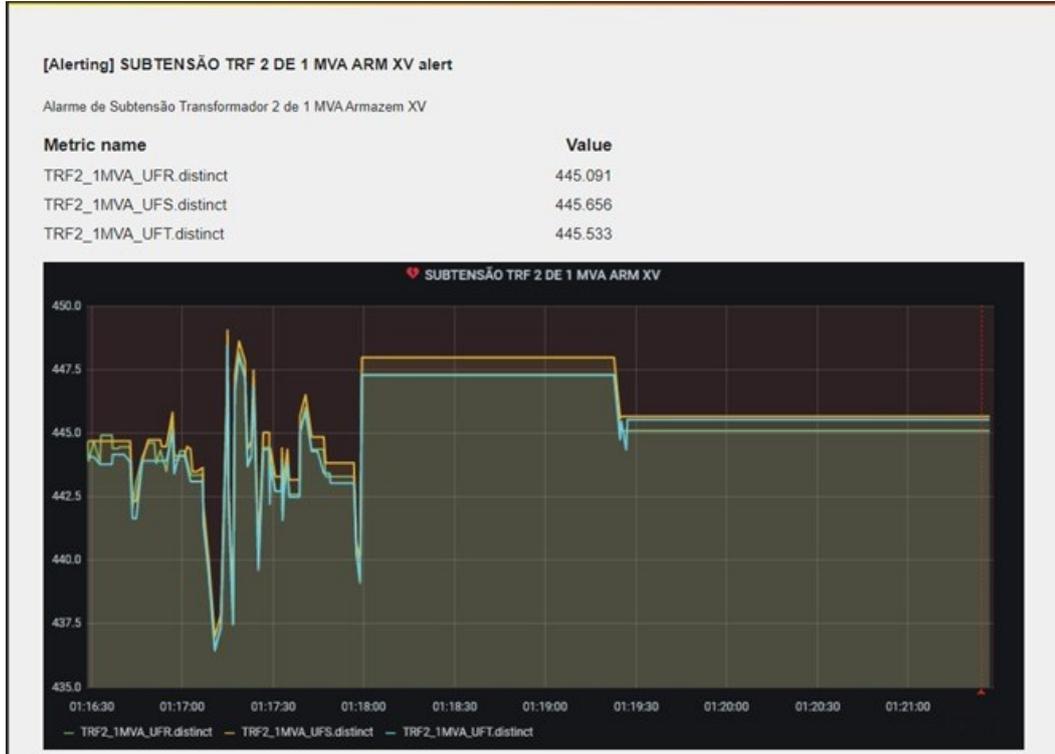
Figura 15 - Interface gráfica



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema possui um gerenciador de notificações, onde as mensagens de alarmes são enviadas em forma de e-mails conforme mostra a figura 16.

Figura 16 - Modelo de e-mail enviados com alertas de alarmes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também são enviadas mensagem de texto através do aplicativo Telegram, instalados nos smartphones corporativos dos líderes de turno, especialistas e inspetores responsáveis pelo controle e manutenção da subestação conforme mostra a figura 17.

Figura 17 - Modelo de mensagem de alarmes enviadas pelo Telegram



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após pouco mais de 7 meses do início do projeto, chegou-se à conclusão que a escolha de armazenar os dados obtidos dos transformadores em um ambiente em nuvem contribuiu para o envolvimento de mais pessoas na tomada de decisões relacionadas a confiabilidade dos equipamentos.

Com a facilidade de acesso as informações, agora é possível a elaboração de ações preventivas com comprovações baseadas nos dados coletados. Ações essas, que antes eram tomadas apenas quando havia a disponibilidade de uma parada geral de manutenção, no caso, uma vez por ano. Também é possível identificar e regularizar cargas que estejam desbalanceadas, causando assimetrias nos transformadores.

Hoje este sistema de monitoramento baseado na IoT, está implantado em três subestações e está viabilizando estender para as demais. Isso comprova a eficiência da aplicação e o interesse de novas tecnologias habilitadoras para tornar cada vez mais o setor portuário alinhado ao conceito da Indústria 4.0.

Espera-se que outras sedes da empresa utilizem como referência a aplicação para elaborarem projetos voltados ao seu processo local, integrando novas tecnologias como IoT e Computação em Nuvem.

REFERÊNCIAS

ALVES, M.E.G; VASCONCELLOS, Vagner. Especificação de sistemas de monitoração on-line para transformadores de potência baseados em uma arquitetura descentralizada. *In: CIGRÉ INTERNATIONAL TECHNICAL COLLOQUIUM*, 2007, Rio de Janeiro. **Anais [...]**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://treotech.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Cigre_CPFL_EspecificacaoMonitoracaoOnline_2007.pdf. Acesso em: 02 jul. 2020.

AZEVEDO, C.H.B; MARQUES, A.P; RIBEIRO, C.J. Methodology for the detection of partial discharges in power transformers using the acoustic method. *In: IEEE EUROCON 2009*, pp. 618-621, Saint Petersburg, Russia, May, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/EURCON.2009.5167697>. Acesso em: 02 jul. 2020.

OPTIWARE. **What is Industrial Internet of Things (IIoT) and why is it important in manufacturing?** 2018. Disponível em: <https://optiware.com/blog/what-is-industrial-internet-of-things-iiot-and-why-is-it-important-in-manufacturing/>. Acesso em: 03 jul. 2020.

PAULINO, Marcelo. **Uso de monitoramento on-line de transformadores para avaliação da condição do ativo**. 2014. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2015/01/ed-107_Fasciculo_Cap-XII-Manutencao-de-transformadores.pdf. Acesso em: 03 nov. 2021.

RAZA, Ahmed; ULANSKY, Vladimir. Modelling of predictive maintenance for a periodically inspected system. **Procedia CIRP**, v. 59, pp. 5–101, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.032>. Acesso em: 02 jul. 2020.

SIEMENS. **Manual do Multimedidor SETRON PAC3200**. 2008. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504150/att_906554/v1/A5E01168664F-03_PT_122016_201612221316310894.pdf. Acesso em: 05 jul. 2021.

SIEMENS. **Multimedidor SENTRON PAC3200**. 2020. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/7KM2112-0BA00-3AA0>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SIEMENS. **Antena móvel wireless para redes GSM (2G), UMTS (3G) e LTE (4G)**. 2021a. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6GK5896-4ME00-0AA0>. Acesso em: 08 jul. 2021.

SIEMENS. **Módulo de expansão PAC RS485**. 2021b. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/7KM9300-0AM00-0AA0>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SIEMENS. **Processador de comunicações CP 1243-7 LTE, SIMATIC S7-1200**. 2021c. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6GK7243-7SX30-0XE0>. Acesso em: 08 jul. 2021

TRETECH. **Manual técnico monitor de temperatura para transformador a seco LAD**. 2015. Disponível em: <http://treetech.com.br/wp-content/uploads/2017/11/Manual-LAD-1.15-pt.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

WEG. **Manual da Comunicação Modbus-RTU**. 2007. Disponível em: <http://www.gigawattsistemas.com.br/file/1-15618inteligente.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021

WISE TRANSFORMADORES. **Transformador de potência: qual o seu princípio de funcionamento?** 2021. Disponível em: <https://wisetransformadores.com.br/transformador-de-potencia-qual-o-seu-principio-de-funcionamento/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

XU, Li Da; HE, Xu; LI, Shancang. Internet of things in industries: a survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 4, pp. 2233-2243, November, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6714496> . Acesso em: 02 jul. 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar as oportunidades na minha vida, a minha família por sempre me apoiar em todos os momentos na minha jornada profissional.

Agradeço ao meu companheiro de classe e de empresa Leonardo Levi Machado Junior que me ajudou com a aquisição recursos e mão de obra para o desenvolvimento do projeto.

Agradeço ao Prof. Me. Thiago Amici pelo total profissionalismo, pois mesmo durante um período delicado na pandemia, não mediu esforços em entregar um excelente conteúdo de acordo com a escolha de cada aluno perante ao momento, sempre demonstrando um entusiasmo inspirador.

Sobre os autores:

ⁱ Luis Felipe Gomes Maia



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Santa Cecília (2017), cursando atualmente a Pós Graduação em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2020). Tem experiência na área de manutenção elétrica e planejamento de manutenção em máquinas e equipamentos do segmento portuário. É Inspetor Eletricista II na empresa RUMO no porto de Santos onde é responsável pelas máquinas e equipamentos elétricos da linha de embarque de açúcar e grãos.

ⁱⁱ Thiago Tadeu Amici



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 7 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnicos de Mecatrônica, Automação Industrial, Eletrônica e Eletroeletrônica, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados ao CLP da Siemens. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Experiência internacional na aprovação de linha de produção (Cavemil) em Milão na Itália e sua instalação no Brasil. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confecção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT. CV: <http://lattes.cnpq.br/9165856219131658>

iii JOSÉ ROBERTO DOS SANTOS



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 9 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnico em eletroeletrônica, cursos de aprendizagem industrial eletricitista de manutenção e mecânico de usinagem, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados a área de redes de computadores e programação, possui treinamento de Linux, cisco e Microsoft. Possui Pós-graduação na área de segurança da informação pela Uninove (2016), graduação em tecnologia da informação e bacharel em sistema da informação (2009), além de superior em Automação industrial. Tem experiência na área de Segurança da informação, administração de ambientes de redes Windows e Linux, automação indústria. CV: <http://lattes.cnpq.br/2495692420793433>

iv DANIEL CAMUSSO



Profissional pela Universidade de Taubaté - UNITAU (previsão de término 2021). Pós-Graduado em Industrial 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Pós-Graduado em Engenharia Automobilística pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI (2000). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systemes em Paris - França. Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Atualmente é docente no curso Técnico em Mecatrônica pela Escola SENAI Armando de Arruda Pereira. Foi docente do curso Superior "Tecnologia Mecatrônica Industrial" pela Faculdade SENAI e do curso de "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia. Também docente do curso de especialização de CAD/CAE para Engenheiros de Países da América Latina (Convênio Brasil JICA Japan International Cooperation Agency). Participação no projeto Bleriot, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França). Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de novos projetos para a indústria automobilística, utilizando o software CATIA e NX. CV: <http://lattes.cnpq.br/7303249573994245>

✓ CLÁUDIO LUÍS MAGALHÃES FERNANDES

Possui graduação em Engenharia Elétrica Modalidade Eletrônica com Ênfase em Computação pela Universidade Santa Cecília (2006), Pós-graduação Lato Sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2010), Pós-Graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional, pelo SENAI CETIQT (2015) e Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2012). Atualmente é Diretor Acadêmico do Ensino Superior, no SENAI São Paulo, Professor da Faculdade de Tecnologia São Vicente dos cursos Tecnólogo em Automação Industrial, Bacharelado em Sistemas de Informação, Engenharia Elétrica. Atua na Universidade Santa Cecília - UNISANTA como docente e pesquisador de técnicas de Inteligência Artificial que fazem uso dos conceitos das Lógicas Não-Clássicas, com ênfase na LPA2V (Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores) e Lógica Fuzzy, aplicadas a sistemas Robóticos e no Controle de Processos Industriais. <http://lattes.cnpq.br/8652248955686624>