

Uso da Arquitetura PI System para Implantação de um Sistema de Monitoramento de Ativos em uma Mineradora de Bauxita no Baixo Amazonas

Vívian L. Sousa¹, Bruno Merlin¹

¹Faculdade de Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Campus Universitário de Tucuruí, 68464-000 – Tucuruí– PA – Brasil

sousalv2@gmail.com, brunomerlin@ufpa.br

Abstract. *The paper describes how an asset condition monitoring system was implemented in a bauxite mining company in the Lower Amazon, based on predictive maintenance techniques, which stands out for its capacity to anticipate failures. To this end, using the PI System tools, data collection and integration of information from various platforms in a single repository, data treatment and analysis of these indicators were carried out and, finally, the visualization screens were developed. The system made it possible to identify the real conditions of the assets and the source of the problem. Thus, contributing to support the predictive maintenance strategy adopted by the company and bringing more confidence to the assets and the process.*

Keywords: *Predictive Maintenance, Monitoring, PI System.*

Resumo. *O trabalho relata como foi implantado um sistema de monitoramento de condição de ativos, em uma mineradora de bauxita no Baixo Amazonas, baseado nas técnicas de manutenção preditiva, que se destaca pela capacidade de antecipação de falhas. Para tanto, utilizando as ferramentas do PI System, foi realizado a coleta de dados e a integração das informações de várias plataformas em um único repositório, o tratamento de dados e análises desses indicadores e, por fim, desenvolvido as telas de visualização. O sistema possibilitou identificar as reais condições dos ativos. Assim, contribuindo com o suporte a estratégia de manutenção preditiva adotada pela empresa e trazendo mais confiabilidade aos ativos e ao processo.*

Palavras Chave: *Manutenção Preditiva, Monitoramento, PI System.*

1. Introdução

Equipamentos e instalações de produção industriais estão sujeitos à deterioração causada pelo uso e o desgaste natural. Essa degradação se manifesta pela aparência externa ruim do equipamento, perda de desempenho e paradas de produção, o que influencia negativamente na qualidade e na produtividade de uma empresa (XENOS,1998). Dessa forma, a manutenção é um processo necessário para evitar essas eventualidades, visto que a manutenção tem como objetivo: “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados” (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para reduzir os eventos de falhas e suas consequências, é preciso investir financeiramente para que o processo de produção e os equipamentos ampliem a sua confiabilidade (Alvares et al. 2007). Posto isto, foi exigido da manutenção novas estratégias em termos de gerenciamento de atividades, então as técnicas de manutenção preditiva se tornaram essenciais. A manutenção preditiva é uma manutenção baseada no estado do equipamento que utiliza de meios de supervisão centralizados através de dados coletados, para encontrar falhas em estágio inicial e planejar a manutenção corretiva (NBR 5462).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva tem o propósito de prevenir falhas nos equipamentos através do acompanhamento de parâmetros de condição de modo sistemático, enquanto a operação continua produzindo. Para o diagnóstico de condição dos equipamentos, também, é possível através de melhorias implantadas pela indústria 4.0 por meio da interconexão das máquinas, sensores, computadores e outros (BORLIDO, 2017). A indústria 4.0 envolve uma gama de tecnologias que devem operar em conjunto com a finalidade de resultar em um aumento de eficiência em todo o sistema produtivo e obter mais informações sobre o processo” (JUSTUS et al. 2019 apud FOKUS; ZUKUNFTSPROJEKT, 2012). E esse cenário permitiu evoluir de sistemas automatizados tradicionais para monitoração contínua que é aliada da manutenção preditiva, visto que permite acompanhar as variáveis do equipamento em tempo real e entregar informações que apoiam a tomada de decisão para otimizar as atividades de manutenção.

Assim, este trabalho teve como objetivo a implantação de uma estratégia de manutenção preditiva que visa monitorar o desempenho de equipamentos produtivos (Ativos), de acordo com os critérios das técnicas preditivas, através de uma implementação de um sistema de monitoramento de condição de ativos em uma mineradora de bauxita localizada no Baixo Amazonas, com a finalidade de coletar dados de instrumentação da planta, concentrar as informações de vários sistemas e plataformas em um único repositório e acompanhar os parâmetros para a avaliação do estado do equipamento.

O presente trabalho se encontra organizado em cinco seções. A seção 2, apresenta os conceitos envolvidos por trás da ideia de manutenção preditiva. A seção 3, apresenta as descrições sobre o sistema implementado e as tecnologias utilizadas no seu desenvolvimento. A seção 4, apresenta os resultados e discussões referentes ao trabalho. A seção 5, contém a conclusão e algumas propostas de trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

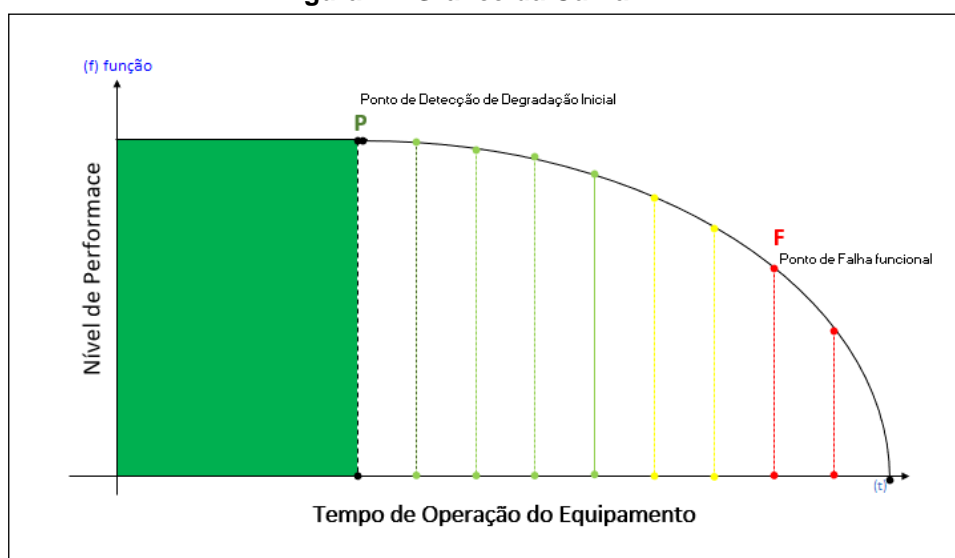
A manutenção é um conjunto de atividades que existem para evitar que os ativos, bens materiais que integram a estrutura física da produção de uma indústria, percam sua funcionalidade e o desempenho imposto, causado pelo desgaste natural durante o período de uso. Essas falhas podem impactar na qualidade da produção e até mesmo ocasionar uma parada, influenciando diretamente nos ganhos de uma empresa (XENOS, 1998). Neste sentido, a manutenção é importante para zelar pela condição física do equipamento e assim manter sua capacidade de executar sua função exigida, mas além disso ela também visa introduzir estratégias de melhorias que trazem confiabilidade ao processo e agregam valor à produção. Dessa forma, as atividades de manutenção são classificadas em métodos que determinam a aplicação e o momento correto para ação.

Entre os métodos, destaca-se neste trabalho a Manutenção Preditiva também conhecida como Manutenção baseada na condição, que segundo Kardec e Nascif (2009), é a ação realizada baseada em dados que informam a condições dos ativos através de um acompanhamento com as técnicas preditivas. Baldissarelli e Fabro (2019) destacam que a Manutenção preditiva é “baseada na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio dos dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento”. Em suma, a manutenção preditiva tem como objetivo prever as falhas em estágio inicial de um equipamento ou sistemas. A predição é elaborada a partir de dados coletados permitindo verificar e analisar as tendências dos parâmetros observados, com a finalidade de apoiar a tomada de decisão em relação às necessidades de atividades de manutenção.

Mas também, a manutenção preditiva é um programa de melhoria para o processo de produção, já que otimiza a operação da planta industrial, posto que antes as atividades preventivas e corretivas eram programadas conforme a experiência ou intuição de um gerente de manutenção, já a preditiva se baseia em dados reais por meio de técnicas que predispõe a condição do equipamento em vários níveis. Assim, as atividades podem ser programadas efetivamente em termos de custos, pois um problema detectado antes pode evitar maiores reparos e conseqüentemente evitar maiores despesas (ALMEIDA, 2000).

Logo, uma falha potencial é uma condição que identifica que a perda de função de um equipamento está próxima a ocorrer. E a curva de falha potencial (PF) determina intervalo onde a falha começa a ocorrer, entre o ponto de falha potencial e o ponto da falha funcional, o que é importante para que as ações de manutenção possam ser realizadas em momentos precisos (MOUBRAY, 1997). Assim, quanto maior for o tempo para identificar e corrigir a falha, maior serão os custos dos ajustes. A figura 01 ilustra a Curva PF.

Figura 1 – Gráfico da Curva PF



Fonte: Adaptado de NASA (2008).

Como já visto, a estratégia de manutenção preditiva sugere atividades de acordo com a condição do ativo, que é acompanhada e analisada por meio de técnicas, como a análise de óleo, a termografia, a análise vibratória e outras. De acordo com Almeida (2000, p.5), “As técnicas específicas dependerão do tipo de equipamento da planta, seu impacto sobre a produção e outros parâmetros chaves da operação da planta industrial”. E o propósito é transformar essas grandezas de entradas, como a vibração, pressão, temperatura e etc., em informações de estado de um equipamento durante a amostra de tempo coletados (SIMÉON, 2008).

A predição de falhas é o fator mais importante da manutenção baseada em condição, mas caso esse monitoramento dos parâmetros não ocorra em espaços de tempo apropriados a estratégia de manutenção preditiva vai ser afetada (MORENGUI, 2005). Posto isto, o monitoramento contínuo é um aliado necessário para a manutenção preditiva, pois ele monitora o tempo todo onde há criticidade e com as leituras online do estado dos equipamentos e suas subpartes, os resultados serão mais rápidos e exatos (BALDISSARELLI; FABRO, 2019). Assim, tornou-se necessário automatizar processos da manutenção com as novas tecnologias de sensores e o avanço de produtos da tecnologia de informação, conduzindo as empresas para a indústria 4.0 e trazendo mais efetividades às suas operações.

3. Sistema de monitoramento de Condição de Ativos

Este capítulo expõe o desenvolvimento e os procedimentos adotados na implementação de um sistema de monitoramento de condição de ativos em uma mineradora de bauxita localizada no baixo Amazonas. Atualmente, a mineradora conta com 38 correias transportadoras e toda a produção é transportada por esses ativos. Naturalmente, o desempenho deles interfere diretamente na produtividade da planta. Esses equipamentos não possuíam monitoramento online e os parâmetros de condições não estavam juntos em um mesmo local, dificultando assim o acesso à informação sobre a condição dos ativos.

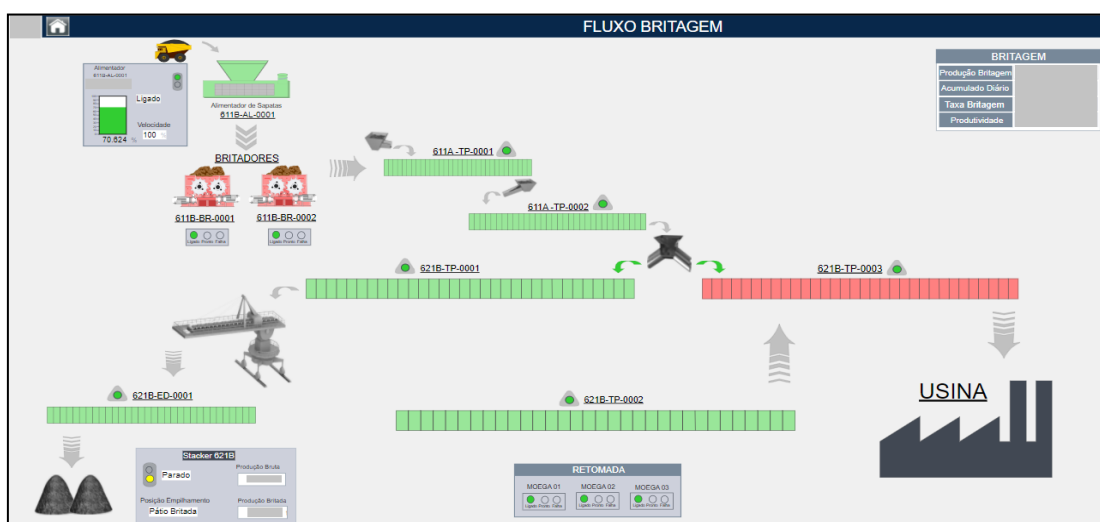
Nas próximas subseções, será detalhado as funcionalidades e a arquitetura do sistema de monitoramento de condição de ativos implementadas.

3.1. Descrição do Sistema

O sistema implementado realiza o monitoramento online de ativos associados à planta de Britagem e a planta de Lavagem da mineradora, coletando informações de instrumentação da planta e monitorando o desempenho do equipamento através do *Process Information (PI) System* da Osisoft. O diagnóstico de condição desses ativos é avaliado de acordo com os parâmetros das técnicas de manutenção preditiva e as seguintes técnicas foram estabelecidas para este sistema: Alarmes de corrente de motores, alarmes de temperatura de motores, funções como fator de sobrecarga e análises de óleo.

As telas do sistema apresentam o fluxo dos ativos e subativos na linha de produção e são representados por ícones e objetos semelhantes ao equipamento. A condição do ativo é classificada como “Normal” que é representado pela cor verde, “Atenção” representada pela cor amarela e “Crítico” representado pela cor vermelha. A figura 2 mostra a página principal referente à planta de Britagem.

Figura 2 – Tela principal do Sistema referente a planta de Britagem.



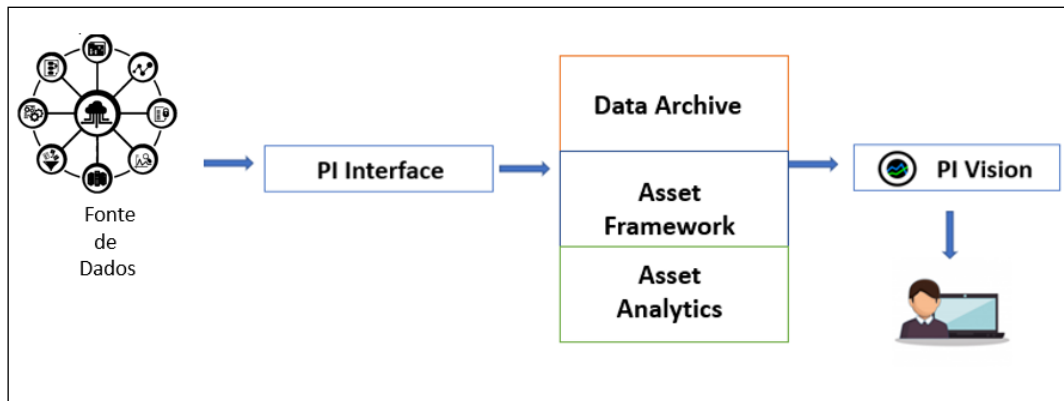
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.2 Ferramentas utilizadas na implementação do sistema

Para a implementação do sistema de monitoramento de condição de ativos, a principal arquitetura utilizada foi o PI System, desenvolvido pela OSIsoft, que é um conjunto de ferramentas de registros de dados operacionais. Ele tem a capacidade de coletar, analisar e compartilhar grandes quantidades de dados em tempo real e também de series temporais, de várias fontes e sistemas. A razão da escolha desta plataforma é que ela: (i) permite utilizar os dados gerados em tempo real; (ii) possui alta capacidade de armazenamento preservando os dados; e (iii) também oferece instrumentos para criação de interface de visualização *web-client*.

Os elementos do PI System são computadores com interfaces do PI que coletam dados de uma fonte. Neste trabalho, os nós de interface coletam dados de instrumentação da planta (chamados de *tags*) direto do supervisório, que é o sistema de supervisão e aquisição de dados, conhecido como Scada. Os dados são armazenados no PI *Server* que é composto pelo *Data Archive*, que armazena e organiza os dados para disponibilizar ao usuário, e o *Asset Framework* que é um repositório que provê um contexto aos dados e permite criar modelos de objetos hierárquicos centrados em equipamentos agrupados por relacionamentos. A estrutura do PI *System* está ilustrada na figura 3.

Figura 3 – Infraestrutura do PI System

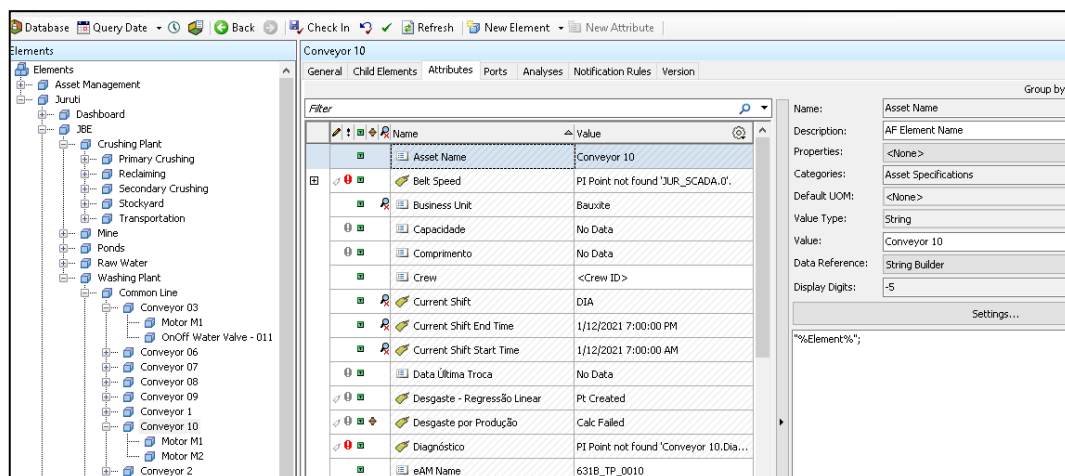


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.3 Análises dos Ativos

Com o *Asset Framework*, pode-se criar e gerenciar expressões que realiza cálculos e agenda as execuções, transformando os dados em informações de mais alto nível. E através desse recurso que foram programados cálculos em cima dos dados recolhidos para obter uma avaliação da condição dos ativos. Por exemplo, em relação aos parâmetros dos motores elétricos, que são subpartes de equipamentos (como correia transportadoras, britadores, lavadores e peneiras) foram coletados dados de corrente e temperatura, e comparados com valores previamente estabelecidos, que são intervalos de alarmes dos motores especificado pelo fabricante ou pelos modos operacionais. Baseado nesses valores e através de um cálculo programático com os valores de entrada e funções específicas é extraído o indicativo de sobrecarga do motor de modo a atribuir, para as variáveis de corrente e temperatura monitoradas, uma condição específica. Assim, hierarquizando-os através de pesos atribuídos a cada um dos parâmetros de condição calculados, é alcançado o resultado de criticidade do equipamento que é classificado como normal, alerta ou crítico. A figura 4 exibe a tela do Asset Framework onde os dados dos ativos são gerenciados.

Figura 4 – Tela do Asset Framework.



Fonte: print screen da aplicação no PI System (2021).

Por meio desta ferramenta, para cada equipamento da planta monitorado, foi estabelecido uma fórmula especificando condições a partir dos dados recolhidos, também refinando os dados coletados da fonte e até mesmo incluindo dados de fontes que não são do PI, como receber dados de sites externos através do *PI Conector for Universal File and Stream Loading (UFL)*.

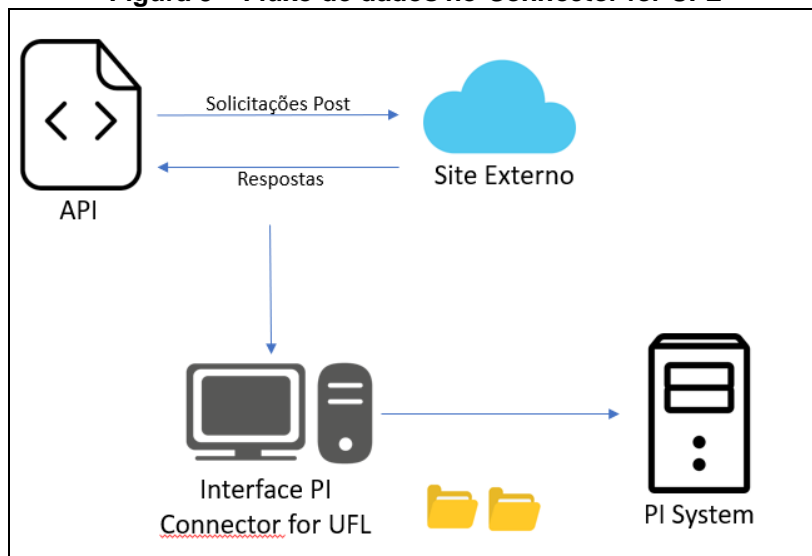
3.4 Integração com Site Externo

De modo, a obter mais um parâmetro de condição de vários ativos, podemos usar a informação da qualidade de óleo referente ao redutor que é um subativo que faz parte de vários equipamentos da planta. Os dados das análises de óleo, que é mais uma das técnicas de manutenção preditiva utilizadas para avaliar a condição de um equipamento, são de um site de uma empresa parceira, laboratório responsável por entregar resultados de condições das amostras de óleo coletadas em campo. Para transferir esses dados para o PI Server, foi utilizado o *PI conector for UFL* que faz uma integração com o site por meio de uma interface de programação de aplicação (API) que segue a arquitetura Representational State Transfer (REST).

Então, foi criado uma API elaborando um script em linguagem Python com solicitações para coletar apenas os dados desejados no site. As respostas da API são salvas em formato de arquivo JSON em uma pasta predefinida. É importante destacar que o Script em Python é executado por um agendador de tarefas em um determinado intervalo de tempo para automatizar as solicitações feitas pela API para recuperar novos dados postados no site periodicamente.

Em consequência, com uma determinada frequência, o componente “*connector*” do sistema verifica se há arquivos novos na pasta e informa ao PI. Se houver novos dados disponíveis a componente baixa, lê e extrai as informações sobre a qualidade do óleo com base em um arquivo de especificação do formato. Esse arquivo de configuração contém um código com a lógica que visa a tratar as informações lidas nos arquivos JSON, salvando os valores dos resultados das análises de óleo em um formato de tag vinculando a um ativo dentro do PI. A figura 5 ilustra o fluxo de dados do processo.

Figura 5 – Fluxo de dados no *Connector for UFL*



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com o aporte dos resultados das análises de óleo, foi possível completar as fórmulas no *Asset Framework* atribuindo pesos para esses dados no intuito de obter a condição do subativo. Assim, havendo informação concebida pelas análises de condição do motor e análises de condição do redutor, e dos demais subativos de um equipamento, foi possível então desenvolver uma análise de condição geral do equipamento.

3.5 Desenvolvimento de Telas do Sistema

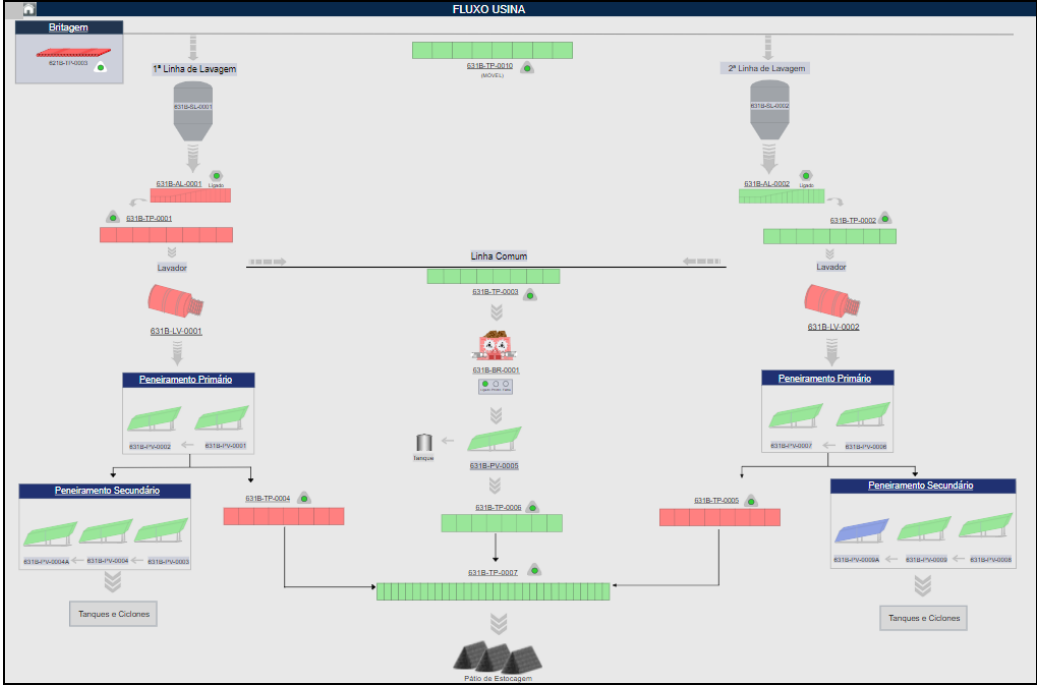
O *Asset Framework* reúne e organiza os dados na forma de uma descrição detalhada de cada ativo. Ele pode fornecer esses dados aos demais componentes do PI System, como o PI Vision, que é uma ferramenta de visualização em Web voltada a representar os dados do PI Server. Com as funções de configuração fornecidas pelo Vision, foi possível desenvolver telas com objetos de exibição configuráveis expondo em tempo real as informações de condições obtidas pelos dados e pelas fórmulas de conversão de dados em condição.

Todas as telas possuem uma mesma estrutura de cores e distribuição de ícones. Elas são organizadas com objetivos de tornar as informações de fácil acesso e intuitivo para o usuário do sistema, com exibição de gráficos, tabelas, cores de alertas para cada condição de saúde do equipamento. Além disso, o Vision permite comparar dados de vários intervalos de tempos, já que os dados armazenam um histórico dentro do PI Server. Assim, é possível ter uma série histórica do estado do equipamento.

4. Resultados e Discussão

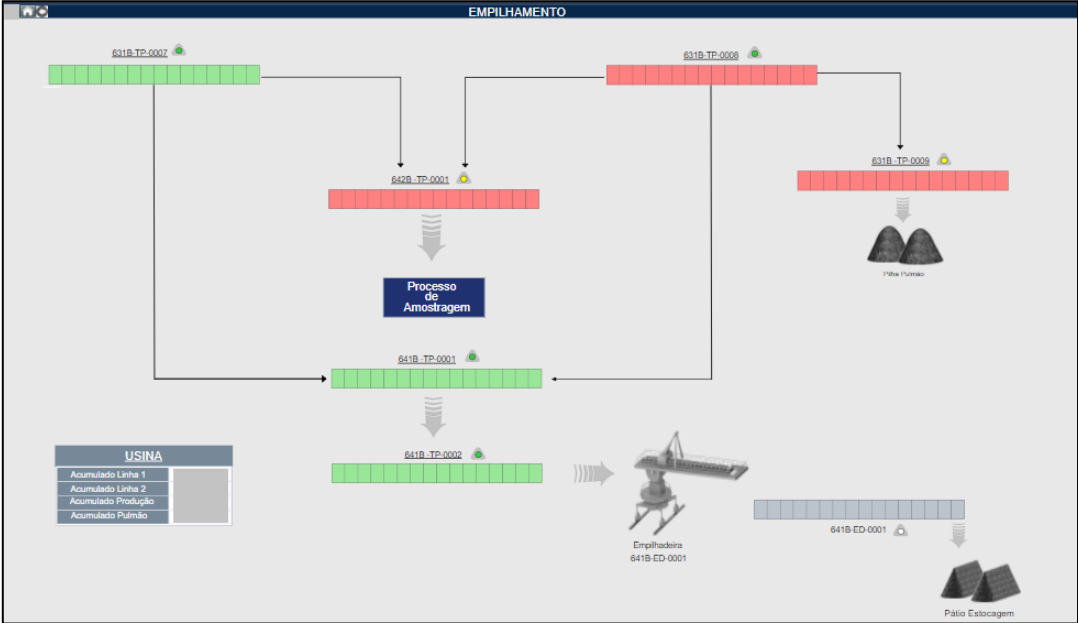
As imagens a seguir apresentam a interface do sistema desenvolvido. As telas foram organizadas por áreas e fluxos de processos na linha de produção da mineradora, seguindo uma sequência de subtelas, partindo do conteúdo mais geral até se aprofundar em níveis de detalhamento de cada equipamento. A figura 6 apresenta o dashboard referente à área da usina, que exibe o fluxo com os equipamentos que compõe a área, os ativos exibem as cores que indicam o atual estado de condição. Além disso, outras informações também são exibidas nas telas. Na figura 7, é apresentado o dashboard da área de empilhamento, no canto da tela é exibido números de produção em tempo real, também no ícone ao lado do nome de cada equipamento é indicado se o ativo está operando, desligado, ou com falha dinâmica e estática.

Figura 6 - Tela principal da área de Usina.



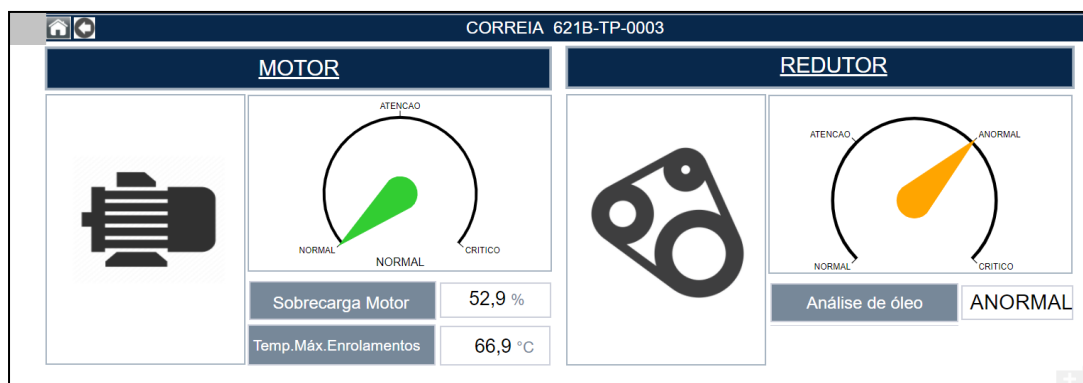
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 7 - Tela principal da área de Empilhamento.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 8 - Tela principal da Usina



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ao clicar em quaisquer objetos que representa determinado equipamento, o usuário é direcionado para outra página onde vai ser exibido os subativos que compõe aquele ativo. A figura 8 exibe a tela que apresenta vetores dos subativos de uma correia transportadora, o motor e o redutor, nela consta as informações geradas pelos dados online coletados pelo sistema e exibe a atual condição de cada equipamento. Observa-se que o redutor está em condição anormal devido o resultado da análise de óleo do ativo, assim na tela principal da área de britagem, apresentado pela figura 2, a correia de nome 621B-TP-0003 está sinalizada de vermelha, pois um dos seus subativos está em uma situação crítica.

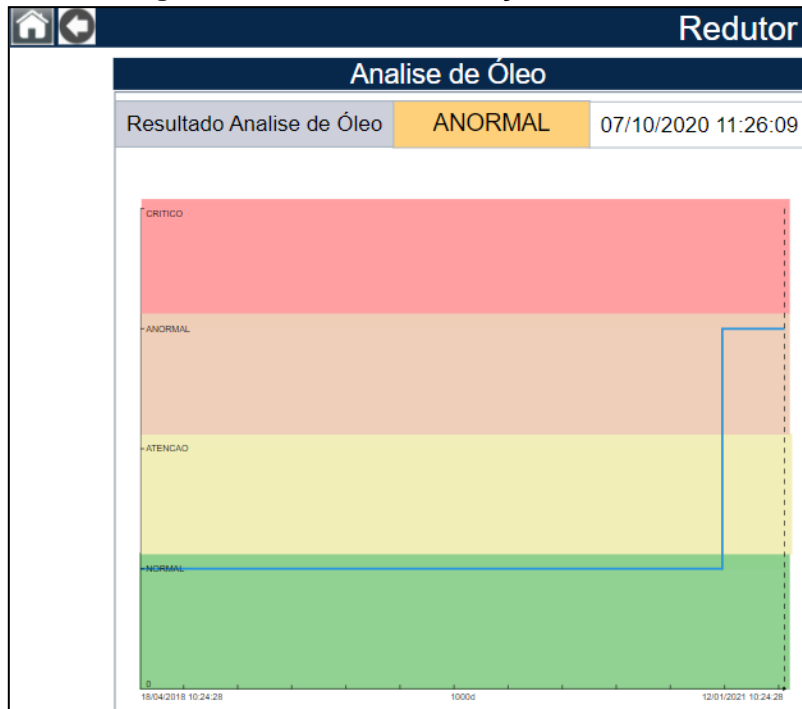
Ao selecionar o ativo de preferência, mais uma página é exibida ao usuário com mais informações detalhadas do ativo. Na figura 9, apresenta a tela em que aparece ao usuário caso ele clique no ícone do motor da figura 8. São exibidas informações mais detalhadas sobre o motor, gráficos com dados de correntes e temperaturas online, linhas apontando os intervalos dos limites indicado pelos alarmes definidos de acordo com os cálculos feitos no *Asset Framework*. Caso os dados de corrente sejam superiores ao limite, o fundo do gráfico alterna as cores de acordo com a criticidade. Já a figura 10 apresenta a tela que é exibida quando o usuário clica no ícone do redutor. Esta exibe o gráfico com o histórico de resultados das análises de óleo do ativo.

Figura 9 - Tela com informações do Motor.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 10 – Tela com informações do redutor.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Todas as telas do sistema seguem essa estrutura e organização para cada equipamento que o sistema monitora. No total foram 119 telas desenvolvidas para o sistema e 160 fórmulas de cálculos criadas dentro do PI System. Essas telas serão exibidas em vários painéis exposto em uma sala que irão compor um centro de monitoramento de ativos na empresa.

O sistema possibilitou que informações coletadas online de vários equipamentos que compõe a linha de produção de uma mineradora de bauxita, pudessem ser acessadas em um único local e analisadas de forma confiável, possibilitando identificar reais condições de desempenho dos ativos e os parâmetros que apontam a origem do problema, verificou-se que havia ativos críticos na planta e que há algum tempo já apresentavam um diagnóstico de alerta. O acesso a essa informação dá o suporte a tomada de decisão com relação à estratégia da manutenção baseada em condições, também citada neste trabalho como manutenção preditiva. Assim, o sistema se mostrou adequado ao objetivo proposto.

No entanto, já foi possível identificar ajustes e incrementações necessárias ao trabalho. O sistema atualmente apresenta ainda poucos parâmetros monitorados, logo, será necessário incluir outras técnicas preditivas, como a implementação da análise de vibração e os dados de inspeção visual, de forma a ter uma visão mais completa do equipamento e tornar o diagnóstico de condição mais confiável, assim, trazendo mais assertividade nas decisões referentes as atividades de manutenção.

4. Conclusão

Este artigo buscou apresentar a implementação de um sistema de monitoramento de condição de ativos, que foi criado para dar suporte à estratégia de manutenção preditiva aplicada em uma mineradora de bauxita no baixo amazonas. Para a implementação desse sistema, foi realizada a coleta de dados de instrumentação da planta e concentrados em um único sistema, o PI System, que utiliza de um conjunto de ferramentas para o processamento de funções automáticas que faz a interpretação e o tratamento desses dados, também, possui uma ferramenta de visualização onde todas as telas de monitoramento foram desenvolvidas.

A implantação do sistema, mesmo ainda com poucos parâmetros coletados, possibilitou identificar reais condições de desempenho dos ativos e identificar quais fatores apresentam criticidade, sem intervenções nos equipamentos em operação. O sistema também contribui com a disponibilização online de informações para os colaboradores da empresa, traz uma visão em tempo real sobre os ativos e com as informações integradas em um único sistema os processos ficam mais otimizados, o que facilitará o planejamento de manutenção. Esse monitoramento contínuo dos ativos está inserido dentro do contexto da manutenção preditiva, e este trabalho contribui ao agregar mais confiabilidade no equipamento e ao processo de produção.

4.1 Propostas para trabalhos futuros

A seguir, são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros, com objetivos de incrementar e aperfeiçoar o projeto desenvolvido:

- Integração de outras fontes de dados ao sistema, para coletar dados que servirão de parâmetros para a análise de condição de ativos. Como a análise de vibração, que detectam alterações excessivas de vibrações nos equipamentos. Além disso, implementar uma interface do sistema em que pudesse ser utilizada em campo, aonde o técnico de inspeção pudesse alimentar diretamente ao sistema com dados sobre a inspeção visual do equipamento.
- Evoluir com o sistema integrando a ele um módulo de aprendizagem. Utilizando de técnicas de inteligência artificial, o sistema poderia evoluir do contexto de manutenção preditiva, que faz o monitoramento das condições e auxilia a equipe de manutenção a prever o que pode ocorrer, para o contexto de manutenção prescritiva, onde o sistema participará da tomada de decisão através de recomendações para evitar a falha.
- Acompanhar o impacto do sistema nas operações de Manutenção da empresa.

5. Referências

ÁLVARES, Alberto. AMAYA, Edgar. TONACO, Rosimarci. Sistema de Manutenção Baseada Em Condição Para Usina Hidrelétrica de Balbina. Congresso de Computación Aplicada CAIP', 2007.

ALMEIDA, M. T. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. 2000. Disponível em: <<https://mtaev.com.br/wpcontent/uploads/2018/02/mnt1.pdf> >. Acesso em 15 de dezembro de 2020. 08:30.2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5462: 1994. Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994

BALDISSARELI, L. e FABRO, E. Manutenção Preditiva na indústria 4.0. SCIENTIA CUM INDUSTRIA, V. 7, N. 2, PP. 12 — 22, 2019.

BORLIDO, David José Araújo. Indústria 4.0- Aplicação a Sistemas de Manutenção. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

JUSTUS, Alvaro dos Santos; RAMOS, Luiz Felupe Pierin; LOURES, Eduardo de Freitas. Modelo de Avaliação de Tecnologias para a Indústria 4.0 Aplicadas em Manutenção Preditiva. In: XXVI Simpósio de Engenharia de Produção, nº 16, 2019, Bauru, São Paulo.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: Função Estratégica. 3ª Edição Rev. e Ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MORENGHI, Luiz Carlos Rodrigues. Proposta de um sistema integrado de monitoramento para manutenção. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NASA. Nasa Reliability-Centered Maintenance Guide. National Aeronautics and Space Administration. USA, 2008.

SIMEÓN, E. J. A. Aplicação de técnicas de inteligência artificial no desenvolvimento de um sistema de manutenção baseada em condição. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) -Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Belo Horizonte. Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ÁLVARES, Alberto. AMAYA, Edgar. TONACO, Rosimarci. Sistema de Manutenção Baseada Em Condição Para Usina Hidrelétrica de Balbina. Congresso de Computación Aplicada CAIP', 2007.