

# **IDENTIFICAÇÃO DO DESGATE DO REVESTIMENTO DE TUBULAÇÕES POLPA DE MINÉRIO A PARTIR DE SENSORES SEM FIO**

**Danilo de Souza Braga (Dynamox) – danilo@dynamox.net**

**Thiago Barrosa Costa (Dynamox) – thiago.costa@dynamox.net**

**Roberto Figueiredo (VALE) – roberto.figueiredo@vale.com**

**Rodolfo Guimarães (VALE) – rodolfo.guimaraes@vale.com**

## **Resumo**

As tubulações industriais são componentes indispensáveis na operação de usinas, ocupando uma posição central no processo de produção. A boa manutenção desses sistemas impacta na segurança e eficiência do transporte de materiais dentro da planta. Com objetivo de aprimorar esses aspectos, a Dynamox investiu em um estudo para monitorar as condições dos revestimentos internos das tubulações de células de flotação localizadas na usina Conceição II da Vale em Itabira/MG. O presente artigo busca analisar as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos com a implementação do projeto. Os resultados indicaram um aumento nos níveis de vibração e temperatura quando a tubulação estava sem revestimento ou com revestimento faltante, indicando que a metodologia e os recursos usados para realizar a análise foram eficazes.

Palavras-chave: Tubulações, Manutenção Preditiva, Confiabilidade.

## **1. Introdução**

Em ambientes industriais de alta produção, como na usina de Conceição II da Vale, localizada em Itabira/MG, o desgaste das tubulações das células de flotação é um desafio crítico para a manutenção e a operação eficiente. Essas tubulações, responsáveis pelo transporte de fluidos corrosivos ou submetidos a altas temperaturas e pressões, frequentemente contam com

revestimentos internos que atuam como barreiras protetoras, preservando a estrutura do equipamento.

No entanto, o desgaste natural desses revestimentos ao longo do tempo pode levar ao desprendimento de fragmentos, ocasionando obstruções e comprometendo a operação. Além disso, em algumas seções específicas da usina de Conceição II, optou-se pela ausência de revestimento interno nas tubulações como parte de uma estratégia de manutenção focada na redução de custos, sem comprometer a eficiência operacional.

Diante dessas condições, o monitoramento contínuo das tubulações tornou-se indispensável para assegurar a integridade, a segurança e a eficiência da planta. Esse monitoramento permite identificar variações de comportamento e antecipar falhas antes que estas causem interrupções ou prejuízos no processo produtivo.

Para enfrentar esse desafio, a Dynamox iniciou um estudo em parceria com a Vale. O objetivo do projeto foi implementar uma solução de monitoramento baseada em dados de vibração e temperatura, voltada à análise da condição das tubulações e do desgaste dos revestimentos internos.

Este trabalho detalha as etapas de implementação e execução do projeto na usina de Conceição II, apresentando os resultados alcançados. Além disso, destaca os benefícios gerados pela aplicação da tecnologia de monitoramento, como o aumento da segurança, a redução de custos operacionais e a melhoria da produtividade da planta.

## **2. Projeto e implementação**

### **2.1. Cenários de Testes e instalação**

A primeira fase do projeto consistiu na definição do cenário de testes para realização do estudo e definição do escopo.

Inicialmente, a investigação considerou que a presença/ausência de revestimento interno da tubulação ou a variação da sua espessura são parâmetros estruturais detectáveis através da análise de sinais de vibração e temperatura. Assim, essa hipótese levou em consideração que poderia haver alguma alteração na dinâmica do fluxo, o que poderia ser visto em determinadas bandas de frequência do sinal de vibração, ou ainda a elevação do nível de temperatura em função do atrito entre a superfície e o fluido escoado.

O conjunto de tubulações da sucção e do recalque da bomba de polpa para flotação BP1430CN-18 foram selecionados para serem monitorados neste estudo. Na Figura 1 é possível observar a bomba em questão, bem como uma parte do conjunto de tubulações de recalque.

Figura 1 – Bomba BP1430CN-18 e tubulações inferiores de recalque



Fonte: Autoria própria

Foram instalados 26 sensores de vibração e temperatura ao longo da tubulação da bomba, desde a sucção até a entrada da flotação, totalizando 17 segmentos de tubulação mista, ou seja, com trechos revestidos e não revestidos. Os dados medidos pelos sensores foram coletados através de 2 coletores automatizados, instalados na planta.

A Figura 2 apresenta um trecho de tubos com sensores instalados, onde é possível observar a instalação de sensores na entrada e na saída dos tubos mais longos.

Figura 2 – Sensores DynaLoggers do modelo TcAg instalados em trechos de tubulação de recalque



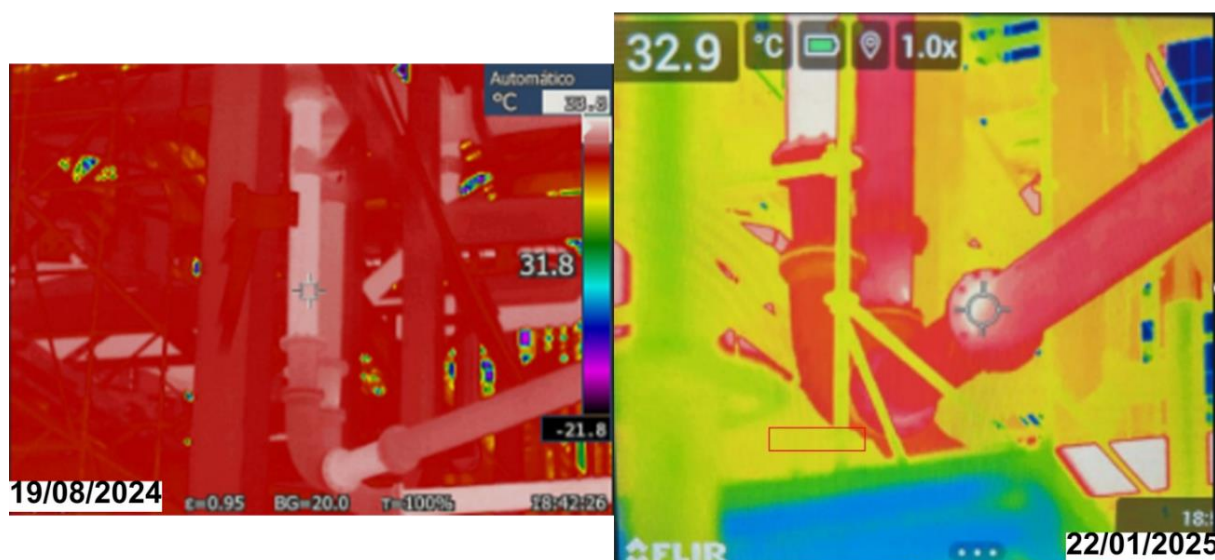
Fonte: Autoria própria

Para parte de investigação, o projeto focou na avaliação de métricas de vibração e temperatura em diferentes trechos de tubulações em conjunto com inspeções termográficas e validações de campo.

### 3. Análises

Após a instalação do sistema de monitoramento, os dados de vibração e temperatura foram coletados durante 45 dias, para viabilizar as análises. Além da coleta de dados mediante o sensoriamento e monitoramento das tubulações, foram realizadas inspeções com o uso de equipamentos de termografia para fins de comparação. A Figura 3 ilustra dois registros realizados nos mesmos trechos de tubulações em períodos distintos.

Figura 3 – Imagens de termografia registradas em parte das tubulações inferiores de recalque



Fonte: Autoria própria

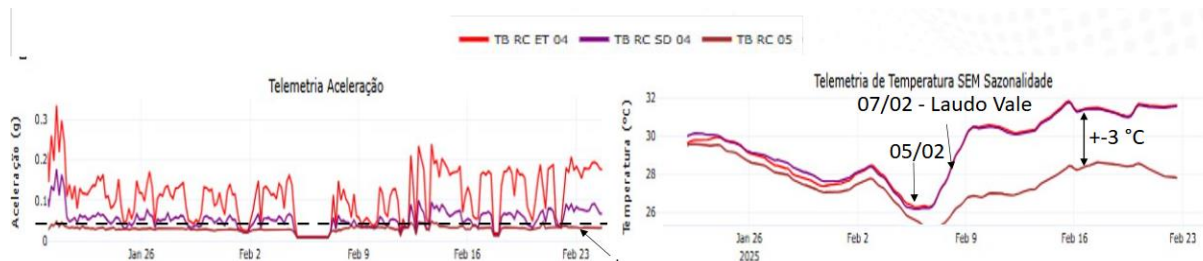
#### 2.2.1. Análise do Recalque 1

Finalizado o período de coleta de dados, iniciou-se a etapa de análises e, para isso, foram selecionados como fonte de estudo os dados de telemetria em aceleração e temperatura, com o objetivo de identificar indícios de anomalias nos gráficos de tendências.

Como observado na Figura 4, no dia 5 de fevereiro ocorreu uma elevação nas métricas de temperatura referentes ao tubo 4, localizado no recalque 1, onde a variação observada ficou em torno de 3°C. Além disso, a mudança de comportamento foi observada tanto na entrada quanto na saída a tubulação.

Figura 4 - Gráficos de telemetria de aceleração (esquerda) e gráficos de temperatura sem sazonalidade (direita).

Ambos para análise do recalque 2



Fonte: Autoria própria

Para validar o comportamento observado, foi realizada uma inspeção com equipamento termográfico no dia 07 de fevereiro, apenas dois dias após a identificação da anomalia pelos dados de telemetria.

Após a inspeção realizada pelo time e, comparando com o relatório (Figuras 5 e 6) emitido pela análise termográfica, foi possível confirmar a capacidade de detecção do evento falha através da solução de monitoramento sem fio. Ainda de acordo com o relatório de termografia, o evento trata-se de uma "ruptura/desprendimento do revestimento", sendo orientada a "substituição com urgência".

Figura 5 - Relatório de ensaio termográfico realizado pelo time da Vale Itabira

RELATÓRIO DE ENSAIO TERMOGRÁFICO				
DADOS GERAIS REFERENTES AO EQUIPAMENTO/COMPONENTE				
Data: 07/02/2025	Nº da Rota: -	OM: 202500309042	ART.: ART 12907	Analista Responsável: Paloma Zeferino/Wolber Silva
Mina/Site: Mina de Conceição	Planta/Área: DESLAMAGEM CE2		Equipamento: Tubulação	
TAG Equipamento: BP_1430CN18	Componente (Descrição): Tubulações, curvas, "Tee's", "Cachimbo" etc.		Local de Instalação: USINA CEII	
Metal Base: -	Metal de Adição: N.A.	Condição Superficial Bruta	Temperatura: Ambiente	
4 – ORIENTAÇÕES E RECOMENDAÇÕES:				
4.1 – Identificado um carretel com ruptura/desprendimento do revestimento no recalque da Bomba de Polpa BP_1430CN18.				
4.2 – Necessário realizar substituição com urgência para eliminar o risco de vazamentos, rompimento da tubulação e baixa vazão das bombas.				

Fonte: Autoria própria

Figura 6 – Imagem de registro termográfico coletado no Recalque 1 – Tubo 4 e anexado ao relatório de preditiva realizado pelo time da Vale Itabira.

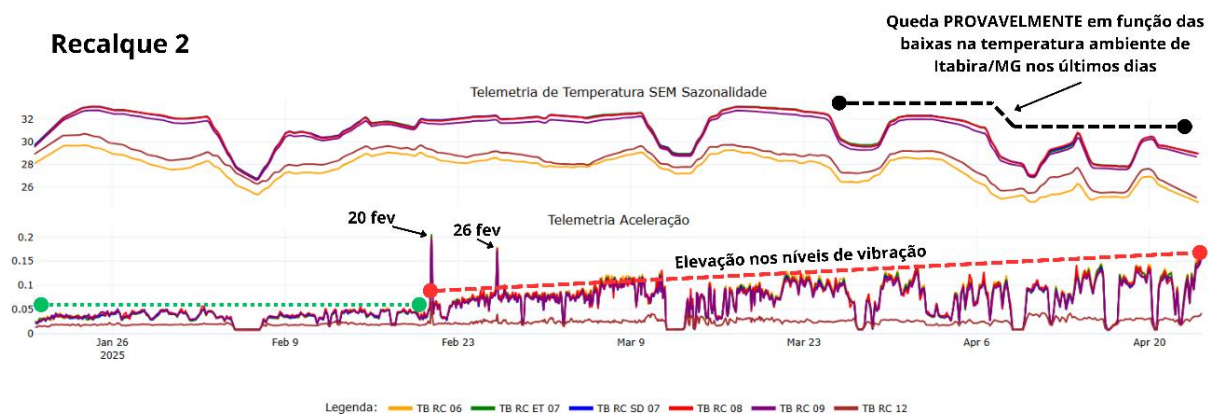


Fonte: Autoria própria

### 2.2.1 Análise do Recalque 2 e 3

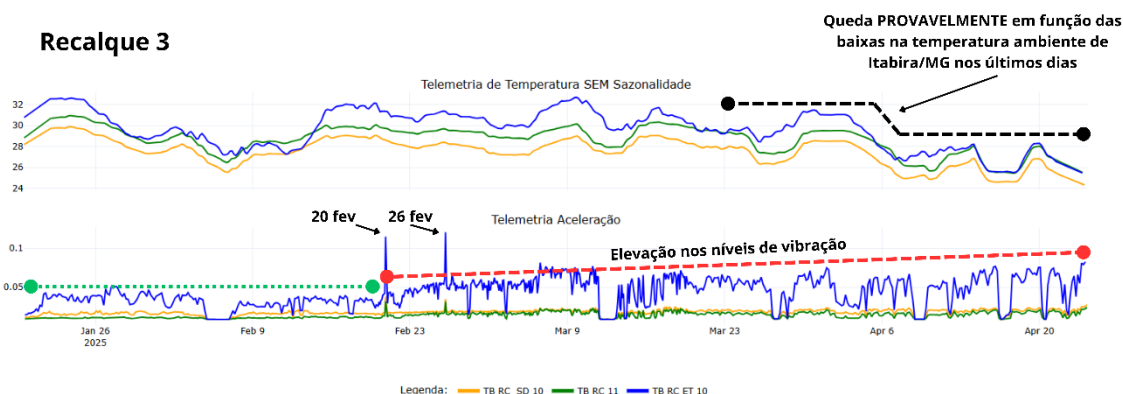
As mesmas análises foram realizadas para as tubulações dos recalques 2 e 3, conforme observamos nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Gráfico mostra dados de temperatura e aceleração entre janeiro e abril do Recalque 2, com destaque para elevação nos níveis de vibração e baixa na temperatura



Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Gráfico mostra dados de temperatura e aceleração entre janeiro e abril do Recalque 3, com destaque para elevação nos níveis de vibração e baixa na temperatura



Fonte: Autoria própria

Ao analisar os dados, é possível notar uma elevação considerável nos níveis de vibração a partir do dia 20 de fevereiro, data que coincide com a ação de um pico anormal. Ainda em 26 de fevereiro, alguns dias após a primeira elevação, também foi observado um pico de alta energia. Por se tratar de um projeto pioneiro e sem histórico de dados, a origem desses fenômenos (elevação gradativa e picos pontuais) está sendo analisada e monitorada de perto pelas equipes da Dynamox e Vale. O objetivo é compreender se estão associados a alterações em variáveis de processo, como vazão, pressão, densidade e outros, ou se existe a possibilidade de terem ocorrido em função de desprendimento de revestimento interno da tubulação. Ou ainda, que parte do revestimento desprendido do Tubo 04 (Recalque 1), prendendo-se em algum trecho do Recalque 2.

Consequentemente, isso poderia estar causando uma obstrução parcial ao material, o que, por sua vez, estaria influenciando diretamente em mudanças na dinâmica do escoamento do fluido, levando à aumento de energia de vibração devido à geração de regime turbulento.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O projeto desenvolvido na usina Conceição II reafirma o compromisso da Dynamox com a inovação e a busca contínua por soluções que garantam a confiabilidade e a eficiência operacional. Por meio da parceria com a Vale, foi possível implementar uma abordagem pioneira de monitoramento das condições de revestimento interno das tubulações, utilizando dados de vibração e temperatura para antecipar potenciais falhas.



Os resultados obtidos até o momento reforçam a eficácia da metodologia aplicada, uma vez que foi possível detectar precocemente alterações na dinâmica das tubulações. Evidenciando, assim o potencial do monitoramento contínuo como uma ferramenta estratégica, e demonstrando seu impacto direto na segurança, na redução de custos e no aumento da produtividade.

Esse trabalho reflete a capacidade da Dynamox de integrar tecnologia de ponta a operações diversas e solidifica sua posição como referência em inovação no setor tecnológico.

## REFERÊNCIAS

YASSIN, Mohammad Hany et al. *Fiber Bragg grating (FBG)-based sensors: a review of technology and recent applications in structural health monitoring (SHM) of civil engineering structures*. Discover Civil Engineering, [S. l.], v. 1, art. 151, 2024. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s44290-024-00141-4>>. Acesso em: 8 maio 2025.