



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA - FAEN
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANTONIO LUIZ DE ANDRADE SOARES

**ADEQUAÇÃO DE PLANO DE SELAGEM PARA BOMBA CENTRÍFUGA DE
INDUSTRIA PARA REFINO DE ÓLEO**

DOURADOS-MS

2022

ANTONIO LUIZ DE ANDRADE SOARES

**ADEQUAÇÃO DE PLANO DE SELAGEM PARA BOMBA CENTRÍFUGA DE
INDUSTRIA PARA REFINO DE ÓLEO**

Trabalho de conclusão do curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel pelo Curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Liomar de Oliveira Cachuté

Área de concentração: Métodos de Síntese e Otimização Aplicados ao Projeto Mecânico

DOURADOS-MS

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: **ANTONIO LUIZ DE ANDRADE SOARES**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **ADEQUAÇÃO DE PLANO DE SELAGEM PARA BOMBA CENTRÍFUGA DE INDÚSTRIA PARA REFINO DE ÓLEO.**

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Liomar de Oliveira Cachuté, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

3. Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **Aprovado** o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 24 de setembro de 2022.

Prof. Dr. Liomar de Oliveira Cachuté

Assinatura do avaliador
Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

RESUMO

O emprego de bombas centrífugas nos mais variados processos de refino ocorre devido a sua capacidade de operar com altas vazões e eficiência, entretanto, quando o fluído bombeado possui características que o torna prejudicial aos componentes internos, o sistema de selagem tende a sofrer desgastes prematuros e falhar, ocasionando na parada do equipamento. A falha do sistema de selagem está relacionada a escolha inadequada do sistema de selagem para aquela aplicação da bomba centrífuga e a imperícia dos mantenedores envolvidos no processo. Através do uso de ferramentas de gestão da manutenção é possível identificar e realizar a priorização das causas raízes das falhas, facilitando assim a elaboração de planos de ação que possam amenizar os altos custos que a parada do equipamento ocasiona. A implantação do sistema de selagem 53A e a qualificação dos mantenedores evitará 75% das falhas em sistemas de selagem aplicados no bombeamento de óleo após a etapa do branqueamento.

Palavras-chave: Refino de Óleo, Bombas Centrífugas, Sistema de Selagem, Plano de Selagem 53A, Gestão de Manutenção.

ABSTRACT

The application of centrifugal pumps in the most varied refining processes due to their ability to operate with high flow rates and efficiency, however, if the pumped fluid has characteristics that make it harmful to internal components, the sealing system tends to suffer premature wear and fail, causing the equipment shutdown. The failure of the sealing system is related to the inadequate choice of the sealing system for that centrifugal pump application and the inexperience of the maintainers involved in the process. Applying maintenance management tools it is possible to identify and prioritize the root causes of failures, facilitating the elaboration of action plans that can mitigate the high costs that the equipment stop causes. The implementation of the sealing system 53A and the qualification of maintainers will avoid 75% of failures in sealing systems applying to pumping oil after bleaching stage.

Keywords: Oil Refining, Centrifugal Pumps, Sealing System, Sealing Plan 53A, Maintenance Management.

1. Introdução

No processo de refino de óleo, principalmente na etapa de branqueamento, ocorre a adsorção de impurezas utilizando materiais particulados abrasivos, necessários para realizar a filtragem do produto (Monteiro e Silva, 2013). Os equipamentos comumente utilizados para realizar a transferência desse fluido entre as etapas do processo são bombas centrífugas, as quais seu princípio de funcionamento oferece alta vazão, facilidade na instalação e baixo custo.

Bombas centrífugas são classificadas como turbo máquinas de reação, onde tanto a energia cinética quanto a de pressão são transformadas em trabalho. Parte da energia do fluido é transformada em energia cinética antes da entrada do rotor, durante sua passagem por perfis ajustáveis (distribuidor), e o restante da transformação ocorre no próprio rotor. A pressão do fluido varia ao atravessar o rotor enquanto fica preenchido pelo líquido (Germer, 2013). Através da Figura 1 é possível observar a forma construtiva de uma bomba centrífuga.

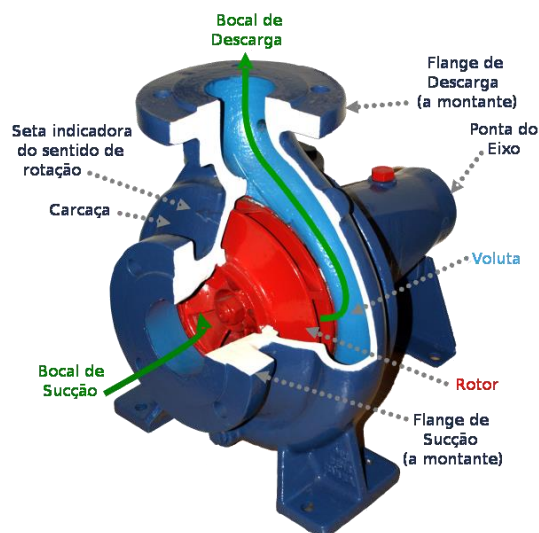


Figura 1. Bomba centrífuga ou turbo máquina de reação (geradora). Fonte: Germer (2013)

Para o funcionamento das bombas centrífugas atenderem os parâmetros de projeto, é necessário que o equipamento trabalhe no melhor ponto de eficiência, garantindo a vida útil dos componentes e reduzindo o custo de manutenções. Outro parâmetro importante para bombas centrífugas trata-se no NPSH (*Net Positive Suction Head*) disponível e NPSH requerido, os quais devem atender ao projeto para que não resulte no fenômeno de cavitação.

Em situações onde o fluido é muito abrasivo, a necessidade de manutenções periódicas dos equipamentos se torna essencial para garantir o melhor ponto de funcionamento do equipamento. Aplicando conceitos de manutenção preventiva, manutenção produtiva total e confiabilidade, mesmo que o equipamento esteja exposto a condições extremas, manterá seu funcionamento conforme projeto. A NBR 16676 estabelece os requisitos e fornece as

recomendações para sistemas de selagem para bombas centrífugas e rotativas utilizadas em indústrias, conforme é possível observar na Figura 2, o sistema de selagem possui selo cartucho com diferentes configurações, permitindo assim uma grande variedade de aplicações.



Figura 2 - Selo cartucho simples. Fonte: Aesseal (2019)

A etapa do branqueamento no refino de óleo utiliza terra ativada para realizar a filtragem física do óleo (Monteiro e Silva, 2013). Sendo assim, a bomba centrífuga responsável pela transferência dos fluídos atua bombeando uma mistura de óleo refinado e terra ativada, formando assim um fluído denso e abrasivo, podendo ocasionar acúmulo de partículas e incrustações nas tubulações de sucção, o que diminuem o NPSH disponível do equipamento. Conforme esse acúmulo de partículas aumenta, o escoamento do fluído começa a ter suas características alteradas, conseqüentemente, levando a formação de bolhas em seu fluxo, as quais ao longo da tubulação se chocam contra as partes girantes do rotor, gerando ondas de choque que danificam os componentes internos, caracterizando o fenômeno da cavitação (Germer, 2013).

As recorrentes falhas no sistema de selagem instalado na bomba de transferência do tanque de pré-capa para centrífuga de degomagem, ocasionaram desgaste prematuro do sistema de selagem e vazamento na tubulação devido a falta de treinamento dos colaboradores, aplicação inadequada do sistema de selagem e erros de montagem dos equipamentos. De modo que, no período de 07 meses, ocasionou um custo de R\$78.000,00 devido a troca prematura dos componentes de selagem da bomba. Somando-se as 830 toneladas de óleo não refinadas devido a 33 horas em que o equipamento não esteve disponível devido a paradas não planejadas, elevando o custo de manutenção e reduzindo a confiabilidade do processo.

1.1.Cálculo de valor de reposição do ativo

Conforme NBR 5462, referente a confiabilidade e manutenibilidade, é possível aplicar os conceitos de indisponibilidade média e o tempo de reparo para quantificar o custo de manutenção. O RAV (Valor de Reposição do Ativo) é um indicador que mede o custo atual

para substituir a capacidade produtiva de um componente, considerando o custo direto e indireto envolvido no processo.

O valor de reposição do ativo em um certo período, pode ser obtido por:

$$RAV = C_r + C_{\bar{u}} \quad (1)$$

Onde:

C_r = Custo de reparo (R\$);

$C_{\bar{u}}$ = Custo de indisponibilidade média (R\$).

A indisponibilidade média \bar{u} é dada por:

$$\bar{u}_{(t_1, t_2)} = \frac{T_{\text{Manutenção}}}{F_{\text{Componente}}} \quad (2)$$

Onde:

$T_{\text{Manutenção}}$ = Tempo de manutenção (min);

$F_{\text{Componente}}$ = Quantidade de falhas no componente.

O custo de indisponibilidade média $C_{\bar{u}}$, pode ser calculado através da indisponibilidade média, sendo assim:

$$C_{\bar{u}} = C_{\text{Produto}} * \bar{u} \quad (3)$$

Onde:

C_{Produto} = Custo médio do produto (R\$).

O tempo de reparo T_r é dado por:

T_r = Tempo de manutenção corretiva executando ações de reparo (min)

Utilizando o tempo médio de reparo T_r , é possível determinar o custo de reparo C_r :

$$C_r = C_{\text{Mão de obra}} * T_r * MO + C_{\text{Componente}} \quad (4)$$

Onde:

$C_{\text{Mão de obra}}$ = Custo da hora do mantenedor (R\$);

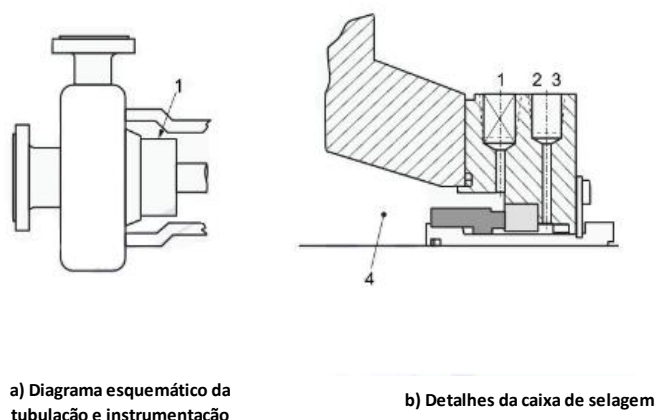
$C_{\text{Componente}}$ = Custo do componente (R\$);

MO = Quantidade de mantenedores envolvidos no processo.

1.2.Sistemas de selagem NBR 16676

Com a evolução das metodologias de confiabilidade e manutenibilidade, houve a necessidade da elevação dos padrões utilizados nos componentes aplicados em bombas centrífugas. Portanto, em 2018, foi elaborada a NBR 16676, que trata sobre sistemas de selagem para bombas centrífugas e rotativas. O documento estipula padrões mínimos adaptados de normas internacionais para equipamentos com eixos que variam de 20 mm até 110 mm, aplicados nas indústrias de petróleo, gás natural e química.

O plano de selagem 03 consiste na circulação do fluido entre a caixa de selagem e a bomba. Essa geometria da caixa de selagem cria um fluxo que fornece resfriamento para o selo e ventila o ar ou vapores da caixa de selagem. Essa aplicação é recomendada para bombeamento de óleo vegetal devido a capacidade de acumulação de particulados, os quais câmaras de selagem tradicionais não seriam recomendadas, sendo comumente aplicado com selos cartuchos simples. Sua forma construtiva é apresentada na Figura 3.



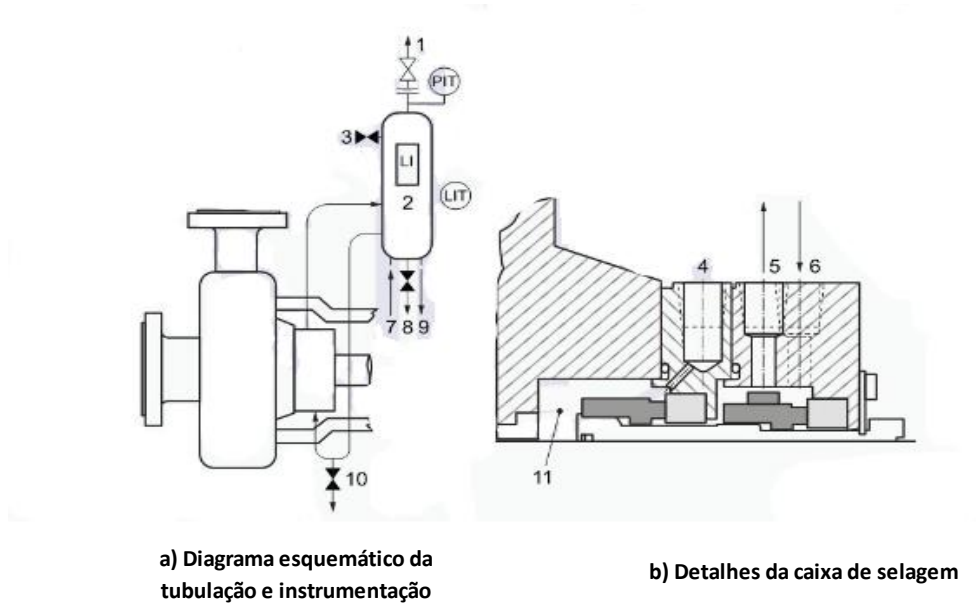
Legenda

- 1 *flush* (F), tampada (provisão para circulação do fluido ou para escorva em bombas verticais)
- 2 *quench* (Q)
- 3 dreno (D)
- 4 caixa de selagem

Figura 3 - Plano de selagem 03. Fonte: Adaptado de NBR 16676

O plano de selagem 53A disposto na Figura 4, possui construtivo similar ao plano de selagem 03, sendo aplicado em processos onde nenhum produto pode ser vazado para atmosfera ou o fluido seja prejudicial para os componentes internos do selo. O fluido de barreira é pressurizado e possui uma origem externa, sendo armazenado em um reservatório de fluido (2). O fluido de barreira deve ser líquido, e possuir compatibilidade com o produto bombeado, pois ocorrem micro vazamentos que causam contaminação, assim como, na instalação deve ser evitado curvas e longas tubulações, para que assim, não ocorram perdas e maximizar a

circulação do fluido. O sistema de selagem é composto por selos mecânicos duplos, onde selo mecânico interno veda a caixa de selagem enquanto o selo mecânico externo utiliza o líquido de barreira limpo, que possui a função de lubrificar a vedação do fluido para o ambiente.



Legenda

1	da fonte de pressão externa	8	dreno do fluido de barreira do reservatório
2	reservatório	9	saída da água de resfriamento
3	reposição do líquido de barreira	10	dreno do fluido de barreira
4	flush (F)	11	caixa de selagem
5	saída do líquido de barreira (LBO)	LI	indicador de nível
6	entrada do líquido de barreira (LBI)	LIT	transmissor de nível com indicador local
7	entrada da água de resfriamento	PIT	transmissor de pressão com indicador local

Figura 4 - Plano de selagem 53A. Fonte: Adaptado de NBR 16676

O tópico 4.2 da NBR 16676 estipula que os selos conforme devem operar 25000 horas sem a necessidade de substituição do componente, o equivalente a 03 anos de operação se estiver em conformidade com o projeto do sistema de selagem. O fornecimento do sistema de selagem é responsabilidade do fornecedor da bomba, caso não seja adquirido como sistema da bomba, a responsabilidade do fornecimento se torna do fornecedor do selo.

1.3. Análise de falha em componentes mecânicos

A análise de falhas é um processo essencial para determinar a causa raiz de problemas, sendo um processo complexo, que envolve análises sensíveis e laboratoriais. A análise sensível tem destaque na rotina de manutenção, pois é possível determinar causas para falhas com um baixo custo (Tschiptschin, 2019). O procedimento consiste em realizar uma análise

visual e fotográfica do componente que apresentou a falha, para assim, determinar a causa da falha.

O desalinhamento é evidenciado através do contato excessivo com alguma das superfícies e/ou falta do contato, que ocasiona a concentração de tensões e falha do componente nesses pontos. A principal característica dos desalinhamentos em fraturas fica visível através da torção que o componente sofre e uma trinca não uniforme ao longo da sua seção transversal.

Desgaste abrasivo ocorre quando há deslocamento de material provocado por partículas de alta dureza existentes entre as duas superfícies em movimento ou embebidas em uma ou nas duas superfícies em movimento (Tschiptschin, 2019). Pode ser evidenciado através do desprendimento de material da superfície, o qual através do acúmulo e propagação resulta na falha dos componentes. O desgaste abrasivo pode ser classificado como:

- Desgaste erosivo: Ocorre quando partículas entram em contato com a superfície e causam o sulcamento ou corte, removendo pequenas partículas e danificando o componente, evidenciado na Figura 5:



Figura 5 - Desgaste erosivo. Fonte: Tschiptschin, (2019)

- Desgaste por *fretting*: As vibrações de pequena amplitude podem provocar micro escorregamentos entre superfícies ao longo da zona de contato provocando o desgaste. Na Figura 6 é possível observar o *fretting* em aço.

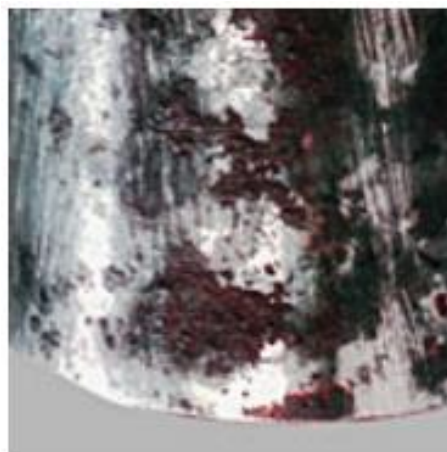


Figura 6 - Desgaste por fretting. Fonte: Tschiptschin (2019)

1.4.Método de Ishikawa

Conforme Holanda (2009), o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta expositiva, que pode ser aplicado para apresentar a relação existente entre o resultado e as causas que tecnicamente possam afetar esse resultado. Sendo uma ferramenta útil para analisar variáveis que envolvem o processo e expor as fragilidades para que ações sejam tomadas.

Conforme ilustrado na Figura 7, Campos (1999) dividiu em categorias ou famílias de causas. Onde cada uma dessas classificações pode ser equalizada e tratada buscando compreender as fragilidades que o processo está exposto. As categorias propostas são materiais, máquinas, métodos, meio ambiente, mão-de-obra e medidas.



Figura 7. Diagrama de Ishikawa e ilustração dos 6M. Fonte: Campos (1999)

1.5.Análise de Pareto

O princípio de Pareto é uma metodologia interdisciplinar para quantificação das causas de uma falha, definido como evento crítico. Quando dois conjuntos de dados relativos as causas (inputs) e resultados (outputs), podem ser examinados e analisados, o resultado mais provável será um padrão de desequilíbrio onde 80% dos resultados possuem 20% das causas (Nunes, 2001), a Figura 8 apresenta graficamente o diagrama de Pareto.

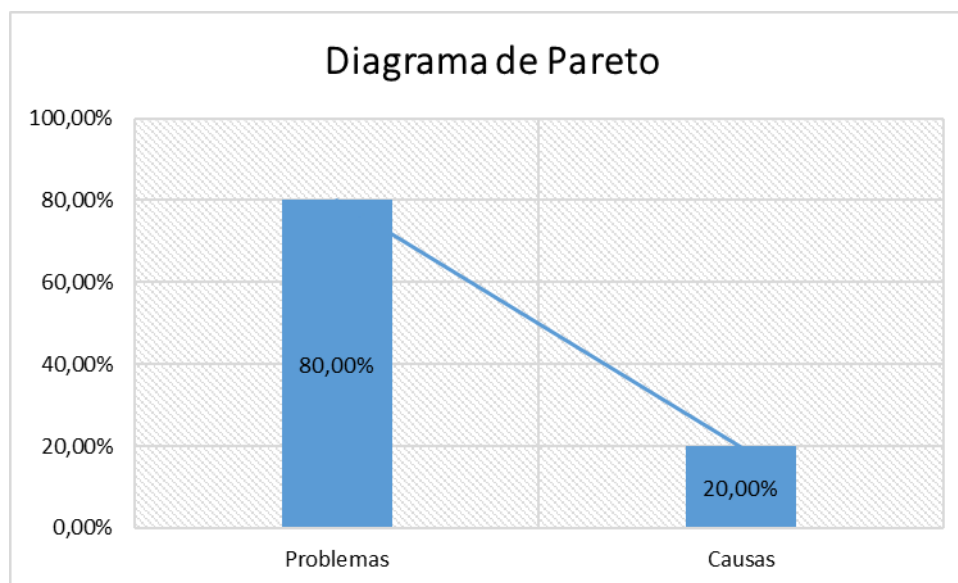


Figura 8 - Diagrama de Pareto. Fonte: Adaptado de Nunes (2001)

A utilização para análise de falhas se torna uma ferramenta crucial para gestão da manutenção, tendo em vista que através do uso é possível conflitar as causas das falhas com os números de paradas e determinar quais os principais causadores desses eventos, direcionando assim, onde a intervenção trará maiores resultados. O diagrama de Pareto evidencia graficamente a ordem dessas causas, facilitando assim gestores tomarem decisões através da base de dados.

1.6.Método 5W2H

Atribuída a várias origens, a ferramenta para elaboração de planos de ação 5W2H teve destaque através de resultados que a indústria automobilística japonesa apresentou durante o desenvolvimento de ferramentas de qualidade e gestão de projetos (Minetto, 2018). Aplicado para manutenção, a metodologia é usual para elaboração de planos de ação para falhas em processos ou equipamentos, onde através da resposta aos questionamentos, gestores são capazes de traçar melhores maneiras para evitar a reincidência da falha. A Figura 9 apresenta uma tradução livre da ferramenta, onde respondendo cada questionamento será possível elaborar planos de ação.

5W	WHAT	O que?	2H	HOW	Como?
	WHY	Porque?			
	WHERE	Onde?		HOW MUCH	Quanto?
	WHEN	Quando?			
	WHO	Quem?			

Figura 9 - Ferramenta 5W2H. Adaptado de Minetto (2018)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Alto custo na substituição do selo cartucho

A troca de selo cartucho aplicados em sistemas de selagem para bombas centrífugas não representam somente o custo da troca do componente $C_{Componente}$, deve ser levado em conta o custo de manutenção $C_{Mão\ de\ obra}$ que engloba o uso das ferramentas e disposição dos mantenedores para execução da atividade, assim como, o custo de parada de produção C_{Parada} . Tendo em vista que no período de 07 meses de operação, foram coletados os seguintes dados:

Tabela 1 - Histórico de manutenção do ativo. Fonte: Próprio autor.

Falhas do componente	8
Custo do componente	R\$ 9.750,00
Tempo de reparo (min)	680
Indisponibilidade média (min)	792
Custo do produto (R\$/min)	R\$ 2.500,00
Mão de obra	02 pessoas
Custo da mão de obra (R\$/min)	R\$ 0,20

Para essa situação, a falha do componente implica na parada do equipamento, ou seja, é necessário a reposição do ativo. Se trabalharmos (1) é possível determinar o valor de reparo do ativo:

$$RAV = C_r + C_{\bar{u}} = (C_{Mão\ de\ obra} * T_r * MO + C_{Componente}) * F_{Componente} + (C_{Produto} * \bar{u}) \quad (5)$$

Aplicando os dados dispostos na Tabela 1, através da Eq. 5 será possível obter o valor de reposição do ativo para as 08 paradas de processo, sendo assim:

$$RAV = R\$2.060.176,00$$

Portanto, devido a constantes quebras de selos cartuchos, o custo agregado na manutenção desse equipamento alcançou o valor de R\$2.060.176,00 em 07 meses.

2.2. Abrasividade do fluído

O sistema de selagem possui um anel de vedação com a função de restringir o fluxo do fluído através do eixo do selo cartucho, de modo que o produto permaneça sendo bombeado e amenize a perda de produto. Sendo assim, o anel de vedação possui contato direto com o fluído bombeado. Caso o anel seja dimensionado corretamente para as propriedades do fluído, considerando sua abrasividade e compatibilidade química, o anel não devera sofrer danos por essa origem.

A abrasividade do fluido causa um desgaste erosivo que provoca o sulcamento e corte da superfície (Tschiptschin, 2019). Através da Figura 10, evidencia-se o desgaste devido ao atrito entre o fluido e o anel de vedação, o qual ocasionou cortes e sulcamento da superfície do anel.



Figura 10 - Anel de vedação instalado no equipamento. Fonte: Próprio autor.

2.3. Face estacionária quebradiça

A aparência áspera e corroída em uma superfície indica o *fretting* desse componente (Tschiptschin, 2019). Analisando a Figura 11 conforme indica a seta vermelha, é possível notar a formação desses danos que resultaram na falha do sistema de vedação do selo cartucho. O equipamento opera em altas rotações e a abrasividade do fluido implicam em micro escorregamentos que obstruem os canais, impedindo a formação do filme lubrificante que evita o contato entre as faces rotativas e estacionária do selo cartucho.

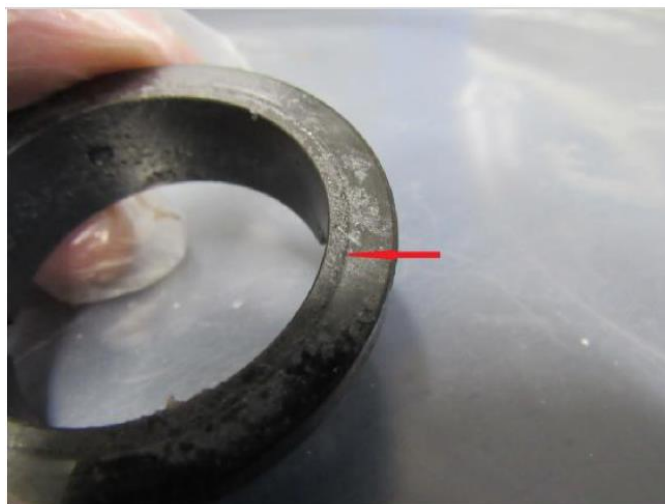


Figura 11 - Face estacionária do selo cartucho. Fonte: Próprio autor

A face estacionária apresentar desgaste prematuro é consequência da seleção inadequada do material, pois para a rotação que o equipamento opera, é interessante a aplicação de algum metal, comumente sendo utilizado o tungstênio. Se aplicado, o *fretting* seria amenizado ou até evitado na face estacionária, pois o metal suportaria melhor as altas temperaturas.

2.4. Plano de selagem

Conforme observado na Figura 11, o superaquecimento das faces, é possível observar que o fluído bombeado não está sendo eficaz para realizar a refrigeração, conseqüentemente, causando falha no sistema de selagem. Através dos danos causados ao anel de vedação, apresentado na Figura 10, a abrasividade do fluído está causando atrito ao *o-ring*, evidenciando que o bombeamento de material particulado é superior ao dimensionado no projeto, ocasionando no acumulo excessivo e falha do selo cartucho. Na Figura 12, o fluído destacado em azul, é possível verificar em detalhe que o fluído entra em contato direto com o *o-ring* e as faces.

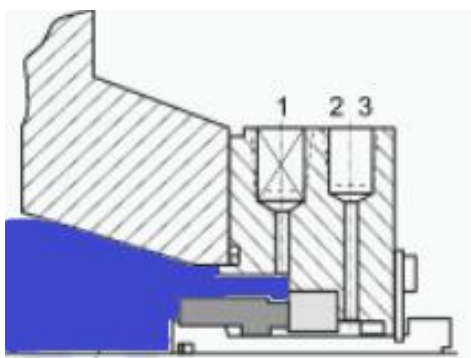


Figura 12 - Área de contato do fluído bombeado no plano de selagem 03. Fonte: Adaptado de NBR 16676

O fluído bombeado apresenta características mais agressivas do que o previsto no projeto, de modo que, está comprometendo os componentes internos do selo, pois o plano de selagem 03 consiste na circulação do fluído bombeado em seus componentes para realizar a refrigeração e lubrificação entre a face estacionária e rotativa. Sendo assim, se torna necessária a alteração do plano de selagem aplicado na bomba.

2.5. Mantenedor sem treinamento

A utilização de padrões internacionais de selagem implica na necessidade de treinamento adequado a todos os envolvidos no processo. As nomenclaturas utilizadas, materiais aplicados nas faces e vedações, procedimentos de operação e práticas de manutenção devem estar bem claros, para que assim, não ocorram falhas que resultem em paradas de produção.

A montagem de bombas centrífugas e selos mecânicos consistem em ajustes precisos, os quais necessitam de prática e instruções adequadas. A correta montagem inicia no momento da seleção do selo para instalação, que deverá seguir o projeto do sistema de selagem da bomba, caso seja incorreto, resultará em ataque químico as faces ou até fraturas indesejadas.

Durante a montagem do conjunto da bomba, é essencial que seja verificado o alinhamento angular e axial do conjunto, assim como, verificar o balanceamento do eixo e rotores. Essa prática deverá ser realizada em toda troca de componentes do equipamento, evitando assim, fraturas por torção ou desgastes por propagação de componentes, que ocorre quando um componente danificado em operação causa danos a outros componente que tem contato direto.

2.6. Montagem inadequada

O uso de planos de selagem necessita de profissionais qualificados devido ao alto custo dos componentes aplicados no equipamento, pois qualquer erro de montagem pode comprometer a qualidade e durabilidade do sistema de selagem. Para a correta instalação, é importante que o mantenedor siga todos os procedimentos orientados pelo fabricante do equipamento, respeitando os limites de folga, torque e alinhamento.

Na Figura 13, no ponto indicado pela seta vermelha nota-se vestígios de choque mecânico na face estacionária do selo cartucho, através de inspeção no equipamento, foi possível identificar que foi ocasionada devido ao desalinhamento do conjunto, o que ocasionou o superaquecimento dessa face e uma fratura por torção.



Figura 13 - Face estacionária danificada por torção. Fonte: Próprio autor

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

O objetivo do estudo é evidenciar possíveis causas para as recorrentes falhas dos selos cartuchos utilizados no sistema de selagem da bomba centrífuga de transferência de óleo branqueado.

Para compreender a recorrente falha em selos cartuchos aplicados no bombeamento de óleo na etapa do branqueamento, é possível aplicar o método de Ishikawa, que irá apontar possíveis causas raiz para o efeito. Na Figura 14, o diagrama de Ishikawa apresenta todas as causas levantadas através do histórico de 08 falhas críticas no selo cartucho registradas no

equipamento, facilitando assim, a identificação das principais causas que resultaram na falha do sistema de selagem da bomba.

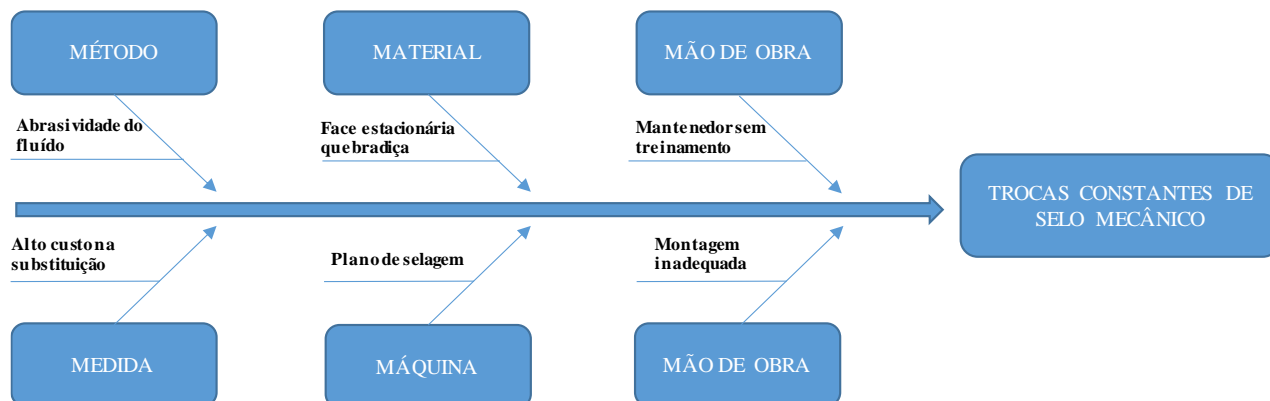


Figura 14 - Diagrama de Ishikawa. Fonte: Próprio autor

Através do diagrama de Ishikawa foi possível identificar as principais causas raiz para a falha no sistema de selagem, de modo que, se torna necessário priorizar quais causas a elaboração de planos de ação trarão resultados. O princípio de Pareto determina que 80% das falhas no sistema de selagem tem origem em 20% das causas apontadas, podendo ser comprovado através da Figura 15, a qual apresenta que três falhas ocorreram devido a superaquecimento das faces do selo cartucho, duas falhas devido a aplicação de selos cartuchos inadequados e uma falha devido a desalinhamento.

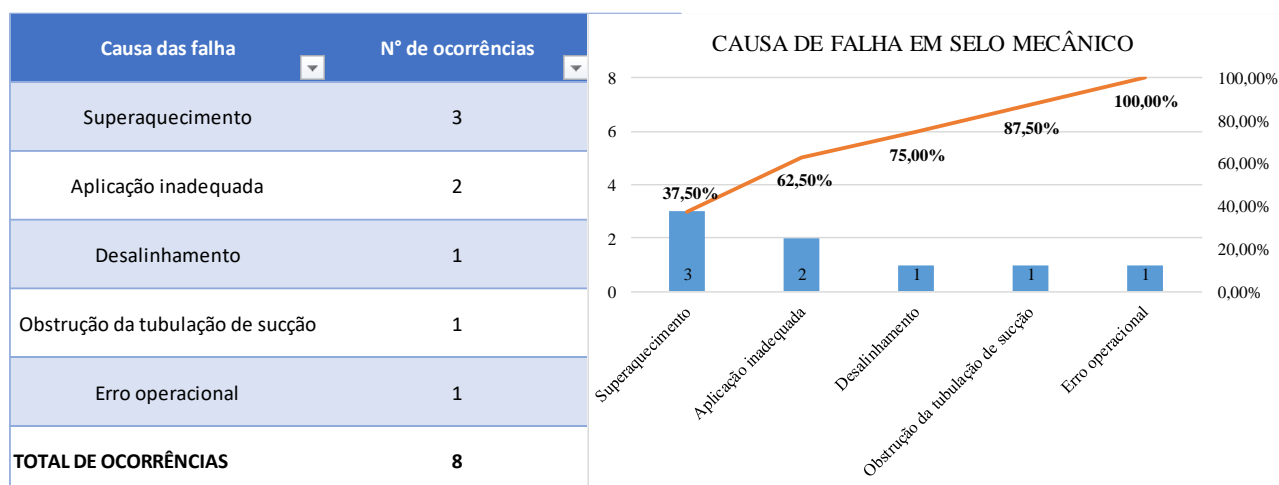


Figura 15 - Princípio de Pareto aplicado para priorização de causas raiz. Fonte: Próprio autor

Realizando um paralelo com a causa raiz apontada no método de Ishikawa, é possível realizar a generalização da causa da falha para compreender quais serão os planos de ação mais eficazes, sendo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Generalização da causa da falha do selo cartucho. Fonte: Próprio autor

Falha do sistema de selagem	3 ocorrências
Manutenção inadequada	3 ocorrências
Operação inadequada	1 ocorrência
Erro de projeto	1 ocorrência

Analisando a Tabela 2, nota-se que 75% das falhas no sistema de selagem da bomba centrífuga tem origem na manutenção inadequada do equipamento e no sistema de selagem incorreto para a aplicação. Onde através da ferramenta 5W2H é possível traçar planos de ação para solucionar essas causas. Na figura 16 é apresentado o plano de ação para solucionar a manutenção inadequada do equipamento, através da qualificação dos mantenedores para realizar a correta intervenção. O treinamento deverá abordar sistemas de selagem, montagem e desmontagem de selos cartuchos, alinhamento de conjunto da bomba centrífuga e aplicações de selos cartuchos.

5W	WHAT	TREINAMENTO DE MANTENEDORES	2H	HOW	CONTRATANDO EMPRESA ESPECIALISTA EM PLANOS DE SELAGEM
	WHY	REDUZIR CUSTOS DE MANUTENÇÃO			
	WHERE	SALA DE TREINAMENTO		HOW MUCH	HORA-HOMEM DOS MANTENEDORES
	WHEN	PRÉVIAMENTE A TROCA DE SELOS MECÂNICOS			
	WHO	EQUIPE INTERNA			

Figura 16 - Ferramenta 5W2H aplicada em plano de ação. Fonte: Próprio autor

Após a qualificação dos mantenedores, será necessário adequar o plano de selagem aplicado na bomba. Conforme apresentado na Figura 10, o plano de selagem 03 permite que o fluído entre em contato direto com os componentes internos do selo cartucho, o que não é recomendado, devido a abrasividade que o fluído bombeado apresenta. Para solucionar tal situação, recomenda-se a troca para o sistema de selagem 53A, que através do fluído de barreira evita que o fluído bombeado entre em contato direto com os componentes internos do selo, seguindo a já supracitada NBR 16676, que recomenda a utilização desse plano de selagem para fluídos bombeados que sejam prejudiciais aos componentes internos do selo cartucho. A Figura 17 apresenta o plano de ação para realizar a troca do sistema de selagem:

5W	WHAT	ADEQUAÇÃO DO PLANO DE SELAGEM	2H	HOW	CONTRATANDO EMPRESA ESPECIALISTA EM PLANOS DE SELAGEM
	WHY	REDUZIR CUSTOS DE MANUTENÇÃO			HOW MUCH
	WHERE	BOMBA CENTRÍFUGA			
	WHEN	PARADA ANUAL DE MANUTENÇÃO			
	WHO	EQUIPE INTERNA			

Figura 17 - Ferramenta 5W2H aplicada em plano de ação. Fonte: Próprio autor

Através do uso da ferramenta 5W2H a elaboração dos planos de ação se torna objetiva, facilitando assim, a tomada de decisão dos gestores e resolução eficiente de problemas.

4. CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas para evidenciar causas de falhas, tal como Ishikawa, torna-se eficiente quando aplicada em conjunto com a priorização e elaboração de planos de ação. Se aplicado corretamente a priorização por meio do método de Pareto, os gestores terão maior facilidade na identificação dos pontos prioritários, o que na rotina de manutenção em qualquer empresa, se torna atrativo economicamente.

4.1. Qualificação dos mantenedores

De modo geral, a utilização de sistemas de selagem exige o treinamento adequado de todos os mantenedores e operadores. Onde a imperícia na manutenção do equipamento pode resultar em desalinhamentos ou aplicação inadequada de selos mecânicos, ocasionando assim, na perda da vida útil do componente. Considerando que a manutenção inadequada representou 37,5% das falhas que ocorreram no sistema de selagem, o custo de RAV gerará uma economia em torno de R\$ 770.000,00 para a empresa.

Conforme supracitado, o tópico 4.2 da NBR 16676 estipula que a garantia até 25000 horas de funcionamento do selo cartucho é responsabilidade do fornecedor, portanto, treinamentos e garantia da qualidade do produto fornecido estão contemplados nesse item, sendo assim, o fornecedor do sistema de selagem deverá realizar o treinamento dos mantenedores para a correta operação e manutenção de forma gratuita.

4.2. Adequação do sistema de selagem

Para aplicação de bombas centrífugas no transporte de óleo após a etapa do branqueamento, é importante que seja considerado a abrasividade do fluído na escolha dos materiais aplicados no selo mecânico, assim como, a utilização do plano de selagem adequado

para esse cenário. É possível identificar a ineficácia da aplicação do plano de selagem 03, pois devido as características do fluido bombeado, o contato direto com as partes internas do selo cartucho ocasiona no desgaste prematuro do componente.

A aplicação inadequada do sistema de selagem ocasionou 37,5% das falhas, ocasionando R\$ 770.000,00 em custo na manutenção desse equipamento. Considerando que a implantação do sistema de selagem 53A terá o investimento de R\$85.000,00, representando 11% do RAV no período de 07 meses, a adequação se torna viável financeiramente. Considerando o custo do selo cartucho utilizado no sistema de selagem 03 é de R\$ 9.750,00 e foi necessária a substituição em ciclos de 03 meses, caso o plano de selagem 53A opere adequadamente durante as 25000, o investimento gerará uma economia de R\$ 32.000,00, exposto através da Figura 18.

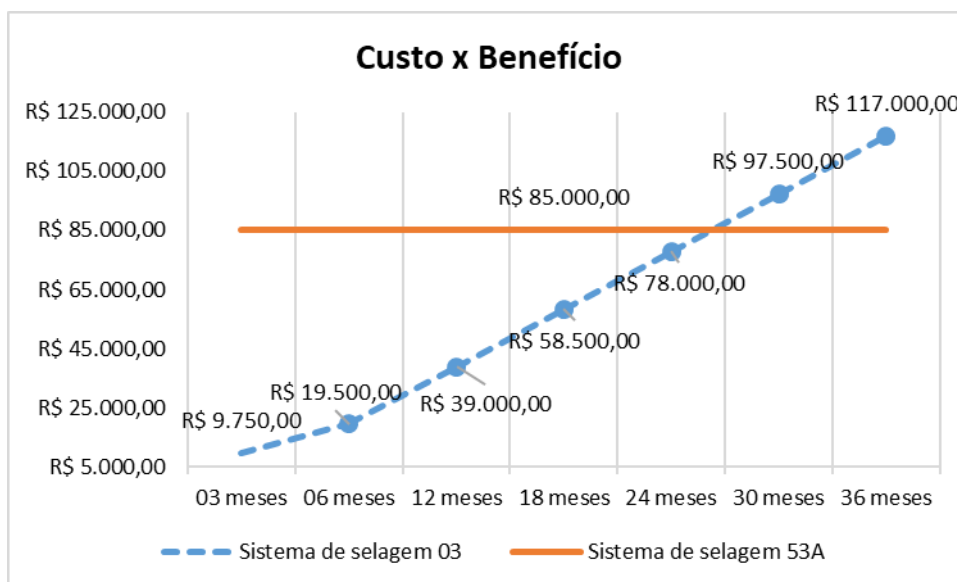


Figura 18 - Custo benefício da implantação do sistema de selagem 53A. Fonte: Próprio autor

5. REFERÊNCIAS

- CAMPOS, Vicente Falconi. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia/ Vicente Falconi Campos. – 9.ed. – Nova Lima: FALCONI, 2013;
- GERMER, E. Máquinas de fluxo. Curitiba: UTFPR, Curitiba, 2013 (apostila);
- HOLANDA, MARIANA. Utilização do diagrama de ishikawa e brainstorming para solução do problema de assertividade de estoque em uma indústria da região metropolitana de recife. Salvador: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 2019;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16676: Sistemas de selagem de eixos para bombas centrífugas e rotativas. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994;
- MINETTO, BIANCA. Ferramentas de qualidade – 5W2H. Curitiba. Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR. Minetto, 2018;
- TSCIPTSCHIN, ANDRE. Técnicas de análise de falhas. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Tschiptschin, 2019.
- MONTEIRO E SILVA, SIMONE. Investigação sobre o refino físico de óleos vegetais para obtenção de produtos de alta qualidade. Campinas. Jornal da UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), 2013.