FALHAS CRÔNICAS EM BOMBAS CENTRÍFUGAS: UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA DA CONFIABILIDADE E DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Luiz Adriano Vitor de Carvalho, Marcelo Bergamini de Carvalho, Rodrigo André de Souza Ribeiro, Edilon de Oliveira França, Emerson Augusto Raymundo, Amir Rivaroli Junior

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Fatec Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias, 4010 - Água Preta, 12445-010 – Pindamonhangaba.

luiz.adrianocarvalho@gmail.com; marcelo.carvalho@cps.sp.gov.br; rodrigo.ribeiro18@fatec.sp.gov.br; edilon.frança@cps.sp.gov.br; emerson.raymundo@cps.sp.gov.br; amir.rivaroli@cps.sp.gov.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar os principais fatores associados às falhas crônicas em bombas centrífugas, sob a perspectiva da confiabilidade e da gestão da manutenção. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, com análise comparativa de estudos relacionados aos modos de falha, suas causas e estratégias de mitigação. Os resultados evidenciaram que cavitação, desalinhamento, falhas em selos mecânicos e desgaste de componentes constituem os problemas mais recorrentes, estando associados principalmente a condições operacionais inadequadas e à ausência de ações voltadas à eliminação das causas fundamentais. Verificou-se ainda que intervenções corretivas isoladas apresentem eficácia limitada, enquanto abordagens baseadas em análise de causa raiz (RCA), manutenção centrada na confiabilidade (RCM) e manutenção preditiva contribuem para reduzir a recorrência das falhas e aumentar a disponibilidade operacional dos equipamentos.

Palavras-chave: Bombas centrífugas. Falhas crônicas. Confiabilidade. Gestão da manutenção. Manutenção centrada na confiabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharias / Engenharia Mecânica

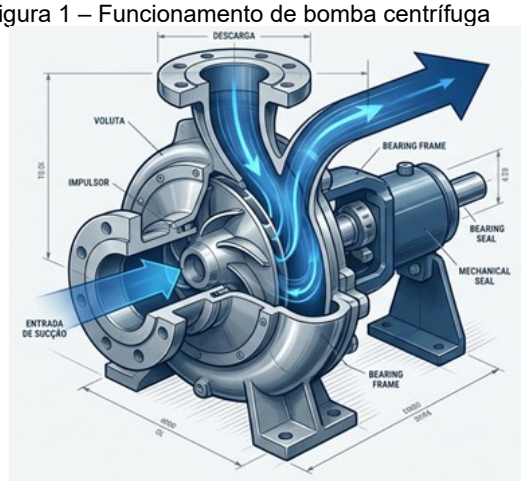
Introdução

As bombas centrífugas constituem um dos principais equipamentos rotativos empregados nos processos industriais devido à sua elevada capacidade de transporte de fluidos, simplicidade construtiva e ampla versatilidade de aplicação. Esses equipamentos são utilizados em diversos setores, como petróleo e gás, mineração, geração de energia, saneamento e indústria química, nos quais a confiabilidade e a disponibilidade influenciam diretamente a continuidade operacional, a eficiência dos processos e os custos de manutenção. Apesar de sua robustez mecânica, as bombas centrífugas estão sujeitas a diferentes mecanismos de degradação, incluindo cavitação, desgaste erosivo, corrosão, desalinhamento, desbalanceamento e falhas em selos mecânicos, comprometendo seu desempenho, reduzindo sua vida útil e impactando negativamente a confiabilidade dos sistemas industriais (API, 2021; BLOCH; GEITNER, 2012; KARASSIK et al., 2008).

Entre os principais desafios da engenharia de manutenção destacam-se as falhas crônicas, caracterizadas pela recorrência de um mesmo modo de falha mesmo após sucessivas intervenções corretivas. Em geral, essas ocorrências estão associadas à ausência de identificação das causas fundamentais, à operação em condições inadequadas ou à adoção de estratégias de manutenção predominantemente corretivas. Como consequência, observa-se o aumento das paradas não programadas, a redução da disponibilidade dos equipamentos e a elevação dos custos operacionais. Nesse contexto, metodologias como a Análise de Modos e Efeitos de Falha (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA), a Análise de Causa Raiz (Root Cause Analysis – RCA) e a Manutenção Centrada na Confiabilidade (Reliability-Centered Maintenance – RCM) têm sido amplamente empregadas para identificar as causas fundamentais das falhas e subsidiar ações permanentes de melhoria da confiabilidade dos ativos industriais (KARDEC; NASCIF, 2013; MOUBRAY, 1997; SMITH; HINCHCLIFFE, 2004; STAMATIS, 2003).

Embora os modos de falha em bombas centrífugas e as ferramentas aplicadas à gestão da manutenção tenham sido amplamente estudados, esses temas ainda são frequentemente tratados de forma fragmentada, dificultando uma compreensão integrada dos fatores que favorecem a recorrência das falhas e das estratégias mais eficazes para sua mitigação. A integração desses conhecimentos pode contribuir para o aprimoramento das práticas de manutenção, subsidiando a tomada de decisão e promovendo maior confiabilidade, disponibilidade e desempenho operacional dos equipamentos em diferentes aplicações industriais. As bombas centrífugas constituem a espinha dorsal de setores críticos (petroquímico, siderúrgico, saneamento). Apesar de robustas sofrem falhas crônicas, problemas que se repetem sistematicamente mesmo após intervenções corretivas. A falha crônica não é apenas uma quebra mecânica, é um sintoma de uma causa raiz não tratado. A Figura 1 demonstra o princípio de funcionamento de uma bomba centrífuga e a Figura 2 demonstra o ciclo de falha crônica.

Figura 1 – Funcionamento de bomba centrífuga



Fonte: Os autores, 2026.

Figura 2 – Ciclo de falha crônica



Fonte: Os autores, 2026.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os principais fatores associados às falhas crônicas em bombas centrífugas, identificando os modos de falha recorrentes, suas causas e as estratégias de confiabilidade e gestão da manutenção mais eficaz para reduzir sua ocorrência e aumentar a disponibilidade operacional dos equipamentos.

Metodologia

O presente trabalho caracterizou-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A investigação foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada sobre falhas crônicas em bombas centrífugas, confiabilidade e gestão da manutenção.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Scopus, ScienceDirect, Google Scholar e Portal de Periódicos CAPES, utilizando palavras-chave em português e inglês relacionadas ao tema, como *bombas centrífugas*, *falhas crônicas*, *confiabilidade*, *centrifugal pumps*, *pump failures* e *reliability-centered maintenance*.

A seleção dos estudos priorizou publicações que apresentassem casos de falhas em bombas centrífugas com descrição dos modos de falha, causas, ações corretivas e resultados obtidos, sendo excluídos trabalhos sem detalhamento técnico ou sem relação direta com o objetivo da pesquisa. Os estudos selecionados foram organizados em uma matriz de análise para comparação dos principais aspectos investigados.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa e comparativa, buscando identificar os modos de falha mais recorrentes, suas causas e a eficácia das estratégias adotadas para sua mitigação, com base nos conceitos de confiabilidade e gestão da manutenção. A Figura 3 descreve de maneira gráfica um resumo da metodologia adotada.

Figura 3 – Metodologia adotada



Fonte: Os autores, 2026.

Resultados

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar os principais modos de falha recorrentes em bombas centrífugas, bem como suas causas predominantes, as estratégias de manutenção adotadas e os resultados obtidos após as intervenções. Os estudos analisados abrangem diferentes contextos industriais, evidenciando que a recorrência das falhas está relacionada, principalmente, às condições operacionais, às práticas de manutenção e à ausência de uma abordagem sistemática para identificação das causas fundamentais. A Figura 4 exemplifica como funcionam as falhas sistêmicas.

Figura 4 – Falhas sistêmicas



Fonte: Os autores, 2026.

Observou-se que os modos de falha mais frequentemente relatados foram cavitação, desalinhamento do conjunto motobomba, falhas em selos mecânicos e desgaste erosivo de componentes. A cavitação apresentou elevada incidência, estando associada principalmente à operação com baixo NPSH disponível e ao funcionamento fora do ponto de melhor eficiência (BEP).

O desalinhamento foi relacionado, principalmente, a falhas de instalação e montagem, enquanto as falhas em selos mecânicos ocorreram em associação com vibração excessiva e contaminação do fluido. Já o desgaste erosivo foi predominante em sistemas sujeitos ao bombeamento de fluidos contendo partículas sólidas.

Além dos modos de falha, verificou-se que as ações corretivas mais frequentemente empregadas consistiram no realinhamento do conjunto motobomba, substituição de selos mecânicos, ajustes das condições de sucção, melhoria da lubrificação e instalação de sistemas de filtragem. Entretanto, em diversos casos essas intervenções apresentaram apenas resultados parciais ou temporários, indicando que as causas que originaram as falhas permaneceram presentes no sistema. O Quadro 1

descreve a uma síntese dos principais resultados obtidos nos estudos e a Figura 5 apresenta uma síntese das análises em bombas centrífugas.

Quadro 1 – Síntese dos principais resultados obtidos na análise dos estudos.

Modo de falha	Principal causa	Ação adotada	Resultado observado
Cavitação	Baixo NPSH e operação fora do BEP	Ajuste das condições de sucção e operação	Redução parcial da falha
Desalinhamento	Instalação inadequada	Realinhamento	Eficaz quando associado à padronização da montagem
Falha em selo mecânico	Vibração e contaminação	Substituição do selo	Solução temporária
Desgaste erosivo	Partículas sólidas no fluido	Filtragem	Redução parcial do desgaste
Falhas sistêmicas	Deficiências na gestão da manutenção	Aplicação de estratégias estruturadas	Melhoria da confiabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base nos estudos analisados.

Figura 5 – Sintese das análises de falhas em bombas centrífugas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base nos estudos analisados.

De forma geral, os resultados evidenciam que a maior parte das falhas está relacionada às condições de operação e manutenção, sendo observada predominância de intervenções corretivas em relação às estratégias preventivas e preditivas. Também foi identificado que os diferentes modos de falha apresentam forte interdependência, favorecendo a recorrência dos problemas quando as causas fundamentais não são eliminadas.

Discussão

Os resultados obtidos demonstram que as falhas em bombas centrífugas dificilmente ocorrem de forma isolada, sendo consequência da interação entre fatores hidráulicos, mecânicos e organizacionais. A elevada ocorrência de cavitação e desalinhamento observada nos estudos confirma que condições inadequadas de operação e instalação continuam sendo as principais responsáveis pela degradação dos equipamentos, conforme descrito por Karassik et al. (2008), Gülich (2014) e Bloch e Geitner (2012).

Outro aspecto relevante refere-se ao caráter predominantemente corretivo das intervenções identificadas. Embora ações como substituição de selos mecânicos, rolamentos e componentes desgastados restabeleçam temporariamente o funcionamento do equipamento, elas não eliminam as causas que originaram a falha. Como consequência, observa-se a repetição dos mesmos problemas ao longo do tempo, caracterizando o comportamento típico das falhas crônicas discutido por Moubray (1997) e Kardec e Nascif (2013). A Figura 6 demonstra como funciona o iceberg da confiabilidade e a Figura 7 mostra o fluxo de trabalho cíclico.

Figura 6 – Iceberg da confiabilidade.



Fonte: Os autores, 2026.

Figura 7 – Fluxo de trabalho cíclico



Fonte: Os autores, 2026. .

Os resultados também evidenciam que existe uma relação direta entre diferentes modos de falha. Em diversos casos, a operação fora do ponto de melhor eficiência favorece o surgimento da cavitação, que aumenta os níveis de vibração e acelera o desgaste de rolamentos e selos mecânicos.

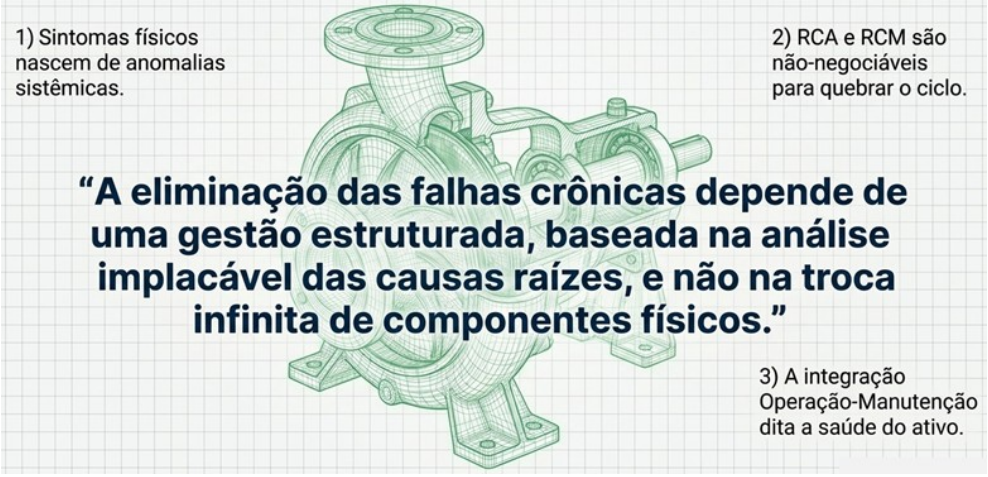
Essa sequência de eventos demonstra que a análise isolada de cada falha pode conduzir a diagnósticos incompletos e reforça a necessidade de uma abordagem integrada para identificação das causas fundamentais.

Nesse contexto, verifica-se que as estratégias baseadas em análise de causa raiz (RCA), manutenção centrada na confiabilidade (RCM) e monitoramento preditivo apresentam maior potencial para reduzir a recorrência das falhas, pois atuam diretamente sobre sua origem. Dessa forma, a transição de uma manutenção predominantemente corretiva para uma gestão orientada pela confiabilidade constitui um fator essencial para aumentar a disponibilidade operacional, reduzir custos de manutenção e elevar a confiabilidade dos sistemas de bombeamento.

Conclusão

Conclui-se que as falhas crônicas em bombas centrífugas decorrem da interação entre fatores operacionais, mecânicos e gerenciais, não sendo eliminadas apenas pela substituição de componentes. Estratégias baseadas na análise de causa raiz, manutenção preditiva e manutenção centrada na confiabilidade mostram-se mais eficazes para reduzir a recorrência das falhas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos. A Figura 8 representa a síntese das ações necessárias para redução de falhas crônicas em bombas centrífugas.

Figura 8 – Síntese das ações necessárias para redução de falhas crônicas em bombas centrífugas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Assim, a gestão estruturada da manutenção, integrada à operação e orientada por dados, constitui o principal caminho para a melhoria da confiabilidade dos sistemas de bombeamento.

Referências

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Standard 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries**. 12. ed. Washington, DC: API Publishing Services, 2021.

BLOCH, Heinz P.; GEITNER, Fred K. **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**. 4. ed. Houston: Gulf Professional Publishing, 2012.

GÜLICH, Johann F. *Centrifugal Pumps*. 3. ed. Berlin: Springer, 2014.

KARASSIK, Igor J.; MESSINA, Joseph P.; COOPER, Paul; HEALD, Charles C. ***Pump Handbook***. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

MOUBRAY, John. **Reliability-Centered Maintenance**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

SMITH, Anthony M.; HINCHCLIFFE, Glenn R. **RCM: Gateway to World Class Maintenance**. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2003.