

MONITORAMENTO INTELIGENTE DE ATIVOS REFRATÁRIOS EM ACIARIAS: Detecção e tratamento preditivo de anomalias via termografia e inteligência artificial

Marco Antônio de Oliveira Coelho¹

Eder José Siqueira²

Wendell Fraga Viera Henriques³

Resumo

O monitoramento contínuo de ativos é crucial para a eficiência operacional e segurança na indústria pesada. Este trabalho investiga a aplicação de técnicas avançadas de monitoramento termográfico e inteligência artificial (IA) para a detecção e tratamento preditivo de anomalias em ativos refratários de aciarias. O estudo de caso foi realizado na Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), focando em painéis de aço líquido, distribuidores de lingotamento contínuo e forno elétrico a arco. A metodologia envolveu a implementação de um sistema piloto utilizando a câmera termográfica FLIR T865 e softwares de análise integrados em nuvem, com o objetivo de aumentar a campanha dos ativos e a assertividade na tomada de decisões. Os resultados demonstraram uma redução de 21% na ocorrência de falhas refratárias críticas e um aumento médio de 3 corridas por panela, representando uma expansão de até 18% na vida útil do equipamento. Adicionalmente, a intervenção preditiva evitou um potencial acidente e gerou uma economia direta de R\$ 184 mil em três meses. Conclui-se que a fusão entre termografia e IA transforma o refratário em um vetor de dados e decisão, elevando a gestão de ativos a um patamar de maior resiliência, segurança e sustentabilidade, alinhando a aciaria ao conceito de smart plant.

Palavras-chave: Termografia. Inteligência Artificial. Refratários. Manutenção Preditiva. Aciaria.

Introdução

O monitoramento de ativos é uma ferramenta essencial para garantir a eficiência operacional, a segurança dos colaboradores, dos equipamentos e a garantia da qualidade dos materiais produzidos e vem se destacando em diversos setores (Almeida e Bastos, 2021). Este trabalho é fundamental na averiguação das técnicas de monitoramento contínuo de ativos, identificação de anomalias e plano de ação para

¹ Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia (UFF), docente do UGb-FERP.

² Mestre em Engenharia Mecânica (UNESP), docente do UGb-FERP.

³ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGb-FERP.

tratá-las levando em consideração a importância desse sistema de monitoramento e sua eficácia para redução dos riscos de acidentes e desclassificação do material fabricado (Cardoso e Rodrigues, 2022)

O software e o equipamento de monitoramento serão aplicados para toda frota de painéis de aço líquido, distribuidores de lingotamento contínuo e forno elétrico a arco da aciaria de aços longos da Companhia Siderúrgica Nacional, com o objetivo de evitar acidentes com os equipamentos que fazem a fusão da sucata metálica e o transporte do metal líquido até a confecção dos tarugos.

Aumento da campanha (números de corridas) dos ativos e a assertividade na tomada de decisões visando o aumento da campanha dos equipamentos, aumento na produção, qualidade da produção e segurança do processo buscando localizar pontos de sobreaquecimento nos componentes inspecionados e definir a melhor solução para resolver as anomalias encontradas e entregar um produto de excelência aos clientes (Castro, 2020).

Foi agendada e realizada visitas técnicas do fabricante do equipamento para realizar os testes necessários e explicar tecnicamente o funcionamento do equipamento e do software para a gerência com intuito de justificar a compra do equipamento com melhor indicação para aplicação na área do forno elétrico, lingotamento contínuo e preparação de painéis.

Metodologia

O presente artigo trata de uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem qualitativa com objetivo de caráter explicativo e descritivo, o estudo de caso é baseado em análise de temperatura elevada com câmera termográfica modelo: FLIR T865 em painéis, distribuidores e forno elétrico a arco, todos de aço revestido com refratário em uma siderúrgica.

1 Estudo de Caso

O estudo de caso foi conduzido na aciaria de aços longos da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), uma das principais referências em produção de aço integrado no Brasil. O ambiente de trabalho é caracterizado pela alta temperatura e criticidade operacional, envolvendo a fusão de sucata metálica e o transporte de metal líquido.

Os principais ativos monitorados, que constituem o maquinário central da área, são:

- Painelas de Aço Líquido: Utilizadas para o transporte do metal líquido.
- Distribuidores de Lingotamento Contínuo: Equipamentos essenciais no processo de confecção dos tarugos.
- Forno Elétrico a Arco (FEA): Responsável pela fusão da sucata metálica.

Todos esses equipamentos são revestidos internamente com material refratário, cuja integridade é vital para a segurança do processo e a qualidade do produto final.

2 Etapa do Procedimento

O principal problema identificado na área é o risco de falhas estruturais e colapso do revestimento refratário dos ativos, o que pode levar a acidentes graves, interrupções não programadas na produção e desclassificação do material fabricado. O desgaste refratário, muitas vezes assintomático ao exame visual, representa um risco iminente de vazamento de metal líquido.



Fonte: Autoria própria

A justificativa para a implementação do monitoramento é dupla:

3 Segurança e Operacional: Evitar acidentes com os equipamentos e garantir a segurança dos colaboradores, mitigando o risco de colapso térmico iminente.

4 Econômica e Produtiva: Aumentar a campanha (número de corridas) dos ativos, otimizar a tomada de decisões de manutenção e, conseqüentemente, elevar a produção e a qualidade, buscando a longevidade dos equipamentos e a redução de custos com intervenções corretivas emergenciais.

2.1 Metodologia de Análise

A metodologia adotada consistiu na implementação de um sistema piloto de monitoramento termográfico preditivo, utilizando a fusão de tecnologia de imagem térmica e inteligência artificial (IA).

2.2 Análise Técnica Preliminar

A etapa inicial envolveu uma análise técnica detalhada da área e dos ativos. Foi agendada e realizada uma visita técnica do fabricante do equipamento para:

- Realizar os testes necessários e demonstrar o funcionamento do equipamento e do software.
- Explicar tecnicamente a aplicação da solução para a gerência, justificando a compra do equipamento mais adequado para a aplicação nas áreas do FEA, lingotamento contínuo e preparação de painéis.
- Definir os parâmetros iniciais de inspeção e as zonas críticas de monitoramento.

2.2 Análise Técnica Preliminar

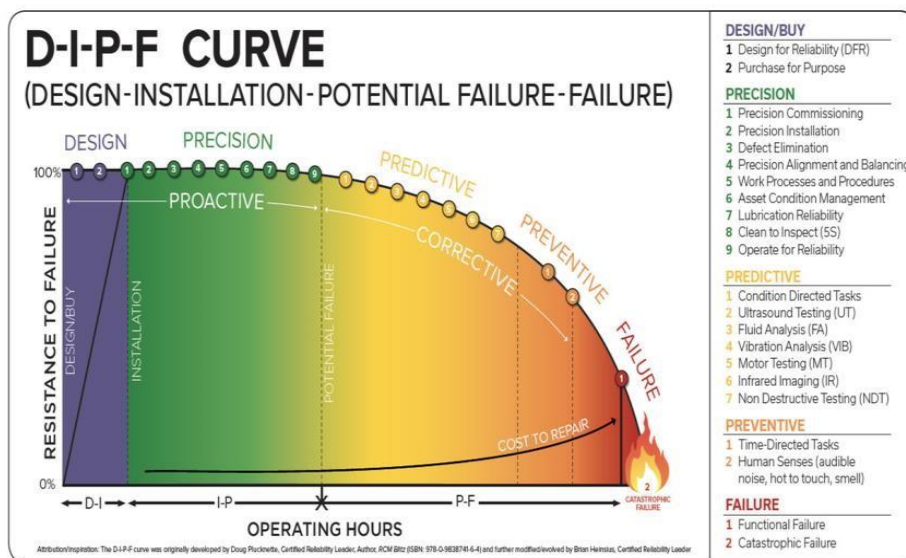
A etapa inicial envolveu uma análise técnica detalhada da área e dos ativos. Foi agendada e realizada uma visita técnica do fabricante do equipamento para:

- Realizar os testes necessários e demonstrar o funcionamento do equipamento e do software.
- Explicar tecnicamente a aplicação da solução para a gerência, justificando a compra do equipamento mais adequado para a aplicação nas áreas do FEA, lingotamento contínuo e preparação de painéis.
- Definir os parâmetros iniciais de inspeção e as zonas críticas de monitoramento.

2.3 Método da Termografia

O método central de monitoramento é a termografia infravermelha. A técnica consiste em capturar em tempo real o comportamento térmico da superfície externa dos ativos refratários. A partir da distribuição de calor na superfície, é possível inferir a integridade interna do revestimento, detectando microvariações de temperatura que indicam perda de espessura refratária ou infiltrações.

O equipamento utilizado no sistema piloto foi a câmera FLIR T865, associada ao software Thermal Studio Pro e ao sistema de roteirização Route Creator, integrados em nuvem via Ignite Cloud.

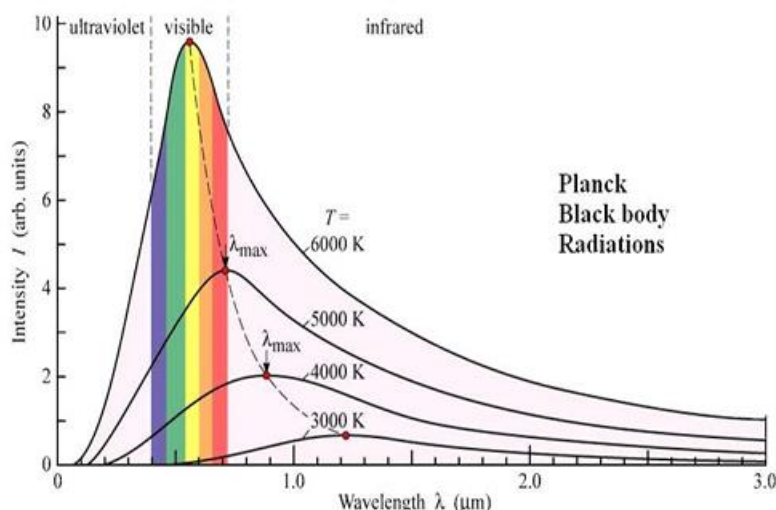


Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

Lei de Planck (MAX PLANCK)

Todo corpo acima do zero absoluto emite radiação infravermelha, a lei de Planck descreve a curva de distribuição da energia emitida por um corpo teórico chamado corpo negro.

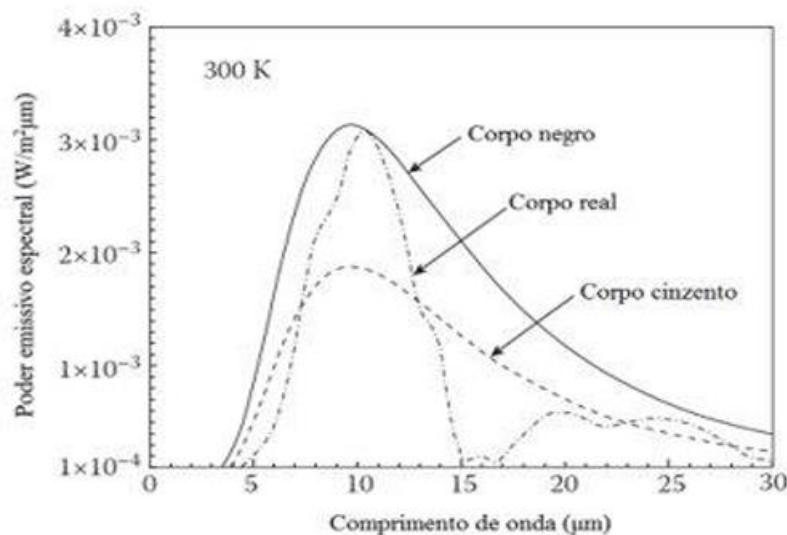
$$B_v(v, T) = \frac{2hv^3}{c^2} X \frac{1}{\exp\left(\frac{hv}{kBT}\right) - 1}$$



Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

Lei da emissão de radiação de um corpo Negro-Stephan Boltzman.

Energia total emitida por unidade de área superficial de um corpo negro na unidade de tempo é diretamente proporcional a quarta potência da sua temperatura.

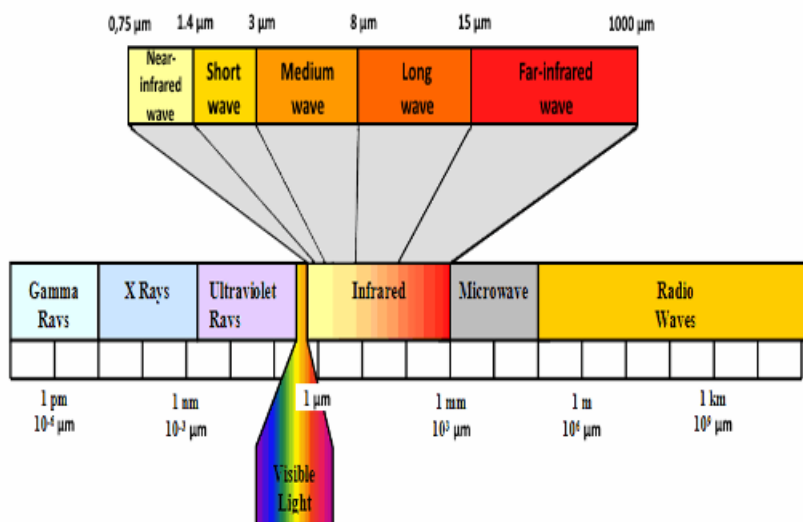


$$P = \sigma \cdot T^4 \cdot A,$$

Onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$,

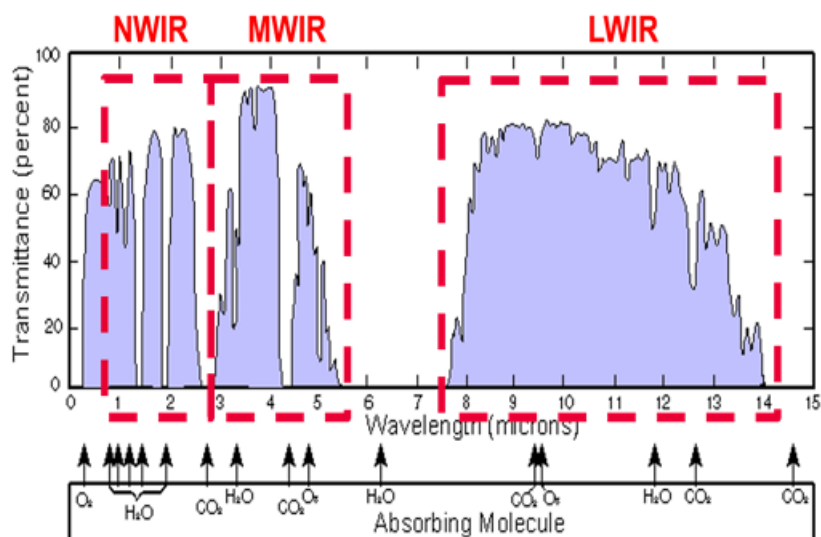
Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

O espectro eletromagnético é dividido nas seguintes faixas:



Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

O infravermelho é dividido entre NWIR, MWIR e LWIR.
Devido aos picos de transmitância da atmosfera.

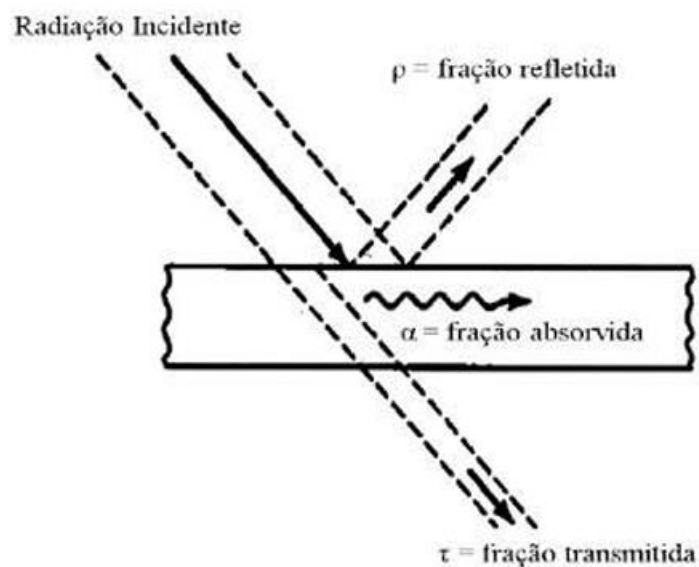


Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

Para um corpo que emite e absorve radiação térmica, em equilíbrio termodinâmico, a sua emissividade é igual a absorvidade.

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

O somatório da emissividade, refletividade e transmissividade é igual a 1.



Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

Equipamentos:

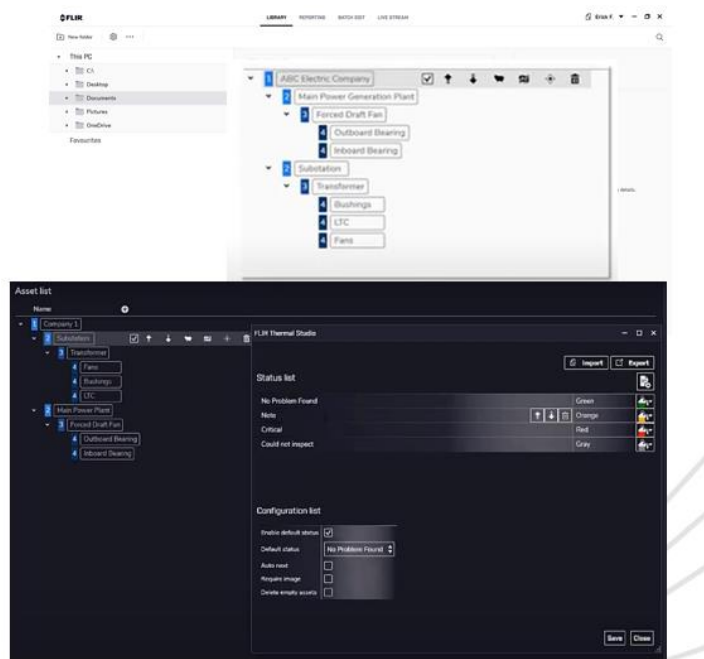
Teledyne Flir série Txx, modelo: T865;

- Resolução 640x480;
- Lente DFOV 24+14°;
- Inspection Route;
- Faixas de temperatura: -20 to 120°C (-4 to 248°F) 0 to 650°C (32 to 1202°F) 300 to 2000°C (572 to 2732 °F).



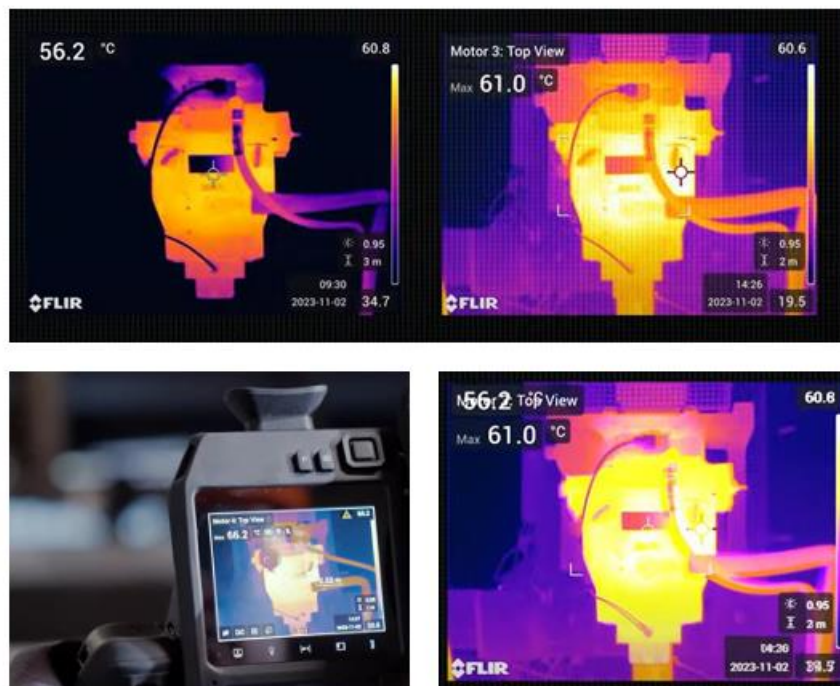
Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

- Software: Thermal Studio Pro e Route Creator e Ignite Cloud;
- Árvore sites e ativos
- Critérios de severidade;
- Rota pré-definida;
- Status da inspeção;
- Histórico dos ativos;
- Relatório das inspeções. Método da Termografia - Monitoramento de ativos e IA para detecção e classificação de anomalias Monitoramento de ativos e IA



Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

- Software: Inspection Route;
- Repetibilidade;
- Edição da rota direto na câmera;
- Status da inspeção;
- Perfil para cada inspetor;
 - Possibilita um inspetor mesmo que seja inexperiente possa realizar a atividade com grande qualidade;
- Histórico dos ativos.



Fonte: <https://reliabilityweb.com/>

Resultados e Discussão

1 - A análise histórica permitiu a construção de curvas térmicas por panela e por zona, revelando tendências ocultas de degradação acelerada. Ao longo de três meses de testes, a equipe de engenharia identificou uma redução de 21% na ocorrência de falhas refratárias críticas, e uma ampliação média de 3 corridas por panela, sem comprometer a segurança. A análise longitudinal dos dados termográficos permite a predição estatística de risco térmico, elevando o nível da gestão de ativos.

2 - O monitoramento refratário também afeta de forma positiva os indicadores de segurança do trabalho. A eliminação de falhas abruptas e de vazamentos por colapso refratário reduziu significativamente os riscos de acidentes térmicos. A confiabilidade dos dados transmitidos pelo sistema termográfico transforma a tomada de decisão em ato técnico e não intuitivo, o que empodera a gestão de riscos e a cultura de segurança.

3 - A economia direta com refratários foi estimada em R\$ 184 mil ao longo do trimestre, apenas com a postergação controlada da troca de revestimento. A sustentabilidade da operação siderúrgica contemporânea depende da intervenção tecnológica inteligente sobre os insumos críticos.

Considerações Finais

O estudo de caso demonstra que a implementação de um sistema de monitoramento termográfico e inteligência artificial em ativos refratários de aciarias representa um ponto de inflexão na engenharia de confiabilidade. A interface entre sensores, algoritmos e conhecimento técnico gera um ecossistema industrial mais ágil, resiliente e produtivo. A tomada de decisão passa a ser baseada em evidências visuais, térmicas e estatísticas, reduzindo o viés operacional e democratizando o acesso à informação.

A transformação digital dos refratários contribui diretamente para a sustentabilidade industrial, ao reduzir o consumo de recursos, ampliar a vida útil dos ativos e evitar descartes prematuros. Ao mesmo tempo, melhora os indicadores de saúde e segurança e insere a aciaria no rol de operações inteligentes (smart plants), capazes de responder rapidamente a estímulos externos com base em dados internos de alta precisão.

Referências

ALMEIDA, J. S.; BASTOS, M. E. Avaliação da performance de refratários em ambientes siderúrgicos agressivos. *Revista Brasileira de Engenharia Industrial*, v. 33, n. 2, p. 45–59, 2021.

CARDOSO, F. M.; SANTANA, E. P.; RODRIGUES, T. A. Planejamento de manutenção em ativos térmicos críticos: uma abordagem com base em dados térmicos. *Revista Engenharia e Inovação*, v. 18, n. 4, p. 121–134, 2022.

CASTRO, D. F. **O papel dos refratários na confiabilidade operacional da aciaria moderna.** *Revista Brasileira de Siderurgia*, v. 28, n. 1, p. 21–34, 2020.

O'HANLON, Terrence. **Reliabilityweb**. Disponível em: <<https://reliabilityweb.com/>>. Acesso em: 23 ago. 2025.