



Artigo

Gerenciamento de indicadores de manutenção em bombas centrífugas de sistemas de injeção de água em uma indústria de petróleo e gás

Fabrizio JN Cavalcante^[1], Pedro Batista de Oliveira Junior^[2] e Gabriel Moura Araújo^[3]

^[1] Universidade Federal do Semi-árido; fabriziocavalcante@ufersa.edu.br

^[2] Universidade Federal do Semi-árido; pedrotabuleiro@hotmail.com

^[3] Universidade Federal do Semi-árido; gabriel.araujo54158@alunos.ufersa.edu.br

Recebido: 27/04/2024;

Aceito: 27/12/2024;

Publicado: 28/12/2024.

Resumo: A indústria petrolífera é composta por diversos tipos de equipamentos, destacando-se as bombas centrífugas de múltiplos estágios devido à sua relevância nos processos onshore de produção de petróleo. Este trabalho tem como objetivo criar um ambiente integrado de gerenciamento desses equipamentos, facilitando a gestão à vista e a tomada de decisões. Utilizando monitoramento remoto e gestão por meio do Power BI®, foram desenvolvidos dashboards para gerenciar os seguintes parâmetros: Disponibilidade acumulada (%), Tempo de operação/paradas x bomba, MTBF acumulado por bomba (%), MTTR acumulado por bomba (%), horas e quantidade de paradas por bomba, ficha técnica dos equipamentos e fluxograma interativo das áreas. Os resultados evidenciam a eficácia do gerenciamento proposto em melhorar o controle de manutenções e a tomada de decisões.

Palavras chave: Manutenção, indicadores, Bombas, Gerenciamento.

Abstract: The oil industry is made up of various types of equipment, with multi-stage centrifugal pumps standing out due to their importance in onshore oil production processes. The aim of this work is to create an integrated management environment for this equipment, facilitating visual management and decision-making. Using remote monitoring and management through Power BI®, dashboards were developed to manage the following parameters: Accumulated availability (%), Operating time/stoppages x pump, Accumulated MTBF per pump (%), Accumulated MTTR per pump (%), Hours and number of stoppages per pump, Equipment technical data sheet and Interactive flowchart of the areas. The results show that the proposed management system is effective in improving maintenance control and decision-making.

Key-words: Maintenance, Indicators, Pumps, Management.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás desempenha um papel crucial na economia global, dividindo-se em operações onshore e offshore. O segmento onshore, embora tecnologicamente menos complexo, apresenta desafios significativos relacionados à exploração, produção e manutenção de equipamentos essenciais, como bombas centrífugas de múltiplos estágios. Esses equipamentos são fundamentais no processo de injeção de água nos poços, uma prática comum para manter a pressão do reservatório e otimizar a extração de óleo.

Trabalhos anteriores destacam a importância da utilização de tecnologias digitais para o monitoramento e a gestão de manutenções, como os estudos de [3] sobre Business Intelligence aplicado à manutenção e [1] no controle de sistemas produtivos. Contudo, poucos estudos abordam a integração de dashboards interativos em contextos industriais. Este artigo visa preencher essa lacuna ao descrever a implantação de um sistema de monitoramento remoto e de gestão com o uso de softwares como Power BI e Excel, aplicado às bombas centrífugas em sistemas de injeção de água (Figura 1).

Nos últimos anos, a aplicação de ferramentas digitais em processos industriais tem demonstrado resultados promissores, aumentando a eficiência operacional e promovendo decisões baseadas em dados. No contexto de bombas centrífugas, tais ferramentas permitem não apenas monitorar o desempenho em tempo real, mas

também antecipar falhas e otimizar os recursos disponíveis. Esse avanço tecnológico reflete uma tendência crescente de digitalização na indústria, que se torna cada vez mais necessária para atender às demandas de competitividade e sustentabilidade.

Além disso, a utilização de indicadores de desempenho, como MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair) e disponibilidade, desempenha um papel essencial na avaliação da confiabilidade e eficiência dos ativos. A integração desses indicadores em plataformas visuais, como dashboards, fornece uma visão holística e acessível para equipes técnicas e gerenciais, permitindo ações corretivas rápidas e a implementação de melhorias contínuas nos processos de manutenção.

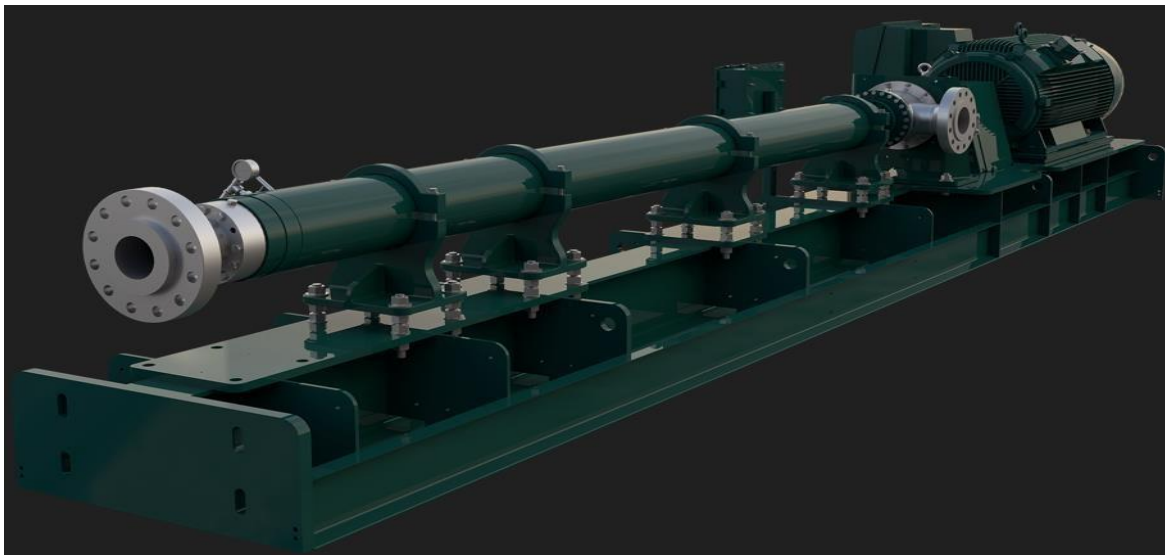


Figura 1 - Bomba centrífuga – Baker Hughes - MODELO 538PMXSSD-59FLEX47 (59 estágios)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo utilizou softwares como Microsoft Power BI® e Microsoft Excel® para a criação de painéis de controle e bancos de dados, respectivamente. Inicialmente, os ativos foram cadastrados no sistema, incluindo informações detalhadas sobre os equipamentos, como características técnicas e históricos de manutenção. Planos de manutenção preventiva foram gerados automaticamente pelo sistema, com base nas estratégias definidas para cada bomba centrífuga.

O software de monitoramento desempenhou um papel crucial no acompanhamento em tempo real das condições operacionais das bombas, registrando dados como pressão, vazão, temperatura e status operacional. Esses dados foram integrados aos dashboards desenvolvidos no Power BI, permitindo uma análise visual detalhada de indicadores-chave de desempenho (Figura 2).

Os indicadores de confiabilidade utilizados neste estudo incluem [4]:

- Disponibilidade: Representa a capacidade dos equipamentos de operar sem interrupções não programadas. É calculada com base no tempo total disponível e no tempo em que o equipamento esteve operacional.

- MTBF (Mean Time Between Failures): Mede o tempo médio entre falhas, um indicador essencial para avaliar a confiabilidade dos equipamentos. Calculado pela divisão do tempo total de operação pelo número de falhas registradas.

- MTTR (Mean Time To Repair): Indica o tempo médio necessário para reparar os equipamentos após uma falha, considerando o tempo de detecção, resposta e reparo efetivo. É calculado pela soma do tempo de reparos dividido pelo número de intervenções realizadas.

Além disso, os dashboards apresentaram análises gráficas que facilitaram a identificação de tendências, pontos de melhoria e decisões baseadas em dados para otimizar o desempenho dos ativos.

2.1. Bombas centrífugas – Sistema de injeção de água dos poços de Petróleo

| Descrição completa da bomba centrífuga | Processo produtivo | PRESSÃO SUÇÃO Kgf/cm2 | PRESSÃO DESCARGA Kgf/cm2 | VAZÃO NOMINAL m3/dia | ROTAÇÃO RPM | Potência (CV) | RPM Motor elétrico | TENSÃO (V) | Tempo trabalho mensal (h) |
|--|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|------------|---------------------------|
| BOMBA CENTRIFUGA BAKER HUGHES MODELO 538PMXSHD-78P37 | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 120 | 600 | 3575 | 200 | 3575 | 440 | 720 |
| BOMBA CENTRIFUGA BAKER HUGHES MODELO 538PMXSSD-59FLEX47 | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 100 | 800 | 3575 | 200 | 3575 | 440 | 720 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC-50/220 11S | Injeção de água nos poços petróleo | 2,45 | 98,07 | 1200 | 3570 | 350 | 3570 | 440 | 720 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC-50/220 14S | Injeção de água nos poços petróleo | 2 | 125 | 960 | 3565 | 350 | 3565 | 440 | 720 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC 80-260 7S | Injeção de água nos poços petróleo | 2 | 125 | 960 | 3565 | 350 | 3575 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC 80-260 7S | Injeção de água nos poços petróleo | 2 | 125 | 960 | 3565 | 350 | 3575 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC 80-260 7S | Injeção de água nos poços petróleo | 2 | 125 | 960 | 3565 | 350 | 3575 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA SULZER MODELO MC 80-260 7S | Injeção de água nos poços petróleo | 2 | 125 | 960 | 3565 | 350 | 3575 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BAKER HUGHES MODELO 538PMXSSD-59FLEX47 | Injeção de água nos poços petróleo | 5 | 100 | 800 | 3575 | 200 | 3580 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BAKER HUGHES MODELO 538PMXSSD-54P47 | Injeção de água nos poços petróleo | 5 | 100 | 480 | 3575 | 200 | 3580 | 440 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BH MOD HPHARCMARC-2X35HC2000 HDTC HTC 3.X | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 210 | 2100 | 3585 | 950 | 3585 | 4160 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BH MOD 675 HPHVMARC 3X24 HC 10000 ARC | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 210 | 1700 | 3585 | 750 | 3585 | 4160 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BH MOD 675 HPHVMARC 3X24 HC 10000 ARC | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 210 | 1700 | 3585 | 900 | 3585 | 4160 | 360 |
| BOMBA CENTRIFUGA BH MOD HPHARCMARC-2X35HC2000 HDTC HTC 3.X | Injeção de água nos poços petróleo | 4 | 210 | 2100 | 3585 | 950 | 3585 | 4160 | 360 |
| BOMBA BCP NETZSCH MODELO 8NE100A | Injeção de água nos poços petróleo | 3 | 150 | 900 | 3600 | 750 | 3600 | 440 | 360 |
| BOMBA BCP NETZSCH MODELO 8NE100A | Injeção de água nos poços petróleo | 3 | 150 | 900 | 3600 | 750 | 3600 | 440 | 360 |

Figura 2 – Relação de bombas de injeção de água

2.2. Planos de manutenção e Lista de tarefas aplicado a gestão da manutenção das bombas

A partir da criação do ativo (bomba), gera-se o plano de manutenção do equipamento com lista de tarefas criadas associadas ao ativo, é estabelecido a estratégia de manutenção e é realizada a programação já pré-estabelecida no software de manutenção, gerado automaticamente as ordens de manutenção preventiva [5-6], Figura 3 e 4.

Ações de MP

| Nº MP | R... | Site... | Tip... | ID Objeto | Pertence | Status | Descrição do Objeto | Resumo Modelo Tarefa |
|-------|------|---------|--------|-----------------|--------------|--------|-------------------------------|--|
| 11446 | 3 | 0104 | EQ... | 10650060-B26602 | B-3478.01004 | Ativo | BOMBA BCP NETZSCH MODELO 8... | 1 : MNT PREVENTIVA BCP HORIZONTAL TRIMESTRAL |
| 11445 | 3 | 0104 | EQ... | 10650060-B26602 | B-3478.01004 | Ativo | BOMBA BCP NETZSCH MODELO 8... | 1 : MNT PREVENTIVA BCP HORIZONTAL SEMESTRAL |
| 24911 | 3 | 0104 | EQ... | 10650060-B26602 | B-3478.01004 | Ativo | BOMBA BCP NETZSCH MODELO 8... | 1 : COLETA SEMANAL DE PARAMETROS EM BOMBAS N |

Figura 3 – Exemplo de planos de manutenção das bombas centrífugas

Ação de MP - 35893 09502500208-C65023H MP - 1 (6) #

Nº MP: 35893 Revisão: 5 Ação: MP Descrição Ação: MANUTENCAO PREVENTIVA Status: Ativo

Info Especifica do Objeto
 Tipo Vínculo: EQUIPAMENTO Site do Objeto: 0104
 ID Objeto: 09502500208-C65023 BOMBA CENTRIFUGA BAKER HU

Info Especifica OS
 Site OS: 0104 Status Operacional: N/OP
 Org. Manut.: FSO_RFQ Prioridade: 3
 Tipo Manut.: MP Hora Execução: 1,5
 Planej Por: PEJU

Plano de Manutenção
 Valor Inicial: 10/09/2023 Unidade Inicial: Dia Intervalo: 5 Unid Intervalo: Mês Tabela Geral: Sim

Válido De: 05/06/2023 Válido Até:
 ID Calendário:

Info MP
 Última Modificação: 05/06/2023
 Última Execução: 20/03/2024
 Vencimento (%): 11
 Base na Data Executada: Não
 Eliminação em (%):

Evento
 Evento: Início: Intervalo:

Possui MP
 Conexões Documentos
 Substituições Ajustes
 PIs Incompatíveis Critério
 Serviço Crítico Requisições
 Modelos de Operação de OS Obsoletos

Figura 4 (a) - Programação dos planos de manutenção

Ação de MP - 35893 09502500208-C65023H MP - 1 (6) #

Nº MP: 35893 Revisão: 5 Ação: MP Descrição Ação: MANUTENCAO PREVENTIVA Status: Ativo

Gerar Preparar Informação do Cliente Orçamento Tarefas e Modelos Operações Plano de Manutenção Critério Permissão Lançamento Ativo L

Ordem Descrição
 1 MNT PREVENTIVA BOMBA CENTRIFUGA SEMESTRAL FSO_RFQ FSO_RACHO FOR. 0104 3 0104 1,5

Equipe do Trabalho Recursos Materiais Planejamento

Ordem Descrição
 10 ENTRAR EM CONTATO COM O CLIENTE
 20 COM EQUIPAMENTO EM OPERAÇÃO REALIZAR AS ATIVIDADES LISTADAS ABAIXO
 30 VERIFICAR PRESSÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE DO MANCAL DA CÂMARA DE EMPUNHO DA BOMBA (CASO SE APLIQUE)
 40 VERIFICAR NÍVEL DE ÓLEO DO MANCAL DA CÂMARA DE EMPUNHO DA BOMBA (CASO SE APLIQUE)
 50 COMPLETAR NÍVEL DE ÓLEO DO RESERVATÓRIO DA CÂMARA DE EMPUNHO, CASO NECESSÁRIO (ÓLEO TURBINA EP-4E) CASO SE APLIQUE
 60 COLETAR E REGISTRAR TODOS OS PARÂMETROS DO EQUIPAMENTO (TEMPERATURA, VIBRAÇÕES E PRESSÕES); ATENTAR QUANTO A RUÍDOS ANORMAIS
 70 VERIFICAR VAZAMENTO DO SELO MECÂNICO, CASO APRESENTE VOLUME EXCESSIVO, SOLICITAR PARADA PARA REALIZAR SUBSTITUIÇÃO
 80 VERIFICAR VAZAMENTO DO SELO NA CÂMARA DE EMPUNHO, CASO HAJA VAZAMENTO EXCESSIVO, PARAR O EQUIPAMENTO PARA CORREÇÃO
 90 INSPECIONAR COLORAÇÃO DO ÓLEO NOS MANCAIS DA BOMBA DA CÂMARA DE EMPUNHO, CASO APRESENTE ANORMALIDADE, SOLICITAR PARADA PARA SUBSTITUIÇÃO (TURBINA
 100 INSPECIONAR COLORAÇÃO DO ÓLEO NOS MANCAIS DO MOTOR LAEMIA, CASO APRESENTE ANORMALIDADE, CASO NECESSÁRIO SOLICITAR ORDEN CORRETIVA (ÓLEO TURBINA EP
 110 VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE VAZAMENTO DE ÓLEO DOS MANCAIS DO MOTOR LAEMIA, CASO SE APLIQUE
 120 COMPLETAR NÍVEL DE ÓLEO DO MANCAL LAEMIA DO MOTOR ELÉTRICO, CASO NECESSÁRIO (ÓLEO TURBINA EP)

Figura 4 (b) - Lista de tarefas do plano de preventivas

2.3. Software de acompanhamento de paradas das bombas centrífugas (gerenciamento da rotina)

Para o gerenciamento da rotina dos equipamentos, utiliza-se o software para monitoramento da funcionalidade e paradas das bombas (Figura 5). Quando está na cor verde, significa que a bomba se encontra em operação, quando apresenta na cor vermelha, significa que a bomba está parada por algum motivo que pode ser: operacional, em manutenção, dentre outros, nesse momento, atua-se junto a equipe de operação para averiguar os reais motivos. Também pode-se acompanhar o desempenho da bomba (pressão, vazão, temperatura) e assim já realizar acompanhamento da performance dos equipamentos.



Figura 5 – Painel de acompanhamento de dados operacionais e paradas das bombas

2.4. Processo produtivo

Após a separação do óleo e água, a água segue para o tratamento, onde visa enquadramento em condições de injeção no reservatório. Alguns aspectos são medidos para este enquadramento como TOG (teor de óleo e Graxas) e TSS (teor de sólido suspenso), existem outros também como concentração de Bacterias, Oxigênio, H2S.

Para chegar em condições de injeção a água produzida pelos poços passa por várias etapas de tratamento. A primeira é um equipamento chamado SAO (separador água óleo) que por tempo de residência e dosagem de polieletrólito obtém-se uma recuperação de óleo diminuindo TOG e TSS, após esta etapa o fluxo segue por bombas para flotador, que por aeração outras partículas de óleo de menor diâmetro são recuperadas diminuindo ainda mais o TOG. Após a saída do flotador o fluxo é direcionado através de bombas para os filtros de areia onde serão recuperadas partículas de menor granulometria, estas ficam adsorvidas nos grãos de areia e cascalho, nesta etapa é feita a dosagem de bactericida.

Após esta etapa o fluxo é direcionado para o filtro cartucho que visa fazer um polimento da água retendo partículas ainda menores e enquadrando a água para injeção. Em seguida a água vai para o tanque de água tratada e posteriormente será injetada nos poços. Antes da injeção na descarga das bombas boosters é dosado sequestrante de O₂ e enviado para sucção das bombas de injeção chegando nos poços.

3. RESULTADOS

As telas abaixo representam o ambiente desenvolvido para realização do gerenciamento integrado das manutenções preventivas e preditivas nas bombas de injeção de água nos poços produtores de petróleo.

3.1. Indicadores de confiabilidade de manutenção aplicados as bombas centrífugas

A confiabilidade indica quando o quão podemos confiar no bom funcionamento do ativo, a disponibilidade é o que mostra se ele pode ser usado naquele momento e a manutenibilidade representa a facilidade com que podemos repará-lo após uma falha, Figura 6.

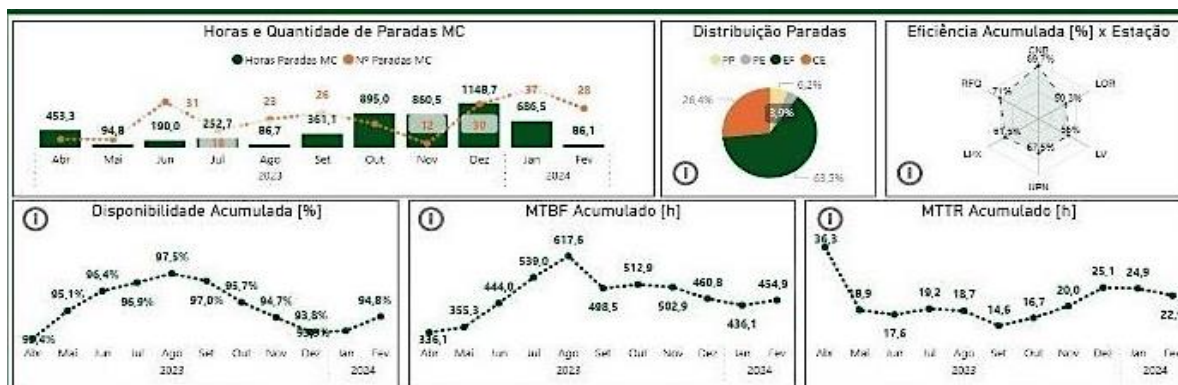


Figura 6 – Painel dos indicadores dos ativos – Resumo

3.2. Disponibilidade

O indicador apresentou uma tendência de estabilidade em altos níveis de disponibilidade, com valores superiores a 96% ao longo do período analisado. Esse resultado reflete a eficácia das manutenções preventivas e a baixa ocorrência de falhas inesperadas, garantindo uma operação consistente (Figura 7).

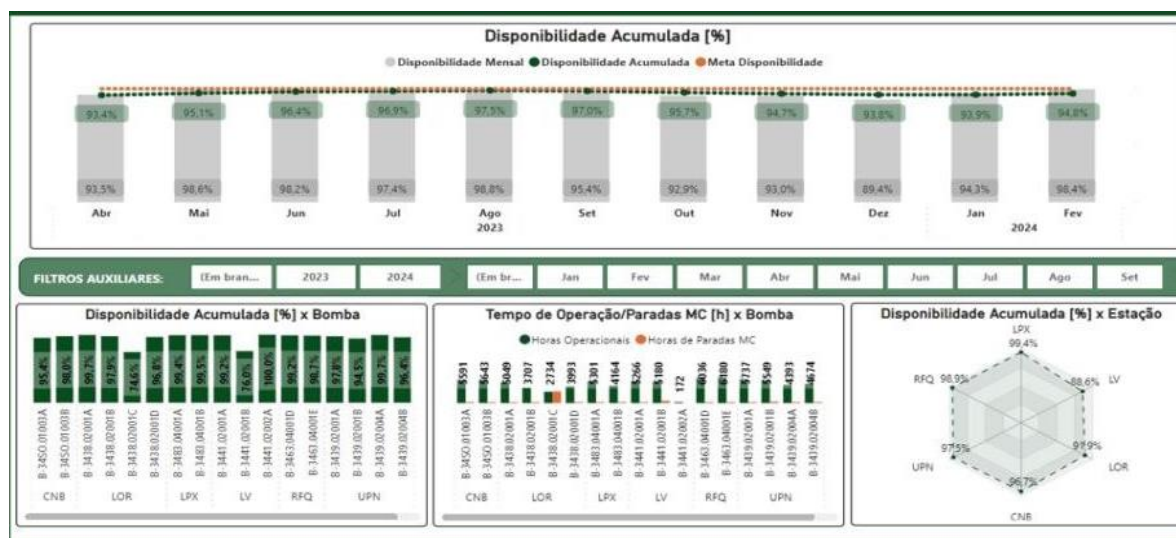


Figura 7 – Painel dos indicadores dos ativos – Disponibilidade

3.3. MTBF (Tempo médio entre falhas)

O tempo médio entre falhas variou ao longo do período, com picos notáveis em agosto, indicando períodos de alta confiabilidade operacional. Por outro lado, quedas em meses específicos, como abril e maio, sugerem a necessidade de ações corretivas direcionadas para eliminar recorrências de falhas (Figura 8).

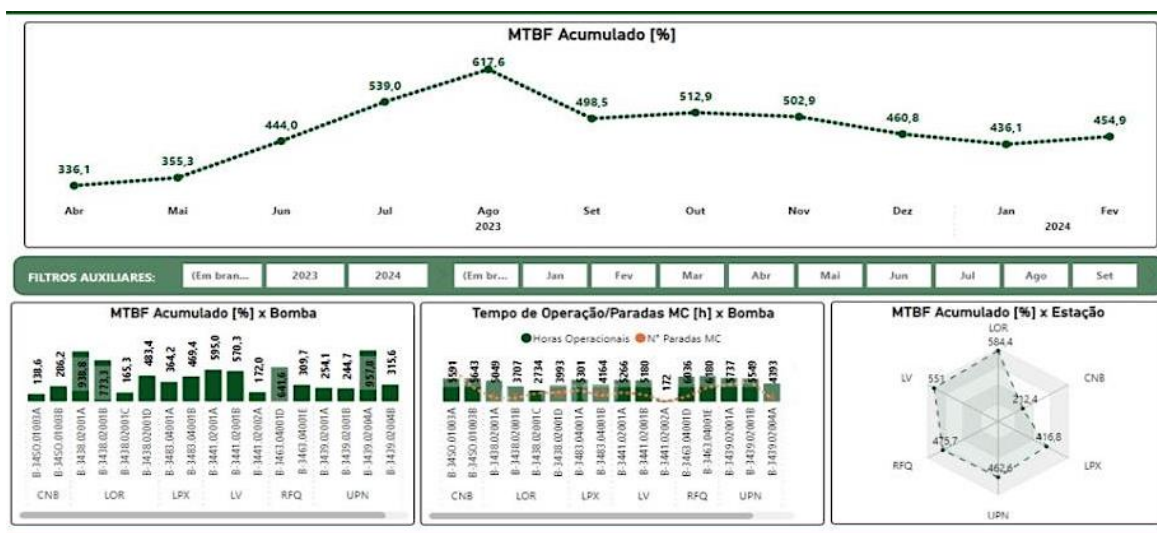


Figura 8 – Painel dos indicadores dos ativos – MTBF

3.4. MTTR (Tempo médio para reparo de um equipamento)

O tempo médio para reparo demonstrou uma tendência de redução gradual, especialmente nos meses finais, indicando maior eficiência nos processos de manutenção e reparo. Esse progresso pode estar associado à melhor disponibilidade de peças sobressalentes e à otimização de recursos (Figura 9).

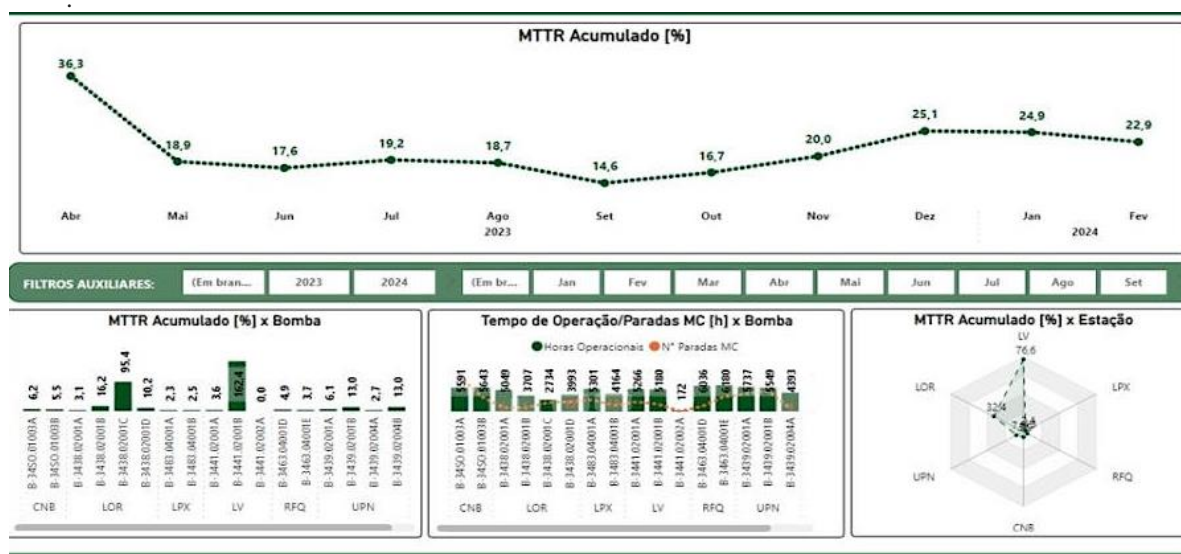


Figura 9 – Painel dos indicadores dos ativos – MTTR

4. CONCLUSÃO

O gerenciamento se mostrou bastante eficaz no controle das manutenções das bombas, melhorando principalmente o acompanhamento, monitoramento e tomada de decisões técnicas. Os gráficos se mostraram de fácil entendimento pela equipe de manutenção. Como ponto de melhoria, será planejado a inserção dos parâmetros analisados no sistema de gerenciamento da manutenção, com o objetivo assim de se realizar a alimentação automática dos bancos de dados.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus e a minha família, minha esposa Jamaika Mesquita e filhos pelo apoio e estão sempre ao meu lado. A empresa que trabalho o qual me dá oportunidade de está exercendo minhas atividades. Aos colegas de trabalho: Lenilson Alves Dantas (Supervisor de manutenção); Luciano de Almeida Vieira (Engenheiro); Lucas Dantas da Silva (Engenheiro); Cauê Coelho Alves (Engenheiro)

Agradeço também a Universidade Federal Rural do Semi Árido da EngMan PROPPG/UFERSA”. Aos professores/facilitadores do curso de especialização em engenharia de manutenção e em especial ao professor/coordenador do curso Fabrício Cavalcante e a todos os meus colegas de curso.

REFERÊNCIAS

- [1] R. TODD SWINDERMAN, P. E. et al. FOUNDATIONS: Guia prático para um controle mais limpo, seguro e produtivo de pó e material a granel. 4. ed. Illinois, USA: Martin Engineering, 2009. 577 p.
- [2] P. SHAH, K. Construction, Working and Maintenance of Stackers and Reclaimers for Bulk Materials. Practical Maintenance, [S. l.], p. 46, 30 mar 2019.
- [3] SANTOS, Hugo. Business Intelligence aplicado no desenvolvimento de indicadores da manutenção 2019. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2019;
- [4] VIANA, H. R. G. PCM – Planejamento e Controle da Manutenção, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro – RJ, 2008;
- [5] RIBEIRO, HAROLDO - Manutenção Produtiva Total. A Bíblia do TPM, Editora Viena, 2014;
- [6] AMARAL, Fernando Dias – Gestão da Manutenção na Indústria, Editora LIDEL, Lisboa – Portugal, 2016.