



TÉCNICAS PREDITIVAS PARA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE DE ATIVOS EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Victor Marques de Assis¹, Aurea Messias de Jesus², Agaone Donizete Silva², Alan Kardec Candido dos Reis², Emerson Carlos Guimarães², Olavo Antônio de Oliveira Reis²

¹Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil
(victormarquassis@gmail.com)

²Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

Resumo: A manutenção industrial é fundamental para garantir a continuidade operacional, especialmente na indústria de laticínios. A manutenção preditiva permite o monitoramento contínuo dos ativos, com identificação precoce de falhas e redução de paradas. Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação dessas técnicas em ativos rotativos, utilizando sensores infravermelhos e aprendizado de máquina. Os resultados mostraram alta precisão, redução de custos e melhoria da eficiência.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva; Termometria Infravermelha; Confiabilidade Operacional

INTRODUÇÃO

A manutenção industrial representa uma atividade estratégica essencial para garantir a continuidade operacional e a disponibilidade de ativos. Em um cenário cada vez mais competitivo e tecnologicamente avançado, torna-se indispensável adotar práticas que aliem eficiência, confiabilidade e redução de custos. Nesse contexto, as técnicas de manutenção preditiva têm se destacado por permitirem o monitoramento em tempo real das condições dos equipamentos, antecipando falhas e evitando paradas inesperadas.

Diferente da manutenção corretiva, que atua após a falha, e da preventiva, que segue intervalos programados, a manutenção preditiva baseia-se na coleta e análise de dados operacionais para identificar tendências e anomalias que indicam o desgaste ou falha iminente de componentes. Essa abordagem contribui diretamente para o aumento da confiabilidade dos ativos, redução de custos operacionais, elevação da segurança industrial e maior eficiência no uso dos recursos.

Entre as técnicas utilizadas no monitoramento preditivo, destaca-se a termografia, um método de inspeção baseado na captação da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos. Através dela, é possível identificar variações térmicas em componentes e sistemas, gerando imagens térmicas (termogramas) que indicam potenciais falhas por aquecimento anormal. Seu caráter não invasivo, a agilidade na aplicação e a possibilidade de cobrir grandes áreas com segurança tornam a

termografia uma ferramenta valiosa, especialmente em equipamentos elétricos e mecânicos críticos.

Considerando que muitas falhas operacionais são precedidas por alterações de temperatura, a aplicação da termografia na manutenção preditiva tem sido amplamente adotada em ambientes industriais. Na indústria de laticínios, por exemplo, onde a confiabilidade dos ativos é fundamental para assegurar a qualidade do produto e a continuidade dos processos, o uso de sensores infravermelhos para o monitoramento térmico contribui significativamente para a gestão eficiente da manutenção.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo estudar e avaliar a aplicação de técnicas preditivas, com foco na termografia, para o aumento da confiabilidade dos ativos industriais. A partir da análise de dados reais de falhas, busca-se demonstrar como a integração de tecnologias de monitoramento e modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina pode otimizar os recursos de manutenção e promover melhorias concretas na operação dos sistemas industriais.

MATERIAL E MÉTODOS

INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS

Durante o período de monitoramento, foram analisados oito motores elétricos trifásicos da marca WEG, com potência de 5 CV, tensão nominal de 220V, utilizados em diferentes aplicações da planta de produção. Esses motores compõem sistemas

críticos de bombeamento, agitação e transporte de produto dentro da indústria de laticínios.

Número de equipamento	Situação	Sector	Descrição do equipamento (macro)	FAMÍLIA	Marca	Modelo	Temperatura Máx.
2-A44	Ativado	Qulinário	Motor conjunto Netsch tachô 02	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A47	Ativado	Qulinário	Motor conjunto Netsch tachô 03	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A60	Ativado	Qulinário	Motor conjunto Netsch tachô 04	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A41	Ativado	Qulinário	Motor elétrico conjunto Netsch tachô 01	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A20	Ativado	Qulinário	motor elétrico conjunto Netsch gordura	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A17	Ativado	Qulinário	motor elétrico conjunto Netsch silo amido	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A8	Ativado	Qulinário	motor elétrico conjunto Netsch silo gordura vegetal	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155
2-A11	Ativado	Qulinário	motor elétrico conjunto Netsch silo gordura vegetal	MOTOR ELÉTRICO	SBW	5CV	155

Figura 1. Monitoramento Termográfico de Motores Trifásicos 220V.

A inspeção termográfica foi conduzida com o equipamento em funcionamento sob carga normal, permitindo identificar pontos de aquecimento anormal na carcaça, mancais ou conexões elétricas. Como se sabe, componentes eletromecânicos geralmente apresentam elevação de temperatura antes da falha ocorrer. Dessa forma, a termografia permite que essas anomalias térmicas sejam detectadas preventivamente, possibilitando o planejamento de ações corretivas.

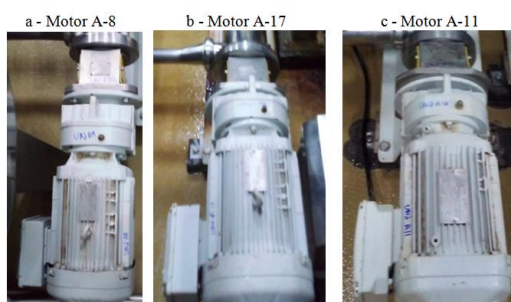


Figura 2. Fotos reais dos motores – Parte 1.

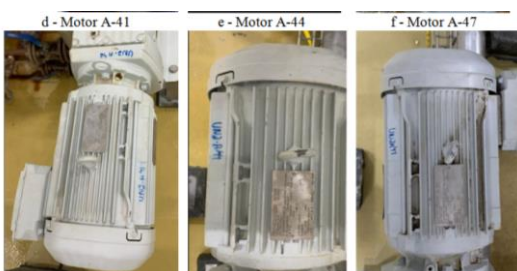


Figura 3. Fotos reais dos motores – Parte 2.

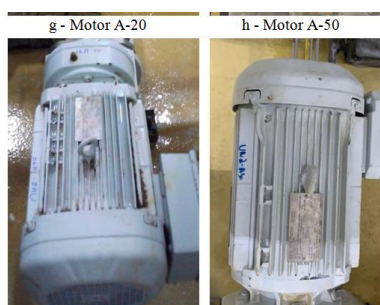


Figura 4. Fotos reais dos motores – Parte 3.

INSTRUMENTO UTILIZADO NA MEDIÇÃO

A medição das temperaturas foi realizada com o auxílio de um termômetro infravermelho modelo 59 MAX, da marca Fluke, instrumento portátil amplamente utilizado para inspeções térmicas de superfície. Esse equipamento opera na faixa espectral de 8 a 14 μm , adequada para medições em componentes industriais metálicos, e possui uma precisão de $\pm 1,5^\circ\text{C}$ ou 1,5% da leitura, com tempo de resposta inferior a 500 ms. A tecnologia de detecção sem contato permite leituras seguras e rápidas mesmo em áreas de difícil acesso ou com alto risco elétrico. Durante as inspeções, o emissor foi ajustado com emissividade padrão de 0,95, valor compatível com superfícies metálicas pintadas ou oxidadas, como é o caso das carcaças dos motores analisados.



Figura 5. Termômetro.

DADOS UTILIZADOS PARA FUNDAMENTAÇÃO

Antes da análise, foi elaborado um quadro com os valores de temperatura máxima da carcaça segundo a classe de isolamento dos motores WEG, que, para motores de baixa tensão trifásicos padrão, geralmente pertencem às classes B ou F.

Classe de Isolamento	Temperatura Ambiente ($^\circ\text{C}$)	Elevação Máxima ($^\circ\text{C}$)	Margem Adicional ($^\circ\text{C}$)	Temperatura Máxima Admissível da Carcaça ($^\circ\text{C}$)
B	40	80	10	130
F	40	105	10	155
H	40	125	10	175

Figura 6. Temperatura Máxima admissível de Carcaça.

MODO DE AÇÃO UTILIZADA PARA POSTERIOR À FALHA IDENTIFICADA

Foi elaborada uma matriz de risco para classificar os motores elétricos analisados com base no nível de aquecimento identificado nas inspeções termográficas e na criticidade de cada motor dentro do processo produtivo. A da figura 7 apresenta a relação entre a classificação térmica (crítico, severo, moderado, aquecido) e o nível de criticidade (A, B ou C), definida conforme o impacto que a falha do equipamento pode causar.



CLASSIFICAÇÃO DO AQUECIMENTO	CRITICIDADE		
	A	B	C
CRÍTICO	ALTO	ALTO	MÉDIO
SEVERO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO
MODERADO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO
AQUECIDO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO

Figura 7. Matriz de Risco correlacionando classificação térmica com criticidade dos motores.

Além disso, foi adotada uma tabela auxiliar utilizada pela equipe de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção) para definir os prazos de intervenção, de acordo com a gravidade do aquecimento detectado e a tensão de operação do equipamento.

Tabela 1. Tabela com os prazos de intervenção conforme nível de risco térmico.

Intervenção	Prazo de atendimento
Crítico	Imediato
Severo	10 dias
Moderado	15 dias
Aquecido	20 dias

A inspeção foi organizada em rotas semanais, de modo que cada motor seja inspecionado ao menos uma vez a cada 7 dias. Essa frequência permite um acompanhamento regular da condição térmica dos ativos, auxiliando na prevenção de falhas e aumentando a confiabilidade do sistema.

Semanalmente, um relatório técnico é entregue à equipe de manutenção, contendo os dados dos motores analisados, as anomalias identificadas e as recomendações de ação. Com base nessas informações, o PCM pode programar as intervenções necessárias de forma antecipada, evitando paradas inesperadas.

Todos os registros termográficos e históricos de medições são armazenados em um banco de dados interno, permitindo a análise evolutiva da condição de cada motor. Isso inclui: datas de inspeção, temperaturas registradas, desvios em relação ao padrão, ações realizadas e status atualizado. Dessa forma, a equipe técnica tem acesso rápido às informações e pode agir com base em dados confiáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da inspeção termográfica como técnica de manutenção preditiva foi conduzida com base em registros obtidos durante um período contínuo de 45 dias, abrangendo o acompanhamento de oito motores elétricos trifásicos instalados em pontos estratégicos da planta industrial. O objetivo foi analisar o

comportamento térmico desses equipamentos, buscando indícios de falhas potenciais que poderiam levar a paradas inesperadas.

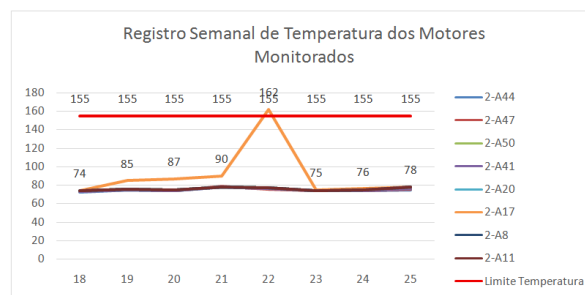
Ao final do período analisado, foi constatado que apenas um dos oito motores apresentou aquecimento anormal da carcaça, com temperatura acima do padrão aceitável para sua classe de isolamento. Esse motor, utilizado no sistema de bombeamento da área de envase, já possuía histórico de falha anterior registrada há aproximadamente 9 meses, o que reforça a importância da sua inclusão nas rotas de inspeção termográfica.

Os demais sete motores apresentaram comportamento térmico estável, com variações dentro dos limites esperados conforme a classe de isolamento (B ou F), em conformidade com os dados fornecidos pelas inspeções termográficas analisadas e com os critérios estabelecidos em normas técnicas e tabelas de fabricante.

Com base nos dados apresentados na Tabela de Monitoramento Termográfico, observa-se que, dos oito motores elétricos trifásicos avaliados durante o período de 45 dias, apenas um apresentou temperatura acima do limite máximo admissível para sua classe de isolamento (Classe F – 155 °C). Os demais motores mantiveram comportamento térmico estável e dentro dos padrões recomendados pelo fabricante.

Número de equipamento	Situação	Setor inspecionado	Descrição do equipamento (motor)	FAMÍLIA	Marca	Modelo	Temperatura Máx.	Temperatura						
								18	19	20	21	22	23	24
2-A44	Ativado	Culinário	Motor conjunto Netsch tacho 02	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	72	75	74	78	76	73	74
2-A47	Ativado	Culinário	Motor conjunto Netsch tacho 03	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	73	76	74	79	76	74	74
2-A50	Ativado	Culinário	Motor conjunto Netsch tacho 04	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	74	76	75	78	77	74	75
2-A41	Ativado	Culinário	Motor elétrico conjunto Netsch tacho 01	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	73	75	74	78	76	74	74
2-A20	Ativado	Culinário	motor elétrico conjunto Netsch giratória animal	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	74	76	75	78	77	74	75
2-A17	Ativado	Culinário	motor elétrico conjunto Netsch sítio amido	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	74	85	87	90	162	75	76
2-A8	Ativado	Culinário	motor elétrico conjunto Netsch sítio gordura	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	74	76	75	78	77	74	75
2-A11	Ativado	Culinário	motor elétrico conjunto Netsch sítio gordura vegetal	MOTOR ELÉTRICO	SEW	S CV	155	74	76	75	78	77	74	75

Figura 8. Registros semanal de temperatura dos equipamentos.



Figur 9. Análise gráfica do registro da temperatura dos motores.



O motor identificado com temperatura crítica (162 °C) apresentou indícios de superaquecimento na carcaça, possivelmente relacionados a problemas de ventilação deficiente, acúmulo de resíduos, falha de isolamento térmico ou mau contato em conexões elétricas. Essa condição exigiu atenção imediata da equipe de manutenção, que realizou inspeção e intervenção direcionada para evitar falha progressiva.

CONCLUSÃO

A manutenção preditiva por meio de termografia infravermelha mostrou-se uma ferramenta eficaz, segura e acessível para o acompanhamento da condição operacional de equipamentos elétricos, especialmente motores trifásicos, cuja confiabilidade é essencial para a continuidade dos processos industriais. O estudo realizado evidenciou, na prática, os benefícios técnicos e estratégicos da aplicação da termografia como forma de antecipar falhas, reduzir custos com corretivas e melhorar a disponibilidade dos ativos.

Durante o período de 45 dias de acompanhamento, foi possível observar que 87,5% dos motores monitorados operaram dentro dos limites térmicos aceitáveis, segundo as normas e especificações do fabricante WEG. Apenas um motor apresentou superaquecimento da carcaça (162 °C), ultrapassando o limite de 155 °C para a classe de isolamento F. Essa condição crítica foi identificada antes que causasse a falha do equipamento, o que permitiu intervenção programada e evitou consequências mais severas para a operação da planta.

A construção de tabelas de criticidade, planos de ação conforme classificação térmica, bem como o uso de banco de dados com registros semanais de temperatura são ações que fortalecem a gestão técnica da manutenção e fornecem informações relevantes para o PCM atuar de forma cada vez mais estratégica.

Além da prevenção de falhas, a utilização sistemática da termografia contribui para uma cultura de manutenção proativa e baseada em dados reais, afastando a dependência exclusiva de corretivas e atuando diretamente na melhoria da eficiência produtiva.

Portanto, conclui-se que a adoção da termografia no contexto industrial — mesmo com recursos simples, como o monitoramento de motores entre 1 e 5 CV — já promove impactos positivos mensuráveis. Em médio e longo prazo, espera-se a redução contínua nas ordens de serviço emergenciais, ampliação da vida útil dos equipamentos e consolidação de uma metodologia que alia tecnologia, segurança e economia.

REFERÊNCIAS

- Caldeira, J. F. Fundamentos da termografia infravermelha. Boletim Técnico de Inspeções Industriais, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 30–42, 2016.
- Cardoso, R.; Fernandes, L.; Valentim, A. Monitoramento térmico em sistemas elétricos com uso de termografia. Revista Brasileira de Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, v. 12, n. 3, p. 65–77, 2015.
- Dinis, C. Introdução à termografia quantitativa e qualitativa. Manual de Ensaio Não Destrutivos. Lisboa: Técnicas & Práticas, 2009.
- Flir Systems. Thermalimagingguidebook for industrial applications. Wilsonville, OR: FLIR, 2011.
- Holst, G. C. Common sense approach tothermalimaging. 2. ed. JCD Publishing, 2000.
- Kardex, A.; Nascif, J. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- Rocha, J. P. Manutenção na indústria: conceitos e aplicações. São Paulo: Atlas, 2000.
- Specman, H. Thermalimaging in electricalinstallations. 2. ed. Hamburg: SpecTech, 2010.
- Teixeira, L. P. Histórico da aplicação da termografia na manutenção da CEMIG. Boletim Interno CEMIG, Belo Horizonte, p. 4–12, 2012.