



Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

Plataforma digital para monitoramento, diagnóstico e prognóstico de grupos geradores

**FABRIZIO LEAL FREITAS(1); TIAGO KAORU MATSUO(1); BRUNO DE BORBA(1); CELSO SOUZA(1);
LEONARDO DA SILVA JABLON(1); GUSTAVO LEÃO MOURÃO(1);
AQTech(1);**

RESUMO

Para garantir o retorno de investimentos em ativos de geração de energia é essencial manter a ótima condição de máquinas e equipamentos e estender ao máximo sua vida útil. Técnicas que auxiliem na detecção de problemas são fundamentais. Uma das ferramentas mais utilizadas para esse fim é o monitoramento online de parâmetros associado a filosofias de manutenção preditiva em detrimento de manutenções corretivas e preventivas. A chamada “indústria 4.0”, que inclui dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e ferramentas inteligentes baseadas na nuvem para o apoio aos processos industriais trazem novos paradigmas para a evolução da manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão de ativos, diagnóstico, prognóstico, manutenção baseada na condição, internet das coisas.

1.0 - INTRODUÇÃO

O processo de inovação aberta é uma tendência atual em que a criação de novas tecnologias expande as suas fronteiras entre diversos campos de conhecimento e diferentes organizações em busca de inovações mais valiosas. O projeto Link Lab da ACATE é uma iniciativa neste sentido que visa facilitar a aproximação das grandes corporações e pequenas empresas, potencializando a inovação aberta. Dentro deste processo a AQTech foi selecionada para o desenvolvimento de um projeto piloto que consiste na criação de uma plataforma digital para grupos geradores a diesel, onde o grupo é monitorado e o cliente possui acesso aos parâmetros essenciais da máquina como indicadores, diagnósticos e prognósticos de falhas.

Sistemas de monitoramento de condição projetados para grandes plantas de energia são muito caros para serem aplicados em ativos de menor valor, como é o caso dos GMGs (Grupos Motor-Gerador) [1] [2]. Para que seja viável o monitoramento on-line de ativos de geração de menor custo é essencial que o hardware de monitoramento tenha um valor reduzido, o que implica em limitações de capacidade de processamento e comunicação. O conceito de internet das coisas (IoT - *Internet of Things*) e o uso de protocolos de comunicação otimizados são ideais para lidar com tais limitações.

O conceito de IoT está em crescimento acelerado. O número de “coisas” conectadas deve atingir 212 bilhões de entidades implantadas a nível mundial até o final de 2020 [3]. Em 2022, espera-se que o tráfego de comunicação M2M (*Machine to Machine*) deva constituir até 45% de todo o tráfego da Internet [3] [4] [5]. O instituto McKinsey reportou que o número de máquinas conectadas cresceu 300% nos últimos 5 anos [6]. O monitoramento de tráfego em uma rede celular nos Estados Unidos mostrou um crescimento de 250% de tráfego de dados M2M em 2011 [7]. Ainda, o impacto anual total causado pelo IoT é estimado entre 2.7 trilhões e 6.2 trilhões de dólares em 2025 [6].

Todos esses números e projeções apontam para um crescimento potencialmente significativo e de ritmo rápido da Internet das Coisas no futuro próximo. Este crescimento proporciona uma oportunidade única para fabricantes de

equipamentos tradicionais transformarem seus produtos em “coisas inteligentes” [8].

2.0 - ARQUITETURA DA PLATAFORMA

A arquitetura de monitoramento do sistema foi composta por um dispositivo IoT desenvolvido pela AQTech que foi instalado no grupo gerador e integrado ao CLP (Controlador Lógico Programável). Este dispositivo lê variáveis do CLP através do protocolo Modbus RTU e envia esses dados para a nuvem através de uma conexão GPRS. A AQTech possui uma nuvem privada onde é executado um software de coleta de dados, responsável por decodificar as mensagens recebidas dos sistemas de monitoramento e armazená-las em uma base de dados relacional. Um software com algoritmos inteligentes é responsável por processar os dados coletados, gerar indicadores, e realizar funções de diagnóstico e prognóstico do ativo monitorado. Por fim, um sistema WEB com autenticação de usuário disponibiliza os resultados em uma interface responsiva. A FIGURA 1 apresenta essa arquitetura.

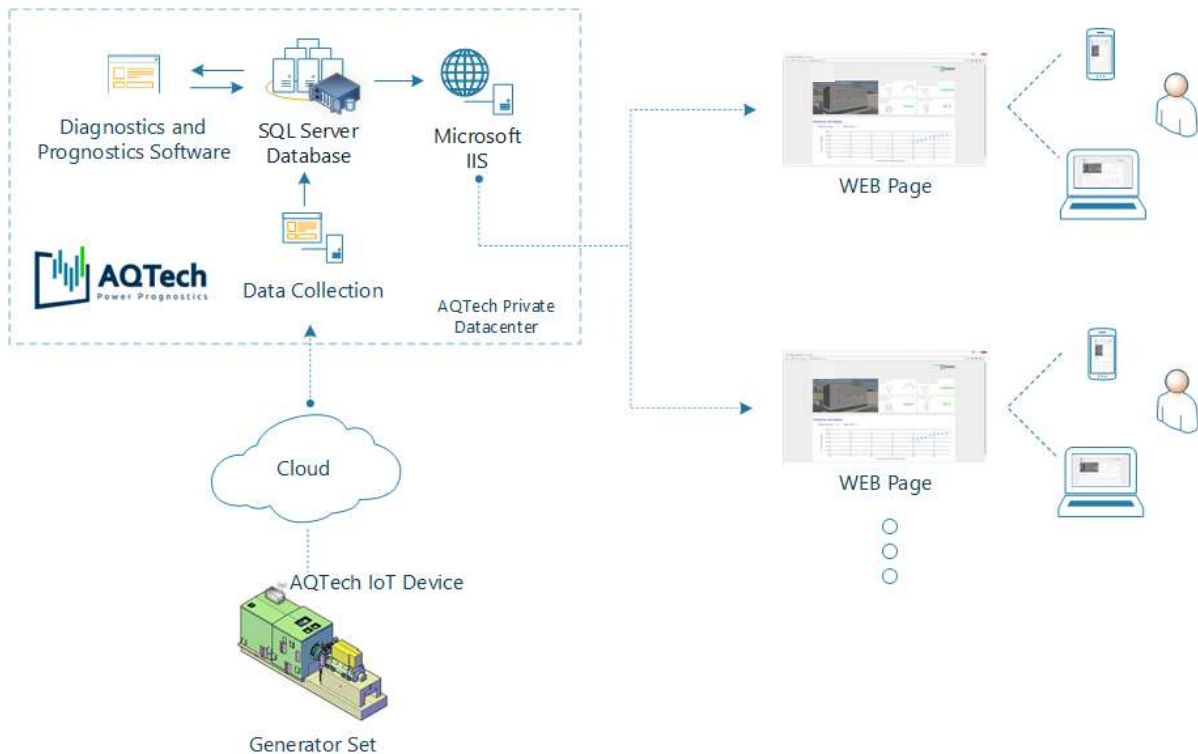


FIGURA 1 - Arquitetura da plataforma de monitoramento, diagnóstico e prognóstico na prova de conceito

A grande maioria dos grupos motor-gerador que operam com um CLP (controlador lógico programável) suportam o protocolo Modbus RTU. O Modbus é um protocolo de mensagem de camada de aplicação criado em 1979 pela Modicon, posicionado no nível 7 do modelo OSI (*Open System Interconnection*), e fornece comunicação cliente/servidor entre dispositivos conectados em diferentes tipos de barramentos ou redes [9].

O protocolo Modbus é um protocolo de requisição/resposta em que cada serviço é especificado por um código de função. Por ser livre de taxas de licenciamento e se adequar a diversos meios físicos (como RS-232, RS-485 e Ethernet), o Modbus é utilizado em milhares de equipamentos e é uma solução de comunicação muito barata de se utilizar [1] [2] [9].

O software que é executado no dispositivo IoT é o Pulsar, um software multiplataforma desenvolvido também pela AQTech. O termo multiplataforma refere-se a um software que pode ser executado em mais de uma plataforma de hardware e software. No contexto da informática, plataforma refere-se a dispositivos computacionais utilizados para interação com o sistema, seja hardware ou software. Esse conceito normalmente é aplicado à portabilidade entre sistemas operacionais, porém o conceito também contempla a execução do software em diferentes plataformas de hardware, como em processadores x86, ARM e Altera / NIOS II.

O software Pulsar foi desenvolvido em C++ e sua função primária é adquirir amostras de sinais digitalizados e processá-las matematicamente. O processamento matemático é realizado através de modelos de cálculo, representáveis em diagramas de blocos, que executam diversas funções para tratar adequadamente cada sinal e obter informações relevantes do monitoramento.

O software Pulsar ainda armazena em memória não volátil informações pertinentes ao monitoramento dos sinais, para que essas informações possam ser transmitidas posteriormente a um datacenter e analisadas adequadamente por um especialista. O software dispõe ainda de diversos serviços implementados via TCP/IP em protocolo proprietário para supervisão e controle do processo de monitoramento.

Dependendo da arquitetura de hardware em que o software está sendo executado, é possível ainda acionar alarmes ou saídas digitais e com isso interromper o funcionamento de equipamentos de alto valor agregado em caso de falha.

O software foi desenvolvido visando os padrões ANSI C (*American National Standards Institute for the C programming language*) e POSIX (*Portable Operating System Interface*), especificado pela ISO/IEC 9945 (ISO/IEC/IEEE 9945:2009), o que torna o software compatível com a maioria dos compiladores.

O software de coleta dos dados de monitoramento é executado na nuvem privada da AQTech. Os serviços de computação em nuvem costumam ser classificados quanto a sua implantação: pública, privada ou híbrida. Segundo a empresa Amazon, “Nuvens públicas são de propriedade de um provedor de serviços de nuvem de terceiros e operadas por ele, que por sua vez fornece recursos de computação, como servidores e armazenamento pela Internet” [...] “Uma nuvem privada é aquela em que os serviços e a infraestrutura são mantidos em uma rede privada” [...] “Nuvens híbridas combinam nuvens públicas e privadas ligadas por uma tecnologia que permite que dados e aplicativos sejam compartilhados entre elas” [10].

Ainda, segundo a Amazon, “Resumindo, a computação em nuvem é a distribuição de serviços de computação – servidores, armazenamento, bancos de dados, redes, software, análises, inteligência e muito mais pela Internet (“a nuvem”), proporcionando inovações mais rápidas, recursos flexíveis e economia na escala.” [10].

3.0 - RESULTADOS EM DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO

Um dos principais resultados da aplicação é uma interface gráfica a qual permite ao usuário final um monitoramento contínuo do equipamento e facilite o gerenciamento do seu ativo em termos de manutenção. Além disso permite a interação com o usuário para análise de desempenho do grupo motor-gerador. A interface gráfica apresenta de forma direta a condição atual do equipamento e permite visualizar de forma gráfica o histórico dos dados de monitoramento. A FIGURA 2 mostra a tela principal do sistema.

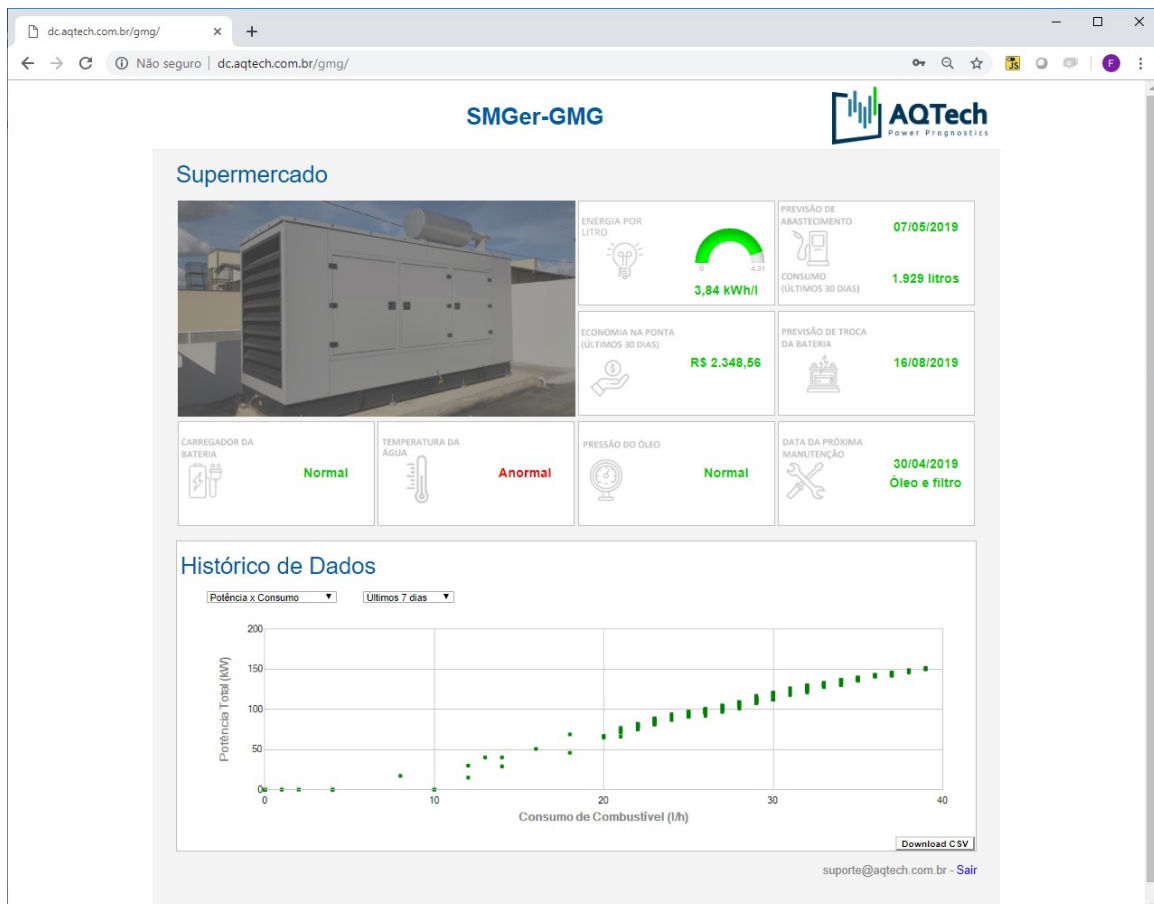


FIGURA 2 - Dashboard da plataforma.

As informações disponibilizadas do *dashboard* da plataforma são: eficiência de conversão de energia do grupo gerador, a data prevista para o próximo abastecimento de combustível, o consumo de combustível nos últimos trinta dias, o valor economizado pela geração em horário de ponta, a data prevista para a substituição da bateria, a condição do sistema de carregamento da bateria, a condição do sistema de aquecimento da água de resfriamento, a condição do sistema de pressurização do óleo e a data prevista pra a próxima manutenção.

As informações detalhadas do sistema são apresentadas a seguir.

3.1 Tendência das variáveis monitoradas

Uma das funcionalidades do sistema é apresentar de forma gráfica ou através da exportação em tabelas de pontos os valores das variáveis monitoradas. Não há limites impostos pelo sistema para a quantidade de variáveis monitoradas nos grupos motor-gerador. Alguns modelos de CLPs possuem dezenas ou até centenas de variáveis disponíveis em seus mapas Modbus.

Para a aplicação do sistema em um grupo motor-gerador, as variáveis monitoradas foram: tensão da bateria, temperatura da água, potência total gerada e potência de cada fase, pressão do óleo, nível de combustível, consumo instantâneo de combustível, temperatura do ar e tempo de funcionamento (horímetro). A interface permite visualizar todo o histórico dessas informações, além de cruzar em um gráfico a potência pelo consumo. A FIGURA 3 ilustra o histórico de operação da temperatura de arrefecimento do motor diesel.

Alguns pontos relevantes desta operação são destacados:

1. Operação do grupo no horário de ponta (1/22);
2. Grupo em stand-by, resistência de aquecimento ligada;
3. Intervalo sem operação do grupo (final de semana);
4. Momento que a resistência esteve desligada;



FIGURA 3 – Monitoramento da tendência da temperatura da água (30 dias)

3.2 Eficiência de conversão de energia do grupo motor-gerador

O sistema calcula a eficiência de conversão de energia com base na potência gerada e no consumo de combustível dos últimos 7 dias. O valor médio é apresentado em kWh por litro e comparado com valores de referência pré-definidos no sistema com base no manual do fabricante. A interface apresenta essa informação através de um gráfico *Gauge* (mostrador analógico). O valor calculado é exibido em verde caso a eficiência esteja superior a 70% do valor nominal, em amarelo caso a eficiência esteja entre 50% e 70% do valor nominal e em vermelho, caso esteja abaixo de 50% do valor nominal. A plataforma ainda permite a análise da eficiência através de um gráfico da potência gerada em função do consumo de combustível (FIGURA 4).

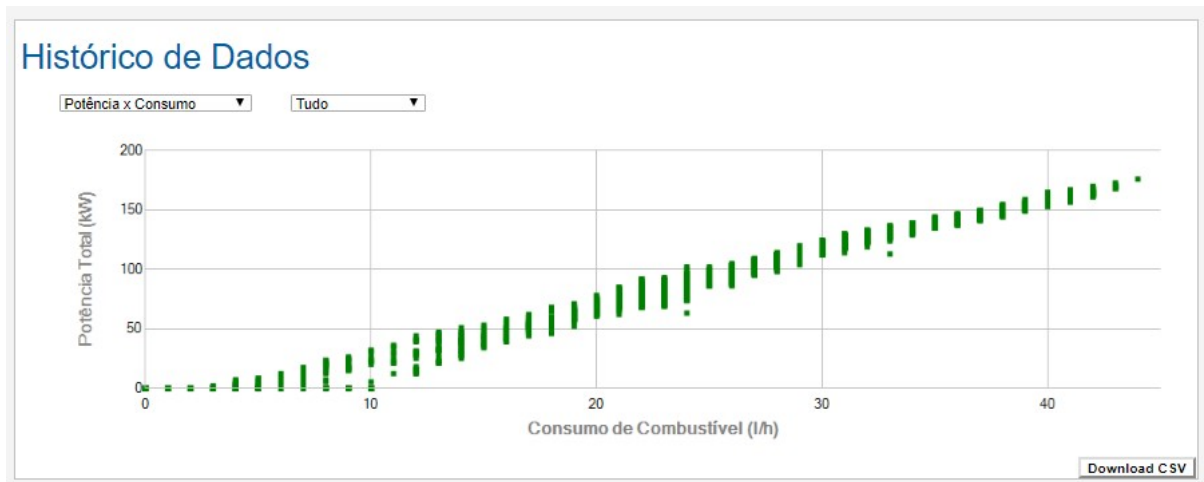


FIGURA 4 – Avaliação da potência gerada por consumo de combustível (8 meses)

3.3 Previsão de data de abastecimento e consumo de combustível

O sistema é capaz de estimar a próxima data de abastecimento através da extrapolação do consumo de combustível, considerando o consumo médio nos últimos 7 dias de monitoramento. A previsão é relativa ao momento em que o volume de combustível atingirá o nível de 20% do total do tanque. A interface apresenta a data estimada e informa o consumo total de combustível dos últimos 30 dias.

3.4 Valor economizado pela geração em horário de ponta

O sistema estima o valor economizado pela geração calculando o gasto com a energia que seria consumida da concessionária em horário de ponta e compara com o custo de geração da energia do grupo motor-gerador. Os cálculos levam em consideração a eficiência do gerador e o custo do litro do diesel, cadastrado no sistema. O valor final mostra a economia em R\$ dos últimos 30 dias.

3.5 Previsão de data de troca da bateria

A previsão da data de troca da bateria leva em consideração a vida útil da bateria calculada pelo sistema. A vida útil é determinada com base na tensão da bateria e na corrosão acelerada em função da temperatura ambiente no local onde a bateria está instalada. Quanto maior a temperatura ambiente onde a bateria está instalada, mais acelerado será o processo de corrosão e consequentemente menor o tempo de vida útil da bateria.

3.6 Avaliação do carregador da bateria

O sistema avalia o funcionamento do carregador da bateria verificando os níveis de tensão da bateria nos últimos 7 dias de monitoramento para identificar valores fora dos limites aceitáveis de operação. A classificação pode ser dada como normal, ou anormal, dependendo dos níveis detectados. Afim de evitar falsos positivos, a análise é realizada em janelas de tempo, não somente com base no valor instantâneo obtido através do monitoramento.

3.7 Avaliação da resistência de aquecimento e temperatura da água

O sistema avalia o funcionamento da resistência de aquecimento da água de resfriamento verificando a temperatura da água nos últimos 7 dias de monitoramento para verificar valores de operação fora dos limites aceitáveis. A classificação pode ser dada como normal ou anormal. Para o caso de estado anormal, o sistema também é capaz de informar se a temperatura está muito elevada ou muito reduzida. Afim de evitar falsos positivos, a análise é realizada em janelas de tempo, e não somente com base no valor instantâneo obtido através do monitoramento.

3.8 Avaliação da pressão do óleo lubrificante

O sistema avalia o funcionamento do equipamento verificando a pressão do óleo nos últimos 7 dias de monitoramento para identificar valores fora dos limites aceitáveis de operação. A classificação pode ser dada como normal ou anormal. Para o caso de estado anormal, o sistema também é capaz de informar se a pressão do óleo está perigosamente baixa, baixa ou elevada. Afim de evitar falsos positivos, a análise é feita em janelas de tempo, e não somente com base no valor instantâneo obtido através do monitoramento.

3.9 Data da próxima manutenção

A previsão de data da próxima manutenção leva em consideração a recomendação do fabricante para troca dos componentes com base no tempo de operação do equipamento desde a última manutenção realizada e cadastrada no sistema. Os componentes utilizados na análise são: óleo e filtro do óleo, filtro de combustível, filtro de ar, válvula de ventilação e correia.

3.10 Análise dos dados

A partir dos resultados da aplicação do sistema realizado em um grupo gerador verificou-se que o abastecimento do tanque de diesel externo poderia ocorrer em uma frequência menor, pois o consumo é de aproximadamente 1 tanque de combustível por mês e o proprietário reportou abastecimento a cada 10 ou 12 dias.

Verificou-se também que a economia na ponta é tímida, ocasionando tempo de retorno do investimento estimado elevado (sem considerar custos de manutenção e sem considerar benefícios intangíveis de operação de emergência). Na TABELA 1 é possível observar estimativas de tempos de retorno de investimento para diferentes situações de economia para um grupo motor-gerador com potência nominal de 300kVA.

TABELA 1. Tempo de retorno de investimento estimado.

Custo de um Grupo Motor Gerador	Economia na ponta por mês	Tempo de retorno do investimento estimado
R\$ 80.000,00	R\$ 1.000,00	80 meses
	R\$ 2.000,00	40 meses
	R\$ 3.000,00	27 meses
	R\$ 5.000,00	16 meses

Para o caso abordado nesse trabalho a economia alcançada foi de aproximadamente R\$2.400,00 para o período e carga analisada. Portanto espera-se um tempo de retorno sobre o investimento de 33 meses. Porém, como o principal objetivo do grupo é entrar em situações de falta de energia, para garantir o suprimento de energia para refrigeradores, um evento de falta de energia já poderia pagar o investimento realizado.

Verificou-se também que o gerador foi superdimensionado, com consumo médio de cerca de 40% e picos de consumo de cerca de 55% de sua capacidade de geração nominal. Um gerador com capacidade menor poderia ser mais eficiente na conversão de energia, além de ser mais barato, o que diminuiria o tempo de retorno do investimento. Contudo esta avaliação é puramente técnica e não considera outros fatores como sazonalidade do consumo e custo de ampliação caso a carga do cliente aumente.

Outro resultado interessante obtido com a aplicação foi a detecção de um problema com o sistema de aquecimento da água de arrefecimento do motor diesel. Na FIGURA 5 é possível observar a temperatura da água (azul), a potência instantânea (cor preta) e a temperatura ambiente (vermelho).

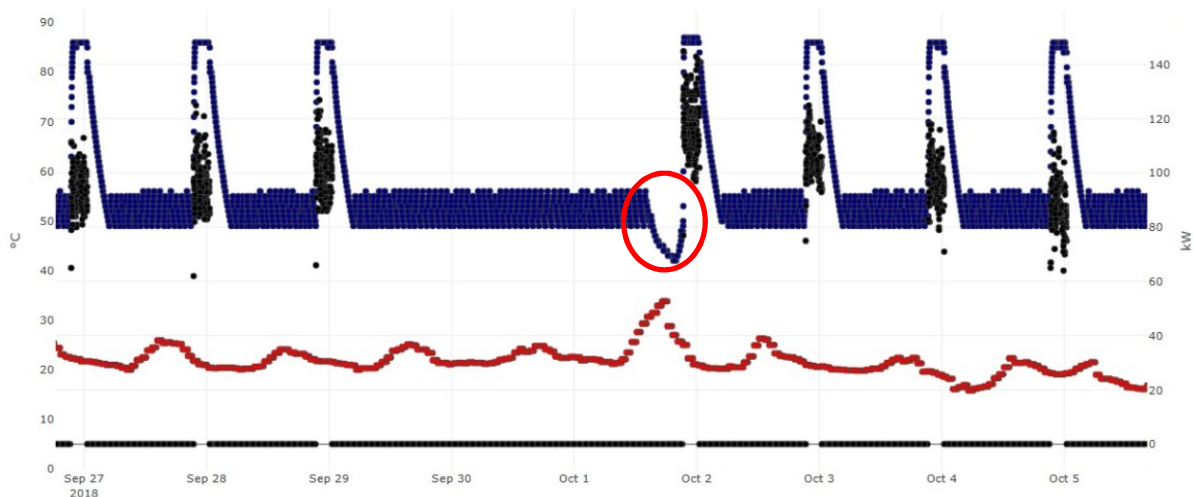


FIGURA 5 – Análise dos dados do sistema de aquecimento.

Na figura acima é possível observar que o sistema de aquecimento falha em manter a temperatura da água em níveis normais (acima de 45°C) em algumas ocasiões. No gráfico é possível perceber que esta falha ocorre quando a temperatura ambiente atinge níveis mais altos, ou seja, em dias de calor. A temperatura ambiente foi obtida através de medições de uma estação meteorológica próxima do local de instalação. No dia primeiro de outubro, dia

de maior temperatura registrada na figura, a temperatura da água à noite atingiu nível de quase 10°C abaixo da temperatura normal de operação, o que indica que o aquecedor não operou. O risco nesta situação está no fato de que o grupo gerador pode não assumir a carga ou mesmo não entrar em operação caso a sua temperatura esteja muito baixa. Este cenário poderia comprometer a operação do grupo gerador como energia de emergência no caso de um blackout.

Com a finalidade de comprovar que a temperatura ambiente influencia o desempenho do sistema, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson [11] entre a temperatura ambiente e a temperatura da água. O coeficiente calculado foi de $\rho = 0,5005$. Isso é um indicativo de que a temperatura ambiente pode ser utilizada como entrada em algoritmos para diagnóstico automático de falhas.

4.0 - CONCLUSÃO

Como resultado potencial da plataforma destaca-se o benefício para os proprietários e responsáveis pela manutenção de grupos motor-gerador, pois a plataforma visa aumentar a disponibilidade e a vida útil dos ativos de geração, maximizando assim o retorno de investimento. O uso da plataforma também facilita no agendamento de atividades de manutenção considerando o equilíbrio ideal entre custo, risco e impacto para a operação da máquina. Reduz também o MTTR (Tempo Médio de Reparo) ao possibilitar o uso dos dados de monitoramento de condição para antecipar recursos de manutenção corretiva e preventiva, como peças sobressalentes e logística de pessoal.

Este projeto piloto demonstra uma parcela dos esforços da AQTech por soluções para “Indústria 4.0” e “*Internet of Things*”. Tal iniciativa proporcionou grande aprendizado às equipes e apontou uma gama de próximas ações, entende-se que é preciso refinar a arquitetura de monitoramento adotada na concepção do sistema, principalmente fazendo uso de plataformas computacionais em nuvem pública com o objetivo de torna-lo altamente escalável e de alta disponibilidade. São inúmeras as vantagens da computação em nuvem pública, como o custo reduzido para iniciar o projeto, visto que não é necessária a compra de hardware e software para a criação de datacenter locais e nem de toda a infraestrutura necessária para manter um sistema com boa disponibilidade e segurança. Outras vantagens incluem a escalabilidade, visto que para aumentar a capacidade de um serviço contratado normalmente basta acessar a plataforma e efetuar alguns cliques. Recursos como armazenamento, largura de banda, capacidade de processamento e memória são facilmente reconfigurados nos serviços disponíveis comercialmente, eliminando a necessidade de investimentos em infraestrutura e reduzindo drasticamente o tempo necessário para redimensionamento do sistema. A disponibilidade e a confiabilidade também costumam ser muito mais elevadas em serviços de computação na nuvem, visto que este é o foco do serviço. A plataforma em nuvem também facilita a aplicação de softwares que utilizem algoritmos baseados em inteligência artificial para antecipar manutenções ou evitar trocas desnecessárias de componentes do sistema, além de otimizar a mão-de-obra técnica, evitando visitas desnecessárias ou atuando com muito mais assertividade.

A evolução da plataforma prevê a adição de diversas funcionalidades, considerando também dados provenientes do regulador automático de tensão (AVR), além dos dados já utilizados do CLP. Espera-se obter as seguintes análises: estatísticas dos modos de operação da máquina, estatísticas de potências ativa e reativa, análise de eficiência elétrica em função da temperatura, cerca virtual para grupos geradores de alugados, avisos de sobrecarga e desbalanceamento de carga, análise de vibrações (atualmente o custo-benefício não é viável, mas a tecnologia tem evoluído bastante e o custo reduzido), diagnóstico de assinatura elétrica do alterador através de análise espectral das correntes de fase e, por fim, clusterização (agrupamento) de diversas variáveis. Busca-se também expandir os atuais algoritmos de diagnóstico e prognóstico aplicando técnicas de *Machine Learning* (aprendizado de máquina) e algoritmos como *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM) e *Artificial Neural Network Multi-Layer Perceptron* (MLP).

Por fim, nota-se que um sistema de monitoramento pode impactar positivamente à gestão dos ativos de alto valor agregado, viabilizando a manutenção baseada na condição e operacionalizando o funcionamento dos equipamentos em níveis superiores de segurança e performance.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) BORBA, B. Serviço de descoberta para o protocolo MQTT em um sistema de monitoramento de grupos motor-gerador baseado em internet das coisas. 55 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Mecatrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

(2) BORBA, B., DIAS, R. A., FREITAS, F. L. MQTT Protocol Discovery Service for an Iot-based Gensets Monitoring System. *International Journal of Computer Applications*, NY, USA, v. 180, n. 29, mar, 2018.

(3) GANTZ, J., REINSEL, D. The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east, IDC iView: IDC Anal. Future, vol. 2007, pp. 1–16, Dec. 2012.

- (4) EVANS, D. The Internet of things: How the next evolution of the Internet is changing everything, CISCO, San Jose, CA, USA, White Paper, 2011.
- (5) TAYLOR, S. The next generation of the Internet revolutionizing the way we work, live, play, and learn, CISCO, San Francisco, CA, USA, CISCO Point of View, 2013.
- (6) MANYIKA, J. et al. Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life, Business, and the Global Economy, San Francisco, CA, USA: McKinsey Global Institute, 2013.
- (7) SHAFIQ, M. Z., JI, L., LIU, A. X., PANG, J., WANG, J., A first look at cellular machine-to-machine traffic: Large scale measurement and characterization, in Proc. ACM SIGMETRICS Perform. Eval. Rev., pp. 65–76, 2012.
- (8) AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M. e AYYASH, M., Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol. 17, No. 4, 2015.
- (9) MODBUS. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. disponível em http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf. Acesso em 14/04/2019.
- (10) MICROSOFT. Microsoft Azure. O que é computação em nuvem? Disponível em <https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/>. Acesso em 14/04/2019.
- (11) Müller, Reinhold, and Petra Büttner. "A critical discussion of intraclass correlation coefficients." Statistics in medicine 13.23-24 (1994): 2465-2476.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Fabrizio Leal Freitas (*) nasceu em São Paulo/SP em 1977. É mestre em Engenharia de Produção pela UFSC (2010), formado em Engenharia de Produção Elétrica (UFSC, 2005) e técnico em eletrônica (SATC, 1994). Desde 2003 trabalha com gestão de desenvolvimento de produtos inovadores em empresas de tecnologia, especializado no projeto de sistemas de monitoramento e diagnóstico para o setor de energia elétrica. Atua como pesquisador e principalmente coordenador em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento financiados no programa ANEEL em cooperação com grandes concessionárias do setor elétrico brasileiro. Atualmente é Diretor de Inovação da AQTech Power Prognostics, sediada em Florianópolis, e participa do Comitê de Estudo A1 – Máquinas Rotativas do Cigré Brasil.