

Gestão Estratégica do Ciclo de Vida de Bombas de Combate a Incêndio em Operações Offshore de Óleo e Gás

Edmilson Vieira Alves Junior; 0009-0001-4009-887X
Alexandre Alvarenga Palmeira^{1,2}; 0000-0002-9271-8858
Izabel de Oliveira da Mota¹; 0000-0001-6276-5381
Cirlene Fourquet Bandeira¹; 0000-0001-7034-2477
Leticia Alvim Dias²; 0009-0000-3586-0439

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ

2 – UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Resende, RJ
edmilson.alvesjr@gmail.com

Resumo: Os sistemas de combate a incêndio em plataformas offshore são vitais para proteger vidas, ativos e garantir a continuidade das operações. No contexto da Petrobras, utilizam-se bombas centrífugas Framo com motores diesel Caterpillar 3516, atendendo às exigências das normas NFPA 20 e 25, ABS e NORMAM. O presente trabalho analisa a gestão do ciclo de vida desses equipamentos e a aplicação de estratégias de manutenção para antecipar falhas. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica de normas e literatura técnica, além de análise de modos de falha reportados na indústria. Foram avaliadas estratégias de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, com ênfase na aplicação do método RCM para aumentar a confiabilidade. As falhas mais comuns nas bombas são vazamentos em selos mecânicos e desgastes decorrentes de operação em regime peculiar. O ambiente offshore, com maresia e condições extremas, acelera a deterioração dos componentes. O estudo mostra que falhas podem comprometer a confiabilidade, reduzir a disponibilidade e até obrigar a parada da produção, aumentando os riscos de incêndio. Para mitigar riscos, recomenda-se inspeções frequentes, análises laboratoriais de óleo e fluidos, monitoramento de temperatura e pressão, substituição preventiva de selos e juntas, estoque de peças críticas e treinamento de operadores. O registro sistemático das manutenções permite análise de tendências e melhoria contínua dos planos. Indicadores de desempenho, como disponibilidade e tempo médio de reparo, devem ser acompanhados para ajustes. Destaca que a conformidade com normas internacionais e nacionais, associada à aplicação disciplinada de práticas de manutenção integradas, reduz falhas e aumenta a disponibilidade operacional. O RCM se mostra adequado para alinhar ações preventivas, preditivas e corretivas, garantindo resposta rápida às emergências e proteção das operações offshore.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Bombas Centrífugas. Plataformas Offshore. Combate a Incêndio.

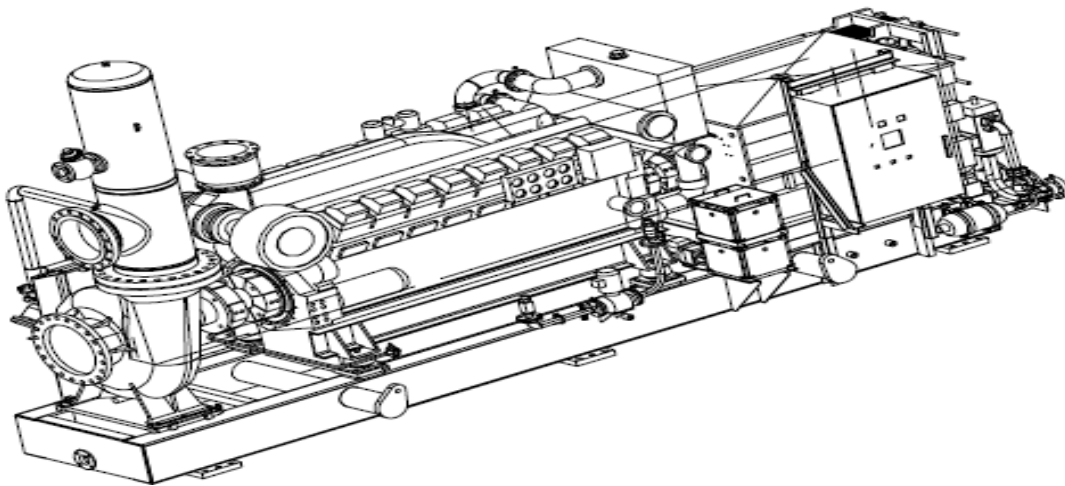


INTRODUÇÃO

Os sistemas de combate a incêndio em plataformas de petróleo são sistemas cruciais responsáveis por manter em segurança toda uma cadeia produtiva, equipamentos e principalmente são responsáveis pela salvaguarda das vidas a bordo das instalações offshore.

Em um cenário comum em unidades offshore da Petrobras temos bombas centrífugas Framo com 2 estágios (lift e booster) acopladas em motores diesel Caterpillar 3516 (figura 1). Este conjunto tem como função garantir disponibilidade imediata e o funcionamento eficiente do sistema de bombeamento de água do mar para combate a incêndio, conforme os requisitos de proteção offshore citados nas normas NFPA 20 e 25, além de ABS e NORMAN. Para assegurar essa função principal, é fundamental identificar as principais falhas potenciais e os efeitos que podem causar ao sistema e à segurança da plataforma (NFPA, 2022; NFPA, 2020; ABS, 2023; MARINHA DO BRASIL, 2022).

Figura 1 – Arranjo geral motor/bomba



Fonte: Manual de operações FRAMO (Frank Mohn AS)

O objetivo deste artigo foca em analisar a gestão do ciclo de vida desses equipamentos, considerando a influência das normas técnicas nacionais e internacionais e das estratégias de manutenção na confiabilidade operacional, para que os principais modos de falha sejam antecipados e se mantenha a operacionalidade de toda a cadeia produtiva dependente destes equipamentos. A pesquisa se justifica pela importância desses sistemas para a proteção de pessoas, ativos e continuidade das operações.

De acordo com a NFPA-20, que é a norma da Nation Fire Protection Association que determina a seleção dos equipamentos desses sistemas, os sistemas de combate a incêndio precisam proteger vidas, ser confiáveis e obedecer à padrões de segurança e qualidade (NFPA, 2022).

Em algumas plataformas de exploração da Petrobrás um dos motores mais selecionados para esta função é o Caterpillar 3516 acionando bombas centrífugas Framo. Esse tipo de arranjo é vastamente utilizado no meio offshore por atender aos principais requisitos da NFPA-20 (NFPA, 2022).

Nas plataformas de exploração e produção de óleo e gás os equipamentos de combate a incêndio são primordiais e a gestão de sua vida útil se faz necessária por se tratar de equipamentos ligados diretamente à segurança, habitabilidade, confiabilidade e continuidade das operações (ABS, 2023; MARINHA DO BRASIL, 2022).

MÉTODOS

A metodologia utilizada consistiu em uma revisão bibliográfica de normas técnicas internacionais e nacionais aplicáveis ao combate a incêndio em plataformas offshore, como NFPA 20, NFPA 25, ABS e NORMAM. Livros de referência sobre motores de combustão interna e bombas centrífugas, além de literatura especializada em gestão da manutenção industrial também foram amplamente utilizados nesta pesquisa.

Para complementar e embasar este estudo, foram analisados os principais modos de falha reportados internamente na indústria offshore (Petrobras) relacionados a motores diesel e bombas centrífugas. Estratégias de manutenção preventiva, preditiva e corretiva recomendadas pelos fabricantes e órgãos certificadores também foram analisados. O método RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade) foi considerado como referência para aprimorar a confiabilidade dos sistemas.

A NFPA, National Fire Protection Association, é uma associação norte americana sem fins lucrativos que elabora normas e conceitos que versam sobre o combate a incêndio e segurança de pessoas em instalações industriais e edifícios (NFPA, 2022; NFPA, 2020). Outro referencial é a ABS, American Bureau of Shipping, que é uma das maiores certificadoras do mundo e possui um papel fundamental no referencial de segurança em

plataformas offshore. No Brasil possuímos a NORMAN, que significa Normas da Autoridade Marítima, essas normas são editadas pela Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil. A NORMAN estabelece exigências específicas no que tange o assunto combate a incêndio em unidades marítimas (MARINHA DO BRASIL, 2022).

Os resultados e discussões foram fundamentados na literatura técnica consultada e nas práticas observadas em ambientes industriais offshore.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No modelo atual de gestão as manutenções nos equipamentos de combate a incêndio se fazem através dos modelos convencionais de manutenções preventivas, preditivas e corretivas (MOURA, 2014).

As manutenções preventivas seguem intervalos definidos pelos fabricantes e monitoramento por horímetro, enquanto as preditivas utilizam análises de vibração e de fluidos para identificar desgastes antecipadamente. Já as corretivas ocorrem quando falhas não são previstas, exigindo a parada dos equipamentos e impactando a confiabilidade e a continuidade operacional das plantas, o que gera prejuízos para o setor de óleo e gás. (MOURA, 2014).

Os modos de falhas e defeitos mais comuns nas bombas de combate a incêndio nas plataformas se concentram nos motores diesel, onde neste equipamento os defeitos mais comuns são desgastes por lubrificação inadequada, perdas de contenção e vazamentos de lubrificantes e líquidos de arrefecimento em juntas de cabeçotes e tampas de comando de válvulas. Outro tipo de defeito bem comum é o superaquecimento dos motores por ineficiência de rendimento nas trocas térmicas, onde por vezes as falhas se dão nos trocadores de calor que fazem interface de água do mar, líquido de arrefecimento e óleo hidráulico. Por se tratar de um equipamento que faz uma interface única onde a água do mar que é bombeada para combater o incêndio também é responsável pela refrigeração do equipamento, a água do mar incrusta nos permutadores de calor e qualquer contaminação cruzada pode acelerar exponencialmente o desgaste do conjunto como um todo (CAVALHEIRO; KNOBEL, 1993; MARTINS, 2008).

No que se refere aos conjuntos de bombas centrífugas os defeitos mais comuns são os vazamentos nos selos mecânicos. Esse tipo de defeito geralmente é observado em conjuntos com erros de montagem ou que possuem desgaste já avançado devido ao regime peculiar de operação desses equipamentos, que se resume em testes semanais e operações em emergências reais (MARTINS, 2008; ROSA, 2010).

O ambiente off-shore possui influências ambientais únicas, onde os fatores externos são extremos e a incidência de maresia nos conjuntos mecânicos traz um desgaste acentuado em peças metálicas expostas (ABS, 2023; MARINHA DO BRASIL, 2022). Utilizando os dados de defeitos e falhas com mais incidência, coletados via sistema SAP na Petrobras, utilizamos a estratégia de RCM, amplamente empregada na indústria offshore, para avaliar as possíveis estratégias que podem ser utilizadas para melhorar ainda mais a confiabilidade nas bombas de combate a incêndio (MOBLEY, 2002; BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2009). As causas dessas falhas estão diretamente ligadas ao envelhecimento de componentes, defeitos de instalação de peças em revisões periódicas, desgaste natural de vedações, selos e tampas, afrouxamento de permutadores de calor tipo placa assim como desgaste e ressecamentos nas vedações, além de falta de manutenção adequada dos sistemas de arrefecimento e hidráulico. O uso contínuo dos equipamentos em condições agressivas no ambiente marítimo intensifica o risco de falhas (MOURA, 2014; MOBLEY, 2002).

A análise da Tabela 1 demonstra, pelo princípio de Pareto, que 20% das falhas são responsáveis por 80% da indisponibilidade dos equipamentos. Assim, a manutenção preventiva nos principais modos de falha pode aumentar a confiabilidade das bombas de combate a incêndio. Além disso, observa-se que diferentes componentes apresentam causas semelhantes, como vazamentos decorrentes do desgaste de juntas e vedações, indicando que poucos tipos de defeitos concentram a maioria das ocorrências.

Tabela 1 – Falhas e Componentes

Ranking	Componente	Modo de Falha / Defeito	Causa Provável
1	Bombas Centrífugas	Vazamento nos selos mecânicos	Erros de montagem, desgaste avançado
2	Motor Diesel	Desgaste por lubrificação inadequada	Lubrificação inadequada, óleo contaminado

Tabela 1 – Falhas e Componentes (Continuação)

3	Motor Diesel	Vazamentos em juntas (cabeçotes, tampas de comando)	Juntas envelhecidas, montagem incorreta
4	Motor Diesel	Superaquecimento por ineficiência térmica	Incrustação em trocadores de calor, contaminação cruzada
5	Bombas Centrífugas	Corrosão em peças metálicas	Exposição à maresia e ambiente offshore
6	Motor Diesel	Falha na injeção	Injetores desgastados, combustível contaminado
7	Bombas Centrífugas	Desgaste nos rolamentos	Falta de lubrificação, contaminação
8	Motor Diesel	Vibração excessiva	Desbalanceamento, desalinhamento
9	Bombas Centrífugas	Cavitação	Operação fora dos parâmetros, baixa pressão
10	Bombas Centrífugas	Desalinhamento entre motor e bomba	Montagem incorreta, vibração
11	Motor Diesel	Contaminação do combustível	Combustível sujo ou contaminado
12	Bombas Centrífugas	Falha em selo de eixo secundário	Desgaste, montagem incorreta
13	Bombas Centrífugas	Falha em rolamento secundário	Sobrecarga, falta de lubrificação
14	Motor Diesel	Danos em cabeçote	Sobreaquecimento, fadiga mecânica
15	Bombas Centrífugas	Fissuras em carcaça	Vibração excessiva, corrosão
16	Motor Diesel	Problemas no sistema de escape	Vazamentos, obstruções
17	Bombas Centrífugas	Entupimento em filtros	Contaminação do fluido
18	Motor Diesel	Falha em sistema elétrico	Curto-circuito, desgaste de componentes
19	Bombas Centrífugas	Desgaste em engrenagens	Lubrificação inadequada, sobrecarga
20	Motor Diesel	Vazamento em sistema de combustível	Juntas e conexões com falha

Fonte: autoria própria

As falhas podem reduzir a eficiência do sistema, causar paralisação do bombeamento, contaminação do anel de incêndio e aumentar o risco à segurança da plataforma. Vazamentos, corrosão por água do mar e superaquecimento do motor comprometem a integridade dos equipamentos e a disponibilidade em emergências, podendo até levar à paralisação da produção e ao fechamento de poços de petróleo. (NFPA, 2022; ABS, 2023).

Para mitigar os riscos apresentados, a estratégia de manutenção deve priorizar inspeções visuais frequentes em todos os componentes críticos, testes de estanqueidade, análise de óleo e monitoramento dos níveis de arrefecimento e pressão. A troca preventiva de juntas, selos, tampas e conexões deve ser realizada com base em histórico de desgaste e intervenções anteriores. O monitoramento constante da temperatura do motor diesel e a análise da condição do óleo hidráulico são essenciais para identificar precocemente falhas potenciais. É importante também manter um estoque mínimo de peças críticas para pronta resposta, além de treinar a equipe de operação para detectar indícios de vazamento, ruídos anormais ou qualquer sintoma de defeito e agir rapidamente em emergências (MOBLEY, 2002; BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2009).

O registro detalhado de todas as manutenções, inspeções e falhas, através de notas de manutenção, permite análise de tendências e melhoria contínua do plano de manutenção, garantindo a confiabilidade do sistema. Indicadores como a disponibilidade do sistema, número de falhas críticas, tempo médio de reparo e frequência de inspeções realizadas em relação às planejadas devem ser acompanhados para avaliar a eficiência das ações propostas e promover ajustes sempre que necessário (MOURA, 2014; MOBLEY, 2002).

Assim, este RCM busca manter a máxima disponibilidade operacional, proteger vidas e ativos da plataforma e assegurar resposta rápida e integral nas emergências, alinhando ações de manutenção preventiva, preditiva e corretiva conforme a necessidade operacional e os riscos identificados.

CONCLUSÃO

A revisão das normas NFPA, ABS e NORMAM mostra a necessidade de inspeções, testes e manutenções regulares, além de registro documental sobre todas as intervenções nos sistemas de combate a incêndio (NFPA, 2022; NFPA, 2020; ABS, 2023; MARINHA DO BRASIL, 2022). Os resultados mostram que a aplicação e obediência à estas normas, junto de estratégias modernas e integradas de manutenção, contribuem para a redução do número de falhas e aumenta a disponibilidade operacional dos equipamentos. Entre os principais modos de falha identificados, em levantamentos via sistema SAP na Petrobras, estão vazamentos em juntas de cabeçote, tampas de comando de válvulas e selos

mecânicos das bombas, além de superaquecimento dos motores por problemas em trocadores de calor. O ambiente offshore intensifica o desgaste dos componentes devido à maresia e condições extremas. Além disso o registro detalhado das intervenções e o treinamento das equipes são fatores-chave para garantir a eficiência e a resposta rápida em emergências. Essas práticas, juntamente com os requisitos normativos abordados, contribuem para a proteção de vidas a bordo, ativos e para a continuidade operacional das plataformas. A adoção sistemática das melhores práticas de manutenção e monitoramento é fundamental para elevar o padrão de segurança nas operações offshore aos níveis de excelência requeridos em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

ABS – AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. *Rules for Building and Classing Facilities on Offshore Installations*. Houston: ABS, 2023.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS EN 60300-3-11: Dependability management – Application guide – Reliability centred maintenance*. London: BSI, 2009.

CAVALHEIRO, José Augusto; KNOBEL, José Maurício. **Motores de combustão interna: fundamentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1993.

FRANK MOHN AS. **Bombas de incêndio**. Rio de Janeiro: FRAMO 2002

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. *NORMAM-01/DPC: Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto*. 6. ed. Rio de Janeiro: DPC, 2022. Disponível em: https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam/NORMAM_01_6a_edicao.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.

MARTINS, José Carlos. **Bombas centrífugas: teoria e prática**. São Paulo: Interciência, 2008.

MOBLEY, R. Keith. **Manutenção centrada em confiabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

MOURA, Luiz Felipe. **Gestão da manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

NFPA. *NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection*. Quincy: National Fire Protection Association, 2022.

NFPA. *NFPA 25: Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*. Quincy: National Fire Protection Association, 2020.

ROSA, Luiz Eduardo de Oliveira. *Bombas hidráulicas: seleção, instalação e manutenção*. São Paulo: Érica, 2010.