

ANÁLISE DE ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO REMOTO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS

CASE STUDY ANALYSIS OF REMOTE MONITORING SYSTEMS FOR INDUSTRIAL MACHINERY

CONTAGE, Israel Gazzoni¹
VAZ, Fabrício Leocardo Da Silva²
AZEVEDO JR, Geraldo Motta³

Resumo: Este trabalho busca analisar a utilização de sistemas remotos como solução na indústria. Para observar tais resultados, utiliza-se o método de pesquisa baseado em estudo de caso. Com base nos dados coletados no estudo, pode-se verificar que a utilização dos equipamentos de acesso remoto não só reduz o tempo de não produção, como também mitiga possíveis prejuízos para as empresas. No caso deste trabalho, foi analisado o monitoramento remoto de desguarnecedoras de lastro e como seus motores e geradores são observados e reportados tudo o que acontece, como por exemplo, pressão, consumo de combustível e corrente, tudo em tempo real. Diante disso, conclui-se que ter acesso em tempo real a esse tipo de dado, é possível programar manutenções preventivas e mitigar a necessidade de manutenções corretivas, que certamente é mais caro, pois além de parada inesperada do processo, o tempo de manutenção geralmente é maior.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Indústria 4.0; Monitoramento remoto.

Abstract: This work seeks to analyze the use of remote systems as a solution in industry. In order to observe these results, the research method based on a case study is used. Based on the data collected in the study, it can be seen that the use of remote access equipment not only reduces non-production time, but also mitigates possible losses for companies. In the case of this work, we analyzed the remote monitoring of ballast storage tanks and how their engines and generators are observed and reported everything that happens, such as pressure, fuel consumption and current, all in real time. In view of this, it can be concluded that having real-time access to this type of data makes it possible to schedule preventive maintenance and mitigate the need for corrective maintenance, which is certainly more expensive, as in addition to unexpected process downtime, maintenance time is generally longer.

Keywords: Internet of Things; Industry 4.0; Remote monitoring.

¹ Engenharia de Produção – Universidade Santa Úrsula – israel.contage@souusu.com.br

² Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – fabricio.vaz@souusu.com.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica – Universidade Santa Úrsula – geraldo.motta@usu.edu.br

1 INTRODUÇÃO

As indústrias possuem diversos tipos de máquinas e equipamentos dispostos em suas linhas de produção. Sabe-se que esses equipamentos estão sujeitos a falhas ou defeitos que podem gerar grandes prejuízos dependendo do modo de operação de cada empresa e quando não há um sistema de monitoramento e ocorre uma falha ou defeito no maquinário, na maioria dos casos resulta na interrupção da produção, gerando impactos econômicos e operacionais, que poderiam ter sido evitados se tivesse um monitoramento remoto, que identificaria o problema antecipadamente e realizaria o reparo ou a manutenção preventiva e dessa forma poderia evitar impactos econômicos consideráveis para operação da indústria (Fabricio, M. A., & Behrens, F., 2016).

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de máquinas industriais pode ser feito através da instalação de uma célula na fábrica, que se conecta a um sistema ou à nuvem, um sistema de monitoramento remoto pode ser feito através de uma rede de sensores sem fio, que coletam dados da corrente elétrica de um equipamento. Esses dados são processados e enviados para uma plataforma de Internet das Coisas (IoT), que identifica possíveis falhas na máquina e quando o sistema detecta anormalidades, ele gera alarmes que são enviados para os responsáveis pelo equipamento, que podem realizar a manutenção sem prejudicar o processo produtivo, o monitoramento de condições de máquinas permite que as equipes de manutenção implementem o gerenciamento de manutenção preventiva e o monitoramento da integridade da máquina (Gubbi et. al, 2013).

Os sistemas de monitoramento remoto vêm tendo um crescimento muito grande nos setores de máquinas industriais e esse tema foi escolhido para ressaltar as importâncias dessa nova tecnologia para o mercado.

O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (2019) prevê que o desenvolvimento tecnológico será inevitavelmente disruptivo às indústrias do País nos próximos 10 a 15 anos e seus efeitos serão transversais a todas as atividades econômicas. Neste sentido, há um alto potencial envolvido nesse processo no que tange à reconfiguração do setor industrial com o objetivo de alavancar a produtividade e alterar tanto os atuais modelos de negócios quanto as competências necessárias para a maior agregação de valor ao longo das cadeias. Assim, as empresas serão desafiadas à medida que novas tecnologias redefinem os termos do sucesso competitivo (IEDI, 2019). Apesar de o ritmo e a escala dos ajustes futuros necessários serem desconhecidos, compreende-se que a resiliência e a prosperidade serão mais prováveis em países com políticas prospectivas, instituições com melhor funcionamento, cidadãos mais qualificados e informados, além de capacidades tecnológicas críticas em

vários setores (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD, 2017).

(NASCIMENTO et al., 2022, p.12, grifo do autor)

Nas engenharias de mecânica e de produção, os sistemas de monitoramento são importantes para permitirem o controle em tempo real, processos de otimização e eficiência das máquinas, redução de custos e gerenciar as manutenções preventivas, assim podendo entregar um resultado mais eficaz para o cliente.

Neste trabalho, o objetivo principal é realizar um estudo de caso de um conjunto de motores e geradores em funcionamento, onde são monitorados em tempo real. Através desse monitoramento é possível que se realize análises e laudos técnicos. Estes são concedidos através do sistema de monitoramento utilizado pela empresa estudada. Por questões de segurança, não nos foi autorizado a utilização do nome da empresa prestadora do serviço e nem o nome do cliente.

Neto (2022) descreve que a aplicação de conceitos da Indústria 4.0 em sistemas de monitoramento de máquinas CNC demonstrou resultados práticos significativos na melhoria do controle e eficiência operacional, sendo uma abordagem relevante para o presente estudo.

2 JUSTIFICATIVA

O estudo de caso será realizado em dois motores industriais C27, como mostrado na figura 1, e um grupo gerador C3.3 da Caterpillar, representado na figura 2, que estão funcionando em uma desguarnecedora de lastro, como mostrado na figura 3. Este equipamento é usado na manutenção e reparo de ferrovias, principalmente para remover o lastro desgastado e substituí-lo por material novo.

Figura 1 - Motor Caterpillar C27.



Fonte: CATERPILLAR INC. Motor Caterpillar C27. Manual técnico: Air Inlet and Exhaust System Operation (KENR5403-16). 2005.

Figura 2 - Motor Caterpillar C3.3 Genset.



Fonte: CATERPILLAR INC. Motor Caterpillar C3.3 Genset. Catálogo de Geradores Caterpillar: Caterpillar Diesel Generator Sets Technical Specifications. 2022

Figura 3 - Desguarnecedora de lastro.



Fonte: PLASSER & THEURER. Desguarnecedora de lastro. Catálogo técnico 2019.

O módulo de monitoramento utilizado na desguarnecedora, chamado Product Link Elite 702, é o equipamento responsável pela leitura das informações enviadas pelo computador do motor (ECM) e disponibilização dos dados para utilização em plataformas de monitoramento.

O PLE702, que está sendo representado na figura 4, foi projetado para trabalhar em ambientes de trabalho agressivos, permitindo uma operação praticamente livre de manutenção, ele é responsável por coletar e monitorar as informações necessárias para maximizar o desempenho dos ativos, permite identificar e responder a problemas que podem afetar as

operações e suporta configuração, diagnóstico e atualizações de firmware através de conexões físicas e remotas (CATERPILLAR, 2005, 2010).

Figura 4 - Módulo Product Link Elite 702, Caterpillar.



Fonte: CATERPILLAR INC. Air Inlet and Exhaust System Operation (KENR5403-16). Manual técnico. 2005.

Usualmente, neste tipo de desguarnecedora de lastro, o equipamento utiliza a internet do própria desguarnecedora, e uma vez que esteja com conexão o PLE a coleta remota de informações do equipamento está habilitada.

As informações disponíveis remotamente incluem:

- Localização do Equipamento;
- Horas de Funcionamento do Motor;
- Total de Combustível Diesel Usado;
- Códigos de falha;
- Alertas (Status do Motor, Códigos de Falha, Status do dispositivo, limite geográfico, bateria, Tensão, Nível de Combustível e Perda de Potência);
- Parâmetros do Motor (Velocidade do Motor, Temperatura do líquido de arrefecimento do motor, motor Pressão do Óleo, Fator de Carga do Motor entre outros).

A frequência de postagem de informações depende da plataforma que será utilizada para o monitoramento, como será visto à frente, a plataforma web na qual os ativos do presente trabalho estão subscritos, pode reportar dados com intervalos de até, no máximo, 5 em 5 minutos.

De acordo com (GOYAL, D; PABLA, B. S., 2015) o sistema de monitoramento remoto, possibilita a antecipação de custos e eleva a vida útil das máquinas e de seus equipamentos auxiliares. A utilização dessa tecnologia avançada permite diagnósticos mais precisos, gerando a utilização dos componentes de maneira otimizada e eficiente, onde a substituição de peças ocorre de maneira prematura, antes que ocorra um dano significativo, evitando que o problema se estenda a outros componentes, e que possa danificar o equipamento de maneira que ele tenha que ficar parado.

A manutenção preventiva no equipamento deve ser acompanhada através da junção de equipamentos eletrônicos e equipe de manutenção qualificada e por meio de inspeção virtual e física quando necessário pois existem problemas que podem ser identificados de maneira física que em algumas situações podem ocorrer uma falha eletrônica ou algum outro erro que o monitoramento não consiga identificar, então a junção das duas formas de manutenção é essencial.

Logo (Nappi, V., & Berti, D. S., 2024) afirma que com a maior quantidade de equipamentos industriais sendo monitorados, cresce a demanda e o valor agregado no monitoramento, tornando ainda mais importante o controle e o planejamento da manutenção para o bom funcionamento e o sucesso da produção em máquinas industriais.

3 REVISÃO TEÓRICA

De acordo com CATERPILLAR (2005, 2010), os sistemas de operação de entrada e os sistemas de exaustão de ar possuem estudos que destacam a importância de se monitorar as variáveis críticas, como por exemplo, temperatura e fluxo de ar. Desta forma, pode-se evitar falhas em motores e sistemas industriais.

Outro ponto a ser observado são os sensores inteligentes e a preditividade, que, de acordo com (Martins, 2020), exploram os possíveis usos dos sensores para a manutenção preditiva em motores industriais. Logo, a análise destes sensores permite identificar as falhas antes que as mesmas ocorram e assim há uma redução de custo em relação a manutenção corretiva.

A importância do monitoramento remoto também é destacada por (Gomes, 2012), que enfatiza o papel das redes de sensores sem fio na coleta de dados em tempo real, mesmo em ambientes industriais hostis. Além disso, Moreira (2024) observa que a gestão da manutenção alinhada com sistemas de monitoramento remoto resulta em maior eficiência e confiabilidade, promovendo um modelo sustentável.

De acordo com (WANG, H. LI, L, 2011), a manutenção baseada em condition-based maintenance - CBM, também conhecida como manutenção preditiva, torna o processo de manutenção mais confiável e garante a operação segura do equipamento e também obtém os maiores benefícios econômicos, além de fornecer dados básicos para a gestão e otimização do ciclo de vida do equipamento.

Moreira, 2024 diz que o monitoramento remoto é uma estratégia primordial para o alto nível de gestão industrial, pois não só reduz os custos operacionais como também minimiza os impactos das falhas, ou seja, não apenas garante maior eficiência e confiabilidade como também possibilita a transição para um modelo mais sustentável.

4 METODOLOGIA

O primeiro passo foi a identificação do equipamento ou sistema a ser monitorado no estudo de caso. Foi analisado o funcionamento da máquina, suas principais características técnicas e variáveis relevantes para o monitoramento.

A definição dos indicadores de desempenho e métricas foi feita com base nas necessidades do sistema analisado. Além disso, foi delimitado o escopo da pesquisa, como o período de coleta de dados e os objetivos das análises quantitativas e qualitativas.

A relevância do monitoramento remoto foi baseada na melhoria da eficiência operacional e na redução de custos de manutenção, destacando sua importância para o ambiente industrial.

Foi selecionado um estudo de caso prático da vida real onde será analisado de forma objetiva a aplicação dos sensores de motores industriais em um sistema remoto de monitoramento.

Os principais benefícios do sistema serão discutidos baseados nos dados obtidos do estudo de caso. Por exemplo, a redução do tempo de inatividade, a antecipação de falhas e a melhoria na eficiência geral do equipamento.

Como conclusão, serão comparados os resultados obtidos do estudo de caso prático com aqueles que eram esperados.

5 CONTEXTUALIZAÇÃO

Antes da análise do estudo de caso, se faz necessário entender um pouco melhor sobre o que está sendo estudado. Através de uma revisão teórica sobre alguns pontos chave e logo a

seguir será realizada a contextualização técnica sobre o equipamento do estudo de caso. Desta forma, será mais intuitiva a leitura sobre o que está sendo apresentado neste artigo.

A Internet das Coisas ou IoT, pode ser definida como uma extensão do que hoje se conhece como Internet para objetos comuns do dia-a-dia, independente de qual seja este objeto. Ou seja, ele cria a capacidade de objetos comuns se conectarem com a internet, incluindo capacidade computacional e de comunicação. No primeiro momento, é possível controlar remotamente estes objetos e logo depois são acessados como provedores de serviços. Esta nova tecnologia tem gerado uma gama de novas possibilidades. A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. Para alguns autores, como [Ashton 2009] a IoT será a nova revolução da tecnologia de informação.

Desguarnecedora de lastro é uma máquina ferroviária especializada usada na manutenção da via permanente, com foco na retirada, limpeza e reposição do lastro ferroviário. Sua principal função é remover o lastro que está contaminado, seja por solo, óleo, poeira ou qualquer outro material que possa prejudicar a estabilidade ou a drenagem da via.

O sistema de alimentação elétrica da desguarnecedora de lastro é composto por um gerador CAT C3.3, responsável por fornecer energia a um banco de baterias. Este banco atua como fonte primária para a alimentação do CLP (Controlador Lógico Programável – PLC) e demais sistemas eletroeletrônicos da máquina, assegurando a operação contínua e estável de componentes críticos, tais como:

- Unidade central de processamento (CPU) do equipamento;
- Sistemas eletroeletrônicos em geral;
- Iluminação de trabalho para operação noturna ou em baixa visibilidade;
- Compressor pneumático de acionamento elétrico;
- Sistema de filtragem off-line;
- Tomadas auxiliares em 220V e 380V.

Além disso, cada motor CAT C27 está acoplado a uma caixa PTO (Power Take-Off), a qual aciona múltiplas bombas hidráulicas. Essas bombas têm a função de propulsar os motores de tração, que movimentam a máquina sobre os trilhos, bem como os motores das correias transportadoras, que operam na remoção e reposição do lastro durante a atividade ferroviária. Esse conjunto mecânico-hidráulico é essencial para o desempenho

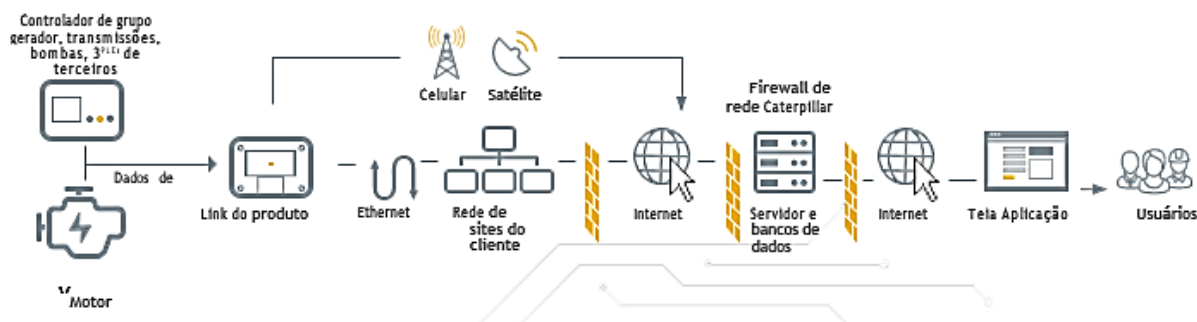
operacional da desguarnecedora, exigindo sincronização precisa entre potência, controle e confiabilidade.

O Cat PLE702 é um dispositivo de monitoramento remoto desenvolvido pela Caterpillar. Seu objetivo é integrar motores e equipamentos industriais a sistemas de monitoramento remoto, onde é transmitido em tempo real os dados operacionais, facilitando assim a manutenção preditiva, ou seja, é possível coletar e monitorar as informações para maximizar o desempenho e identificar proativamente problemas que podem afetar suas operações além permitir que você responda rapidamente a quaisquer eventos que possam ocorrer. Com o recurso de relatório por exceção, você define quais informações são mais valiosas para você e recebe alertas em tempo real. Para transmitir os dados para aplicativos Cat, o PLE702 pode ser conectado por meio dos seguintes métodos:

- Porta Ethernet para uma conexão de Internet local PL243 4G LTE Rádio Celular
- PL083 Modo Duplo 4G LTE Celular + Rádio via Satélite

O gerenciador de rede também pode ser usado como um gateway local para se comunicar com uma IHM ou PLC local e traduzir dados entre protocolos selecionados. A figura 5 pode demonstrar melhor a sequência de funcionamento do equipamento.

Figura 5 - Funcionamento do PLE702



Fonte: CATERPILLAR INC. *Cat® Product Link – PLE702, PL243, PL083: especificações técnicas e arquitetura de rede*. LEHQ0066-01. Peoria, IL: Caterpillar Inc., 2021

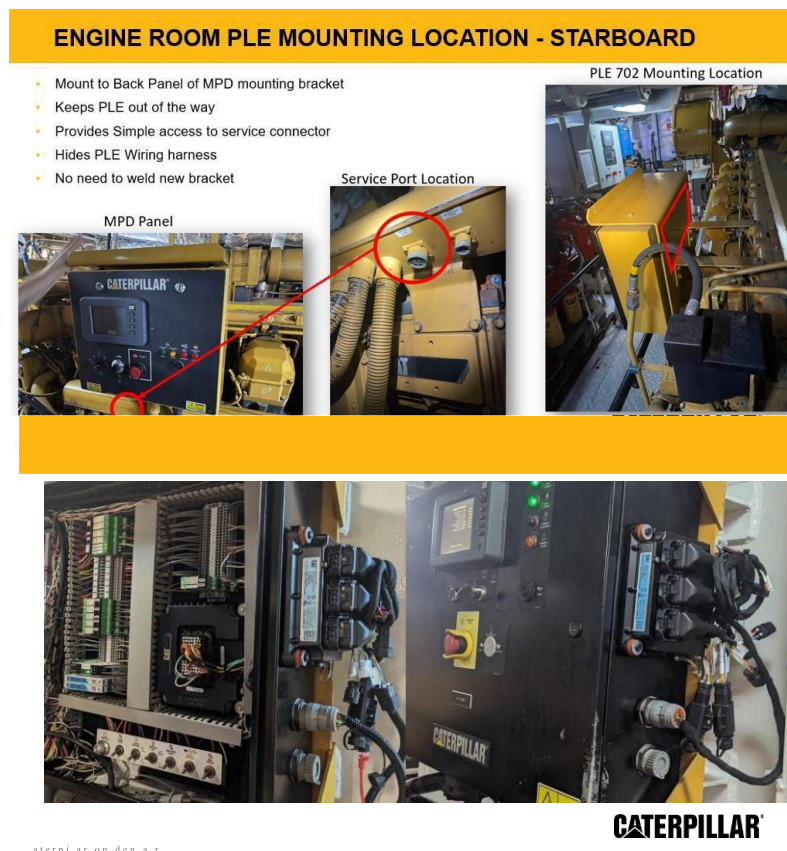
De acordo com sua fabricante (CATERPILLAR INC. 2022), o motor C27 é um motor a diesel de alta potência. Sua utilização é feita em indústrias pesadas, como por exemplo, mineração e ferroviária. Este motor é projetado para dar confiança aos clientes assim como trabalhar de forma contínua em ambientes externos. Algumas das suas especificações técnicas são, Motor diesel 4 tempos, 12 cilindros em V, potência de 1050 bHP, 1800 rpm e 24V, ou seja, ideal para trabalhar com alta carga mecânica e refrigeração líquida, com sistema de

arrefecimento separado. Ponto importante de se observar é que boa parte dessas características técnicas são observadas em tempo real pelo nosso estudo de caso, desta forma é possível saber, temperatura, pressão, consumo de combustível entre outras informações, com o objetivo de prevenir qualquer indicie fora do esperado.

Já o Gerador C3.3 sua fabricante (CATERPILLAR INC. 2022), diz que é um grupo de geradores movido a motor a diesel usado para fornecimento de energia e aplicações industriais. Normalmente é utilizado para alimentar sistemas eletrônicos e hidráulicos, por exemplo, locomotivas e desgarnecedoras. Possui um motor de 4 cilindros em linha, potência elétrica de 65 kVA, 50hz e tensão de 380V.

O PLE pode se conectar à porta de serviço do motor ou à parte traseira de um Cat Marine Display, conforme apresentado na figura 6. Através de uma análise é possível determinar o melhor local para o PLE considerando o trabalho necessário para rotear o cabeamento LAN, a distância entre a porta de serviço e os possíveis locais de montagem, a distância entre o Cat Marine Display e os possíveis locais de montagem.

Figura 6 - Instalação do PLE 702



Fonte: <https://catdealer.com/en/bt/digital-business-strategy/digital-vision/product-link-hardware-guide.html>

Fixação:

- O PLE 702 Network Manager será fixado com 4 parafusos ou pinos (M6 X 1), o comprimento pode variar dependendo da instalação.
- A orientação do módulo deve ser vertical +/- 45 graus, de modo que o conector de 44 pinos se estenda horizontalmente a partir do PLE 702 Network Manager e o chicote se estenda para baixo para funcionar como um loop de gotejamento.
- O PLE 702 Network Manager deve ser montado contra choques e isolamento usando o hardware de montagem adequado. Especificações de torque padrão 12 N·m (8.8 pés-lb) devem ser usadas.
- Adicione um suporte se todos os quatro parafusos de montagem não puderem ser acomodados com a superfície disponível.

6 ESTUDO DE CASO

O motor que move a desguarnecedora de lastro é o C27 um motor diesel de 1050 bHP, responsável tanto pela locomoção da máquina sobre os trilhos quanto pela alimentação dos sistemas hidráulicos e mecânicos que operam os braços, pás, correias e peneiras.

Já o grupo gerador C3.3 de 65 kVA, 50Hz é um sistema auxiliar essencial que converte a energia mecânica (geralmente do motor diesel) em energia elétrica, usada para alimentar sistemas eletrônicos e elétricos da máquina. Ele funciona de forma parecida com um gerador convencional, mas é integrado ao sistema da desguarnecedora e adaptado às suas necessidades operacionais.

Como estudo de caso faz uma análise real da utilização do monitoramento remoto e seus benefícios. A empresa que fornece o serviço de instalação dos equipamentos de monitoramento remoto, como por exemplo, o PLE 702 já citado neste trabalho e também realiza o acompanhamento dos dados recebidos em tempo real. Objetivo de saber tais valores é evitar que os motores e os geradores analisados entrem em status de não conformidade, pois uma das consequências seria a manutenção corretiva, ou seja, além de ser uma manutenção mais cara, também há um tempo não previsto de parada dos equipamentos, que trazem mais prejuízo financeiro para a empresa em questão. Neste caso, os equipamentos a serem analisados em tempo real são os motores C27 e os geradores C3.3, também já citados neste trabalho. Por questão de confidencialidade, a empresa não autorizou que fosse divulgado o nome do cliente, somente os resultados em questão.

Através do monitoramento remoto, é possível ter acesso a diversas informações em tempo real, alguns exemplos são, taxa de utilização, volume de combustível e alerta de eventos, como apresentado na figura 9. Com estas informações em tempo real é possível identificar alguma não conformidade e preparar uma manutenção preventiva. Também é possível fazer correlações das informações, como, Pressão do motor x Rotação do motor e Tempo de arrefecimento x Pressão do óleo. Com essas informações também é possível disponibilizar para o cliente dados e relatórios, apresentados nas figuras 7 e 8, que ajudem nas suas tomadas de decisões e planejamento, pois ao saber por exemplo o quanto de combustível se gasta em média em um determinado tipo de operação, nas operações futuras o setor de suprimentos saberá com maior exatidão a quantidade de insumos necessários a serem comprados.

Figura 7 -Tela de Reporte



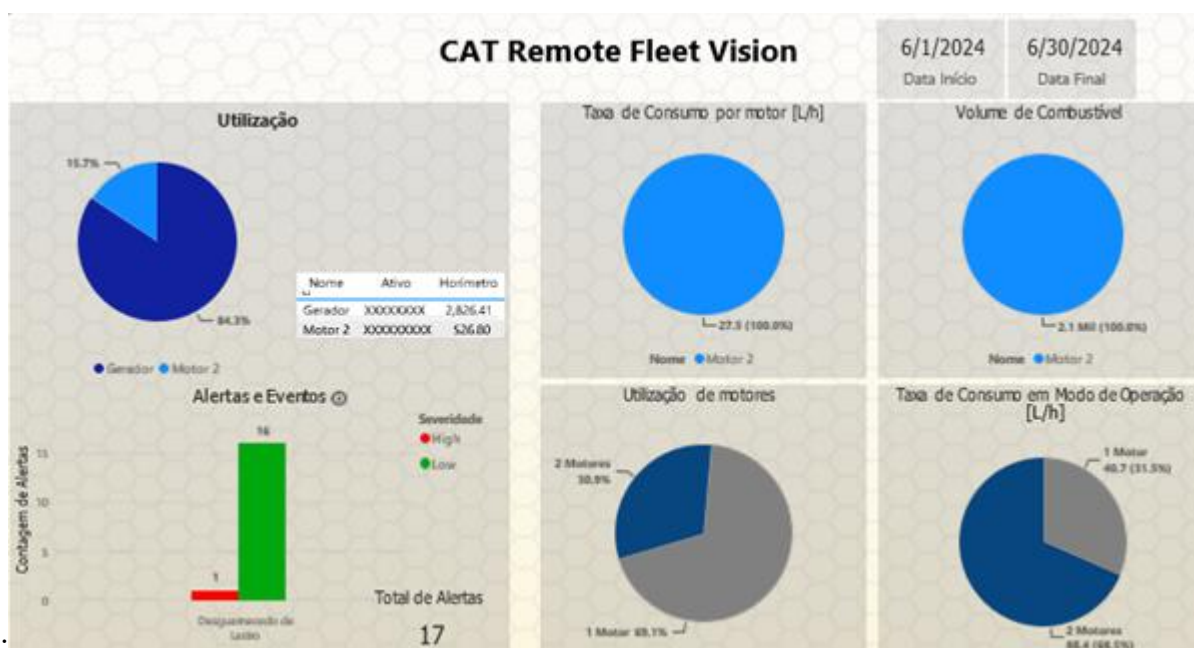
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 8 - Tela de Comentário



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 9 - Resumo Mensal de Dados



Fonte: Dados da pesquisa

Através do monitoramento em tempo real, é possível que o cliente opere de forma confiável e segura, além de conseguir desenvolver de forma mais eficiente o seu planejamento financeiro, que é afetado diretamente pela compra de insumos, precificação da sua produção e custos com manutenções.

7 CONCLUSÃO

Pode-se então concluir que o monitoramento remoto possui grandes vantagens em suas aplicações nos equipamentos industriais. Através de um estudo onde foi analisado um caso real de máquinas operando com a tecnologia de monitoramento remoto, foi possível identificar diversos benefícios em curto prazo, como por exemplo, dados confiáveis que ajudam aos gestores a tomarem decisões racionais, segurança nas operações sabendo o que está acontecendo com maquinário em tempo real, redução de custos com manutenções corretivas que puderam ser detectadas antes que ocorressem e planejamento com maior eficiência. Também existe o benefício de uma melhor comunicação entre os setores técnico e gerencial, o que é de extrema importância para qualquer organização.

A utilização de sistemas de monitoramento remoto não só é uma tendência como ao longo desses anos tem se tornado um diferencial. À medida que o mercado se torna cada vez mais competitivo, as organizações precisam de inovações que não só sirvam como atrativo para seus clientes, mas que também passem segurança e qualidade esperada em seus serviços. Novas tendências como aplicação de inteligência artificial nesse tipo de sistema podem gerar ainda mais benefícios. Apesar da breve análise, é indicado que haja estudos mais profundos onde poderá ser realizada uma avaliação sobre reais impactos financeiros em uma organização através da utilização de sistemas de monitoramento remoto e assim será possível compreender o real potencial da tecnologia da indústria 4.0, além de estimar com mais exatidão em como serão suas aplicações com as novas possibilidades tecnológicas que estão sendo lançadas no mercado.

BIBLIOGRAFIA

Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFiD Journal*, 22(7):97–114

CATERPILLAR INC. *Cat® Product Link – PLE702, PL243, PL083: especificações técnicas e arquitetura de rede*. LEHQ0066-01. Peoria, IL: Caterpillar Inc., 2021

CATERPILLAR INC. *Grupo Gerador C3.3: Cat Diesel Generator Sets Technical Specifications*. Catálogo técnico, 2022.

CATERPILLAR INC. *Motor Industrial C27: especificações técnicas*. Manual técnico, 2022.

CATERPILLAR INC., 2005, Air Inlet and Exhaust System Operation (KENR5403-16).

CATERPILLAR INC., 2010, Separate Circuit Cooling System (KENR5403-16).

FABRICIO, M. A., & BEHRENS, F. (2016). *Monitoramento de equipamentos elétricos para manutenção preditiva utilizando IoT*. Proceedings of the BTSym-16. Disponível em: <https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-16/proceedings/pa49-16-edited.pdf> Acesso em: 22 de novembro de 2024.

GOMES, R. D. Redes de sensores sem fio aplicadas ao monitoramento de motores em ambiente industrial, 2012 Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/11419>. Acesso em: 22 de novembro de 2024.

GOYAL, D; PABLA, B. S. “Condition based maintenance of machine tools—A review”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 10, pp. 24-35, August 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581715000309>. Acesso em 23 de novembro de 2024.

GUBBI, J; BUYYA, S; MARUSIC, S; PALANISWAMI, M, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Future Generation Computer Systems*, (29) pp 1645-1660, Setembro de 2013, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>. Acesso em 23 de novembro de 2024.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). O impacto da transformação tecnológica na indústria brasileira: desafios e perspectivas. Relatório técnico, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.iedi.org.br/>. Acesso em: 23 nov. 2024.

MARTINS, F. J.; FABRO, E. Uso do sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora, 2020 Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Uso-do-sensor-inteligente-na-manuten%C3%A7%C3%A3o-preditiva-Martins-Fabro/8033b752e7aa88d0344059a040eac378917a564f>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MOREIRA, NOEL. Gestão da manutenção: A relação entre falha x custo nas industriais. *Revista Manutenção*. São Paulo. v. 4, p. 7-8, mar/abr. 2024.

NAPPI, V., & BERTI, D. S. (2024). *Principais áreas relacionadas à sustentabilidade na adoção de sistemas produto-serviço baseado em tecnologia de IoT*. UDESC. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/19324/PRINCIPAIS_REAS_RELACIONADAS_A_SUSTENTABILIDADE_NA_ADO_O_DE_SISTEMAS_PRODUTO_SERVI_O_BASEADO_EM_TECNOLOGIA_DE_IOT_1727456283308_19324.pdf Acesso em: 22 de novembro de 2024.

NETO, G. Desenvolvimento de Um Sistema de Monitoramento de Máquinas CNC Utilizando Conceitos da Indústria 4.0, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/232558>. Acesso em: 22 nov. 2024.

OECD, Development Co-operation Report 2017: Disponível em: <https://doi.org/10.1787/dcr-2017-en>. Acesso em: 22 de novembro de 2024

PLASSER & THEURER. Desguarnecedora de lastro. Catálogo técnico 2019.

WANG, H. LI, L. “Research on Technologies in Smart Substation”, Energy Procedia, Volume 12, 2011, Pages 113-119, ISSN 1876-6102. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021101842X>. Acesso em 23 de novembro de 2024.

ZIEDAS, S; TATINI, I. Coleção Tecnologia SENAI: Soldagem. São Paulo: SENAI, 1997.p.393-426.