

Gestão de ativos na Indústria 4.0 – Combate ao incêndio utilizando IoT

Asset management in Industry 4.0 – Firefighting using IoT

Jeovan Ariel Ribeiro Brandão

Lukas Dias Palmieri

Nadson da Silva Santos

Paulo Roberto Weingartner Júnior¹

RESUMO

Este estudo analisa a transição estratégica da manutenção industrial corretiva para modelos de gestão de ativos integrados à Indústria 4.0. O objetivo central é examinar como a transformação tecnológica, fundamentada em Internet das Coisas (IoT), sensores inteligentes e inteligência artificial, pode ser aplicada à prevenção e ao combate a incêndios em ambientes fabris. Por meio de revisão bibliográfica e análise de normas como a ISO 55000, o trabalho demonstra que a segurança industrial evoluiu de uma resposta reativa para um modelo preventivo baseado na análise contínua de dados em tempo real.

O modelo do Tetraedro do Fogo é utilizado para conectar a origem de sinistros ao comportamento físico dos equipamentos, destacando que falhas mecânicas ou elétricas podem ser antecipadas por supervisão constante. As aplicações práticas discutidas incluem a termografia contínua para detecção de pontos quentes em painéis, análise de vibração em bombas de incêndio e o uso de gêmeos digitais para simular rotas de fuga. Propõe-se também a lógica de intertravamento, que interrompe automaticamente máquinas ou o fornecimento de

¹ Professor e orientador.

energia ao detectar anomalias, quebrando o ciclo de ignição antes do desenvolvimento das chamas.

A análise inclui um estudo comparativo entre organizações com diferentes maturidades tecnológicas, evidenciando as vantagens dos sistemas inteligentes na preservação de ativos e continuidade operacional. Conclui-se que, apesar dos desafios de implementação no cenário brasileiro, a convergência entre gestão estratégica e soluções tecnológicas integradas é fundamental para modernizar a segurança contra incêndios, garantir a confiabilidade dos sistemas e elevar a competitividade industrial.

Palavras-chave: gestão de ativos; indústria 4.0; internet das coisas (IoT); manutenção industrial; prevenção de incêndios; manutenção preditiva; confiabilidade.

ABSTRACT

This study analyzes the strategic transition from corrective industrial maintenance to asset management models integrated with Industry 4.0. The central objective is to examine how technological transformation, based on the Internet of Things (IoT), smart sensors, and artificial intelligence, can be applied to fire prevention and fighting in factory environments. Through a literature review and analysis of standards such as ISO 55000, the work demonstrates that industrial safety is evolving from a reactive response to a preventive model based on continuous real-time data analysis.

The Fire Tetrahedron model is used to connect the origin of accidents to the physical behavior of equipment, highlighting that mechanical or electrical failures can be anticipated through constant monitoring. The practical applications discussed include continuous thermography for detecting hot spots in panels, vibration analysis in fire pumps, and the use of digital twins to simulate escape routes. Interlocking logic is also proposed, which automatically interrupts machines or the power supply when anomalies are detected, breaking the ignition cycle before the development of flames.

The analysis includes a comparative study between organizations with different levels of technological maturity, highlighting the advantages of intelligent systems in

asset preservation and operational continuity. It concludes that, despite the implementation challenges in the Brazilian context, the convergence between strategic management and integrated technological solutions is fundamental to modernizing fire safety, ensuring system reliability, and increasing industrial competitiveness.

Keywords: asset management; industry 4.0; internet of things (IoT); industrial maintenance; fire prevention; predictive maintenance; reliability.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a manutenção industrial experimentou uma evolução considerável. Originalmente focada em intervenções corretivas, executadas somente após a ocorrência de falhas, essa atividade progrediu para modelos preventivos, preditivos e, mais recentemente, para estratégias integradas de gestão de ativos. O progresso tecnológico e a crescente demanda por aumentar a confiabilidade dos sistemas produtivos impulsionaram esse processo de transformação.

No cenário da Indústria 4.0, a manutenção não é mais apenas uma função operacional, mas adquire uma posição estratégica nas empresas. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), sensores inteligentes, análise de dados, inteligência artificial e gêmeos digitais possibilitam o monitoramento de equipamentos em tempo real, permitindo a antecipação de falhas antes que elas afetem a produção, a integridade dos ativos e a segurança da planta industrial.

Além de melhorar a disponibilidade dos equipamentos, essas tecnologias também ajudam a aumentar a segurança industrial. A falta de monitoramento adequado e a ausência de dados confiáveis sobre a condição dos ativos estão ligadas a uma série de acidentes e falhas operacionais. Em relação aos incêndios industriais, a falta de sistemas de detecção, o superaquecimento de componentes e falhas nos processos de inspeção e resposta podem transformar uma anomalia técnica em um incidente com grande impacto operacional.

Assim, o objetivo deste artigo é examinar a mudança da manutenção corretiva para a gestão de ativos na Indústria 4.0, discutindo conceitos teóricos, tecnologias habilitadoras e práticas implementadas no cenário industrial brasileiro, com foco na prevenção e no combate a incêndios por meio de soluções baseadas em IoT.

METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta pesquisa integra revisão bibliográfica, análise comparativa de estudos de caso e aplicação de técnicas de manutenção preditiva e prevenção de incêndios. Primeiramente, foi feita uma revisão da literatura técnica a respeito de manutenção industrial, gerenciamento de ativos, segurança contra incêndios e tecnologias da Indústria 4.0. Normas técnicas, artigos científicos e publicações especializadas em engenharia de manutenção foram analisados.

Posteriormente, foi realizado um estudo de caso comparativo envolvendo duas empresas do setor industrial com distintos graus de maturidade tecnológica. A análise levou em conta fatores como cultura organizacional, procedimentos de manutenção, uso de tecnologias digitais, capacidade de monitoramento e administração das informações ligadas à segurança operacional.

Também foram analisadas as técnicas de diagnóstico utilizadas na manutenção preditiva, como análise de vibração, termografia, análise de óleo e monitoramento remoto por meio de sensores. A ligação entre essas metodologias e os requisitos normativos permitiu debater como a gestão de ativos pode agir de maneira preventiva em relação às causas mais frequentes de incêndios industriais.

1 Evolução Histórica da Manutenção Industrial.

A progressão da manutenção industrial pode ser segmentada em várias etapas. A manutenção corretiva é definida pela realização de reparos após a ocorrência de falhas, o que geralmente resulta em paradas imprevistas, elevação de custos e maior exposição a riscos. A manutenção preventiva envolve ações programadas em intervalos estabelecidos, com o objetivo de diminuir a ocorrência de falhas. Por outro lado, a manutenção preditiva se fundamenta na condição atual do equipamento, empregando métodos de monitoramento e diagnóstico para guiar o processo decisório.

Em um nível mais avançado, a gestão de ativos, alinhada às diretrizes da ISO 55000, incorpora elementos técnicos, financeiros e estratégicos na administração do ciclo de vida dos ativos. Essa estratégia amplia o alcance da manutenção, levando em conta não só a recuperação funcional do equipamento, mas também seu desempenho, importância, confiabilidade, segurança e impacto nos negócios.

Essa evolução é especialmente significativa no âmbito da segurança contra incêndios. Enquanto as abordagens tradicionais dependem fortemente de inspeções físicas regulares, a Indústria 4.0 possibilita o monitoramento remoto constante, que pode identificar variações térmicas, elétricas, mecânicas ou químicas antes que se tornem pontos de ignição.

1.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) é uma abordagem organizada que visa determinar as estratégias de manutenção mais apropriadas, considerando as funções do ativo, seus modos de falha e as consequências relacionadas a essas falhas. Seu procedimento inclui a identificação das funções do ativo, a determinação dos modos de falha, a avaliação das consequências, a análise de criticidade e a seleção das estratégias de manutenção que melhor se alinham aos riscos e à relevância operacional do equipamento.

Uma bomba centrífuga industrial ilustra um exemplo prático. O desgaste do rolamento pode causar aumento da vibração, elevação da temperatura e possível travamento do equipamento. Em sistemas de combate a incêndio, essa falha se torna ainda mais grave, pois afeta o funcionamento do sistema exatamente quando ele é mais necessário. Portanto, métodos como análise de vibração, monitoramento de corrente e termografia são fundamentais.

2 Fundamentação Teórica: O Fogo e a Gestão de Ativos.

O fogo é definido como uma reação de oxidação rápida e exotérmica. O Tetraedro do Fogo é um modelo que inclui a reação em cadeia aos três componentes clássicos da combustão: combustível, comburente e calor. Em ambientes industriais, o incêndio pode ser entendido por meio desse modelo. Entender esse fenômeno é essencial no âmbito da gestão de ativos, uma vez que possibilita relacionar a origem do incêndio ao comportamento físico e operacional dos equipamentos.

O combustível é o material que queima e pode ser sólido, líquido ou gasoso. Na perspectiva da gestão de ativos, é fundamental acompanhar não só a existência desse material, mas também aspectos como temperatura de ignição, ponto de fulgor e ponto de combustão. O ponto de fulgor é a temperatura mínima na qual um

combustível emite vapores inflamáveis, já o ponto de combustão corresponde à condição em que a queima se mantém de forma contínua.

A manutenção da combustão também depende do comburente, geralmente representado pelo oxigênio contido no ar. Em espaços confinados ou ambientes de processo, sensores de concentração de oxigênio podem funcionar como elementos essenciais de prevenção. O calor atua como energia de ativação e pode ser gerado por faíscas elétricas, superfícies quentes, atrito mecânico ou processos térmicos. Por outro lado, a reação em cadeia refere-se ao mecanismo auto sustentável que mantém o incêndio em andamento. Por esse motivo, os sistemas de supressão modernos buscam interromper esse ciclo de forma rápida e localizada.

Assim, a gestão de ativos voltada à prevenção de incêndios busca evitar que os equipamentos se transformem em fontes de calor, que vazamentos ofereçam combustível ao processo de combustão ou que falhas de supervisão possibilitem a manutenção das condições necessárias para a ignição.

Figura 1 - Tetraedro do Fogo.



Fonte: <https://bit.ly/4uvUbfA>

2.1. Classificação das Causas de Incêndio Industrial

Os incêndios industriais podem ser causados por fatores naturais, intencionais ou acidentais. No entanto, sob a perspectiva da Indústria 4.0, muitas das ocorrências geralmente consideradas acidentais podem ser reclassificadas como falhas no monitoramento, inspeção ou gerenciamento de ativos.

Quadro 1 - Classificação das causas de incêndio e a Gestão de ativos

| Categoria | Exemplo comum | Foco na gestão de ativos |
|------------------------|--|---|
| Elétrica | Sobrecarga, curto-circuito e conexões frouxas | Termografia, monitoramento de carga e inspeção de painéis |
| Mecânica | Atrito em rolamentos, esteiras e motores | Lubrificação, análise de vibração e controle de temperatura |
| Química | Reações espontâneas e vazamentos | Sensores de gases, inspeção de válvulas e controle de armazenamento |
| Humana | Negligência, falha operacional e falta de treinamento | Capacitação, padronização e apoio digital às rotinas |
| Natural/externa | Descargas atmosféricas e propagação por áreas adjacentes | Proteção estrutural, contingência e monitoramento ambiental |

Fonte: Material de pesquisa

Em relação às causas elétricas, é relevante destacar que sobrecargas, arcos elétricos, falhas de isolamento e conexões soltas podem provocar aquecimento por efeito Joule. Já os fatores mecânicos, como atrito excessivo em rolamentos, engrenagens, motores e esteiras, podem elevar a temperatura das superfícies e causar a combustão de graxas, óleos ou detritos acumulados.

As causas químicas incluem vazamentos, reações espontâneas e misturas de substâncias incompatíveis. Em contrapartida, as causas humanas estão relacionadas a falhas nos procedimentos, ausência de treinamento adequado e uso incorreto de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC), falhas em sistemas de detecção, alarme, ventilação de emergência, sinalização e dispositivos automáticos de supressão, além de decisões inseguras durante operações e manutenções. Os EPCs são essenciais na prevenção e mitigação de incêndios, pois operam de maneira coletiva e independente da intervenção humana, reduzindo consideravelmente o risco de

propagação das chamas e elevando a segurança geral do ambiente industrial. A classificação indica que a prevenção moderna é fundamental menos na resposta imediata a eventos e mais na capacidade de monitorar continuamente variáveis de processo, condição dos ativos e comportamento humano.

3 A Gestão de Ativos como Prevenção

A gestão de ativos atua de forma preventiva ao integrar segurança, disponibilidade e conformidade normativa, garantindo o funcionamento contínuo dos sistemas de detecção, sinalização e combate a incêndios. Nesse contexto, a prevenção vai além dos EPI e se baseia principalmente nos EPC, como sistemas automáticos de detecção e alarme, redes de hidrantes, sprinklers, ventilação de emergência e dispositivos de supressão. Esses sistemas operam de forma integrada à gestão de ativos, permitindo respostas mais rápidas, padronizadas e eficientes, reduzindo a dependência da intervenção humana e aumentando a confiabilidade dos processos e a segurança nas operações industriais.

Quadro 2 – Prevenção e combate utilizando IoT

| Requisito normativo | Solução Indústria 4.0 | Valor agregado |
|--------------------------------------|---|---|
| Inspeção de extintores | Tags RFID/NFC em cada extintor | Rastreabilidade total e alertas automáticos |
| Teste de estanqueidade | Sensores de pressão e monitoramento IoT | Deteção precoce de vazamentos |
| Manutenção de bombas | Análise de vibração, corrente e pressão | Prevenção de travamentos no momento do uso |
| Controle de painéis elétricos | Termografia contínua e alarmes inteligentes | Identificação de pontos quentes em tempo real |

Fonte: Material de pesquisa

Essa lógica fortalece a conexão entre a ISO 55001, que organiza a gestão do ciclo de vida dos ativos, e normas de segurança contra incêndio, como NR-23, NBR 17240, NBR 13714 e NBR 10898. Dessa forma, a conformidade normativa não se limita mais ao aspecto documental, mas é respaldada por dados, rastreabilidade e acompanhamento contínuo.

3.1 Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas à prevenção

O conceito de Indústria 4.0 representa um novo estágio na evolução dos sistemas de produção, sendo caracterizada pela combinação de sistemas físicos e digitais para a prevenção de incêndios. A Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial, a visão computacional, os gêmeos digitais, as redes de comunicação sem fio e os sistemas de armazenamento e processamento de dados em tempo real são algumas das principais tecnologias habilitadoras. Na área de detecção, sensores inteligentes são capazes de monitorar variáveis essenciais, como temperatura, fumaça, vibração, corrente elétrica, concentração de gases e outras, em intervalos extremamente curtos. A termografia contínua em painéis elétricos possibilita a detecção de pontos quentes antes da ocorrência de falhas, ao passo que detectores de chama por vídeo e sistemas de visão computacional com IA são capazes de identificar o espectro da chama ou padrões visuais de fumaça antes que os detectores tradicionais sejam ativados.

No sistema de combate, a manutenção preditiva de bombas, válvulas e tanques possibilita a antecipação de falhas utilizando sensores de pressão, corrente e vibração. Ao invés de confiar apenas em inspeções regulares, a planta adota um sistema de monitoramento constante, baseado em condições. Ademais, sistemas de sinalização de emergência dinâmica têm a capacidade de ajustar as rotas de fuga de acordo com a localização do incêndio, melhorando a segurança das pessoas em situações de emergência.

Outra aplicação significativa reside nos gêmeos digitais e na utilização do BIM. Com um modelo virtual da planta que recebe dados em tempo real, é viável simular a disseminação de calor e fumaça, identificar áreas afetadas, direcionar brigadistas e automatizar ações como o corte de energia ou o fechamento de válvulas de combustível. Nesse cenário, a NFPA 915 ganha relevância ao estabelecer os requisitos para inspeções, testes e monitoramento remoto de sistemas de proteção contra incêndio. Essa diretriz reforça a legitimidade técnica da utilização de drones, câmeras, robôs e sensores inteligentes, desde que os dados sejam íntegros, a transmissão seja confiável, as informações sejam registradas de forma adequada e haja concordância da autoridade competente.

3.2 A Convergência entre a Gestão de Ativos 4.0 e a Resiliência da Indústria 5.0

A transição para a gestão de ativos na Indústria 4.0 representa um momento em que a manutenção passa de uma função meramente operacional para uma posição estratégica, unindo sistemas físicos e digitais por meio de sensores e IoT para acompanhar equipamentos e prever falhas significativas. Com a Indústria 5.0, essa jornada atinge um novo nível, introduzindo a centralidade humana e a resiliência como pilares essenciais. A tecnologia é empregada para fortalecer a segurança e o bem-estar dos colaboradores, integrando esses aspectos à eficiência e à confiabilidade dos sistemas. Em consonância com esse contexto de inovação e em conformidade com as diretrizes éticas da USP e da UNICAMP a respeito do uso de inteligência artificial generativa na produção científica, este estudo empregou essas ferramentas como suporte cognitivo para o aprimoramento desta análise teórica. Essa abordagem garantiu que a convergência entre a automação industrial e os novos valores sociotécnicos fosse registrada com a transparência e o rigor acadêmico necessários para o desenvolvimento de soluções na vanguarda do conhecimento.

3.3. Gestão de ativos e segurança industrial

Além de aumentar a confiabilidade dos equipamentos, o monitoramento contínuo tem um impacto direto na segurança industrial. Vários incêndios classificados como acidentais resultam de deficiências na gestão de ativos, como máquinas superaquecidas, curtos-circuitos elétricos, falta de lubrificação, desgaste de peças ou falta de inspeção em sistemas essenciais.

Ao integrar dados de sensores, histórico de falhas, importância dos ativos e exigências normativas, a empresa passa a tomar decisões fundamentadas em dados. Isso diminui a chance de ignição, aumenta a disponibilidade dos sistemas de combate e reforça a eficiência na resposta operacional. Em outras palavras, a segurança não se baseia apenas na intervenção humana após uma emergência; ela é construída desde o início das operações normais.

4 Intertravamento e Segurança Industrial

O sistema sugerido emprega a lógica de intertravamento para interromper as condições necessárias à manutenção do Tetraedro do Fogo. Em um cenário comum, sensores de IoT identificam uma anomalia, como um motor superaquecido, aumento

de corrente em um painel ou vibração irregular em uma bomba. Um controlador lógico ou sistema analítico processa essas informações, identifica a condição de risco e implementa automaticamente medidas de proteção.

Essas medidas podem abranger a parada da máquina de acordo com os princípios da NR-12, a interrupção do fornecimento de energia do setor em conformidade com as diretrizes da NR-10, o isolamento de uma área específica e, quando necessário, a ativação de um sistema de supressão localizado com agente limpo, como CO2 ou Novec, restrito apenas ao compartimento afetado. Dessa forma, o sistema atua antes que a combustão evolua para um incêndio plenamente desenvolvido, minimizando danos ao ativo, ao processo e ao ambiente industrial.

Essa estratégia demonstra uma mudança significativa no conceito: em vez de simplesmente apagar o incêndio, a automação se concentra em prevenir sua ocorrência, lidando com a origem da anomalia e diminuindo o tempo entre a detecção e a resposta de acionamento do Sistema de combate ao incêndio.

5 Estudo de Caso: análise comparativa

O estudo de caso analisa duas indústrias, chamadas de Empresa A e Empresa B, com o propósito de avaliar os variados níveis de maturidade na gestão da manutenção voltada ao combate e à prevenção de incêndios.

A Empresa A exibe características comuns de organizações que ainda utilizam modelos convencionais de manutenção. Seus procedimentos são majoritariamente reativos, com registros físicos, uso limitado de sistemas digitais e respostas baseadas na ocorrência de falhas. Por outro lado, a Empresa B oferece um modelo de gestão de manutenção mais sofisticado, fundamentado em tecnologias digitais, rastreabilidade dos ativos e supervisão contínua das variáveis críticas.

5.1 Comparativo de Maturidade Tecnológica.

Quadro 3 – Diferença entre os sistemas de combate ao incêndio

| Recurso | Sistema Tradicional (Empresa A) | Sistema Inteligente (Empresa B) |
|-----------------|--|--|
| Detecção | Pontual, baseada em fumaça e calor | Multicritério, com IA e análise por imagem |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| Rede de comunicação | Cabeamento rígido | Redes mesh sem fio |
| Manutenção | Reativa ou por calendário | Preditiva, baseada em condição |
| Intervenção | Manual, centrada na brigada | Automação e intertravamento integrados |
| Foco principal | Extinguir o incêndio | Preservar o ativo e a continuidade operacional |
| Maturidade Indústria 4.0 | Baixa digitalização, processos manuais e pouca integração de dados | Alta digitalização, integração IoT, monitoramento em tempo real e uso de análise de dados |

Fonte: Material de pesquisa

O comparativo revela que a diferença entre os dois modelos transcende a tecnologia empregada; ela também se reflete na estratégia de gestão. Enquanto o modelo tradicional atua de forma reativa após a ocorrência do evento, o sistema inteligente busca identificar sinais precoces de falha, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a proteção da vida, do patrimônio e do processo produtivo.

Além dos fatores operacionais, nota-se uma diferença específica no grau de atualização tecnológica entre as empresas analisadas. A empresa exibe características de um estágio inicial de digitalização, apresentando pouca integração de sistemas, registros majoritariamente manuais e uma abordagem reativa em relação às falhas. Por outro lado, a Empresa B está em um estágio mais avançado no cenário da Indústria 4.0, empregando sensores inteligentes, integração por meio da Internet das Coisas (IoT) e acompanhamento constante das variações críticas.

Essa atualização afeta diretamente a capacidade de prevenção de incêndios, pois os sistemas mais digitalizados possibilitam a detecção de anomalias em eventos iniciais, diminuem o tempo de resposta e automatizam medidas de segurança. Assim, o avanço tecnológico não só aumenta a eficiência operacional, como também eleva consideravelmente o padrão de segurança industrial.

5.2 Cenário Brasileiro.

A mudança da manutenção corretiva para a gestão de ativos indica um avanço importante na maneira como as indústrias funcionam, especialmente no cenário da Indústria 4.0. A adoção de tecnologias digitais possibilita o acompanhamento constante dos ativos, elevando a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança das operações.

Neste contexto, o monitoramento remoto se destaca como um recurso fundamental, pois permite o acompanhamento em tempo real das condições dos equipamentos e sistemas críticos, o que possibilita respostas mais ágeis e eficientes, especialmente em casos de risco, como incêndios. A análise desta pesquisa indica que empresas com maior atualização tecnológica têm maior capacidade de prever falhas e diminuir riscos, ao passo que organizações com baixa digitalização continuam mais expostas a falhas operacionais.

Assim, fica evidente que a combinação de manutenção preditiva, monitoramento remoto e tecnologias da Indústria 4.0 é essencial para fortalecer a segurança industrial. As empresas precisam investir não só em tecnologia, mas também na gestão estratégica de dados e na formação de suas equipes.

5.3 Discussão das Informações Coletadas

Uma análise comparativa das empresas analisadas mostra que a eficácia das estratégias de prevenção e combate a incêndios é fortemente influenciada pelo nível de atualização tecnológica. Empresas com baixo nível de digitalização, como a Empresa A, geralmente adotam uma abordagem reativa, dependendo mais da intervenção humana e correndo um risco maior de falhas operacionais.

Em contrapartida, empresas mais alinhadas aos princípios da Indústria 4.0, como a Empresa B, empregam monitoramento instantâneo, sensores inteligentes e integração de dados para prever falhas e automatizar respostas. Essa estratégia diminui consideravelmente o risco de incêndio e aumenta a confiabilidade dos sistemas de proteção.

O uso do monitoramento remoto é outro aspecto importante, pois permite o acompanhamento constante dos ativos, independentemente de onde estejam, o que possibilita intervenções rápidas e eficazes. Essa capacidade representa um avanço

significativo em comparação com os modelos convencionais, que se baseiam em inspeções regulares.

Assim, fica claro que a implementação de tecnologias digitais deve ser encarada não apenas como uma modernização operacional, mas também como uma estratégia fundamental para melhorar a segurança industrial, garantir a continuidade dos processos produtivos e minimizar perdas relacionadas a falhas e incêndios.

Considerações finais

A mudança da manutenção corretiva para a gestão de ativos indica uma alteração importante na maneira como as indústrias administram seus sistemas de produção. No cenário da Indústria 4.0, esse progresso é estimulado pela integração de tecnologias digitais que possibilitam o acompanhamento constante e em tempo real dos ativos, favorecendo uma maior confiabilidade, disponibilidade e segurança nas operações. Entre essas tecnologias, o monitoramento remoto se sobressai, permitindo o acompanhamento das condições operacionais dos equipamentos e sistemas de segurança, independentemente de sua localização física, o que possibilita intervenções mais rápidas, precisas e fundamentadas em dados.

A análise dos dados fornecidos ao longo deste estudo demonstra que as empresas com maior grau de atualização tecnológica, conforme observado no estudo comparativo, têm maior capacidade de prever falhas, automatizar respostas e diminuir a probabilidade de incêndio. Por outro lado, empresas com baixo nível de digitalização tornam-se mais vulneráveis a falhas operacionais, em razão da dependência de processos manuais e da falta de monitoramento constante. Assim, observa-se que apenas adotar tecnologias não é suficiente; é preciso incorporá-las à gestão de ativos e à cultura organizacional, convertendo dados em informações estratégicas para a tomada de decisões.

A utilização de sensores inteligentes, Internet das Coisas (IoT), análise de dados e sistemas de análise e intertravamento evidencia que a prevenção de incêndios pode ser abordada de forma proativa, evitando os riscos antes que eventos críticos aconteçam.

Assim, fica evidente que a combinação de manutenção preditiva, monitoramento remoto e tecnologias da Indústria 4.0 é fundamental para melhorar a segurança industrial e a competitividade das empresas. Nesse contexto, é

aconselhável que as empresas não invistam apenas em tecnologia, mas também na formação de suas equipes e na criação de processos baseados em dados, estabelecendo uma estratégia inteligente e preventiva para a gestão de ativos industriais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10898**: Sistema de iluminação de emergência. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14276**: Brigada de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17240**: Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55000**: Gestão de ativos: visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10**: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>. Acesso em: 4 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12**: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>. Acesso em: 4 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-23**: Proteção Contra Incêndios. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 915**: Standard for Remote Inspections and Tests. Quincy: NFPA, 2023.

UNICAMP. Pró-Reitoria de Graduação. **Orientações para uso responsável de inteligência artificial na produção acadêmica**. Campinas: UNICAMP, 2024.

Disponível em: <https://www.prg.unicamp.br/>. Acesso em: 14 abr. 2026.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Dossiê: Inteligência Artificial. **Jornal da USP**, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/>. Acesso em: 14 abr. 2026.