

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA
EM SISTEMAS PRODUTIVOS

GILBERTO DA SILVEIRA MOURÃO

FATORES QUE AFETAM A CONFIABILIDADE DOS BRAÇOS DE CARREGAMENTO
DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS

São Paulo
abril/2016

GILBERTO DA SILVEIRA MOURÃO

FATORES QUE AFETAM A CONFIABILIDADE DOS BRAÇOS DE CARREGAMENTO
DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Antonio Simões e Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi.

São Paulo
abril/2016

M929f Mourão, Gilberto da Silveira
Fatores que afetam a confiabilidade dos braços de carregamento de hidrocarbonetos líquidos / Gilberto da Silveira Mourão. – São Paulo : CEETEPS, 2016.
104 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Antonio Simões
Coorientador: Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperri
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2016.

1. Indústria Petroquímica. 2. Hidrocarbonetos líquidos. 3. Braços de carregamento. 4. Confiabilidade. I. Simões, Eliane Antonio. II. Degasperri, Francisco Tadeu. III. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. IV. Título.

GILBERTO DA SILVEIRA MOURÃO

FATORES QUE AFETAM A CONFIABILIDADE DOS BRAÇOS DE CARREGAMENTO
DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS



Prof. Dra. Eliane Antonio Simões
Orientadora



Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperis
Coorientador



Prof. Dr. Dário Henrique Alliprandini
Membro



Prof. Dr. Humber Furlan
Membro

São Paulo, 13 de maio de 2016

Dona Ana – o início;
Namorada A. – amor e fiel parceria
Luan, Gabriel e Lucas – esperança no
amanhã
Amigos – continuemos de mãos
dadas

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Eliane Antonio Simões, minha orientadora, pela oportunidade e encorajamento indicando os caminhos a seguir.

Ao Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi, meu orientador, pela paciência e encorajamento nas pesquisas tecnológicas e os experimentos a seguir.

Aos colegas e amigos da empresa objeto de pesquisa, sem os quais o estudo prático seria muitíssimo difícil.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, pelo companheirismo.

“O estudo em geral, a busca da verdade e da
beleza são domínios em que nos é consentido
ficar crianças toda a vida”
(Albert Einstein)

RESUMO

MOURÃO, G. S. **Fatores que afetam a confiabilidade dos braços de carregamento de hidrocarbonetos líquidos**. 104 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

O presente trabalho tem por objetivo identificar os fatores que afetam a confiabilidade dos braços de carregamento de hidrocarbonetos líquidos. A metodologia usada foi revisão bibliográfica e levantamento de dados com entrevistas semiestruturadas, tendo sido a amostra selecionada por conveniência. Os dados sofreram tratamento não probabilístico. Os principais resultados mostraram que fatores de mantenebilidade e de suporte afetam a operação dos braços de carregamento. A partir da base de dados de antecedentes do equipamento desenvolveram-se questões sobre possíveis causas e procurou-se obter respostas factíveis, através das análises laboratoriais para verificação de uma proposição investigada, formulada e trazida ao longo do estudo. Um experimento foi desenvolvido com a finalidade de propor uma possível correlação causal entre a unidade primária de análise, a variável nível de concentração de salinidade no fluido hidráulico e a viscosidade do óleo hidráulico. Uma variação positiva da viscosidade do fluido com o incremento de concentração da salinidade pode indicar e levantar a proposição da relação com o problema de desempenho e eficiência dos braços de carregamento e sua relevante influência nos modos de falhas coletados nos registros do sistema de prevenção e recuperação de falhas.

Palavras-chave: Indústria Petroquímica, Hidrocarbonetos Líquidos, Braços de Carregamento, Confiabilidade.

ABSTRACT

MOURÃO, G. S.. **The factors that affect reliability of loading arms for liquid hydrocarbons.** 104f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

This study aims to identify the factors that affect the reliability of the loading arms for liquid hydrocarbons. The methodology used was the literature review and survey data with interviews in which the sample was selected by convenience and conducted semi-structured interviews. Data were studied under non-probabilistic treatment. The main results show that, maintainability and support factor affect the operation of the loading arms. From the background database of the equipment on possible causes issues it has been developed and tried to get answers feasible, through laboratory tests to check a proposition investigated, formulated and brought throughout the study. An experiment carried out with the aim of proposing a possible causal correlation between the elementary unit of analysis, the variable salinity concentration in the hydraulic fluid and the viscosity of the hydraulic oil. A positive change of fluid viscosity with increasing concentration of salinity may indicate and raise the proposition of the relation with the performance issue and efficiency of loading arms and its important influence on the ways of collected flaws in the records of the prevention system and fails recovery.

Keywords: Petrochemical Industry, Liquid Hydrocarbons, Loading Arms, Reliability.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Definição e parâmetros do indicador de eficiência EO....	70
Quadro 2:	Fases de concepção da pesquisa	79
Quadro 3:	Fases de estudo da Pesquisa	80
Quadro 4:	Fases de estruturação de modelo final.....	81
Quadro 5:	Pesquisa com funcionários de operação.....	84
Quadro 6:	Pesquisa com funcionários de manutenção.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Propriedades físico-químicas do óleo hidráulico API CF SAE 32.....	93
-----------	--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mercado de derivados de hidrocarbonetos no Brasil	18
Figura 2:	Modelo geral de gestão de operações	25
Figura 3:	Desempenho de operações	27
Figura 4:	Prevenção e recuperação de falhas	30
Figura 5:	Braço de carregamento acoplado ao tanque.....	39
Figura 6:	Fontes de falhas potenciais nas operações	43
Figura 7:	Curvas da banheira para os tipos de processos	44
Figura 8:	Etapas de implantação da metodologia MCC	47
Figura 9:	Experiência das duas placas	56
Figura 10:	Decomposição de forças	56
Figura 11:	Gradiente de velocidade.....	57
Figura 12:	Diagrama de velocidade.....	58
Figura 13:	Comportamento reológico de diferentes materiais viscosos	59
Figura 14:	Espessuras dinâmicas de óleo	63
Figura 15:	Viscosímetro Cannon-Fenske	65
Figura 16:	Determinação do índice de viscosidade.....	66
Figura 17:	Braços em operação	69
Figura 18:	Evolução do indicador de eficiência na operação EO	71
Figura 19:	Indicador EO 2016.....	72
Figura 20:	Sistema de informação do módulo de manutenção.....	73
Figura 21:	Comandos e controles dos braços de carregamento	74
Figura 22:	Delimitação do sistema de estudo.....	75
Figura 23:	Sistema hidráulico dos braços de carregamento	77
Figura 24:	Estrutura da pesquisa	78
Figura 25:	Número de modos de falha por subsistema	85
Figura 26:	Fases e etapas de análise de causa	86
Figura 27:	Viscosímetro	95

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D _{Op}	Disponibilidade operacional
FMEA	Failure mode and effect analysis
FTA	Fault tree analysis
GPS	General problem solver
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MIT	Massachusetts Institute of Technology
P.M	Períodos de manutenção
RCM	Reliability centered maintenance
SWOT	Streght, weaknesses, oportunities and trends – forças, fraquezas, oportunities e ameaças
TEP	Tempo de equipamento parado devido à manutenção
TM	Tempo de manutenção
T _{medMC}	Tempo mediano de manutenção corretiva
T _{medMP}	Tempo mediano de manutenção preventiva
TMEF	Tempo médio entre falhas
TMEM	Tempo médio entre manutenções
TMMC	Tempo médio de manutenção corretiva
TMMP	Tempo médio de manutenção preventiva
TM _{PR}	Tempo médio para restabelecer o sistema
TPM	Total productivity maintenance

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Questões de pesquisa	20
1.2 Objetivo	20
1.3 Organização do trabalho	20
1.4 Problema de pesquisa	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1 Gestão das operações	24
2.2 Fatores operacionais e indicadores de desempenho ...	26
2.3 Manutenção e a confiabilidade	28
2.3.1 <i>Medidas de desempenho da manutenção</i>	34
2.3.2 <i>Fatores de confiabilidade</i>	35
2.3.3 <i>Fatores de mantenebilidade</i>	35
2.3.4 <i>Fatores de disponibilidade</i>	36
2.3.5 <i>Fatores humanos</i>	36
2.3.6 <i>Fatores de suporte logístico</i>	37
2.3.7 <i>Fatores econômicos</i>	37
2.4 A hidráulica no contexto da manutenção e falhas	38
2.4.1 <i>Manutenção de sistemas hidráulicos</i>	40
2.4.2 <i>Falha em sistemas hidráulicos</i>	40
2.4.3 <i>Falhas de projeto</i>	42
2.4.4 <i>Falhas de instalação</i>	42
2.4.5 <i>Falhas de pessoal</i>	42
2.4.6 <i>Falhas de fornecedores</i>	42
2.4.7 <i>Falhas de clientes</i>	43
2.4.8 <i>Falhas de ruptura no ambiente</i>	43
2.5 Manutenção centrada em confiabilidade	45
3 TECNOLOGIA DOS BRAÇOS DE CARREGAMENTO DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS	49
3.1 Braços de Carregamento e a sua evolução	49
3.2 Reologia	52
3.2.1 <i>Transmissão de potência e sua evolução</i>	52
3.2.2 <i>Deformação e gradiente de velocidade</i>	55

3.2.3 <i>Viscosidade absoluta ou dinâmica</i>	59
3.3 Fluidos hidráulicos e manutenção	60
3.3.1 <i>Limpeza do óleo</i>	61
3.3.2 <i>Controle de contaminação de óleos</i>	61
3.3.3 <i>Uso e desgaste de sistemas de óleo</i>	62
3.3.4 <i>Contaminação de partículas</i>	62
3.4 Análise de óleo	63
3.4.1 <i>Análise de viscosidade</i>	64
3.4.2 <i>Índice de viscosidade</i>	66
4 MÉTODO	67
4.1 Caracterização do problema	67
4.2 Método de pesquisa	68
4.2.1 <i>Pesquisa na perspectiva de gestão de operações</i>	68
4.2.2 <i>Indicador de desempenho</i>	70
4.2.3 <i>Delimitação do estudo</i>	74
4.3 Desenho da pesquisa	77
4.3.1 <i>Etapas de pesquisa</i>	78
4.3.1.1 <i>Concepção de avaliação de operação de braços de carregamento e o modelo de Slack</i>	78
4.3.1.2 <i>Estudo de caso - parte 1</i>	80
4.3.1.3 <i>Estruturação e aplicação de avaliação dos fatores que afetam a operação</i>	81
4.3.1.4 <i>Coleta e análise dos dados</i>	82
4.3.1.5 <i>Protocolo de pesquisa</i>	83
4.3.1.6 <i>Coleta de dados</i>	83
4.3.1.7 <i>Análise de dados</i>	83
4.4 Validade e grau de aderência	85
4.5 Análise do modo e efeito de falhas	85
4.6 Interpretação dos modos de falhas	86
4.7 Da gestão à identificação e construção de um modelo físico	87
4.8 Pesquisa na perspectiva da tecnologia	88
4.8.1 <i>Parte Experimental</i>	88
4.8.1.1 <i>Amostras</i>	88
4.8.1.2 <i>Compostos utilizados</i>	89
4.8.2 <i>Preparo da amostra</i>	89

4.8.3 Execução do ensaio	90
4.8.4 Cálculo da viscosidade cinemática	90
4.8.5 Verificação da calibração	90
4.8.6 Calibração	92
4.8.7 Correção da constante pelo efeito aceleração gravitacional	92
5 MATERIAIS e MÉTODOS de MEDIÇÃO	93
5.1 Óleo hidráulico	93
5.2 Viscosímetro	94
6 EXPERIMENTO	96
6.1 Compostos utilizados	96
6.2 Preparo da amostra	97
6.3 Execução do ensaio	97
7 PROPOSIÇÃO RESULTANTE DO MODELO EXPERIMENTAL	98
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

O setor petroquímico de países em desenvolvimento, como o caso do Brasil, vem obtendo nos últimos anos um papel de relevância na política internacional, entre outras razões, em virtude de sua excelência na produção de hidrocarbonetos como o etanol para a geração de energia, e da importância na projeção de volumes de reserva das jazidas petrolíferas da Bacia de Santos (HAGE, 2013).

Projeta-se um país dotado de tecnologias inovadoras de maior valor agregado, que segundo Arbis (2012) o Brasil tem condições de alcançar através, dentre outras premissas, de um novo patamar como potência energética com base no pré-sal operando um novo referencial na sua linha de desenvolvimento.

Na mesma linha, o Brasil deve aumentar sua disponibilidade das fontes de energia como os hidrocarbonetos para garantir maior progresso econômico e, assim, alavancar os meios de melhorar a vida da população evitando a importação de energias, devido à dificuldade histórica em gerar dólares para importá-lo e pelo enorme gasto que o país teve em importar petróleo (GOLDEMBERG e MOREIRA, 2005).

As pesquisas e descobertas no pré-sal estão entre as mais importantes segundo a Petrobrás (2015) em todo o mundo na última década. A área do pré-sal é composta por grandes acumulações de óleo leve, de excelente qualidade e com alto valor comercial. Essa descoberta impulsiona entre 2010 a 2014, a média anual de produção diária do pré-sal, avançando de uma média de 42 mil barris por dia em 2010 para 492 mil barris por dia em 2014. Atualmente, essa produção corresponde a aproximadamente 20% do total de produção de petróleo e em 2018 chegará a 52% (PETROBRÁS, 2015).

Para operar com eficiência, uma ampla rede de apoio deve ser disponibilizada para que se movimente toda a cadeia da indústria de energia. Dentre esses recursos, os píeres de atracação de navios devem fornecer um desempenho diferenciado em logística, seja no armazenamento ou no escoamento via modo dutoviário, em uma infraestrutura de qualidade.

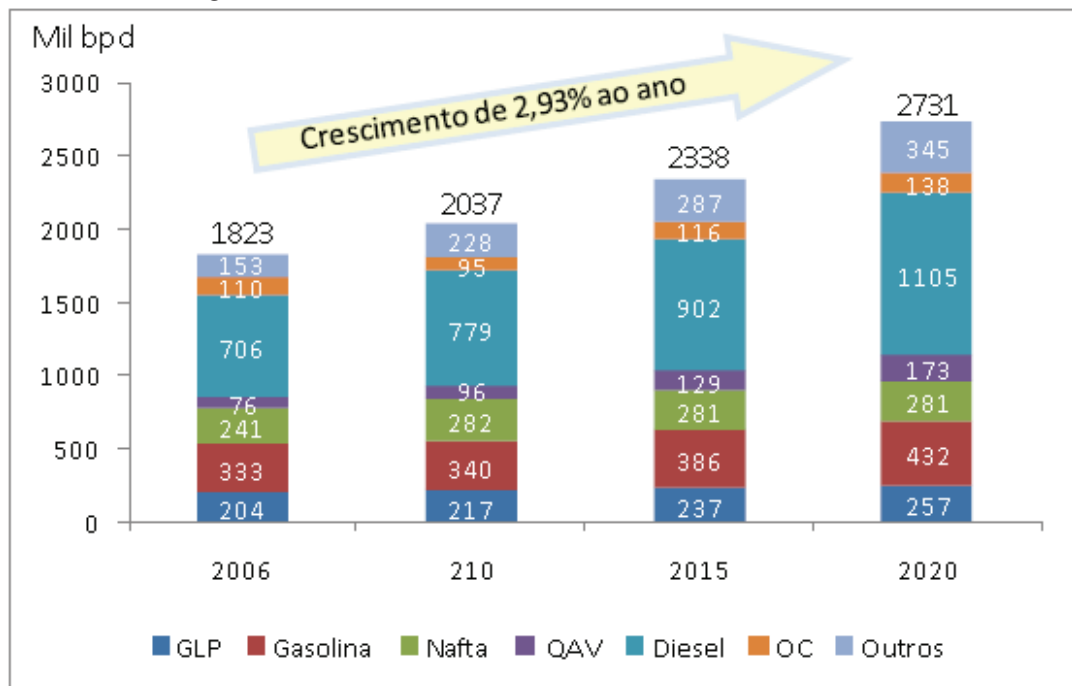
Os navios petroleiros ao chegarem às proximidades da área costeira necessitam de uma estrutura de apoio para que possam atracar e desatracar dos berços de atracação para que assim sejam feitas as operações de carga e/ou descarga de hidrocarbonetos e produtos derivados. Essa logística eficiente inclui os braços de carregamento que são considerados essenciais no sentido

econômico da operação de transferência de hidrocarbonetos aos tanques de armazenagem garantindo que esses píeres atinjam sua capacidade máxima de produção (SCHOELER, 2000).

Por outro lado, o governo federal se compromete a controlar e defender a companhia de capital misto de petróleo com a soberania do pré-sal e para tanto vem divulgando que a estatal do petróleo está “ultrapassando os desafios da governança” com os cronogramas de investimento para a década de 2020. O último número divulgado pelo site da Petrobrás (2015) reporta que se chegou à produção de mais de 800 mil barris por dia no pré-sal, em abril de 2015, oito anos após a primeira descoberta na região, ocorrida em 2006, e dez meses após a marca dos 500 mil barris diários de produção, obtida em junho de 2014.

A figura 1 a seguir apresenta a perspectiva de crescimento em quase 3% ao ano da demanda do mercado de derivados de hidrocarbonetos no país até o ano de 2020.

Figura 1. Mercado de derivados de hidrocarbonetos no Brasil.



Fonte: adaptado da empresa (2015)

Para atingir essa meta, a empresa prevê no plano de gestão de negócios o programa de aumento da eficiência operacional, o programa de otimização de infraestrutura logística e, com os seus navios o transporte e escoamento da produção de petróleo e seus derivados.

Esses programas preveem a garantia da qualidade dos serviços nos terminais, a busca pela excelência operacional para atender a demanda da empresa e também garante a autossuficiência na logística de transporte (TRANSPETRO, 2015).

O terminal foco deste estudo tem a função de fornecer o petróleo cru para as refinarias e também a de escoar parte dos derivados produzidos nessas refinarias para outras partes do Brasil e exterior.

O atual píer do terminal é constituído de dois berços para atracação de navios: berço do lado norte e berço do lado sul; sendo que, cada um com uma plataforma interna e uma externa.

A estrutura dos píeres interliga-se à estrutura da ponte de acesso, no sentido do terminal, com toda a infraestrutura das tubovias e braços de carregamento para o escoamento de petróleo até os tanques localizados na parte terrestre.

As plataformas de operação dos berços compõem-se basicamente de: os (i) braços de carregamento, o (ii) conjunto de válvulas de produtos que são manuseados no berço, e os seguintes equipamentos: (iii) casas de apoio à operação, (iv) unidades hidráulicas de movimentação dos braços, (v) acumuladores, e (vi) tanque.

Portanto, é através dessas células operacionais com seus braços de carregamento que se movimenta a produção de derivados.

Esse processo de transferência de produtos e seu nível adequado de serviços dos braços de carregamento fazem parte de um programa estratégico de adequação da confiabilidade e da segurança operacional de suprimento de hidrocarbonetos líquidos às indústrias de refino e de distribuição de produtos e segundo as metas do plano estratégico para 2030 da empresa estudada, deve haver melhorias das condições operacionais e segurança dos terminais e estrutura dos equipamentos.

Além disso, qualquer incidente que interrompa o fluxo de processos causando a paralisação do carregamento do produto pode até mesmo causar danos ao braço de carregamento e obrigam a empresa a pagar os custos de manutenção e de sobre estadia do navio-tanque. Estes custos são substanciais e afetam diretamente os lucros (SASTRY, 2012).

Tampouco menos relevante é o impacto significativo ao meio ambiente que pode ser causado pelo possível desacoplamento inadvertido do braço de carregamento do navio de carga.

Ademais, estabelece os requisitos para as auditorias ambientais de avaliação dos sistemas de gestão e controle ambiental nos portos e plataformas pelas indústrias de derivados (CONAMA, 2002).

No Brasil, a legislação especifica a responsabilidade da gestão e as sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Portanto, há necessidade de prevenção de danos

ao braço de carregamento e de também se evitar possíveis derramamentos de produtos (SASTRY, 2012).

Em suma, a relevância do tema nas perspectivas de uma gestão eficaz e eficiente da operação e de tecnologia que assegure o mínimo risco e segurança total para o sistema que se objetive um equilíbrio entre os indicadores operacionais e os requisitos de sustentabilidade do negócio e que garanta retorno aos investidores.

Portanto, a partir desse nível operacional é que se busca maximizar a disponibilidade e a utilização dos braços de carregamento e atender os níveis de confiabilidade junto à administração de operações do terminal e ainda sob a perspectiva de maiores desafios futuros com a expansão do pré-sal é que se avalia a operação dos braços de carregamento.

1.1 Questões de pesquisa

Quais fatores afetam a confiabilidade dos braços de carregamento de hidrocarbonetos líquidos? Como e de que maneira o ambiente da instalação dos braços de carregamento influencia no desempenho do equipamento e na operação?

1.2 Objetivo

Identificar os fatores de tecnologia e de gestão operacional que afetam a confiabilidade dos braços de hidrocarbonetos líquidos.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- identificar ações para aumentar a confiabilidade do equipamento e como resultado, a confiabilidade de suprimento de produtos de hidrocarbonetos líquidos para o sistema;
- identificar ações para aumentar a disponibilidade de tempo e como resultado, a eficiência das operações da empresa;

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em duas perspectivas: a perspectiva da gestão de operações através do modelo de célula operacional de Nigel Slack e a da tecnologia dos braços de carregamento.

Optou-se pelo modelo de Slack devido à sua contribuição ao longo da evolução da gestão de estratégica de operações. Este examina e sumariza a hierarquia estratégica da qual a estratégia de operação faz parte; a natureza e o conteúdo da estratégia de operação; como os objetivos de desempenho podem ter prioridades diferenciadas dentro de um escopo de questões-chaves que sintetizam os conceitos de confiabilidade abordados pela gestão de operações.

Levanta-se, a partir das respostas ao questionário, a percepção de operadores e técnicos quanto aos fatores operacionais e de seu desempenho estão diretamente relacionados aos fatores de confiabilidade dos braços de carregamento. Das diferentes definições de confiabilidade, estabelece-se aquela mais próxima da referência da empresa, que estão relacionadas à disponibilidade dos equipamentos e à sua capacidade de cumprimento das demandas de conexão e bombeio, ou cargas.

Busca-se identificar as potenciais causas de falhas ou de quebra de confiabilidade através de um estudo de manutenção centrada em confiabilidade.

Sob a perspectiva da tecnologia, aponta-se uma possível hipótese a ser investigada, apresentando-se os resultados de análises laboratoriais realizadas.

Estrutura-se o trabalho, portanto, em 10 capítulos. O primeiro capítulo é dedicado à introdução do tema, mostrando o contexto e a significância do estudo diante da perspectiva do desafio do futuro energético do país. Traz também os objetivos e as questões além da organização deste trabalho. No capítulo 2, inicialmente, é feita a revisão bibliográfica a partir da perspectiva da gestão de operações do braço de carregamento com seus fatores e indicadores de desempenho. Após, apresenta-se o conceito da manutenção e confiabilidade de sistemas hidráulicos no contexto dos diferentes tipos de falhas. E, finalmente apresenta-se a ferramenta manutenção centrada em confiabilidade. No capítulo 3, apresenta-se a perspectiva da tecnologia dos braços de carregamento com seu histórico e evolução introduzindo o tema reologia e os circuitos hidráulicos do mecanismo de propulsão do braço de carregamento. O capítulo 4 delinea a pesquisa empírica com os instrumentos utilizados e a sua validação. No capítulo 5 apresenta-se a pesquisa experimental realizada. O capítulo 6 traz o estudo de caso delimitando-se as fronteiras da análise de falhas para o problema de maior incidência. No capítulo 7 apresenta-se o fluido hidráulico bem como a descrição do equipamento viscosímetro. No

capítulo 8 listam-se os compostos utilizados no experimento e a sequência do preparo e execução do ensaio de medição. No capítulo 9 são apresentados os resultados obtidos. O Capítulo 10 apresenta as considerações finais assim como as etapas restantes para a conclusão do estudo. Por fim, são relacionadas as referências bibliográficas.

1.4 Problema de pesquisa

Estudos abordando a operação de braços de carregamento são escassos e os poucos trabalhos publicados como de Gulcan *et al* (2013) são pesquisas de otimização operacional de terminais e armazenagem de produtos químicos sob uma perspectiva generalizada considerando o berço de atracação como um subsistema da cadeia de suprimento do terminal.

Apesar da importância do estudo da operação de carregamento e descarregamento em empresas petroquímicas, nota-se que pouca pesquisa tem sido divulgada no meio acadêmico. Paralelamente a isso, constata-se que a maior parte dos trabalhos segue a normas da indústria petrolífera.

Trabalhos de pesquisa como de Gaurav (2011) sobre otimização das operações de logística em um terminal marítimo é um caso isolado de esforço do *Massachusetts Institute of Technology* no sentido de pesquisar em diferentes empresas da indústria petroquímica o problema comum de otimização de carregamento e descarregamento em berços marítimos.

Nessa mesma pesquisa, o autor menciona relatório do *research and markets* que, “entre os 10 fatores principais que causam a recente crise ocidental da indústria petroquímica está a crescente competitividade dos produtores do Oriente Médio e Ásia”.

A indústria petroquímica perde oportunidades em não compartilhar ou alocar ativos ou informações para melhor servir o cliente final e de reduzir custos operacionais (NATH e GAURAV, 2011).

Mesma opinião sob a perspectiva de Al-Husain et al (2008) que menciona que o assunto otimização e estudos de decisão em berços marítimos “não tem recebido qualquer atenção na literatura de gerenciamento de operações”.

Uma das hipóteses que talvez possa explicar esta escassez no referido tema seja a repetida condescendência por parte dos gestores de terminais e, conseqüentemente dos

trabalhadores de se substituir a operação dos braços de carregamento por mangotes na transferência de hidrocarbonetos.

Há terminais que consideram a operação por mangotes como rotinas apesar dos riscos tanto de segurança e saúde do trabalhador como os potenciais danos ao meio ambiente associados ao manuseio deste tipo de conexão.

Trabalhos como de Deckert *et al* (1958) já apontavam o risco de se carregar hidrocarbonetos líquidos por conta da emissão de vapores sem o devido procedimento de coleta destes voláteis de vapores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão de operações

A gestão de operações relaciona-se à atividade de gerenciamento de recursos e processos que produzem e entregam bens e serviços e buscam atender a necessidades e satisfazer a seus clientes (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Toda organização, incluindo as sem fins lucrativos, possui uma função de operações, porque gera uma “forma de valor” para seus clientes que inclui algum composto adequado de bens materiais e serviços gerados, mesmo que, internamente na organização, alguns termos precisem ser ajustados e a função de operações não tenha este nome (CORRÊA e CORRÊA, 2013).

A gestão de operações busca prover os meios para que a organização obtenha vantagens competitivas sustentáveis tanto operacionais quanto no nível estratégico. Para criar e sustentar um negócio, a empresa deve manter sempre um diferencial perante seus concorrentes, a vantagem competitiva a ser atingida conforme Porter (1989), aperfeiçoando-se continuamente seus processos produtivos.

Como menciona Slack, Chambers e Johnston (2009), o termo gestão de produção e operações pode não ser necessariamente denominado por esse nome. Por vezes, outras formas simplificadas como “operações” no lugar de “função produção” pode ser utilizada. Portanto, neste estudo será utilizada a forma “operações”.

Administração da produção ou de operações (*operations management*) significa gerenciar processos e, dentro de cada operação, os mecanismos que transformam as entradas (*inputs*) em saídas (*outputs*) são os chamados processos (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

A origem e evolução da área de gestão de operações perpassam por grandes obras da humanidade e ao longo do tempo, a transformação dos grandes projetos: desde a revolução industrial; a evolução das grandes ferrovias americanas; o desenvolvimento da administração científica por Frederick Taylor; a padronização dos produtos por Henry Ford; o nascimento do *Just in Time* da Toyota, no Japão; o *Total Quality Management* e a abordagem das certificações *ISO 9000*; e, nos anos 80, a gestão de operações deixa de se preocupar com operações isoladas para analisar as redes de suprimentos (CORRÊA e CORRÊA, 2013).

Novas pressões foram acrescentadas ao ambiente de negócios em recentes desenvolvimentos levando às operações a criarem novas respostas. Esta nova agenda para operações apresenta-se como um fator de integração das operações e que associa a gestão de operações com a dimensão estratégica das organizações (SLACK e LEWIS, 2002).

A gestão de operações envolve uma grande variedade de decisões. Há diferentes modos de estruturar as decisões de operações. Para esta pesquisa utiliza-se o modelo de Slack, Chambers e Johnston (2009) com a combinação de duas ideias: primeiro o modelo *input-transformação-output* e na segunda a categorização das áreas de atividade de gestão de operações.

A figura 2 mostra como esses dois níveis de atividades se inter-relacionam: a base relaciona-se à gestão de operações e o topo como estratégia de operações.

Figura 2. Modelo geral de gestão de operações



Fonte: adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009)

Segundo Gerdau (2006), toda empresa deve, obrigatoriamente, definir de modo claro e transparente seu foco e sua estratégia. Ao fazer isso, é preciso avaliar como a empresa está inserida no cenário competitivo e frente às perspectivas futuras do mercado. A definição correta da estratégia e das metas da empresa está vinculada à capacidade de definir o foco do negócio.

O conteúdo de uma estratégia de operações constitui-se de seus objetivos, sendo estes definidos por aqueles critérios que permitem à organização competir no mercado. O nível operacional necessita de um conjunto de objetivos definidos de maneira mais específica à sua atividade básica de satisfazer o cliente (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

As operações devem concentrar-se em sua atividade principal que é assegurar que os seus processos possam, de fato, atender às demandas do mercado. A preocupação de empresas, tanto de manufatura como de serviços, tem recentemente se voltado para como gerenciar suas operações de modo a obter, manter e ampliar seu poder competitivo (CORRÊA e GIANESI, 1995).

De acordo com Gerdau (2006), deve-se buscar atingir o desempenho *benchmark*, a excelência em sua área de atuação. Para isso, os gestores devem medir o desempenho da organização e seus resultados e compará-los aos melhores do mundo. E para que tudo isso funcione, é necessário haver sistemas integrados que facilitem essas medições e controles de desempenho.

Neste contexto, pode-se concluir que medir e controlar os indicadores de desempenho, que diretamente afetam as unidades de operação pode impactar com a natureza do negócio. Conseqüentemente, os fatores operacionais em que a operação atua é que devem ser avaliados e analisados pelo gerente de operações uma vez que a decisão de efetivá-los e mantê-los serão determinantes. Portanto, há de se identificar os fatores operacionais que tenham impacto nos objetivos estratégicos do negócio (CORRÊA e CORRÊA, 2013)

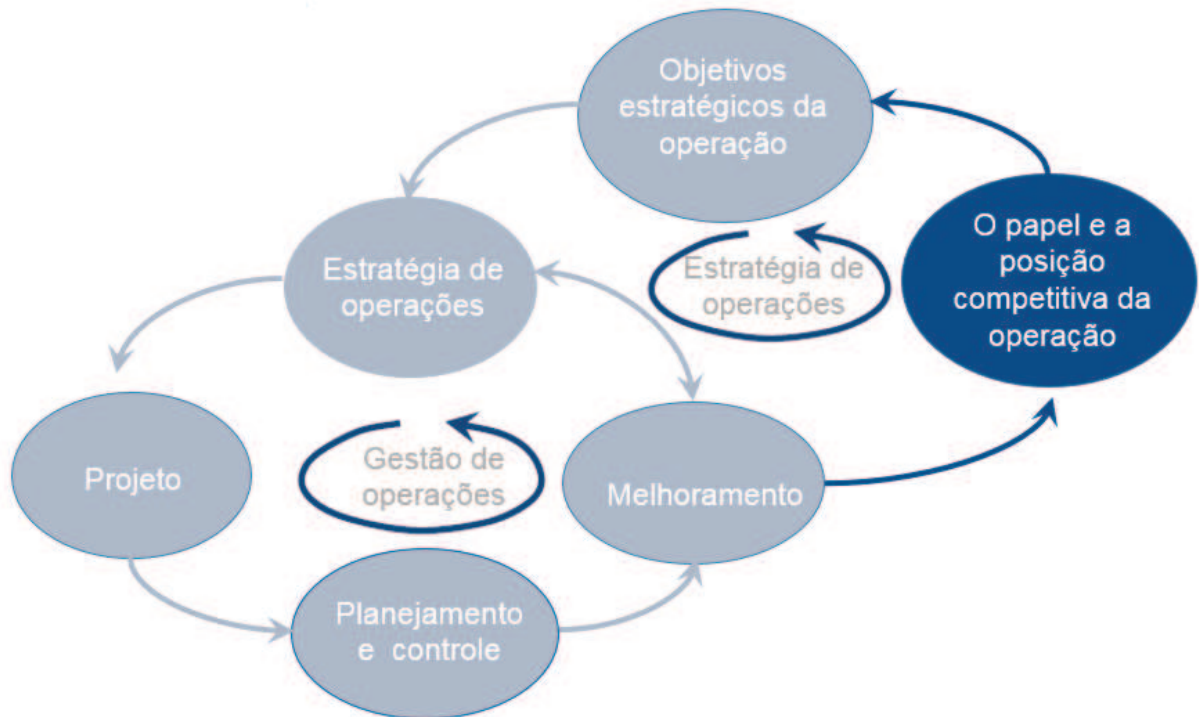
2.2 Fatores operacionais e indicadores de desempenho

Fatores operacionais estudados nesta pesquisa incluem alguns daqueles analisados por Saraph *et al* (1989): projeto de produto ou serviço, gestão de processos, dados e relatórios de qualidade.

Fatores operacionais influenciam diretamente na redução de variações de entrega de serviços, que por seu turno podem afetar a percepção da qualidade dos serviços. Esses fatores motivam a inovação e a melhoria contínua da qualidade com o objetivo de atender e exceder as necessidades dos clientes e manter-se à frente da concorrência (WALDMAN, GOPALAKRISHNAN, 1996).

Objetivos básicos de desempenho de operações podem ser enumerados tanto como influenciadores ou influenciáveis das atividades de operações e formam o pano de fundo do nível operacional: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo conforme figura 3 a seguir (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Figura 3. Desempenho de operações



Fonte: adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009)

Abordando-se a aplicação de metodologias, compreensão e utilização das fontes de variação e perpetuação do ciclo de melhoria, pode-se melhorar a conscientização dos operadores e de suas responsabilidades, conforme aponta Marshall (2004) devendo-se então despertar o pessoal da operação para o desafio.

Objetivos mais amplos das partes interessadas ou *stakeholders* formam o painel de fundo para o contexto decisório da administração da operação (FALCONI, 2009).

Gerdau (2006) reforça que se deve ter uma definição clara, absolutamente objetiva, que permita que se tenha toda a empresa focada e organizada para atender às expectativas e às necessidades dos clientes.

Entende-se como desempenho o grau em que a operação preenche os cinco objetivos de desempenho: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Portanto, todas as operações produtivas precisam de alguma maneira de indicadores como medida de desempenho como pré-requisito para melhorar suas operações.

Neely et al. (1995) definem medição de desempenho como uma sistemática de quantificar a eficiência e eficácia de uma ação, em que a eficiência é classificada como o grau em que as demandas do cliente são atingidas e a eficácia é medida em termos do consumo de recursos da empresa utilizados para que estas demandas sejam operacionalmente, técnico e economicamente atingidos.

Os indicadores de desempenho acarretam em benefícios para a gestão de operações, pois conferem prioridade e senso de atenção à coleta objetiva de dados, e são mecanismos que permitem visualizar a situação da operação e determinar variações ocorridas (PALADINI, 2014).

Neste estudo, fatores operacionais e de seu desempenho estão diretamente relacionados aos fatores de confiabilidade dos braços de carregamento, mais precisamente à sua disponibilidade e capacidade de carga total. Por essa razão, técnicas e ferramentas de manutenção tem um importante papel na efetivação de seus resultados.

2.3 Manutenção e a confiabilidade

A manutenção reflete o avanço tecnológico de uma época. A sua evolução se deve em grande parte ao aumento da necessidade de prevenção da falha, cuja consequência pode ir além da simples parada do equipamento ou sistema. Aceitar que falhas possam ocorrer não significa que estas possam ser ignoradas. Também não significa que as operações não devam tentar mitigá-las.

As organizações devem discriminar as diferentes falhas, e analisar e estudar aquelas que são as críticas, e principalmente medir o impacto de cada uma delas.

O termo manutenção teve origem no vocábulo militar cujo objetivo era manter nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante (MONCHY, 1989). Ao longo do tempo, esta atividade foi sendo mais estudada e hoje desempenha uma função estratégica na maioria das organizações industriais.

O conceito de manutenção foi modificado ao longo do tempo, em função das necessidades cada vez maiores e dos estudos correspondentes que procuravam responder a essas necessidades (GURSKI, 2002).

A maior lição das organizações para o séc. XXI é a integração da manutenção às metas da organização como condição básica para uma manutenção efetiva (TESDAHL, 1997).

A manutenção pode ser dividida em duas grandes classes principais.

Blanchard e Fabrycky (1990) classificam estas duas categorias, como sendo corretiva e preventiva. Billinton e Allan (1983) reafirmam este conceito e além da classificação, enumeram algumas das atividades típicas de cada categoria.

Monchy (1989) expressa a opinião de que a função manutenção pode ser realizada por dois métodos distintos e complementares: método preventivo e método corretivo.

A diferença básica entre ambas é que a manutenção corretiva envolve ações não planejadas, enquanto a manutenção preventiva envolve ações planejadas, realizadas antes da falha ocorrer.

As ações corretivas são realizadas após a ocorrência da falha, em uma situação que pode gerar prejuízo à produção, ao equipamento e/ou à segurança. Tem caráter predominantemente eventual, o que dificulta o seu planejamento. Deve-se ressaltar, porém, que este tipo de intervenção pode e deve fazer parte da política de gestão da manutenção existente em qualquer sistema.

Manutenção preventiva é realizada para manter a função do equipamento ou sistema em condições compatíveis com o nível requerido de desempenho e confiabilidade (BILLINTON e ALLAN, 1983).

É uma intervenção prevista, preparada e programada (MONCHY, 1989). Segundo Smith (1993), o que distingue esta ação é o planejamento antecipado. Dentre tais tarefas podem ser citadas: regulagens, ajustes, lubrificações, inspeções e troca de componentes.

O crescimento da automação e da mecanização têm transformado os conceitos de disponibilidade, confiabilidade, segurança e produtividade em pontos chave para as organizações industriais (MOUBRAY, 1997).

Não importa o tamanho do esforço despendido na melhoria das operações, há sempre o risco de algo inesperado ou fora da normalidade possa reverter muito, se não todo o esforço da melhoria. Portanto, uma das maneiras de melhorar o desempenho de operações é reduzir o risco

de falha (ou de uma falha que cause a interrupção) nas operações (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2010).

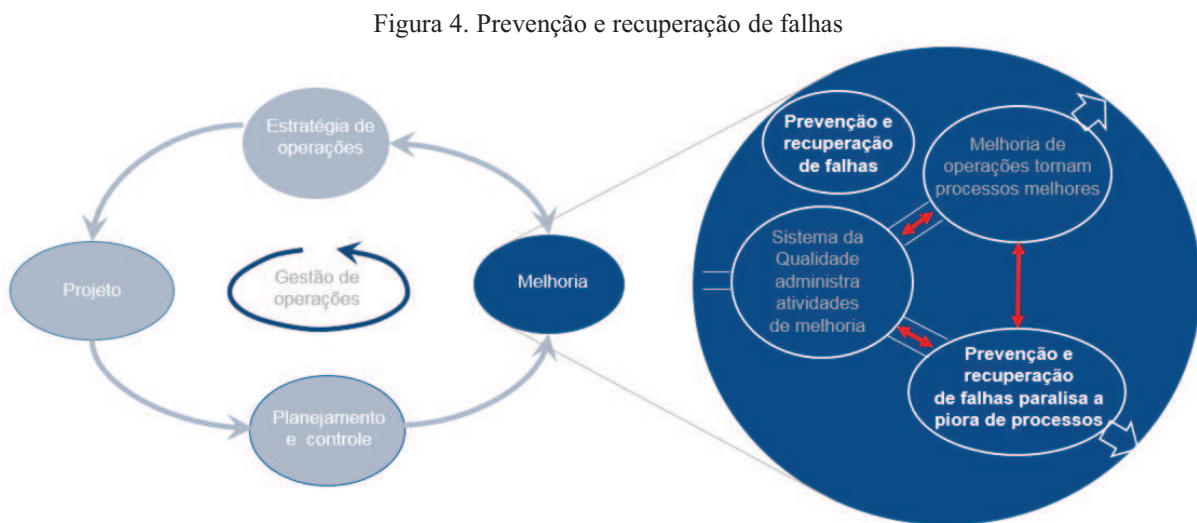
Confiabilidade é o estudo sobre as falhas que podem ocorrer com o sistema durante o seu ciclo de vida, ou seja, não é um simples cálculo da taxa de falhas ou da probabilidade de um sistema ou componente de falhar, mas sim a procura, análise, avaliação e correção de todas as falhas que podem ocorrer com o produto no seu ciclo de vida (O'CONNOR, 1985).

Segundo MATOS (1999), duas estratégias de gerenciamento da manutenção vêm sendo utilizadas em operações: manutenção para a produtividade total (TPM) e a manutenção centrada na confiabilidade (RCM).

A TPM visa integrar todos os participantes do sistema de produção às metas de manutenção, buscando romper com a tradicional relação “eu opero, você conserta”. A RCM é uma estratégia que visa manter a confiabilidade do sistema, seja ele qual for, a um custo compatível e tem como objetivo principal preservar a função do sistema.

Ambas as estratégias se baseiam em tarefas proativas, ou seja, tarefas que têm o objetivo não só de evitar o surgimento do problema, mas também de antecipar-se a ele da forma mais eficiente e participativa possível.

A Figura 4 mostra como a prevenção e recuperação de falhas se encaixam nas atividades de melhoria da operação.



Fonte: adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010)

Compreender e gerir o risco em operações pode ser visto como uma atividade de melhoria, mesmo que seja no sentido de “evitar os efeitos negativos do insucesso”. Mas há também uma razão mais evidente por que a prevenção e recuperação das falhas vêm cada vez mais sendo uma preocupação dos gerentes de operações. As fontes e as consequências de risco estão cada vez mais difíceis de lidar.

De mudanças repentinas na demanda a falência de um fornecedor-chave, de ataques terroristas ao crime cibernético, as ameaças ao funcionamento normal das operações não estão ficando menos representativas. Nem as consequências de tais eventos estão se tornando menos graves.

Corte de custos, estoques mais baixos, os níveis mais elevados de utilização da capacidade, aumento da efetividade de regulamentação e, mídia atenta, tudo pode servir para tornar os custos de falha operacional maiores. Assim, para a maioria das operações a gestão de riscos não é apenas desejável, é essencial. Mas os riscos para o bom funcionamento das operações não estão confinados a grandes eventos. Mesmo em situações menos críticas, tendo processos confiáveis pode dar uma vantagem competitiva.

Confiabilidade significa fazer as coisas em tempo para os consumidores receberem suas mercadorias ou serviços no tempo demandado ou quando prometidos. No caso da manutenção, por exemplo, há sempre um plano de atividades da oficina preparado para manter as instalações plenamente utilizadas, e também pronta e disponível para atender à necessidade (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Em termos práticos, assume-se que confiabilidade está associada ao número de vezes que o sistema está pronto para desempenhar a função para o qual foi projetado, dividido pelo número de vezes que foi solicitado (DIAS, 1999).

Entretanto deve-se considerar a possível variação de um determinado sistema que tenha, por exemplo, confiabilidade de 99 %, e isto é válido apenas para determinadas condições (isenção de poeiras, umidade e etc.), então deve-se considerar que se uma destas condições variar, normalmente a confiabilidade do sistema também varia (VOLLERTT, 1996).

Confiabilidade também pode ser entendida como a probabilidade de um sistema completar com êxito uma determinada missão (MOSS, 1985), podendo ser calculada pela expressão (1):

$$R(t) = \int_{t_1}^{\alpha} f(t) dt \quad (1)$$

A equação (1) representa a equação geral de confiabilidade, onde $f(t)$ representa a função densidade de probabilidade de falha do sistema que está sendo analisado.

Quando se considera a distribuição exponencial e a taxa de falhas (λ) constante, a equação (1) pode ser escrita na forma apresentada a seguir:

$$R = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

A equação (2) parte do princípio de que todo sistema tem uma taxa de falhas (λ) constante que pode ser mapeada (MOSS, 1985).

Na área petroquímica, porém nem sempre é fácil conseguir registros históricos, pois existe uma comprovada dificuldade das empresas em documentar e rastrear este tipo de informação.

A confiabilidade depende diretamente do número de componentes do sistema. Quanto maior o número de componentes interdependentes, tanto menor será a sua confiabilidade (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Ações preventivas sempre são realizadas após um determinado período de utilização. Isto possibilita dividir a vida útil de um equipamento em períodos de disponibilidade e de indisponibilidade.

Períodos de indisponibilidade são aqueles nos quais estão sendo executados serviços que impossibilitam o sistema de cumprir a tarefa para o qual foi projetado.

Disponibilidade é a probabilidade que um sistema esteja em condição operacional no instante determinado. É comum, na prática, se fazer uma certa confusão entre disponibilidade e confiabilidade (GURSKI, 2002).

Pode-se usar o exemplo da disponibilidade da lâmpada de iluminação da mesa de cirurgia de um neurocirurgião ser altíssima, da ordem de um milhão de horas, porém de nada adianta se ela apagar por 5 segundos no meio de uma cirurgia, ou seja, não tiver a adequada confiabilidade quando necessária. Para aumentar a confiabilidade, neste caso, pode ser usado sistema redundante de iluminação, *nobreak*, entre outros.

Para ser realmente eficaz uma ação de prevenção pressupõe-se a utilização de informações sobre taxa de falhas dos componentes, ou seja, a medida que problemas vão ocorrendo, fazem-se cálculos de confiabilidade que apontam para uma decisão.

Os períodos de manutenção pelos quais os navios passam periodicamente durante a sua vida útil são baseados em critérios pré-estabelecidos e têm como objetivo principal otimizar a disponibilidade e a confiabilidade do meio flutuante. Este objetivo é alcançado a medida que ações planejadas evitam o aparecimento de falhas ou detectam o surgimento destas.

Nos casos em que não é possível prevenir ou detectar falhas, a política de manutenção preventiva pode implementar testes para verificar a possibilidade da ocorrência da falha antes do equipamento ou sistema entrar em operação (SMITH, 1993).

Em termos práticos, pode-se dizer que disponibilidade é a probabilidade de um sistema (máquina ou equipamento) estar produzindo ou disponível para produzir e pode ser calculada pela expressão abaixo:

$$\text{TMEF Disp} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \quad (3)$$

TMEF é a esperança matemática do tempo entre falhas de um sistema. Para o caso de λ constante, o TMEF é a medida inversa $\left(\frac{1}{\lambda}\right)$, ou seja, o tempo médio de operação por falha. Esse raciocínio é válido desde que as mesmas considerações feitas para a equação (2) permaneçam. Como TMEF representa um valor médio, não significa necessariamente que depois de passado este tempo, o sistema irá falhar. Também não deve ser confundido com o ciclo de vida do sistema.

TMPR representa o tempo médio para restabelecer o sistema às condições próprias à operação. Segundo Moss (1985), os cálculos para obtenção do valor TMPR não são tão simples quanto o apresentado para o cálculo do TMEF. A dificuldade está na obtenção da ponderação correta da frequência de ocorrência com a qual espera-se ocorrer a necessidade da tarefa de reparo durante o ciclo de vida do sistema.

A diminuição da disponibilidade traz como consequência imediata a perda de rendimento operacional do sistema em virtude da parada de itens, aumento de custos de manutenção e até o comprometimento da segurança em decorrência de falhas prematuras (DIAS e SANTOS, 1999).

É importante perceber que os conceitos citados não devem ser analisados isoladamente. Isto porque não basta o sistema ter um alto índice de confiabilidade, pois uma vez que surja a falha, na grande maioria das vezes é necessário pô-lo novamente em condições normais de operação o mais rápido possível.

Por exemplo, se uma bomba hidráulica necessita ter uma disponibilidade de 90%, isto pode ser obtido com um TMEF de 90 h e um TMPR de 10h ou com um TMEF de 45 min e um TMPR de 5 min. Percebe-se que, embora com uma disponibilidade de 90%, a bomba hidráulica do segundo exemplo iria causar sérios transtornos à operação do sistema no qual está inserida. Assim, é importante manter a coerência entre confiabilidade e disponibilidade.

Para atingir o objetivo citado anteriormente de manter um equipamento disponível para operar com confiabilidade e segurança, os serviços de manutenção são divididos em níveis ou escalões. Esse fato se deve à diversidade dos serviços a serem executados e dos recursos de material e de pessoal necessários.

Os serviços de primeira ordem são normalmente de pouca complexidade e realizados pela própria equipe de contratados que mantem o equipamento. Esses seguem instruções pré-determinadas em manuais técnicos e não requerem ferramentas especiais ou equipamentos de teste. Como exemplos típicos de serviços de primeira ordem na área de hidráulica cita-se a troca de filtros.

Serviços como troca de rolamento de bombas e troca de componentes internos de certas válvulas, por serem mais complexos, são considerados de segunda ordem e necessitam ser realizados por equipes especializadas, que possuem em seus quadros pessoal técnico qualificado.

Já os serviços de troca de elementos de vedação de cilindros hidráulicos por requererem conhecimento, pessoal ou instalações específicas, são considerados de terceira ordem. Estes serviços são executados pelo fabricante ou em empresas credenciadas específicas.

2.3.1 Medidas de desempenho da manutenção

Analogamente como em outras áreas, o que se busca é concluir o período de manutenção do sistema, seja ele qual for, no menor espaço de tempo possível. Para que isto ocorra, diz-se que o sistema deve ter uma alta mantenebilidade.

Por outro lado, as organizações tentam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas. Em operações como indústrias petroquímicas, as atividades de manutenção absorvem uma parte significativa de tempo, atenção e de recursos das operações (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Conforme a norma brasileira NBR-5462/1994 (ABNT, 1994, p.3), mantenebilidade pode ser entendida como sendo “a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos específicos”.

Existem diversos parâmetros (qualitativos e quantitativos) que, coletados junto à manutenção, podem ser usados para a avaliação da mantenebilidade de um sistema. Para facilitar a explanação e seguindo a classificação adotada por Blanchard et al. (1995), esses parâmetros estão sendo divididos em grupos, chamados de fatores. Serão apresentados os de maior relevância para a área: fatores de confiabilidade, de mantenebilidade, de disponibilidade, humanos, de suporte logístico e fatores econômicos.

2.3.2 Fatores de confiabilidade

A frequência com que um sistema passa por intervenções de manutenção está diretamente ligada aos fatores de confiabilidade. Neste grupo, as medidas mais comuns são a taxa de falhas (λ) e o tempo médio entre falhas (TMEF). Outra medida importante, e que frequentemente é confundida com TMEF é TMPF, que é uma medida mais adequada a sistemas não reparáveis, como por exemplo, aqueles que contêm componentes eletrônicos.

A validade da análise de confiabilidade está diretamente ligada à legitimidade do conjunto de amostras que representam a realidade do comportamento das falhas (DIAS, 1996).

Seja qual for a filosofia de manutenção adotada, as informações obtidas a partir do registro de dados históricos de equipamentos têm uma importância fundamental. No entanto admite serem observadas várias dificuldades para compor este conjunto de informações, o que resulta muitas vezes em históricos pouco confiáveis (SANNEMANN, 1997).

2.3.3 Fatores de mantenebilidade

A maioria dos sistemas sofre manutenção, ou seja, são reparados quando falham e sofrem outras atividades para mantê-los operando. A facilidade com que se efetuam reparos e outras atividades de manutenção determinam a mantenebilidade de um sistema/equipamento.

Por exemplo, uma válvula importada, cujo tempo de reposição de qualquer componente seja elevado, terá uma baixa mantenebilidade. Trata-se, portanto, da facilidade de se recolocar um equipamento em operação, a partir do momento em que falha.

Sob o ponto de vista da matemática, tem-se uma definição mais objetiva: mantenebilidade é a probabilidade de o equipamento ser recolocado em condições de operação dentro de um dado período de tempo, quando a ação de manutenção é executada de acordo com os procedimentos prescritos (GURSKI, 2002).

Não devem ser confundidos os termos manutenção -conjunto das ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado em que possa executar sua função requerida -, e mantenebilidade, que segundo Gurski (2002) é característica de projeto que define a facilidade de manutenção, o tempo de manutenção, os custos e as funções que o item executa.

O maior ou menor grau de facilidade em executar a manutenção de um equipamento pode ser medido pelo tempo médio para reparo - *mean time to repair* ou MTTR (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

2.3.4 Fatores de disponibilidade

Considera-se como principal medida de disponibilidade, a DOp ou disponibilidade operacional. É o grau que está a medida mais próxima da realidade, pois contempla tanto os tempos de atraso administrativo como os relativos a atraso logístico.

2.3.5 Fatores humanos

Dentre os diversos fatores humanos - antropométricos, fisiológicos, etc. -, que influenciam a mantenebilidade de um sistema, são especialmente importantes os fatores psicológicos (atitude de resposta, iniciativa e comportamento).

No contexto tradicional da manutenção, operadores tem que interagir com técnicos de manutenção para resolver problemas que surgem nos períodos de manutenção. Esses problemas estão principalmente relacionados com informação técnica, por exemplo sobressalentes, sintomas de equipamento, ações de manutenção corretas, entre outros.

Neste ponto, a adoção da manutenção produtiva total (MPT ou TPM, de *total productive maintenance*) que é realizada por todos os funcionários por meio de atividades em grupo. Na TPM adota-se alguns dos princípios de trabalho em equipe e *empowerment* ou autonomia (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

2.3.6 Fatores de suporte logístico

Os fatores de suporte logístico incluem como medidas principais as medidas de suprimento, de equipamento de suporte e de testes, de transporte e manuseio e as medidas de documentação.

Segundo Alves (2002), as medidas de suprimento são aquelas que influenciam a duração e eficácia das intervenções programadas ou não, a medida que são afetadas pela capacidade de fornecimento de sobressalentes. Essas medidas são de fundamental importância, devido à elevada quantidade de interferências presente nos períodos de manutenção dos equipamentos.

As medidas de equipamento de suporte e testes, referem-se à disponibilidade e quantidade mínima destes equipamentos para assegurar uma manutenção eficaz.

As medidas de transporte e manuseio também são importantes e referem-se à necessidade de trânsito de material e de pessoas entre os vários locais de operação e instalação, envolvendo assim o deslocamento de equipes e recursos para a realização das tarefas de manutenção.

As medidas de documentação referem-se entre outras coisas às atualizações de procedimentos técnicos, desenhos e etc. que, quando não executadas corretamente, podem causar atrasos bastante significativos (ALVES, 2002).

2.3.7 Fatores econômicos

Fatores econômicos são aqueles fatores responsáveis pela definição dos custos de manutenção de um sistema. Na maioria das vezes, estes fatores acabam tendo o peso maior nas decisões tomadas.

Normalmente, os sistemas atuais possuem um módulo de orçamento e apropriação de custos. O usuário fornece as tabelas com os valores de custo de recursos humanos, hora máquina e materiais, e o sistema fornece a orçamentação do serviço a partir da apropriação.

O custo, além de ser utilizado na área contábil da empresa, realimenta o módulo de planejamento de serviço, ficando disponível para utilizações futuras (GURSKI, 2002).

2.4 A hidráulica no contexto da manutenção e falhas

A utilização de energia de fluidos é importante porque é um dos três meios disponíveis de transmissão de energia. Outros métodos de transformação de energia são através da utilização de meios mecânicos, e através da aplicação de energia elétrica (AKERS, GASSMAN e SMITH, 2006).

Durante os períodos de manutenção e devido à diversidade tecnológica existente no sistema de operação do braço de carregamento, atividades de diferentes áreas de conhecimento são desenvolvidas.

Segundo Schimitt (1988), pode-se escolher inúmeras razões para destacar a hidráulica como: 1) obtenção de grandes forças (momentos de giro) produzidos de forma eficiente em reduzidos espaços de montagens ; 2) adaptação de força se faz automaticamente; 3) movimento pode ser iniciado mesmo em plena carga; 4) ajuste contínuo de regulagem de velocidade, momento de giro, força, entre outros, podem ser facilmente obtidos; 5) proteção simples contra sobrecarga; 6) útil para movimentos rápidos controlados, assim como para movimentos de precisão extremamente lentos; 7) armazenamento de energia relativamente simples por meio de gases, como o nitrogênio; e, 8) possibilidades de sistema de acionamento centralizado com transformação descentralizada de energia mecânica, proporcionando grande economia.

Para que se possa ter inicialmente uma ideia geral sobre os vários campos de aplicação da hidráulica, dividem-se os campos em cinco setores: 1) hidráulica no setor móbil com escavadeiras, dragas e guias, máquinas rodoviárias e agrícolas, mecânica automobilística; 2) hidráulica na indústria naval com acionamento de lemes, guindastes de bordo, guias, plataformas e escotilhas de carga; 3) hidráulica em construções aquaviárias com comportas e eclusas, acionamento de pontes, máquinas de mineração, turbinas, usinas nucleares; 4) aplicações técnicas especiais como acionadores de telescópicos, antenas, boias de investigação marítima, trens de aterrissagem, controle de aeronaves e máquinas especiais; e, por fim, mas a

principal por estar relacionada à pesquisa, 5) hidráulica industrial, com a utilização na tecnologia de transportes (SCHIMITT, 1988). Como todos os setores, o fator tempo de operação também é fundamental.

Carregamentos e descarregamentos devem ser executados rapidamente, assim como a transferência de materiais. Nestas instalações a hidráulica atende a estes requisitos e está presente no movimento de braços articulados e em dispositivos de giro como os braços de carregamento da figura 5.

Figura 5. Braço de carregamento acoplado ao tanque



Fonte: Cozanet (2015)

Apesar das vantagens enumeradas, os sistemas hidráulicos também apresentam desvantagens. Como é o caso do problema com que se deparam os usuários deste meio de transmissão de potência: a escassez de profissionais com domínio na manutenção destes sistemas hidráulicos, o que acaba gerando paradas longas e indisponibilidades do sistema, com conseqüente custo adicional por perda de operações bastante significativas em alguns casos (ALVES, 2001).

Na área de hidráulica, a variável anos de experiência é um dos fatores que mais influenciam a habilidade de análise de falhas e resolução de problemas.

O desenvolvimento e manipulação da informação, geração de hipóteses e familiaridade com o sistema e/ou equipamento são algumas qualidades que somente podem ser desenvolvidas com anos de experiência. Há, contudo outras qualidades tais como: conhecimento técnico e pensamento crítico, que também são necessárias ao profissional de manutenção e que dificultam ainda mais a formação de profissionais hábeis na tarefa de diagnóstico de falhas em sistemas hidráulicos conforme Alves (2001).

2.4.1 Manutenção de sistemas hidráulicos

Embora os sistemas hidráulicos tenham confiabilidade e pareçam visualmente robustos, na realidade são sensíveis. Um dos fatores mais prejudiciais ao seu bom funcionamento é a contaminação do óleo. Os contaminantes podem ser constituídos de sólidos, líquidos, gases ou combinação destes, sendo que os sólidos insolúveis como areia, poeira e partículas de metal são os mais prejudiciais.

Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais diminuem as tolerâncias na fabricação dos elementos móveis que constituem os componentes hidráulicos. Pequenas partículas sólidas podem em pouco tempo danificar estes elementos causando falhas prematuras em bombas ou solenoides.

Isto faz, durante o período normal de operação, um sistema hidráulico apresentar normalmente sinais que, se a princípio não indicam problemas, não podem deixar de serem levados em consideração.

Segundo Mitchell e Pippenger (1997), muitas das vezes tais sinais são a forma mais eficiente para se determinar a origem de problemas posteriores. Essa informação é bastante valiosa para os técnicos que irão realizar futuras manutenções no sistema, sejam elas planejadas ou não.

2.4.2 Falha em sistemas hidráulicos

Antes de se falar em falha é importante entender o significado do termo função. Função pode ser entendida como sendo a tarefa que o sistema deve executar. A função é normalmente descrita por um verbo acrescido de um complemento. Cita-se como exemplo uma das funções do sistema hidráulico das garras do braço de carregamento: abrir e fechar as garras para retirar tampa.

Arranjo funcional é outro conceito importante, pois representa a forma como um conjunto de itens está organizado em um sistema, considerando que este sistema tem uma função específica (DIAS, 1996). A importância deste conceito deve-se ao fato de que é possível melhorar a confiabilidade de um sistema modificando o seu arranjo funcional.

Com isso surgem os conceitos de redundância ativa e passiva. O primeiro representa um arranjo no qual todos os itens estão em atividade continuamente conectados. Quando ocorrer a falha de um item, outro assume imediatamente a função, de modo a não comprometer a função básica do sistema. Já no segundo arranjo, também conhecido como *stand by*, existe um elemento externo, denominado de comutador, que aciona a atuação do item reserva. Ambos têm como finalidade manter a função do sistema inalterada.

Para o sistema hidráulico dos braços, pode-se mencionar como exemplo o próprio sistema de desconexão de emergência ou ERS. A preocupação em prevenir a falha desse sistema é tal, que o mesmo é projetado para operar com duas unidades de força continuamente conectadas (redundância ativa) e uma unidade de emergência (redundância passiva).

Uma vez expostos os conceitos de função e arranjo funcional, é importante apresentar o conceito de falha. Conforme a norma brasileira, falha é o término da capacidade de um item em desempenhar a função para o qual foi projetado (ABNT, 1994).

Quando se pergunta, quais são as características desejáveis em um produto, certamente a resposta seria que ele deveria ter uma vida útil ilimitada, e que, durante esta, funcionasse isento de falhas. É claro que isso dificilmente será um dia alcançado. As limitações de ordem física, econômica e social impõem restrições à vida útil, o que indica a possibilidade de falhas em cada equipamento. Ou seja, durante uma vida útil de determinado sistema/equipamento, tem-se situações indesejáveis sob o ponto de vista do usuário, que deverão ser avaliadas dentro de parâmetros estatísticos de custos e possibilidades de ocorrências (GUIRSKI, 2001).

Falhas nas operações podem ocorrer por diversas razões. Algumas tem sua fonte dentro da operação produtiva porque o projeto foi inadequado, as instalações ou pessoal falharam. A seguir apresenta-se algumas dessas causas.

2.4.3 Falhas de projeto

Essas falhas ocorrem porque uma característica de necessidade não foi considerada ou foi mal calculada. Os processos podem não ser capazes de lidar com necessidades que lhe são feitas. Outras falhas relativas a projetos sucedem porque as circunstâncias sob as quais a produção tem que trabalhar são inesperadas. Projeto adequado e conforme visa identificar o conjunto de circunstâncias sob as quais as operações deve atuar e projetá-las de acordo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

2.4.4 Falhas de instalação

Instalações como máquinas, equipamentos, etc. de uma operação tem a possibilidade ou probabilidade de quebras ou ter falhas. Essa pode ser parcial ou total e o que é importante é o efeito de uma paralisação. Certas partes podem parar parte da produção. Outras podem ter somente um impacto significativo se ocorrem simultaneamente a outras falhas.

2.4.5 Falhas de pessoal

São de dois tipos: erros e violações. Pode-se definir erros que são enganos de julgamento; a posteriori, percebe-se que alguém deveria ter feito algo diferente. Violações são atos que claramente contrários ao procedimento operacional definido.

Tanto erros como violações necessitam ocorrer para resultar no tipo de falha.

2.4.6 Falhas de fornecedores

Qualquer falha no prazo de entrega ou na qualidade de bens ou serviços fornecidos para operações pode causar falhas de fornecedores. Quanto mais uma produção depender de fornecedores de materiais e serviços, mais terá probabilidade de falhar devidos a entrada de transformados e transformadores defeituosos ou abaixo dos requisitos padrão.

2.4.7 Falhas de clientes

Podem ser resultadas da má utilização ou operação indevida por parte dos clientes. As empresas normalmente aceitam seu papel de agentes de educação junto aos clientes, e também investem em dispositivos que previnem uma possível falta de atenção por parte do consumidor ao utilizar seus produtos e serviços.

2.4.8 Falhas de ruptura no ambiente

São as falhas que se encontram fora da influência direta da operação. Estas falhas estão relacionadas aos ambientes atuais que se encontram integrados em escalas cada vez mais globais e interdependentes e que se tornam dependentes de tecnologia de informação com grandes nuvens de dados.

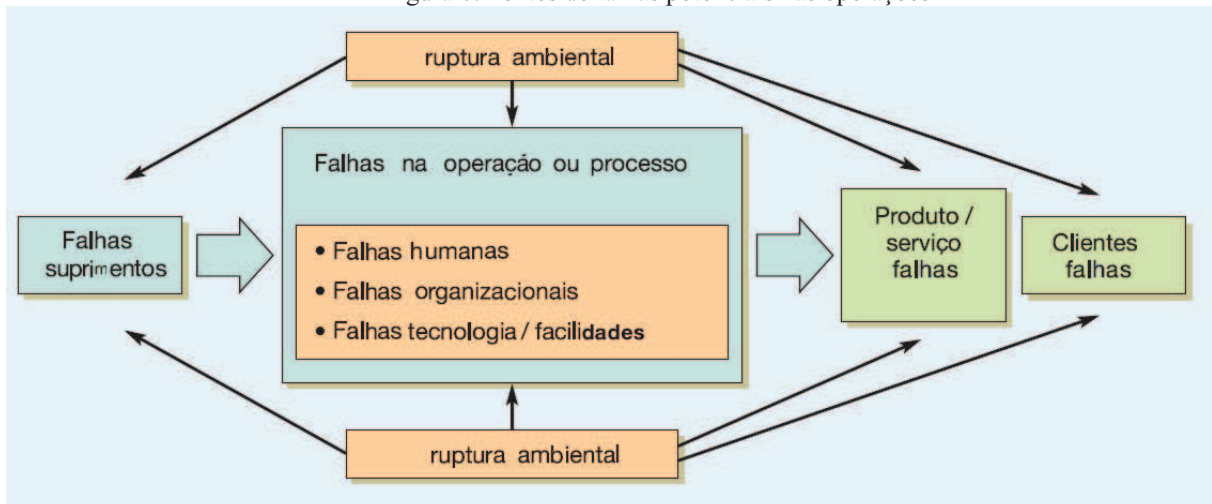
Há também diferentes formas de medição das falhas. A taxa de falhas é calculada como uma porcentagem do número total de produtos testados ou como o número de falhas em um período de tempo, como segue:

$$TF = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número total de produtos testados}} \times 100 \quad (4)$$

ou,

$$TF = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Tempo de operação}} \quad (5)$$

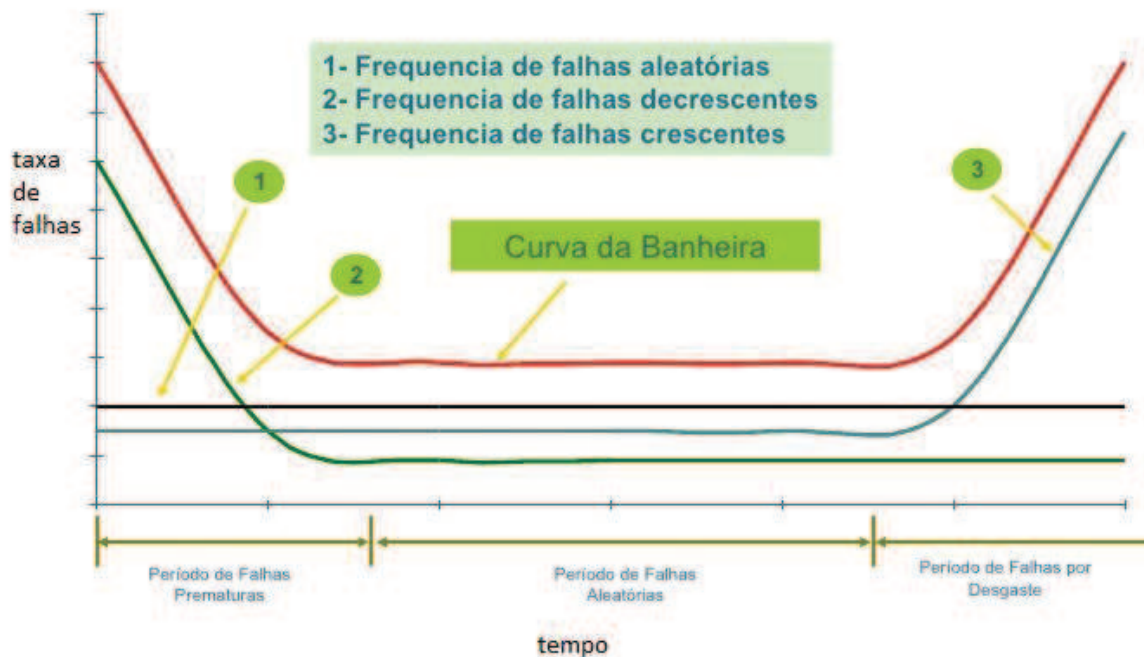
Figura 6. Fontes de falhas potenciais nas operações



Fonte: adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010)

Para a maioria das peças ou *parts* de uma operação, as falhas são variáveis em função do tempo. A maioria das peças físicas de uma operação comporta-se de maneira semelhante. A curva que descreve a probabilidade desse comportamento é chamada de curva da banheira conforme figura 7.

Figura 7. Curvas da banheira para os tipos de processos



Fonte: adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010)

No período inicial da linha de tempo conhecido como estágio de mortalidade infantil ocorrem as denominadas falhas prematuras, que normalmente estão associadas a erros de projeto ou de fabricação, uma vez que raramente é feito um controle total dos itens produzidos.

No período intermediário, também chamado de estágio de vida normal ou período de falhas aleatórias, as falhas ocorrem em uma taxa aproximadamente constante. No período final, o estágio de desgaste caracteriza-se por forte influência da degradação, a taxa de falhas aumenta significativamente; são as chamadas falhas catastróficas.

Embora a curva da taxa de falhas apresentada na Figura 7 seja bastante citada na literatura, nem todos os equipamentos e/ou componentes seguem os princípios apresentados acima. Smith (1993) cita que o estado da arte não está suficientemente desenvolvido para prever quais os mecanismos de falha estão envolvidos e quando eles podem vir a ocorrer, e que a

aplicação eficiente desta curva pressupõe uma boa coleta de dados históricos de equipamentos ou sistemas.

A importância desta afirmativa reside no fato de que não basta selecionar tarefas de manutenção preventiva baseadas somente na idade do sistema. Especialistas em hidráulica e autores de um dos poucos livros que tratam exclusivamente sobre diagnóstico de falhas em sistemas hidráulicos, cita que existem certas situações em que as observações pessoais são a única forma de se determinar parâmetros operacionais que permitem chegar à fonte de problemas (MITCHELL e PIPPENGER 1997).

Para que a confiabilidade seja incrementada, ou seja, para que um item, sistema ou equipamento passe a atender ao desempenho requerido, é necessária muitas vezes a utilização de várias ferramentas.

Estas podem ser utilizadas, primeiramente, a fim de estratificar, quantificar ocorrências importantes e número de falhas, e, posteriormente, para resolver os problemas de modo eficaz, tais como FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha); RCFA (Análise das Causas Raízes da Falha); o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas); entre outras (GUIRSKI, 2002).

As ferramentas por si somente não resolvem problemas nem melhoram situações – quem faz isso são as pessoas, os colaboradores de uma empresa (CORRÊA e CORRÊA, 2013). Ferramentas servem como suporte e apoio às pessoas na tomada de decisões que podem resolver problemas e melhorar cenários diante de falhas. Uma dessas ferramentas é apresentada a seguir, sendo que essa ferramenta é usada para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas no seu contexto operacional atual.

2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um método de gestão de ativos físicos utilizado na determinação de tarefas de Manutenção capazes de assegurar que um sistema ou processo atenda à necessidade de seus usuários, dentro do seu contexto operacional atual, com o desempenho esperado, bem como, faz a consideração sistemática das funções de um item físico, seus modos de falha e os critérios de priorização para definição de uma Política de Manutenção das funções de processo.

MCC é uma abordagem operacional de melhoria focada na identificação e no estabelecimento de melhorias operacionais do capital manutenção, que permitirá gerenciar os riscos de falha dos ativos de modo efetivo (NIU *et al*, 2010)

Por meio de uma atuação sistemática e com foco na função do sistema, mapeia-se o processo operacional de modo a priorizar as funções mais importantes para o processo produtivo e assim identificar as suas falhas funcionais, modos de falhas e consequências, proporcionando melhoria aos planos de manutenção que passam a gerar programações com foco nas tarefas que agreguem ao sistema, adequação das periodicidades, nivelamento de estoques de sobressalentes, redução de itens e equipamentos a serem checados periodicamente ou até um novo projeto do sistema.

A partir das perspectivas de MCC, pode-se identificar junto aos técnicos da manutenção se: 1) os registros de falhas dos braços de carregamento estão inseridos no banco de dados do sistema de gerenciamento de falhas; 2) o impacto das falhas e seus sintomas têm sido acompanhados através de algum método; 3) as técnicas de FMEA tem sido utilizadas 4) os procedimentos de reparos são atualizados 5) as falhas críticas e sistêmicas são compartilhadas pelas diferentes equipes em diferentes terminais 6) as equipes multifuncionais participam das rotinas de correção e prevenção de falhas 7) a empresa faz abordagens para a manutenção preditiva com técnicas modernas.

Resumidamente e conforme o relatório de Nowlan & Heap (1978), MCC refere-se a um programa de manutenção elaborado para preservar a confiabilidade inerente de um item, de modo que ele cumpra a sua função no processo.

A política consiste na seleção de tarefas embasadas nas características de confiabilidade, acompanhadas de uma análise lógica e sistêmica que visa à viabilidade técnica e econômica das ações a serem aplicadas.

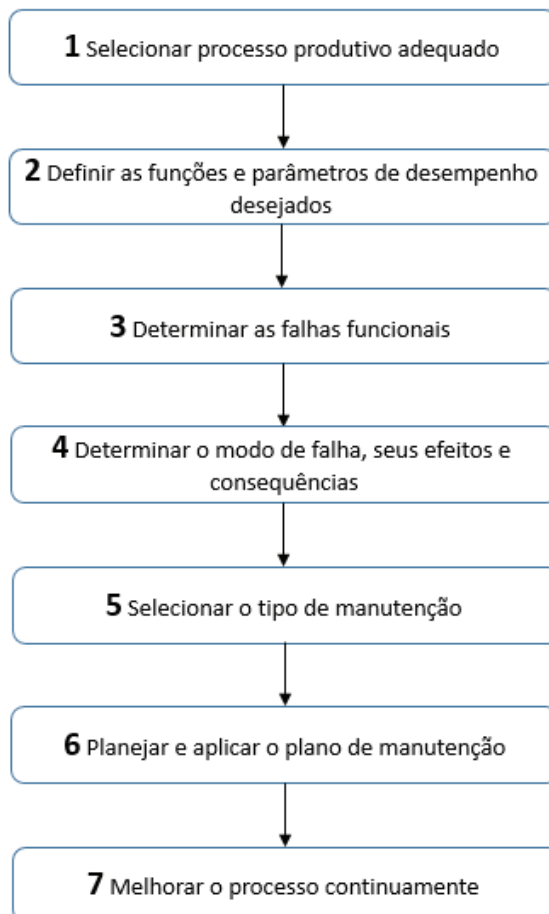
A excelência no desempenho das funções que compõe o processo de operação dos BC's requer que todas as atividades inter-relacionadas sejam compreendidas e gerenciadas segundo uma visão de processos.

Tal necessidade visa à efetividade da cadeia de processos, de modo a atender os requisitos de qualidade e a superar as expectativas do cliente e, conseqüentemente proporciona valor agregado ao negócio por meio do emprego de recursos enxutos. Assim, um processo dispõe de entrada, saída, tempo, espaço, ordenação, objetivo e valores que, interligados logicamente, irão resultar em uma estrutura para fornecer produtos ou serviços ao cliente.

Conforme Müller *et al.* (2010), o mapeamento de processos é uma técnica representativa que utiliza uma linguagem gráfica e sequencial das tarefas necessárias para que um processo realize a entrega de um produto ou serviço. A sua análise estruturada permite o conhecimento do processo produtivo e a identificação de gargalos, ociosidades, funções críticas, cadeia de custos do produto e serviço, falhas existentes, bem como fomenta a integração entre os sistemas e a eliminação das etapas que não agregam valor ao processo.

O processo de implantação da MCC a partir do uso da ferramenta mapeamento de processo deve ser realizado em 7 etapas conforme figura 8.

Figura 8. Etapas de implantação da metodologia MCC



Fonte: adaptado de Souza e Lima (2003)

Inicia-se na etapa 1 com a escolha do processo, no caso o sistema de operação dos braços de carregamento que atenda à necessidade de seus usuários e do planejamento.

Na etapa 2, mapeia-se o processo produtivo de modo a priorizar as funções mais importantes para o processo produtivo, como por exemplo, “transferir o hidrocarboneto do tanque da embarcação para as instalações do terminal a uma vazão desejada do berço do lado sul”.

Assim identifica-se as suas falhas funcionais, como incapacidade de transferir o produto a vazão requerida conforme é apresentada na etapa 3.

Na etapa 4, determina-se os modos de falhas como válvulas de saída travadas, seus efeitos e consequências.

Na etapa 5, seleciona-se o tipo de manutenção (corretiva, preventiva ou preditiva).

A partir dessa seleção, o novo plano de manutenção é formulado e passa a gerar programações com foco nas tarefas que agreguem valor ao sistema de acordo com a etapa 6.

Para que o ciclo virtuoso do processo se mantenha, a etapa 7 prevê o processo de melhoria aos planos de manutenção, como a adequação das periodicidades, nivelamento de estoques, redução de itens e equipamentos a serem checados periodicamente ou até o reprojeto do sistema.

3 TECNOLOGIA DOS BRAÇOS DE CARREGAMENTO DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS

3.1 Braços de Carregamento e a sua evolução

A tecnologia de transporte, carregamento e armazenagem de hidrocarbonetos tem evoluído juntamente com a indústria do petróleo. Embora a utilização de óleo tenha indícios desde a pré-história, segundo Chisholm (1911) a exploração comercial moderna remonta a fabricação de parafina por James Young em 1850.

No início da década de 1850, o óleo começou a ser exportado pela Birmânia, então uma colônia britânica. O óleo era carregado em vasos de barro para a margem do rio onde era depois vertido no barco para o transporte à Grã-Bretanha.

A invenção do refino do petróleo, de acordo com Woodward (1998) levou a disponibilidade do querosene como óleo de lamparina, que tem a combustão sem fumaça em contraste com o até então altamente utilizado óleo de baleia. O óleo de lamparina ficou conhecido como *pennsylvania kerosine*. Devido à pesca predatória, o óleo de baleia se tornou um produto raro e caro. Por esta altura, segundo Woodward, a produção de óleo de refino já havia começado a suplantar o de peixes, baleias, e óleos vegetais para aplicações tais como iluminação interior e exterior, e a exportação transatlântica já havia começado.

Barcos e barcaças foram usados inicialmente para transportar petróleo em barris de madeira. O transporte por barril tinha vários problemas: o primeiro era o peso do barril padrão que representava 20% do peso total de um barril cheio. Segundo, que os vazamentos dos barris também eram constantes (CHISHOLM, 1911).

Finalmente, barris eram por si só muito caros. Por exemplo, nos primeiros anos da indústria do petróleo russo, barris foram responsáveis por metade do custo de produção de petróleo (TOLF, 1976).

O transporte de óleo a granel foi tentado em muitos lugares e de diversas formas sendo que os oleodutos existem desde 1860. Os primeiros petroleiros à vela foram construídos em 1863 na Inglaterra segundo Chisholm (1911).

Em 1876, Ludvig e Robert Nobel, irmãos do renomado Alfred Nobel, fundaram a Branobel (abreviação de irmãos Nobel) em Baku, Azerbaijão. Durante o final do século 19, uma das maiores empresas de petróleo do mundo.

Desde os primórdios da construção dos navios tanque e petroleiros, a necessidade de segurança e eficiência na transferência de líquidos a granel para um navio atracado tem sido fundamental. Uma falha nos equipamentos de carregamento levou a Branobel vivenciar um dos primeiros desastres com petroleiros do mundo.

Em 1881, o petroleiro *Nordenskjöld* estava carregando querosene em Baku. O navio foi conectado ao cais através de uma tubulação comum. Enquanto carregava, o navio foi atingido por uma rajada de vento e o tubo de carregamento afastou-se do porão. Em seguida, o querosene derramado sobre o deck do navio e para o interior da sala de máquinas, onde a mecânica estava trabalhando sob a luz de lanternas de querosene, o navio então explodiu, matando metade da tripulação (TOLF, 1976).

Os irmãos Nobel responderam ao desastre, criando uma tubulação de carregamento flexível, à prova de fugas de produtos que era muito mais resistente a derrames de produtos.

Desde então, com o desenvolvimento da indústria do aço e da inovação na tecnologia de materiais, diversos projetos e modelos de tubulações e braços de carregamento vem sendo desenvolvidos.

Segundo Sastry e Seekumar (2012), o braço de carregamento é um sistema de tubos articulados usados para transferir líquidos – neste caso, petróleo e seus derivados -, dos tanques de embarcações ou navios cargueiros até os tanques de armazenagem do terminal da empresa.

Braço de carregamento é uma melhor opção do que o uso de mangotes flexíveis e com vantajosos recursos na transferência de hidrocarbonetos porque possibilita uma operação mais fácil e ergonômica, dá uma vida útil mais longa e permite a chamada ação de liberação de emergência sem qualquer vazamento de produto e sem qualquer poluição (KANON, 2015).

A marca de braço de carregamento *Chiksan* cujo fabricante FMC (2015) afirma ter construído a melhor solução tecnológica em conexão segura através de seu conhecimento de mais de 50 anos e com a maior quantidade de unidades instaladas de braços e acessórios marítimos em todo o mundo.

Os braços de carregamento são basicamente projetados e fabricados de acordo com as normas e padrões de projetos complementares de acordo com *Oil Companies International Marine Forum* (OCIMF, 1999).

Desde o projeto e concepção dos navios e plataformas de petróleo, a demanda por segurança e eficiência total na transferência de hidrocarbonetos líquidos a granel para um navio atracado tem sido fundamental. Falhas nos dispositivos e na operação de equipamentos de carregamento podem levar à tragédias tanto com perdas de vidas como em impacto ambiental.

Por essa razão, os dispositivos de segurança e redundâncias nos instrumentos e sensores são de grande importância na operação dos braços de carregamento.

O descarregamento é realizado por braços automatizados, projetados para atuar em pressão de 200 bar. Os braços de carregamento possuem sistema de acionamento eletro-hidráulico automatizado, com console de controle e comando remoto sem fio para cada berço do píer. A segurança de processo inclui além de outros, um sistema de detecção de limite de envelope constituído por um sistema de chaves de posição redundantes.

Os transmissores de pressão nos conectores dos braços têm seus sinais integrados ao próprio sistema de controle dos braços fornecidos pelo fabricante e os dados são disponibilizados para integração ao sistema de supervisão do terminal. O sistema de monitoramento de posição informa continuamente a posição dos braços de carregamento, como também possui saídas de alarme de limite de envelope para integração no sistema supervisorio.

O sistema de desarme, desacoplamento e acoplamento, carregamento são independentes por braço, de modo que é possível realizar a manutenção em um determinado braço, sem que haja o desarme dos demais braços que estão acoplados.

A drenagem dos braços é realizada por meio de bombas, pelo sistema de drenagem da conexão, das linhas de drenagem até as linhas de processo junto ao braço, incluindo a primeira válvula de bloqueio à jusante das bombas de drenagem.

O acoplamento dos braços de carregamento com as tomadas do navio é hidráulico. Para as operações de emergência o desacoplamento é feito por um sistema de desconexão automática de emergência com válvulas de bloqueio à montante e a jusante com tempo de fechamento máximo de 5 segundos.

Os braços de carregamento configuram-se, portanto num sistema hidráulico com função de transmitir força, ou simplesmente como um sistema hidráulico.

Em vista dessa característica do fluido no sistema hidráulico, apresenta-se a seguir o comportamento mecânico e a deformação sob tensão dos fluidos.

3.2 Reologia

Segundo Brodkey (1967), a reologia é o estudo do comportamento mecânico (escoamento da matéria) e da deformação de corpos devido a ação de tensões sob determinadas condições termodinâmicas ao longo de um intervalo de tempo.

Estuda-se o escoamento da matéria e especificamente dos fluidos com as bases lançadas da mecânica dos fluidos e que são fundamentais para os diferentes ramos de aplicação da engenharia (BRUNETTI, 2008) incluindo os equipamentos de sistema de transferência de energia hidráulica para movimentação, conexão e posicionamento estacionário dos braços de carregamento de hidrocarbonetos líquidos.

Reologia como a medida dos comportamentos de fluxo de líquidos, incluem-se os fluidos que apresentam comportamento viscoelástico. Para que haja fluxo, deve-se induzir o cisalhamento do fluido em questão.

Os parâmetros envolvidos em reologia são basicamente três: a tensão de cisalhamento, a taxa de cisalhamento e a viscosidade. Dessa maneira, o escoamento da matéria fluida em dutos e tubulações, a lubrificação e a transmissão de energia se apoiam em leis da mecânica dos fluidos para obter os resultados de aplicação prática e esses conceitos serão estudados nos próximos capítulos.

3.2.1 Transmissão de potência e sua evolução

Dos três métodos conhecidos de transmissão de potência na esfera industrial: (i) a mecânica; (ii) a elétrica; e, (iii) a fluídica, - naturalmente, a transmissão mecânica é a mais velha delas, por conseguinte, a mais conhecida. Começou com a invenção da roda e utilizam hoje de muitos outros artifícios mais apurados como engrenagens, cames, correias, molas, polias e outros.

A elétrica, que usa geradores, motores elétricos, condutores e uma gama muito grande de outros componentes, é um desenvolvimento dos tempos modernos. É o melhor meio de se transmitir energia a grandes distâncias (FERENCE, LEMON e STEPHENSON, 1960).

Um dos primeiros problemas de engenharia que a humanidade enfrentou enquanto as cidades se desenvolviam foi o abastecimento de água para uso doméstico e irrigação de culturas. Nosso estilo de vida urbano só pode ser mantido com água abundante, e as civilizações da pré-história que obtiveram sucesso investiram na construção e manutenção dos sistemas de água (CENGEL, CIMBALA, 2013).

Os aquedutos romanos, alguns dos quais ainda estão em uso, são os exemplos mais conhecidos da era cristã (FERENCE, LEMON e STEPHENSON, 1960).

No entanto, talvez a engenharia mais impressionante do ponto de vista técnico foi feita na cidade helenística de Pérgamo, na atual Turquia. Lá, de 283 a 133 ac, foi construído uma série de dutos de chumbo e argila, até 45 km de comprimento que operavam a pressões superiores a 1,7 MPa (180 metros de coluna d'água). Infelizmente, os nomes de quase todos estes primeiros construtores se perderam na história.

A mais antiga contribuição reconhecida à teoria da mecânica de fluidos foi feita pelo matemático grego Arquimedes (285-212 ac). Ele formulou e aplicou o princípio da flutuabilidade no primeiro teste não destrutivo da história para determinar o teor de ouro da coroa do rei Hiero I.

Romanos construíram grandes aquedutos e os muitos povos conquistados foram educados com base nos benefícios da água limpa, mas no geral tiveram uma má compreensão da teoria dos fluidos. Talvez os romanos não deveriam ter assassinado Archimedes quando saquearam Syracuse (CENGEL, CIMBALA, 2013).

Durante a Idade Média a aplicação de máquinas de fluido se ampliou lentamente, mas de modo constante. Moinhos de água e de vento foram aperfeiçoados para moer grãos, forjar metais, entre outras tarefas.

Pela primeira vez na história humana, trabalho significativo estava sendo feito sem o poder de um músculo fornecido por uma pessoa ou animal, e essas invenções foram geralmente creditadas como primórdios da posterior revolução industrial.

Mais uma vez os criadores da maior parte do progresso estão desconhecidos, mas os próprios dispositivos foram bem documentados por vários escritores técnicos, como Georgius Agricola.

Além de formular as equações de movimento para sólidos, Sir Isaac Newton (1643-1727) aplicou suas leis para fluidos e explorou a inércia e resistência de fluidos, jatos livres, e viscosidade. Esse esforço foi acrescentado pelo suíço Daniel Bernoulli (1700-1782) e seu associado Leonard Euler (1707-1783). Juntos, seus trabalhos definiram as equações de energia e do momentum.

Em meados do século XIX avanços fundamentais foram chegando em várias frentes. Na Inglaterra, Sir Osborn Reynolds (1842-1912) continuou que o trabalho e desenvolveu o número adimensional que leva seu nome. Da mesma forma, em paralelo com o trabalho inicial de Navier, George Stokes (1819-1903) concluíram as equações gerais do movimento de fluidos com atrito que levaram seus nomes.

O uso do fluido sob pressão, como meio de transmissão de potência, já é mais recente, sendo que o seu desenvolvimento ocorreu, mais precisamente, após a primeira grande guerra.

O uso do fluido sob pressão, como meio de transmissão de potência, já é mais recente, sendo que o seu desenvolvimento ocorreu, mais precisamente, após a primeira grande guerra (FERENCE, LEMON e STEPHENSON, 1960).

A metade do século XX pode ser considerada a idade de ouro de aplicações da mecânica dos fluidos. As teorias existentes eram adequadas para as tarefas práticas, e propriedades de fluido e os parâmetros eram bem definidos.

Estes suportaram uma enorme expansão de setores como a aeronáutica, química, industrial, e recursos de saneamento; cada um dos quais empurrou mecânica dos fluidos em novas direções (CENGEL, CIMBALA, 2013).

Pesquisas e projetos de mecânica dos fluidos de investigação e de líquidos no final do século XX foram influenciados pelo desenvolvimento do computador digital na América. A capacidade de resolver grandes problemas complexos proporcionou um benefício para a nossa sociedade que os cientistas e estudiosos de mecânica dos fluidos do século XVIII nunca poderiam ter imaginado.

Indagar para onde irá a mecânica dos fluidos no século XXI seria segundo Cengel, Cimbala (2013) mesmo uma extrapolação limitada para além do presente seria pura tolice. No

entanto, se a história nos diz algo, é que os engenheiros estarão aplicando o que eles sabem para beneficiar a sociedade, pesquisando o que eles não sabem, e ter um grande momento no processo.

Mencionou-se conforme Schmitt (1988), que a grande vantagem da utilização da energia hidráulica consiste na facilidade de controle da velocidade e inversão, praticamente instantânea, do movimento. Além disso, os sistemas são auto lubrificadas e compactos se comparados com as demais formas de transmissão de energia.

As desvantagens dos sistemas é que se comparados com a eletricidade, por exemplo, os sistemas têm um rendimento baixo, de modo geral em torno de 65%, principalmente devido a perdas de cargas e vazamentos internos nos componentes. A construção dos elementos necessita de tecnologia de precisão encarecendo os custos de produção (FERENCE, LEMON e STEPHENSON, 1960).

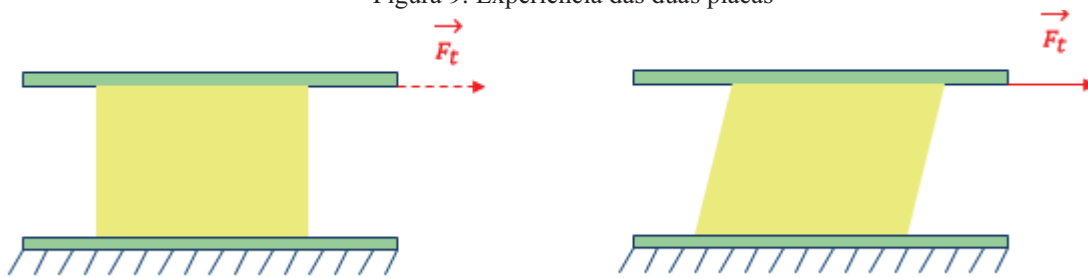
3.2.2 Deformação e gradiente de velocidade

Um fluido é caracterizado como uma substância que se deforma continuamente quando submetida a uma tensão de cisalhamento, não importando o quão pequena possa ser essa tensão. Os fluidos incluem os líquidos, os gases, os plasmas e, de certa maneira, os sólidos plásticos. A principal característica dos fluidos está relacionada a propriedade de não resistir a deformação e apresentam a capacidade de fluir, ou seja, possuem a habilidade de tomar a forma de seus recipientes. Esta propriedade é proveniente da sua incapacidade de suportar uma tensão de cisalhamento em equilíbrio estático (MUNSON, YOUNG e OKIISHI, 2004).

Essa definição está ligada à comparação entre um sólido e um fluido por uma observação prática denominada experiência das duas placas conforme figura 9.

Os sólidos, a serem solicitados por esforços, podem resistir, deformar-se e ou até mesmo cisalhar. Pode-se dizer que um sólido solicitado por uma força tangencial F_t constante, deforma-se angularmente, mas atinge uma nova configuração de equilíbrio estático.

Figura 9. Experiência das duas placas



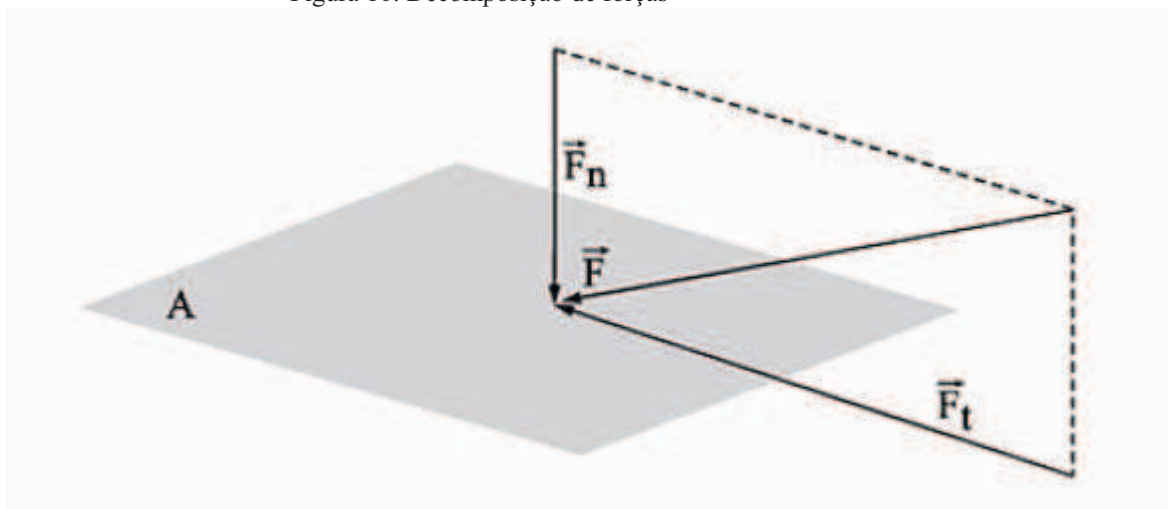
Fonte: adaptado de Brunetti (2008)

Colocando-se agora um fluido entre as placas, observa-se que este não resiste a esforços tangenciais por menores que estes sejam, o que implica que se deformam continuamente: se a placa superior adquire uma velocidade \vec{v} , os pontos do fluido em contato com ela terão a mesma velocidade \vec{v} , e os pontos do fluido em contato com a placa fixa ficarão parados junto dela.

Essa observação está relacionada ao princípio da aderência em que os pontos de um fluido em contato com uma superfície sólida aderem aos pontos dela, com as quais estão em contato conforme Brunetti, (2008).

Seja uma força \vec{F} , aplicada em uma superfície de área A (Fig.10). Essa força é decomposta em segundo as direções normais e à tangente da superfície, dando origem às componentes normal e tangencial.

Figura 10. Decomposição de forças



Fonte: adaptado de Brunetti (2008)

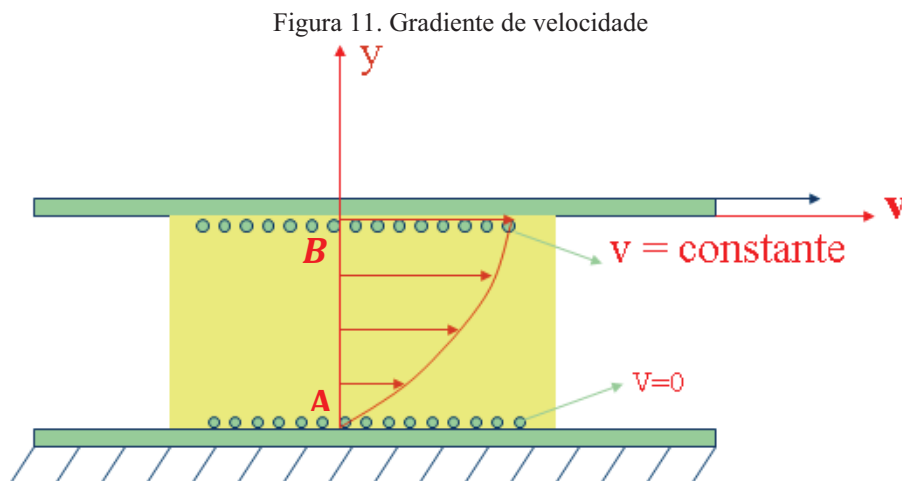
Define-se tensão de cisalhamento média como o quociente entre o módulo da componente tangencial da força e a área sobre a qual a força está aplicada na equação (6):

$$\tau = \frac{F_t}{A} \quad (6)$$

No caso de a placa ser acelerada e após determinado tempo atingir velocidade $v =$ constante. Demonstra-se que a força externa F_t aplicada à placa é equilibrada por forças internas ao fluido, visto que, não existe aceleração, e conforme segunda lei de Newton, a resultante das forças será igual a zero ou nula (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2004).

Estas forças internas que equilibram o sistema de forças aparecem segundo o princípio da aderência. Primeiro, ao se aplicar a força F_t na placa superior, esta se movimenta continuamente com uma velocidade \vec{v} e do modo mostrado na figura 10. Este comportamento está conforme em relação à definição de fluido, quer seja, se uma tensão de cisalhamento for aplicada num fluido, este se deformará de maneira contínua.

O fluido junto à placa superior estará com velocidade \vec{v} enquanto o fluido junto à placa inferior estará com velocidade nula. As camadas intermediárias deverão se adaptar às externas variando desde \vec{v} até zero (BRUNETTI, 2008).



Fonte: adaptado de Brunetti (2008)

Em cada seção normal às placas, como a seção AB genérica, irá se formar um diagrama de velocidades, onde cada camada do fluido desliza sobre a adjacente com uma certa velocidade relativa.

Nota-se que há um gradiente de velocidade $\frac{dv}{dy}$, no escoamento entre as placas. A aderência dos fluidos às fronteiras sólidas tem sido observada experimentalmente e é um fato

relevante para a mecânica dos fluidos, sendo que essa aderência é referida como condição de não escorregamento (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2004).

O gradiente de velocidades forma uma espécie de atrito entre os múltiplos níveis do fluido. O escorregamento entre as camadas cria tensões de cisalhamento, que, multiplicadas pela área da placa, originam uma força tangencial interna ao fluido, responsável pelo equilíbrio da força F_t externa, o que fará com que a placa superior assumira uma velocidade constante v (BRUNETTI, 2008).

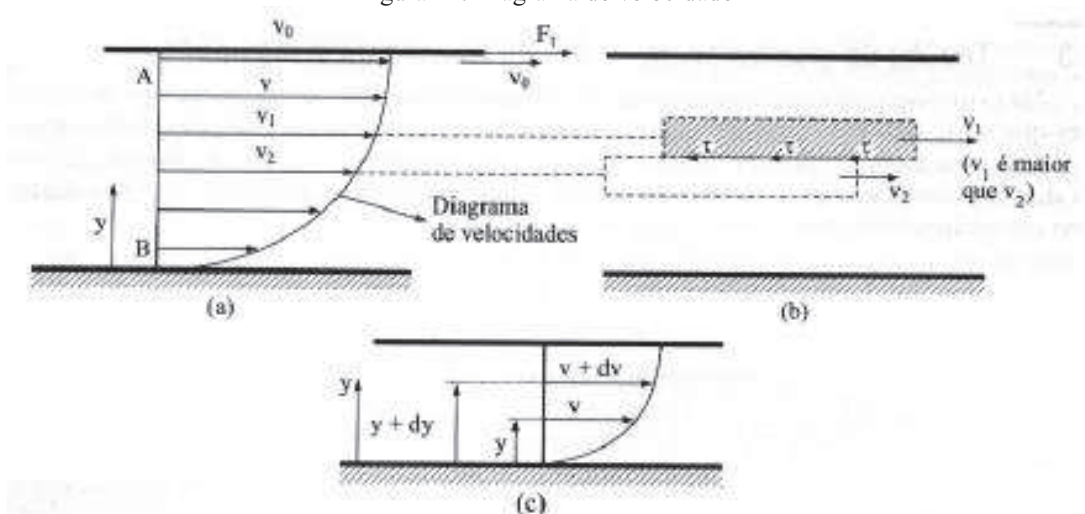
A este escorregamento dá-se o nome de cisalhamento do líquido. Para manter um fluido em fluxo, energia deve ser adicionada continuamente.

A Figura 12b mostra o aparecimento de τ devido à velocidade relativa $V_1 - V_2$, que cria um escorregamento entre as duas camadas indicadas. Newton descobriu que em muitos fluidos a tensão de cisalhamento é proporcional (α) ao gradiente da velocidade, isto é, à variação da velocidade com y .

Tal deslizamento entre camadas origina tensões de cisalhamento, que, multiplicadas pela área da placa, originam uma força tangencial interna ao fluido, responsável pelo equilíbrio da força F_t externa, o que fará com que a placa superior assumira uma velocidade constante V_0 .

Enuncia-se assim da lei de Newton da viscosidade aonde τ é a tensão de cisalhamento que será determinada pela lei de Newton da viscosidade.

Figura 12. Diagrama de velocidade



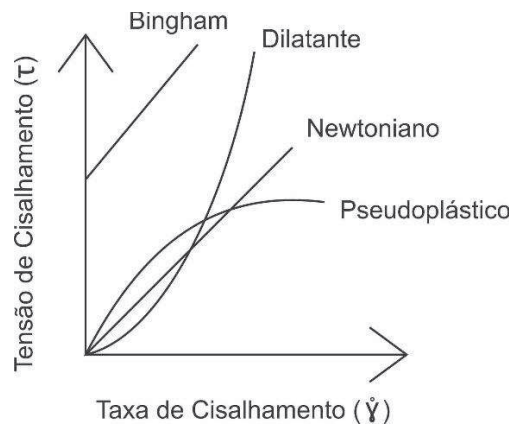
Fonte: adaptado de Brunetti (2008)

A tensão de cisalhamento é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade, como na equação (7)

$$\tau \propto \frac{dv}{dy} \quad \text{ou} \quad \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \text{cte} \quad (7)$$

Os fluidos que obedecem a essa lei são ditos fluidos newtonianos. Os fluidos que se comportam de forma a obedecer à Equação 7 são a grande maioria, como água, ar, óleos, etc. e serão estudados nesta pesquisa.

Figura 13. Comportamento reológico de diferentes materiais viscosos



Fonte: adaptado de White (2010)

3.2.3 Viscosidade absoluta ou dinâmica

A lei de Newton da viscosidade expressa uma proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e o gradiente da velocidade. Esta expressão leva à introdução de um coeficiente de proporcionalidade na Equação 7 acima apresentada. Tal coeficiente será indicado por μ e denomina-se viscosidade dinâmica ou absoluta (BRUNETTI, 2008).

Assim, a equação 7 fica como mostrado na equação (8):

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (8)$$

Essa grandeza μ é uma propriedade de cada fluido e de suas condições, como, por exemplo, a pressão e, principalmente, a temperatura.

De forma simplificada, pode-se dizer que a viscosidade dos fluidos é originada por uma coesão entre as moléculas e pelos choques entre elas. Uma forma de visualizar a existência da viscosidade é retornar à experiência das duas placas. Verificou-se que, após um certo tempo de aplicação da força F_t (constante) na placa superior, esta assume uma velocidade V_0 constante, pelo equilíbrio dinâmico da força externa por forças desenvolvidas internamente.

A viscosidade, portanto, não é uma propriedade observável num fluido em repouso, pois, qualquer que seja a força tangencial, ele se deforma. Com o movimento do fluido, porém, ela faz sentir seu efeito, criando as condições para equilibrar a força F_t externa.

Pode-se dizer, então, que viscosidade dinâmica é a propriedade dos fluidos que permite equilibrar, dinamicamente, forças tangenciais externas quando os fluidos estão em movimento. Matematicamente, μ é a constante de proporcionalidade da lei de Newton da viscosidade.

De uma forma mais prática: viscosidade é a propriedade que indica a maior ou a menor dificuldade de o fluido escoar (escorrer).

A viscosidade dinâmica possui um valor diferente para cada fluido e varia, para um mesmo fluido, principalmente em relação à temperatura. Os gases e os líquidos comportam-se de maneiras diferentes quanto a esse aspecto.

Nos líquidos, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura, enquanto nos gases a viscosidade aumenta com o aumento da temperatura. A razão desse comportamento exige uma análise microscópica que não será abordada.

Nos líquidos a viscosidade é diretamente proporcional à força de atração entre as moléculas, portanto a viscosidade diminui com o aumento da temperatura.

3.3 Fluidos hidráulicos e manutenção

A capacidade dos componentes hidráulicos em proporcionar o desempenho e o ciclo de vida desejado depende em grande parte do fluido utilizado. Segundo Eaton (1999) uma das características mais importantes a considerar na escolha de um fluido para ser utilizado em um sistema hidráulico é a viscosidade. A escolha da viscosidade é sempre um compromisso: o fluido deve ser fino o suficiente para fluir facilmente, mas espesso o suficiente para selar e manter uma película lubrificante entre partes móveis e as superfícies de vedação.

A manutenção é a maior despesa da contabilidade de uma fábrica ou de uma operação industrial. Como cerca de 80 % das falhas de todas as máquinas estão relacionadas à contaminação no óleo, métodos preventivos nas operações podem economizar custos consideráveis a cada ano (JENSEN, 2015).

3.3.1 Limpeza do óleo

A limpeza do fluido num circuito hidráulico é de vital importância. Eaton recomenda que o fluido utilizado em componentes hidráulicos deva ser mantida através do ISO código ISO de limpeza 18/13 para SAE J1165. Este código permite um máximo de 2500 partículas por mililitro superior a 5µm e um máximo de 80 partículas por mililitro superior a 15 µm. Quando os componentes com diferentes exigências de limpeza são utilizados no mesmo sistema, o padrão mais deve ser aplicado.

A manutenção de viscosidade e o correto nível de limpeza de fluido é essencial para todos os sistemas hidráulicos. Eaton reforça que testes e monitoramento de campo são as únicas maneiras de obter medições precisas de limpeza do sistema . As empresas que utilizam componentes hidráulicos devem testar e estabelecer programas de manutenção de fluidos. Estas programações de manutenção devem ser projetadas para atender os requisitos de viscosidade e limpeza (EATON, 1999).

Manter a viscosidade do fluido correto e nível de limpeza é essencial para todos os sistemas hidráulicos. Assim como os componentes hidráulicos são utilizados numa ampla variedade de aplicações, é quase impraticável para qualquer empresa de manutenção planejar um cronograma de manutenção de fluido que cobriria todas as possíveis situações.

Testes e monitoramento de campo são, portanto, a única maneira de obter medições precisas de limpeza do sistema. As programações de manutenção devem ser projetadas para atender a requisitos de viscosidade e limpeza definidos pelo fabricante das peças e equipamentos.

3.3.2 Controle de contaminação de óleos

A melhor maneira segundo Jensen (2015) de se controlar a contaminação do óleo é a de, em primeiro lugar conter a entrada de contaminantes no sistema.

Isto implica em garantir que todos os componentes da máquina estão limpos quando instalados e que os sistemas de óleo estão completamente “embebidos” (*flushed*) antes de iniciar suas operações.

Além disso, o autor reitera que o sistema de óleo deve estar bem vedado do ambiente tanto quanto possível com vedações e juntas intactas, assim como com respiradores de tanque de alta qualidade incluindo retenção de partículas finas e de umidade (dessecante e/ou respiradores tipo lâminas).

O óleo deve ser pré-filtrado antes de entrar em contato com qualquer componente da máquina preferencialmente por meio de filtração contínua na sala de lubrificantes/ área de armazenagem ou, pelo menos, quando transferido para as máquinas em operação.

Um bom controle de contaminação de óleo também inclui manutenção procedimentos para atestar o óleo, substituição de peças, obtenção de amostras do óleo, etc.

3.3.3 Uso e desgaste de sistemas de óleo

Qualquer máquina ou equipamento segundo Jensen (2015) que utiliza o óleo para transmissão de energia será afetado pelo estado do óleo. O óleo entra em contato com todos os componentes no sistema e deve ser considerado de grande importância – assim como o sangue é importante no o corpo humano.

3.3.4 Contaminação de partículas

As partículas sólidas são responsáveis conforme Jensen (2015) pela maioria de todas as falhas num sistema hidráulico. As mais prejudiciais são aquelas partículas soltas de tamanho similar ou um pouco maior do que a tolerância dinâmica entre as partes móveis no sistema hidráulico de óleo.

Tolerâncias dinâmicas em um sistema hidráulico são extremamente pequenas. A figura 14 indica a menor tolerância encontrada em diferentes tipos dos componentes.

Quando pequenas partículas abrasivas, por exemplo 1 micrômetro (μm) = 1/1000 mm, como areia e poeira entram num sistema hidráulico, elas fluem com o óleo na direção dos componentes críticos da máquina e se fixam nas pequenas folgas. Jensen reforça que esta fixação leva ao surgimento de micro fissuras na superfície de um rolamento, por exemplo.

Figura 14. Espessuras dinâmicas de óleo

Dynamic oil film	
Component	Oil film thickness in micron (μm)
Journal, slide and sleeve bearings	0.5-100
Hydraulic cylinders	5-50
Engines, ring/cylinder	0.3-7
Servo and proportional valves	1-3
Gear pumps	0.5-5
Piston pumps	0.5-5
Rolling element bearings / ball bearings	0.1-3
Gears	0.1-1
Dynamic seals	0.05-0.5

Fonte: adaptado de Jensen (2015)

Os ciclos de carga e estresse vão disseminar fissuras na subsuperfície resultantes da degradação do metal e liberando grandes cavacos.

3.4 Análise de óleo

Quanto de vida remanescente em um óleo pode ser visto olhando o óleo base e o pacote de aditivos durante uma análise de óleo. Como uma regra geral, o nível do aditivo no óleo usado tem de ser ao menos 70% do nível de aditivo de óleo novo (Noria Corporation, 2014).

Isto é, portanto, vital para amostrar a cada tambor de óleo e lote de entrada para estabelecer uma base empírica. Isso também irá ajudar a prevenir um óleo com defeito de lote de ser utilizado.

A determinação de se substituir o óleo com base no tempo ou horas de operação é caro e desnecessário. Mudanças na condição do óleo base é melhor - e é aí que a análise do óleo pode ajudar na decisão (JENSEN, 2015).

Um relatório de boa análise de óleo vai responder a perguntas-chave como: i) o óleo é adequado para uso posterior? Ou seja, estão as propriedades do óleo base e aditivos ainda intactos? ii) Qual é a condição da máquina? Houve alguma situação de desgaste crítico desenvolvida? iii) Qual o nível de contaminantes evidenciados? Estão os selos, respiradores e filtros operando de forma eficaz? iv) Está a degradação do óleo em processo acelerado? Pode ocorrer em breve um grave problema de perda de material?

No mínimo, uma análise de óleo deveria incluir: viscosidade; contagem de partículas; o teor de umidade / água em ppm; nível de acidez; análise de elemento (desgaste e nível de aditivo).

3.4.1 Análise de viscosidade

A fim de determinar as propriedades de um fluido são realizados ensaios em equipamentos que permitem investigar as características materiais do fluido a partir de medições de tensão e deformação. O viscosímetro é o equipamento utilizado para medir a viscosidade ou a viscosidade aparente. Outro equipamento é o reômetro, que segundo Nascimento (2007) possui alta sensibilidade e um melhor controle de temperatura e taxa de deformação, e dessa forma, consegue-se resultados mais precisos.

Viscosidade é a medida da taxa de fluxo de um lubrificante a uma determinada temperatura em relação ao tempo. É a propriedade mais importante dos óleos lubrificantes, podendo ser definida como a tensão de cisalhamento em um plano do fluido por unidade de gradiente de velocidade normal ao plano. A viscosidade pode ser expressa em termos de viscosidade cinemática (mm^2/s ou cSt) ou viscosidade absoluta ou dinâmica (Pa.s).

Sir George Gabriel Stokes (1819 – 1903) foi um matemático e físico irlandês, que fez importantes descobertas para a mecânica dos fluidos, física, matemática e óptica. Ele encontrou uma expressão para a força friccional em objetos esféricos com pequenos números de Reynolds. Seu trabalho em movimentos de fluidos e viscosidade resultou no cálculo da velocidade terminal de uma esfera caindo em um meio viscoso, o que ficou conhecido como Lei de Stokes. Mais tarde, a unidade de viscosidade foi denominada em Stokes, em homenagem ao seu trabalho. Hutchings (1992) apud Kimura (2009) define a viscosidade de fluidos newtonianos, em termos da deformação por cisalhamento conforme representado na equação (9).

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (9)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

μ = viscosidade dinâmica (Pa.s);

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = taxa de deformação por cisalhamento.

A viscosidade cinemática é definida conforme equação (10)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (10)$$

Onde:

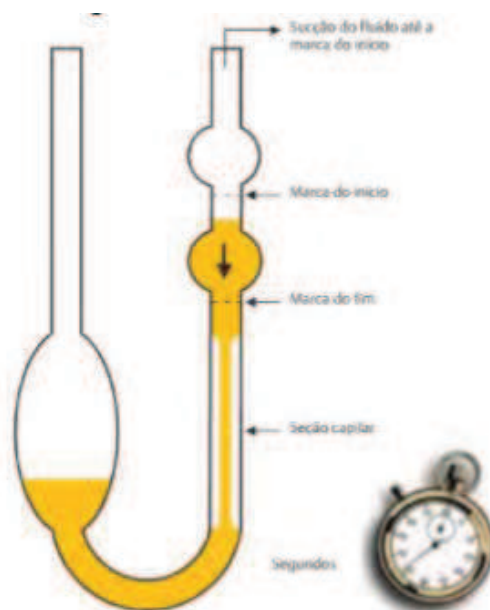
ν = viscosidade em cSt ou mm²/s;

ρ = massa específica.

O óleo lubrificante deverá ser trocado se a viscosidade aumentar ou diminuir em relação à viscosidade original em porcentagens maiores que as indicadas pelo fabricante do equipamento.

A Figura 15 ilustra um viscosímetro cinemático.

Figura 15: Viscosímetro Cannon-Fenske



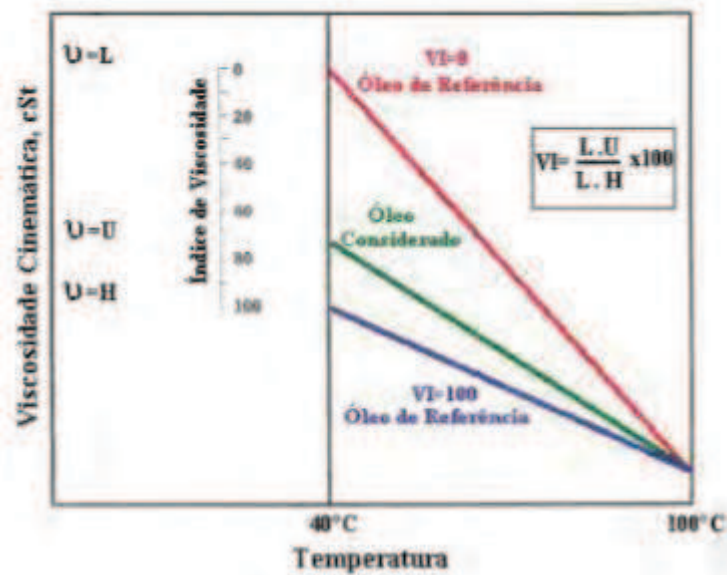
Fonte: Kimura (2009)

3.4.2 Índice de viscosidade

Kimura (2009) explica que normalmente a viscosidade dos fluidos diminui com a temperatura. Assim é definida outra importante propriedade do óleo que é o índice de viscosidade (VI). O índice de viscosidade é um número adimensional, usado para indicar que a viscosidade cinemática depende da temperatura do óleo. Ela é baseada na comparação da viscosidade cinemática do óleo testado a 40 °C, com a viscosidade cinemática de dois óleos de referências (um VI = 0, e o outro VI = 100) cada um tendo a mesma viscosidade em 100 °C com o óleo testado. As tabelas para o cálculo do VI de uma viscosidade cinemática medida de um óleo a 40 °C e 100 °C são referenciadas na ASTM D2270, conforme mostra a Figura 16.

Segundo a Figura 16, um óleo com menor mudança na viscosidade cinemática com a temperatura terá um VI mais alto que um óleo com maior mudança de viscosidade para a mesma variação de temperatura.

Figura 16: Determinação do índice de viscosidade.



Fonte: Kimura (2009)

4. MÉTODO

Apresenta-se a seguir a caracterização do problema e o método de pesquisa que se baseia neste trabalho.

4.1 Caracterização do problema

Deve haver aderência entre o problema a ser investigado e as atividades a serem desenvolvidas caracterizando-se como de contribuição significativa para o desenvolvimento do conhecimento (NAKANO e FLEURY, 1996).

Da apresentação dos objetivos do curso de mestrado profissional em gestão e tecnologia em sistemas produtivos, o curso visa “formar profissionais... com padrão de excelência... promovendo melhorias na gestão e tecnologia...”.

Portanto, utiliza-se da meta da instituição para confirmar que este estudo se enquadra na contribuição do tema e problema.

O processo de transferência de hidrocarbonetos líquidos e seu nível adequado de serviços dos braços de carregamento fazem parte de um programa estratégico de adequação da confiabilidade e da segurança operacional de suprimento desses hidrocarbonetos às indústrias de refino e de distribuição de produtos e segundo as metas do plano estratégico para 2030 da empresa estudada, deve haver melhorias das condições operacionais e segurança dos terminais e estrutura dos equipamentos.

Além disso, qualquer incidente que interrompa o fluxo do processo vindo a paralisar o carregamento do produto pode até mesmo causar danos ao braço de carregamento e obrigam a empresa a pagar os custos de manutenção e de sobre estadia do navio-tanque. Estes custos são substanciais e afetam diretamente os lucros (SASTRY, 2012).

Tampouco menos relevante é o impacto significativo ao meio ambiente que pode ser causado pelo possível desacoplamento inadvertido do braço de carregamento do navio de carga.

Ademais busca-se, a partir desse nível operacional, maximizar a disponibilidade e a utilização dos braços de carregamento e atender os níveis de confiabilidade junto à administração de operações do terminal e ainda sob a perspectiva de maiores desafios futuros com a expansão do pré-sal é que se avalia a operação dos braços.

4.2 Método de pesquisa

Conforme apresentado na seção 1.3 (organização do trabalho), este estudo está dividido em duas perspectivas: a perspectiva da gestão de operações através de seu modelo clássico de processo; e, a perspectiva da tecnologia que insere no estudo as análises laboratoriais para verificação de uma hipótese investigada, formulada ao longo do estudo.

Para a realização desta pesquisa utilizou-se um estudo de caso em uma indústria petroquímica brasileira, descrita a seguir, bem como a delimitação do estudo.

E seguindo a lógica da análise, apresenta-se primeiramente a metodologia de pesquisa de gestão da operação, que serviu como base para a posterior pesquisa quantitativa, feita a partir da perspectiva da tecnologia.

4.2.1 Pesquisa na perspectiva de gestão de operações

Pesquisas com alto grau de interdisciplinaridade e também com a influência de grande número de fatores atuantes, implicam, de maneira geral, na utilização de estudos de caso como metodologia de estudo (KARLSON, 2002).

Esta pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica e levantamento de dados em uma empresa da indústria petroquímica brasileira. Utiliza-se o método de estudo de caso devido ao tipo de questão de pesquisa, a riqueza e profundidade do fenômeno e a extensão do estudo no aspecto prático real da questão (YIN, 2010).

As fontes de evidência partiram de entrevistas com cinco profissionais – três da produção e dois da manutenção, entrevista com um especialista, análise documental e observações diretas do autor deste trabalho. O formato e conteúdo destas entrevistas serão abordados em capítulo específico.

Requeriu-se com isso um grande investimento em esforços de campo e tempo, primeiro devido à diversidade de formação destes profissionais técnicos, além da necessidade de investigação e análise de documentos e ou registros históricos da empresa conforme determinado por Yin (2010).

A empresa foco deste estudo tem a função de fornecer derivados de hidrocarbonetos para as processadoras do estado, e também a de escoar através de seu terminal uma parte dos produtos derivados para outras regiões do Brasil e exterior.

O atual terminal é constituído de dois berços para atracação de navios (berço lado norte e berço lado sul), cada um com um berço interno e um externo.

Após a atracação, o processo de transferência entre os navios petroleiros e os tanques do terminal consiste no alinhamento e conexão dos tanques do navio aos braços de carregamento do berço conforme figura 17 a seguir.

Através desses braços movimentam-se os hidrocarbonetos tanto para descarregamento como abastecimento.

A função operação dos braços de carregamento é essencial para garantir a máxima utilização, no menor tempo possível e dentro dos limites de estadia da embarcação estabelecidos.

Figura 17. Braços em operação



Fonte: adaptado de Kanon (2015)

As atividades e tarefas dos braços impactam na qualidade do produto final e no negócio e na maneira com que se agrega valor às expectativas e necessidades do cliente final. Os funcionários operacionais buscam atingir o desempenho *benchmark*, a excelência em sua área de atuação. Para isso, deve-se medir seu desempenho e resultados e compará-los aos melhores do mundo.

O departamento operacional deve necessariamente saber se está sendo bem-sucedido para satisfazer às exigências dos consumidores e contribuir para a competitividade mantendo os compromissos de entrega assumidos a fim de proporcionar a vantagem de confiabilidade nos serviços de operação.

4.2.2 Indicador de desempenho

Avalia-se indiretamente a eficiência de braços de carregamento por meio de um indicador para essa finalidade, a eficiência de operação. É definida como a relação entre a estadia prevista e a estadia efetiva dos navios operados nos terminais.

Seu objetivo é medir da operação com o navio, incluindo os tempos destinados às amarrações antes e depois da operação e a espera no porto. Pode ser calculado pela equação indicada como fórmula de cálculo do quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Definição e parâmetros do indicador de eficiência.

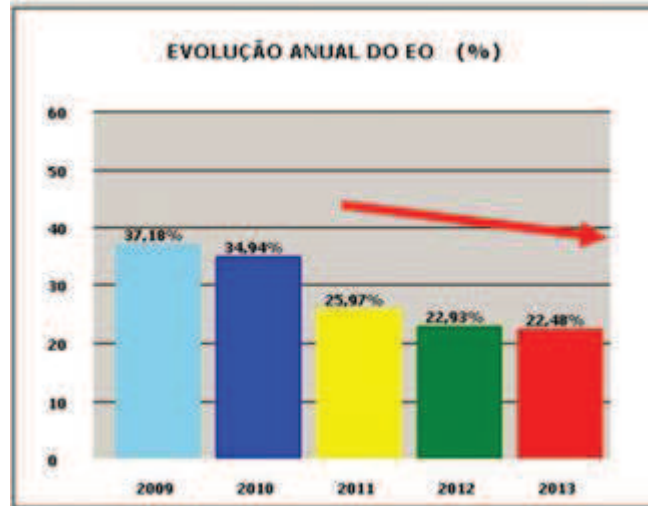
INDICADOR: Eficiência de Operações		:
PERSPECTIVA	UNIDADE	FREQUÊNCIA
Clientes	Percentual	Mensal
1 DEFINIÇÃO	Mede a eficiência das operações de carregamento e descarregamento	
2- META	Avaliar a eficiência das operações	
3- FÓRMULA DE CÁLCULO	$EO = EP / (EP + DT)$	
4- DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS	EP = Estadia Prevista, calculada de modo que complete toda a operação em 24 horas – para capacidade de carga total DT = Demoras Causadas pelo Terminal, resultado do somatório dos tempos dos eventos de responsabilidade do terminal, $DT = (\sum \text{Tempos de eventos do terminal})$.	
8- REFERENCIAIS DE COMPARAÇÃO	Outros órgãos operacionais e em nível mundial de excelência	

Fonte: adaptado da empresa (2015).

Entre os parâmetros definidos no indicador, a demora causada pelas operações é uma entre as variáveis do indicador. Nota-se pela figura 18 a seguir que, a curva de desempenho do

indicador EO ao longo do período, aponta uma evolução negativa notoriamente nos últimos três anos.

Figura 18. Evolução do indicador de eficiência na operação EO.



Fonte: adaptado da empresa (2014)

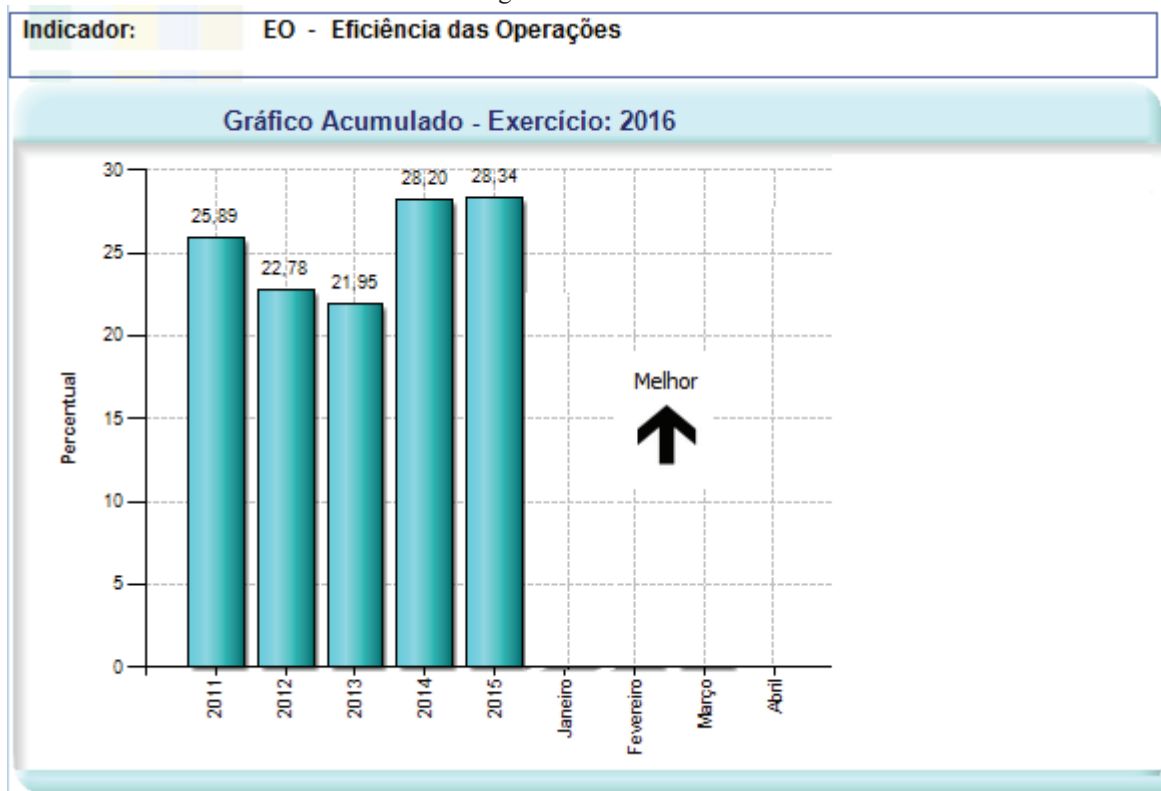
Essa perda numérica no desempenho desse indicador impôs ações de contenção que foram implementadas e que visavam e conseguiram estabilizar e reverter parcialmente a tendência de queda do indicador de eficiência da companhia.

Com isso, ações de melhoria adicional estão sendo implementadas para assegurar que a curva do indicador volte a apresentar resultados positivos e crescentes ao longo dos próximos anos.

Essas ações se justificam ao compararmos os patamares de eficiência das operações dos anos de 2015 e 2016 conforme figura 19 a seguir. Constata-se inequivocamente que os números tiveram uma melhora significativa nesses dois anos. Por outro lado, se levamos em conta o histórico do indicador conforme indicado conforme figura 18, o patamar atingido está aquém das máximas atingidas.

Portanto, justifica-se plenamente novas ações junto à função operação dos braços com objetivo de melhorar sua disponibilidade, visto que suas atividades e tarefas impactam na qualidade do produto final e no negócio da empresa e na maneira com que se agrega valor às expectativas e necessidades do cliente final da empresa.

Figura 19. Indicador EO 2016



Fonte: adaptado da Empresa (2015)

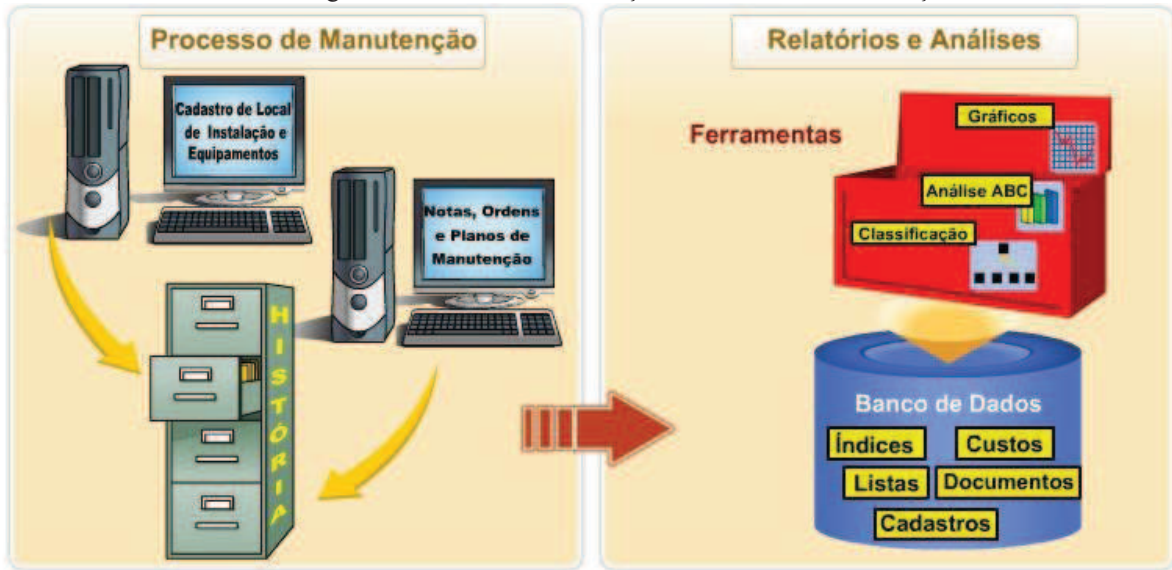
Em conjunção com o tema disponibilidade dos braços de carregamento, procurou-se buscar os dados referentes à utilização dos braços de carregamento, estes divididos em períodos de disponibilidade e de indisponibilidade.

Esses períodos de indisponibilidade são aqueles nos quais estão sendo executados serviços que impossibilitam o sistema de cumprir a tarefa para o qual foi projetado. A diminuição da disponibilidade traz como consequência imediata a perda de rendimento operacional do sistema em virtude da parada de itens, aumento de custos de manutenção e até o comprometimento da segurança em decorrência de falhas prematuras.

Levantou-se relatório no sistema de manutenção da empresa com os principais modos de falhas ocorridos nos últimos seis meses entre dezembro de 2014 e maio de 2015.

Das ordens de manutenção corretiva do berço de carregamento e descarregamento do sistema de informação esquematizado conforme figura 20, obtém-se que braços de carregamento do berço do lado sul tem o maior número de intervenções da equipe de manutenção.

Figura 20. Sistema de informação do módulo de Manutenção



Fonte: Adaptado da Empresa (2015)

A partir dessa variável, foram analisados e investigados os elementos do processo de maior criticidade e relevância para esse estudo. Pode-se levantar junto aos operadores através do sistema integrado quais são as principais anomalias encontradas nesse indicador e de que maneira elas influenciam no resultado da operação.

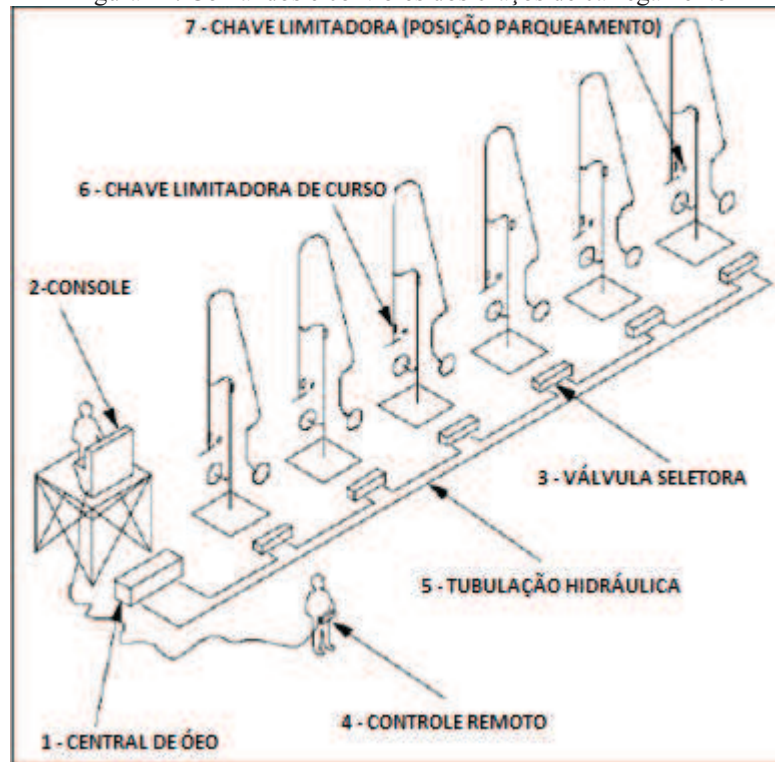
O berço A do lado sul do terminal é constituído de duas plataformas 1 e 2 para atracação de navios, com um berço interno e um externo conforme figura 21.

As plataformas A1 e A2, com seis e cinco braços respectivamente podem atender dois navios simultaneamente, sendo um navio em cada berço. As duas plataformas do píer sul movimentam o maior volume de hidrocarbonetos líquidos e também tem uma intensa demanda dos clientes do terminal.

Braços do berço 1 conforme figura 22 são equipados com quatro braços de descarga de 16 polegadas com vazão máxima de 4500 m³/h e dois braços de abastecimento de 8 polegadas com vazão máxima de 500m³/h localizados nas extremidades.

Braços do berço 2 são equipados com três braços de descarga de 16 polegadas com vazão máxima de 4500 m³/h e dois braços de abastecimento de 8 polegadas com vazão máxima de 500m³/h localizados nas extremidades.

Figura 21. Comandos e controles dos braços de carregamento



Fonte: adaptado da empresa (2015)

4.2.3 Delimitação do estudo

Tendo sido feito concomitantemente a estratificação do fator de disponibilidade dos equipamentos prioritários do terminal, a partir do indicador de desempenho da operação de carregamento e descarregamento, obteve-se que o braço 3 do píer A1 é o que está com a maior frequência de falhas e o menor tempo médio entre as ações corretivas do terminal nos últimos seis meses – entre 1 de dezembro de 2014 e 30 de maio de 2015.

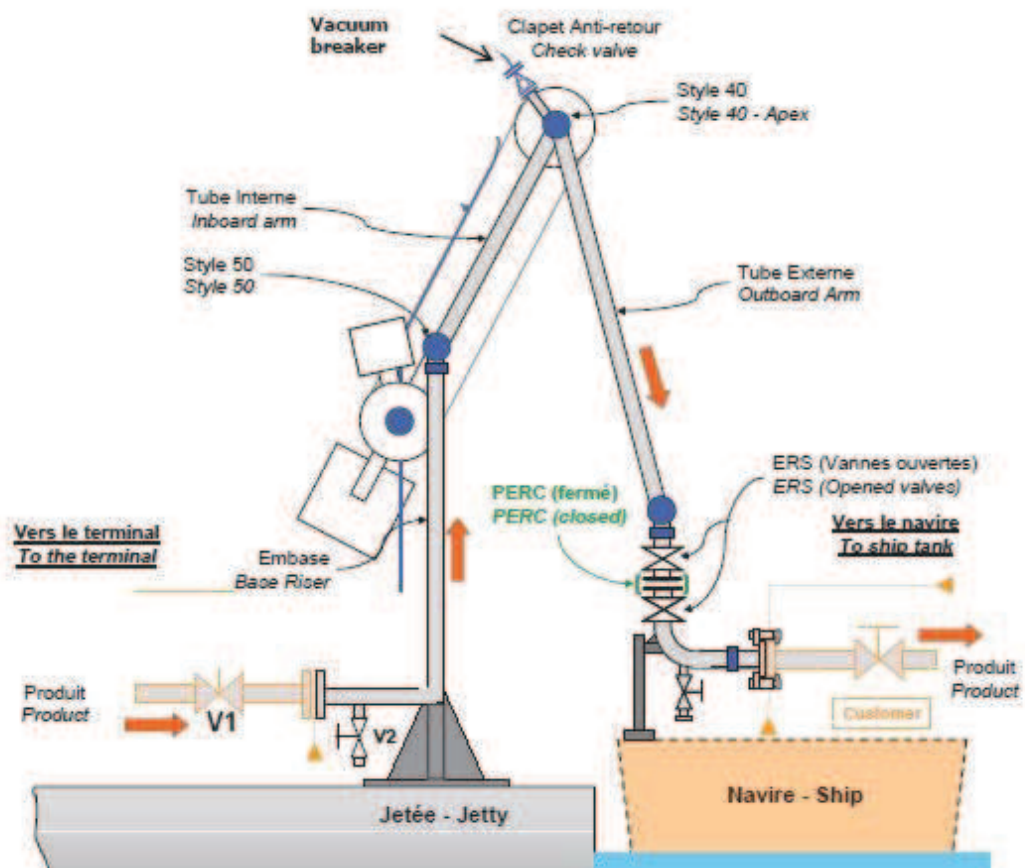
Levantou-se junto a base de dados do sistema da manutenção o histórico das intervenções nos últimos 12 meses e obteve-se as datas, os modos de falhas, a análise destas falhas, bem como se as ações corretivas e preventivas foram eficazes e os tempos entre essas falhas efetuadas pela equipe.

Além dessa estratificação inicial, realizou-se o mapeamento das funções processuais principais da operação dos braços de carregamento como resultado da definição de funções principais e a identificação de modos de falhas que possibilitou a elaboração e implantação de novas tarefas de manutenção conforme apresentado na manutenção centrada em confiabilidade.

Este estudo também possibilitou por meio do balanceamento do plano de manutenção (melhoria qualitativa e quantitativa) que a estratégia adotada de aplicação do método mcc pode ser positiva e converge para o atendimento das necessidades de sustentabilidade e consistência da disponibilidade operacional dos braços de carregamento conforme o plano estratégico da empresa.

Por essa variabilidade indesejada, o braço de carregamento A13 foi, portanto, o braço objeto desse estudo e de seu mapeamento de processo conforme figura 23.

Figura 22. Delimitação do sistema do estudo



Fonte: Adaptado da Empresa (2015)

A plataforma de operação A1 compõe-se basicamente de: os (i) braços de carregamento, o (ii) sistema de distribuição de produtos que são manuseados na porção do berço, e os seguintes equipamentos: (iii) casa de apoio e de operação, (iv) unidade hidráulica de movimentação dos braços, (v) acumuladores, e (vi) tanque de escoamento de contaminantes.

O descarregamento é realizado por braços automatizados, projetados para atuar em pressão de 200bar. Os braços de carregamento possuem sistema de acionamento eletro-hidráulico automatizado, com console de controle e comando remoto sem fio para cada berço. A segurança de processo inclui além de outros, um sistema de detecção de limite de envelope constituído por um sistema de chaves de posição redundantes.

Os transmissores de pressão nos conectores dos braços têm seus sinais integrados ao próprio sistema de controle dos braços fornecidos pelo fabricante e os dados são disponibilizados para integração ao sistema de supervisão do terminal. O sistema de monitoramento de posição informa continuamente a posição dos braços de carregamento, como também possui saídas de alarme de limite de envelope para integração no sistema supervisorio.

O sistema de desarme, desacoplamento e acoplamento, carregamento são independentes por braço, de modo que é possível realizar a manutenção em um determinado braço, sem que haja o desarme dos demais braços que estão acoplados.

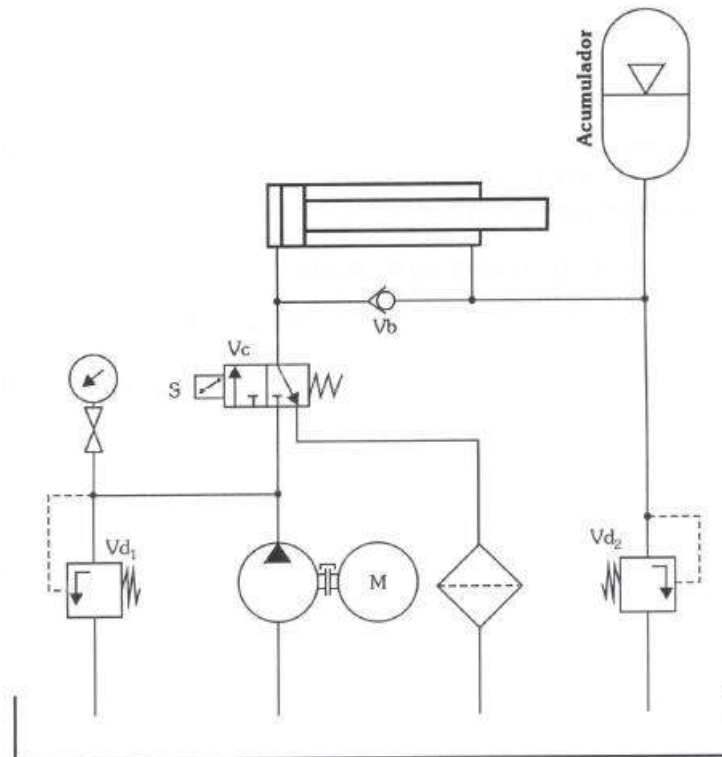
A drenagem dos braços é realizada por meio de bombas, pelo sistema de drenagem da conexão, das linhas de drenagem até as linhas de processo junto ao braço, incluindo a primeira válvula de bloqueio à jusante das bombas de drenagem.

O acoplamento dos braços de carregamento com as tomadas do navio é hidráulico (Fig.24). Para as operações de emergência o desacoplamento é feito por um sistema de desconexão automática de emergência com válvulas de bloqueio à montante e a jusante com tempo de fechamento máximo de 5 segundos.

Dentro da perspectiva estratégica do negócio de hidrocarbonetos e de atendimento às necessidades do cliente, os braços de carregamento marítimos têm um papel fundamental na operação devido a sua importância em relação a:

(i) sua falha influencia diretamente no abastecimento de hidrocarbonetos para as processadoras; (ii) falhas estas que podem ocasionar vazamento no mar, afetando o meio ambiente; (iii) há também existe o aspecto de segurança para os operadores durante as operações de acoplamento, acionamento e desacoplamento; (iv) falhas deste sistema também envolvem altos custos por gerarem sobrestadia para o navio atracado, bem como para os demais em espera.

Figura 23. Sistema hidráulico dos braços de carregamento



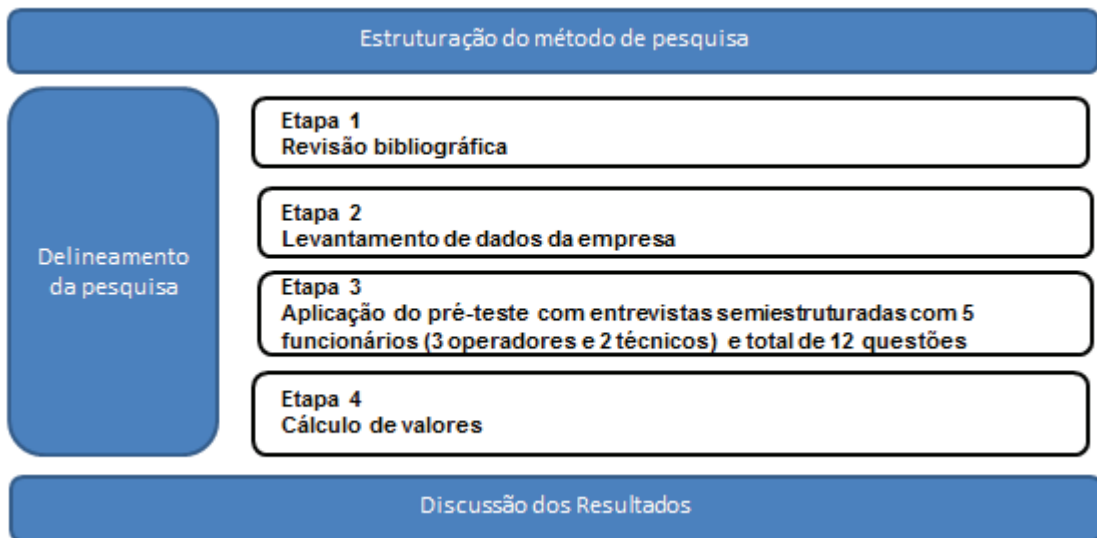
Fonte: adaptado da empresa (2015)

4.3 Desenho da pesquisa

Os métodos adotados, as unidades de análise e o tipo de estudo são resultados dos passos e seqüências lógicas em que é demonstrado o desenho da pesquisa efetuados ao longo do estudo (YIN, 2010).

O modelo de pesquisa divide-se em 4 etapas (Figura 25): (1) conceitual, que é composta pela revisão bibliográfica; de elaboração do protocolo de pesquisa e de seu pré-teste, com a consequente geração do modelo preliminar de pesquisa; (2) prática, com um estudo de caso, sendo realizadas as reuniões técnicas, coleta de dados e os seus resultados analisados individualmente; (3) aplicação, onde foi aplicado o questionário junto aos técnicos da empresa; e (4) cálculo dos valores. Fez-se procedimento sistemático inicialmente através de uma revisão da literatura e a proposição das questões e objetivos da pesquisa.

Figura 24. Estrutura da pesquisa



Fonte: autor (2015)

4.3.1 Etapas da pesquisa

Nesta seção descrevem-se as etapas do desenvolvimento da pesquisa e o detalhamento de suas respectivas fases. Cada etapa foi executada sequencialmente. As etapas e as fases estão aqui ordenadas e descritas de forma a representar a evolução dos trabalhos executados na busca do modelo prévio, o qual norteou os passos seguintes, até aplicação do modelo final deste estudo.

4.3.1.1 Concepção de avaliação de operação de braços de carregamento e o modelo de Slack

Esta etapa caracterizou-se pela busca, na literatura, de modelos representativos de operação, que serviram como referência para aplicação do questionário preliminar.

Optou-se pelo modelo de Slack devido à sua contribuição ao longo da evolução da gestão de produção e operações, ao passarem de um sistema tipicamente operacional para um conceito alinhado à intenção estratégica da empresa quanto ao mercado a que pretende servir (CORRÊA e CORRÊA, 2013).

O modelo de Slack examina e sumariza a hierarquia estratégica da qual a estratégia de operação faz parte; a natureza e o conteúdo da estratégia de operação; como os objetivos de

desempenho podem ter prioridades diferenciadas dentro de um escopo de questões-chaves que sintetizam os conceitos abordados pela gestão de operações.

Dessa forma, a avaliação foi realizada em (3) três diferentes fases (Quadro 2):

Quadro 2: Fases de concepção da pesquisa

Fase 1		
Petróleo e Pre-sal	Elementos: - Definição da função operação dos braços - Definição dos elementos estratégicos dos braços - Caracterizar os itens de confiabilidade dos braços	Elaboração de Protocolo da Pesquisa
Gestão da Operação		
Definição da função operação dos braços		
Confiabilidade dos braços		
Fase 2		
Análise crítica do protocolo de pesquisa por especialista em Braços de Carregamento	Aplicação do protocolo preliminar de pesquisa	Revisão dos elementos do Protocolo
Fase 3		
Modelo prévio de pesquisa: convergência entre os modelos encontrados na literatura e a análises feitas nas reuniões e trabalhos com técnicos da empresa.	Protocolo de pesquisa: - Indicadores Operacionais - Disponibilidade dos braços - Pareto de contribuidores dos braços	

Fonte: autor (2015)

(1) revisão teórica e arranjo das dimensões do modelo e dos seus elementos, traduzidos em um conjunto de questões inter-relacionadas, que foram organizadas no protocolo prévio de pesquisa, com base na análise efetuada na seção 3.

(2) realização de um pré-teste deste protocolo preliminar de pesquisa, onde se buscou revisar o protocolo através de consulta a um especialista em braços de carregamento.

(3) criou-se um modelo prévio, traduzido em um protocolo de pesquisa que se aplica no estudo de caso. Nesta fase buscou-se estabelecer o delineamento de um modelo de pesquisa que visa permitir uma operacionalização para avaliação do estudo de caso, a partir das dimensões e elementos constatados durante a revisão da literatura e dos resultados encontrados no pré-teste.

4.3.1.2 Estudo de caso - parte 1

A realização do estudo de caso permite a obtenção de um conhecimento mais aprofundado sobre como se estabelece, na prática, a forma e estruturação da operação dos braços de carregamento, e como os elementos identificados na literatura foram desenvolvidos dentro da empresa pesquisada. Assim, através de um roteiro estruturado - protocolo de pesquisa, o qual foi aplicado nas reuniões técnicas e visitas aos diferentes departamentos envolvidos no estudo, possibilitando estabelecer uma convergência entre os referenciais adotados nas áreas avaliadas. Por isso, foram realizadas duas fases (Quadro 3).

Quadro 3: Fases de estudo da Pesquisa

Fase 1	
Preparação	Seleção das áreas da empresa para: Preparação da abordagem Distribuição e Envio do instrumento de pesquisa
Fase 2	
Coleta de dados 1	Reunião técnica na área da Operação para: · Coleta de documentos sobre entrevistas já efetuadas · Aplicação do protocolo de pesquisa revisado após primeira entrevista · Coleta de documentos.
Análise de dados 1	Análise de conteúdo das entrevistas realizadas, revisão e análise de documentos · Coleta de documentos.
Coleta de dados 2	Reunião técnica na área da Manutenção para: · Coleta de documentos sobre entrevistas já efetuadas · Aplicação do protocolo de pesquisa revisado após primeira entrevista · Coleta de documentos.
Análise de dados 2	Análise de conteúdo das entrevistas realizadas, revisão e análise de documentos · Coleta de documentos.

Fonte: autor (2015)

(1) Preparação do estudo de caso com as possíveis áreas: nesta etapa, foram selecionadas as áreas que apresentavam as condições necessárias e favoráveis a esta pesquisa. Os contatos foram feitos diretamente com os supervisores e líderes das áreas selecionadas.

(2) Coleta e Análise de Dados, onde se aplicou o protocolo de pesquisa. Este protocolo consta de questões abertas sobre os itens e elementos do processo de operação e manutenção dos braços de carregamento, tecnologia, sistemas hidráulicos e modos de falhas. Para o diagnóstico, foi apresentado um questionário de perguntas abertas. Na reunião técnica se efetuaram as entrevistas pessoalmente com questionário de pesquisa: perguntas de forma aberta e estruturadas, no intuito de focar adequadamente ao objetivo do estudo.

Os componentes do projeto de pesquisa que orientaram o processo de coleta, análise e interpretação das observações desenvolveram-se subjacentes às questões como segue: gestão de operações e indicadores de disponibilidade dos braços de carregamento; braços de carregamento e seu funcionamento; falhas dos braços de carregamento e a manutenção;

4.3.1.3 Estruturação e aplicação de avaliação dos fatores que afetam a operação

Nesta etapa se consolidaram os elementos obtidos a partir do modelo de pesquisa. Este modelo final foi elaborado após terem sido feitas as análises individuais das reuniões técnicas com discussões quanto à sua utilidade, limitações e implicações práticas e teóricas. Esta etapa contou com as seguintes fases descritas no Quadro 4:

Quadro 4: Fases de estruturação de modelo final

Fase 1	
Consolidação dos resultados	Fundamentação teórica, visita e reunião técnica com Operação e Manutenção - comparação entre os elementos do modelo. · Convergências · Divergências
	Comparação entre os resultados, levando à elaboração de relatório dos fatores.
Fase 2	
Criação	Análise dos fatores e estudo e planejamento do desenho de experimento

Fonte: autor

(1) Consolidação dos resultados do estudo de caso: esta fase foi realizada a partir de uma análise comparativa entre os resultados obtidos nas visitas e reuniões técnicas com os representantes da Operação e Manutenção, ou seja, foram confrontados os elementos do

processo, operação e indicadores operacionais, fatores de disponibilidade dos braços, análise de modos de falha e contribuidores das ações corretivas e preventivas dos braços.

(2) Interpretação destes resultados à luz da fundamentação teórica. Esta fase proporcionou a elaboração do experimento da pesquisa, descrevendo o contexto para a concepção desse experimento, seguido da apresentação do modelo e de uma interpretação dos elementos incorporados a ele. Por último, realiza-se uma análise deste modelo, e se discute alguns aspectos dos dados do experimento, bem como de algumas limitações e possíveis contribuições práticas e teóricas advindas da sua aplicação.

Examinou-se a proposição de estudo pela qual há uma importante evidência da relação entre desempenho dos braços de carregamento e uma entre as principais características de desempenho, a viscosidade cinemática do óleo hidráulico do sistema de energia do sistema hidráulico do berço.

Neste estudo, fatores operacionais e de seu desempenho estão diretamente relacionados aos fatores de confiabilidade dos braços de carregamento, mais precisamente à sua disponibilidade e capacidade de carga total. Por essa razão, técnicas e ferramentas de manutenção tem um importante papel na efetivação de seus resultados.

4.3.1.4 Coleta e análise dos dados

Yin (2010) menciona que a utilização das diferentes fontes de dados - entrevista, pesquisa documental e observação -, nos estudos de caso se adequa e permite a triangulação entre as perspectivas, processo que dá à pesquisa maior acuidade e aos dados, mais consistência. No estudo de caso, frequentemente se combinam métodos de coleta de dados como entrevistas, observações, e documentos para realizar uma triangulação dos dados, isto é, utilizar várias fontes de informação sobre um mesmo objeto de estudo, com a finalidade de contrastar a informação recolhida e obter conclusões mais convincentes e precisas (YIN, 2004).

A entrevista semiestruturada, a observação direta e os documentos da empresa relacionada com o fenômeno de estudo foram os principais métodos de coleta de dados desta pesquisa. Nesta seção são relatados os principais aspectos para a coleta e análise dos dados obtidos a partir do estudo de caso.

4.3.1.5 Protocolo de pesquisa

Elaborou-se um protocolo de pesquisa para a coleta de dados composto pelos seguintes instrumentos: questionário com as perspectivas de estudo e contexto (questões relacionadas aos indicadores operacionais; disponibilidade dos braços de carregamento; principais modos de falha e aspectos de mantenebilidade), entre outros.

O protocolo de pesquisa foi revisado por um especialista da área de braços de carregamento, e posteriormente, foi testado através de uma entrevista com o supervisor de manutenção da empresa. Em seguida, após o pré-teste, foi reaplicado junto aos funcionários de operação e de manutenção, e feita a consolidação de suas respostas.

4.3.1.6 Coleta de dados

Adotou-se procedimentos multi-métodos, sendo estruturada da seguinte forma: coleta em fontes primárias e coleta em fontes secundárias.

A coleta de dados em fontes primárias foi realizada através de entrevistas gravadas (não-estruturadas e semiestruturadas), feitas com os supervisores, funcionários de operação e de manutenção. Foram entrevistados cinco funcionários no total, sendo três de operação e dois de manutenção das áreas mencionadas.

4.3.1.7 Análise de dados

As análises foram feitas de forma qualitativa e quantitativa, composta das técnicas de análise de conteúdo e de análise categórica, conforme os seguintes passos:

- (1) Para realizar a análise, os dados primários (gravações e transcrições) e os secundários (documentos) foram transcritos para uma unidade comum, e comparados com os documentos revisados. O critério utilizado foi o de comparar as respostas do roteiro das entrevistas com os fundamentos conceituais, buscando identificar os dados para elaboração dos sistemas em estudo conforme Quadro 5 e 6;

(2) A análise de conteúdo foi efetuada, pelo pesquisador, em dois momentos, buscando reduzir os vieses de inconsistência e garantir a estabilidade dos resultados.

(3) Foi estruturado os dados coletados, a partir das convergências e divergências da análise conjunta dos estudos de caso. Este foi entregue aos entrevistados, para a obtenção de seu parecer e para a confirmação das dimensões e elementos encontrados, reforçando a consistência e validade dos resultados obtidos.

Quadro 5: Resultado da pesquisa com funcionários da operação

nro.	Pergunta	A	B	C
1	função da operação com os bc's está claramente definida	85	70	60
2	entendem os processos dos bc's: in-process-out	70	80	50
3	desenvolve-se a melhoria contínua e inovação na operação dos bc's	30	30	10
4	diferenças entre processos nos diferentes bc's (vol., etc.) são entendidas	100	100	100
5	conceitos de qualidade e segurança são atualizados entre os operadores	80	70	50

Fonte: autor (2015)

Quadro 6: Resultado da pesquisa com funcionários da manutenção

nro.	Pergunta	D	E
1	registros de falhas dos bc's estão no sistema de gerenciamento de falhas	25	30
2	impacto de falhas e sintomas têm sido acompanhados através de algum método	25	30
3	técnicas de FMEA tem sido utilizadas	25	30
4	procedimentos de reparos são atualizados	50	50
5	falhas críticas/sistêmicas são compartilhadas pelas equipes em diferentes terminais	40	50
6	equipes multifuncionais participam das rotinas de correção e prevenção de falhas	60	70
7	empresa faz abordagens para a manutenção preditiva com técnicas modernas?	60	60

Fonte: autor (2015)

4.4 Validade e grau de aderência

A confiabilidade, nesse caso relacionada ao grau de aderência dos dados, demonstra que os procedimentos de pesquisa – tais como os de coleta e análise de dados – devem ser reaplicados, apresentando os mesmos resultados (YIN, 2010). Nesta pesquisa, a aderência pode ser observada pelos seguintes procedimentos: (a) uso da triangulação dos dados obtidos nas entrevistas (fontes primárias) e de documentos (fontes secundárias); (b) uso de um protocolo de pesquisa consistente, revisado com um especialista em braços de carregamento e previamente testado; (c) revisão dos resultados e modelo final, feita por pessoas chave da empresa estudada. O processo de pesquisa, como um todo, buscou garantir um modelo final com maior consistência.

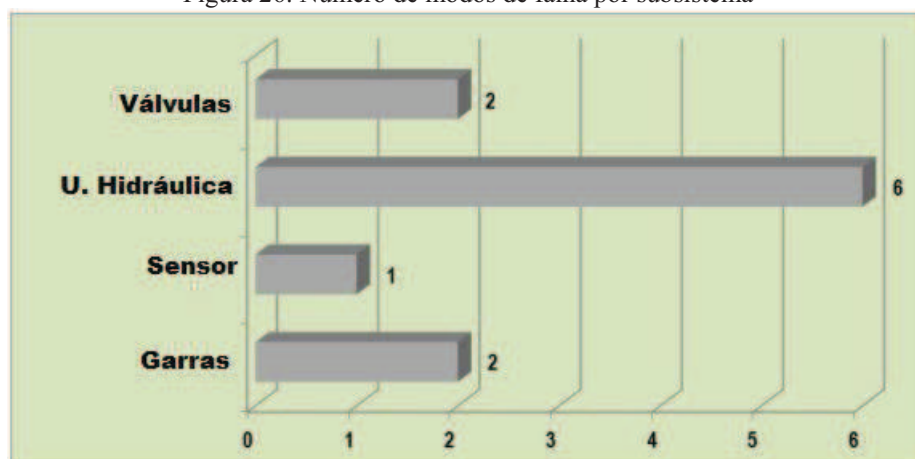
4.5 Análise do modo e efeito de falhas

Conforme apresentado, faz parte do objetivo da manutenção não só reparar um sistema avariado, mas também evitar a recorrência do defeito, daí o interesse pelas técnicas de análise.

Considerando a relação de modos de falhas potenciais e os subsistemas, verificou-se que 10 modos de falhas potenciais estão dispostos em três diferentes subsistemas conforme fig. 25 a seguir.

O maior número de modos de falhas potenciais foi apresentado pelo subsistema unidade hidráulica com seis modos, que representa pouco mais de 54% do total.

Figura 26. Número de modos de falha por subsistema



Fonte: autor (2015)

4.6 Interpretação dos modos de falhas

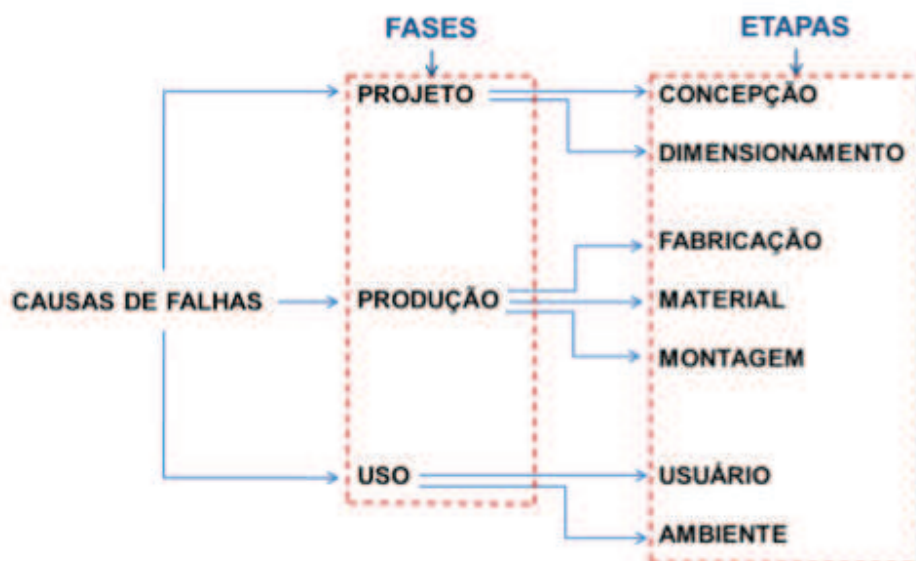
A partir da hierarquização dos modos de falhas, realiza-se a interpretação, ou seja, verifica-se se pode existir uma ou mais causas motivadoras dessas falhas no sentido de se verificar e identificar em determinada fase e respectiva etapa do processo a causa da falha possa ter originado e qual a razão e motivo para a sua concretização.

Numa abordagem inicial feita a partir do consenso na discussão com o grupo de técnicos da empresa, procurou-se verificar se o uso e utilização do equipamento poderiam ser afetados pelas condições de operação como a influência do meio ambiente, dos métodos de trabalho ou padrões de operação, fator humano ou da mão de obra como o conhecimento do equipamento ou mesmo a falta de manutenção adequada do braço de carregamento.

Sob a ótica do ambiente de uso do braço de carregamento, e especificamente do meio ambiente pelo qual o equipamento e sua unidade hidráulica operam, o ambiente marinho possui um fator impactante devido às condições dos braços operarem com: (1) significativos gradientes de temperatura ao longo do dia e noite; (2) exposição a rajadas de ventos em diferentes regiões e sentidos; (3) alta salinidade; (4) constantes chuvas.

Considera-se o amplo conhecimento da equipe e o tema de impacto do meio-ambiente sobre a lubrificação também foi consensado pela razão de que, no mercado, cerca de 80% de todas as falhas de equipamentos estão relacionados com a contaminação do óleo lubrificante.

Figura 26. Fases e etapas de análise de causa



Fonte: autor (2015)

Dessa maneira, o estudo oferece a oportunidade de revisar os problemas apresentados sob a perspectiva de que os potenciais modos de falha podem ter a contribuição significativa ou não da insuficiente limpeza do óleo lubrificante e se há uma relação consistente entre sistema perfeito de limpeza de óleo para controle do nível dos tipos de contaminação que os braços de carregamento e unidade hidráulica estão expostos.

4.7 Da gestão à identificação e construção de um modelo físico experimental

Levanta-se uma proposição a partir das causas assinaladas pela equipe que o meio ambiente e mais especificamente a concentração de sais pode contribuir para causar o problema de contaminação. Sais estes possivelmente oriundos dos ventos constantes no canal do píer de atracação dos navios.

Segundo CORRÊA (2013), experimentos e testes complementares devem ser conduzidos no sentido de analisar e decidir se essa causa-raiz (a salinidade) pode confirmar o efeito (contaminação) e, conseqüentemente o problema da unidade hidráulica e dos braços de carregamento.

Estuda-se a correlação causal entre a unidade primária de análise, a variável nível de concentração de salinidade no fluido hidráulico e a viscosidade do óleo hidráulico. Uma variação positiva da viscosidade do fluido com o incremento de concentração da salinidade pode indicar e propor a relação com o problema de desempenho e eficiência dos braços de carregamento e sua relevante influência nos modos de falhas coletados nos registros do sistema de prevenção e recuperação de falhas da empresa.

Essa seleção da unidade de análise é uma consequência das análises efetuadas nos diferentes estudos de análise de causa desenvolvidos pelo departamento de manutenção. Essa unidade apenas delimita o estudo de caso, porém não exclui as demais pesquisadas.

Numa primeira abordagem compara-se a literatura de pesquisa disponível sobre a definição do caso braços de carregamento e sistemas hidráulicos/ viscosidade cinemática e da unidade de análise concentração de sal com a finalidade de comparar os números encontrados com pesquisa anterior, ainda que essas pesquisas não tenham sido verificadas.

Desenvolve-se numa fase seguinte um experimento em laboratório para propor que a variável salinidade e concentração de água afetam diretamente a propriedade da viscosidade cinemática do óleo hidráulico utilizado nos braços de carregamento.

4.8 Pesquisa na perspectiva da tecnologia

A seguir são apresentadas a metodologia da pesquisa relacionada à tecnologia e os materiais no desenvolvimento do experimento.

4.8.1 Parte Experimental

A partir dos elementos identificados na literatura e nas respostas e observações das entrevistas, desenvolveram-se questões e procurou-se obter respostas factíveis, através das análises laboratoriais, para verificação de uma proposição investigada, formulada e trazida ao longo do estudo.

4.8.1.1 Amostras

Os estudos foram realizados visando a obtenção de amostras de óleo hidráulico utilizado no sistema hidráulico do braço de carregamento.

São utilizadas trinta amostras de, no mínimo, vinte mililitros (20ml) cada, de óleo específico utilizado para sistema hidráulico que opera em condições severas de pressão e temperatura de grau ISO 32. As análises típicas e características do óleo hidráulico serão apresentadas no capítulo 6.

As trinta amostras com diferentes concentrações de sal ou salinidade em óleo hidráulico são preparadas devido às características particulares componentes óleo e sal.

Devido à característica que os óleos-base de possuírem cadeias de hidrogênio e carbono que não tem a propriedade de “quebrar” compostos iônicos como o cloreto de sódio, portanto há uma necessidade de se utilizar de meios alternativos para a dissolução do sal em óleo.

Por essa razão, será utilizado método de dissolução por ultrassom.

4.8.1.2 Compostos utilizados

- Viscosímetro Automático ISL VH2, com viscosímetros tipo Houillon.
- Micropipeta para ajuste de volume de 50 a 1000 uL.
- Banho Termostático para preparação de amostra.
- Agitador mecânico.
- Haste com comprimento suficiente para atingir o fundo do recipiente original da amostra.
- Peneira de 75 µm (200 mesh) ou de menor abertura da malha.
- Béquer.
- Seringa.
- Funil de plástico com cabo longo.
- Proveta de 25mL.
- Pêra de borracha.
- Fluido transparente: Água, óleo de silicone 20 a 50 cSt entre 20 e 25°C ou outros não inflamáveis.
- Óleos padrões Cannon: S3, S6, N100, S200, S600, N1000, S2000 e outros materiais de referências certificados, desde que rastreável ao INMETRO ou organismo internacional que possua acordo de cooperação.
- Dissolvente: Persulfato de Amônio em Ácido Sulfúrico 8 g/L.
- Solvente de Limpeza: Tolueno, Xileno e outros recomendados pelo fabricante de equipamentos automáticos.
- Solvente de Secagem: Hexano, Acetona e outros recomendados pelo fabricante de equipamentos automáticos.

4.8.2 Preparo da amostra

Aquecer a amostra no frasco original com a tampa levemente desrosqueada a 60 +/-

2°C por 1 hora. Agitar a amostra, mecanicamente, de modo que a haste de agitação alcance o fundo do frasco. Tapar bem o frasco e agitar vigorosamente durante 1 min para completar a mistura.

4.8.3 Execução do ensaio

Preparar o equipamento com os parâmetros recomendados pela norma de referência; carregar o viscosímetro incorporado no equipamento; e executar o ensaio.

4.8.4 Cálculo da viscosidade cinemática

Calcular a viscosidade cinemática para cada tempo medido, por meio da seguinte fórmula:

$$V = t \times C \quad (11)$$

, sendo:

V = Viscosidade Cinemática, em mm²/s (cSt);

t = tempo de escoamento, em s; e

C = constante de calibração do viscosímetro, em mm²/s² (cSt/s).

Calcular a média das determinações de viscosidade. Caso a diferença entre as duas determinações seja maior que 1,7% a 50°C, ou, 1,3% a 60°C, da média encontrada, repetir as determinações de tempo de fluxo após limpeza e secagem completa do viscosímetro e filtragem da amostra, quando necessário. Caso a diferença seja menor que os 1,7% a 50°C, ou 1,3% a 60°C, da média, reportar o valor da média encontrado.

4.8.5 Verificação da calibração

Calcular a zona de tolerância do óleo padrão de acordo com a equação abaixo:

, sendo:

$$TZ = \pm 1,44 \sqrt{\sigma^2 + SE_{ARV}^2} = \pm 1,44 \sqrt{\sigma^2 + \left[\frac{CEU_{ARV}}{k}\right]^2} \quad (12)$$

TZ = zona de tolerância;

σ = desvio padrão do laboratório; se não for conhecido, adotar 0,19%;

SE_{ARV} = erro padrão do valor de referência aceito do material de referência certificado.

Calcular o desvio padrão do valor de referência aceito por divisão da incerteza expandida combinada – CEU, pelo fator de abrangência, k, listado na etiqueta do fornecedor ou documentação incluída. Se o fator de abrangência, k, não é conhecido, use o valor 2.

Calcular os limites de tolerância em relação ao valor registrado no certificado do óleo padrão:

$$L_{MAX} = V_r + TZ \quad (13)$$

$$L_{min} = V_r - TZ \quad (14)$$

, sendo:

L_{MAX} = limite máximo de tolerância;

L_{min} = limite mínimo de tolerância; e,

V_r = valor de referência do óleo padrão.

Fixar a temperatura de teste em 40,0 ou 50,0 \pm 0,02°C, conforme o viscosímetro e óleos padrões utilizados.

Selecionar o óleo padrão de maneira que a viscosidade do óleo seja cerca de 25% ou 75% da faixa de trabalho do viscosímetro.

Calcular as respectivas viscosidades cinemáticas e determinar o valor médio conforme acima.

Comparar o valor médio obtido de forma que:

Viscosímetro validado: O valor médio da viscosidade está entre L_{min} e L_{MAX} .

Viscosímetro não validado: O valor médio da viscosidade não está entre L_{min} e L_{MAX} .

Realizar o ensaio de viscosidade conforme acima, novamente. Se confirmada que a fonte de erro é no viscosímetro, efetuar a calibração conforme acima.

4.8.6 Calibração

Fixar a temperatura de teste em $40,0$ ou $50,0 \pm 0,02^\circ\text{C}$, conforme o viscosímetro e óleos padrões utilizados.

Selecionar o primeiro óleo padrão de maneira que o tempo de escoamento seja entre 200 e 1000 s, e o segundo com tempo de escoamento distante em pelo menos 50% do tempo em relação ao primeiro óleo padrão.

Efetuar duas medidas do tempo de fluxo de cada óleo padrão conforme anteriores.

Calcular as constantes de calibração do viscosímetro, para cada medida:

$$C = \frac{V}{t} \quad (15)$$

Usar a média como a constante de calibração do viscosímetro se os valores de C diferirem menos que $0,3\%$ para líquidos opacos (viscosos). Do contrário, repetir a calibração, observando todas as possíveis fontes de erro.

4.8.7 Correção da constante pelo efeito aceleração gravitacional

Receber o certificado de calibração do viscosímetro calibrado em outro local e verificar a aceleração da gravidade informada. Quando a aceleração da gravidade (g) em outro local de calibração diferir mais que $0,1\%$ da aceleração da gravidade no local de utilização do viscosímetro, corrigir a constante de calibração como segue:

$$C_2 = \frac{g_2}{g_1} \cdot C_1 \quad (16)$$

Onde: os subscritos 1 e 2 indicam o laboratório de calibração e o laboratório de utilização do viscosímetro, respectivamente.

5 MATERIAIS e MÉTODOS de MEDIÇÃO

Utilizou-se um viscosímetro automático cinemático fabricado pela ISL, modelo VH-2 que realiza análises de forma rápida devido ao tubo viscosimétrico Houillon, que permite a utilização de menos de 1 ml de amostra por teste.

Cloreto de sódio foi usado com diferentes concentrações. Assim os ensaios foram feitos do seguinte modo: para a realização de cada ensaio, usaram-se duas velocidades, para cada velocidade usou-se duas cargas diferentes e para cada teste uma porcentagem diferente de contaminante. As cargas foram de 500g e 5 kg. As velocidades de 0,2 m/s e 1 m/s, e contaminações de 2% até 5%. Para um melhor entendimento e para melhor explanação futura as amostras serão numeradas.

5.1 Óleo hidráulico

A tabela 1 a seguir descreve as propriedades físico-químicas do óleo hidráulico utilizado na unidade hidráulica do sistema de braços de carregamento.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do óleo hidráulico API CF SAE 32. Marca Lubrax Hydra XP

GRAU ISO	5	10	15	22	32	46	68	100	150	220
Densidade a 20/4°C	0,845	0,855	0,857	0,860	0,863	0,869	0,874	0,880	0,886	0,892
Ponto de Fulgor (VA) (°C)	138	186	198	212	232	244	260	270	274	280
Ponto de Fluidez (°C)	-15	-24	-33	-15	-21	-18	-18	-18	-12	-9
Viscosidade a 40°C (cSt)	4,43	10,53	15,07	20,8	30,2	44,3	65,3	94,9	147,0	217
Viscosidade a 100°C (cSt)	1,60	2,73	3,56	4,24	5,38	6,83	8,77	11,08	14,82	19,04
Índice de Viscosidade	95	96	118	108	113	110	107	103	100	99
Índice de Acidez Total (mgKOH/g)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Demulsibilidade (tempo de separação) minutos										
a 54°C:	11	14	14	16	16	20	25	–	–	–
a 82°C:	–	–	–	–	–	–	–	15	15	20

Fonte: adaptado de Petrobrás (2011).

O fabricante enumera as principais características em uso:

1) Evitar o desgaste e a corrosão das partes lubrificadas. É formulado com óleos básicos parafínicos e sua aditivação lhe proporciona elevada estabilidade à oxidação, proteção antidesgaste e resistência à formação de espuma; 2) recomendado para uso em sistemas

hidráulicos de alta pressão, como elevadores, equipamentos de mineração, máquinas de moldagem e injeção de plásticos, prensas e máquinas operatrizes; 3) atende aos requisitos dos testes de estabilidade térmica *Cincinnati Machine*, de filtrabilidade *Denison* e de desgaste em bombas de palhetas *Vickers* e *Denison*, sendo indicado quando requerido um óleo DIN 51524 parte 2 (categoria HLP).

As principais propriedades do óleo modelo Lubrax 32 XP API CF SAE 32 são:

Densidade a 20/4 °C = 0,863; Ponto de fulgor (°C) = 232; Ponto de fluidez (°C) = -21; Viscosidade (40 °C) [cSt] 30,2; Viscosidade (100 °C) [cSt] 5,38; Índice de Viscosidade 113.

Após as amostras serem preparadas, foram posteriormente submetidas ao teste de viscosidade no equipamento como descrito a seguir.

5.2 Viscosímetro

Realizou-se a análise de viscosidade no equipamento viscosímetro automático cinemático fabricado pela ISL, modelo VH-2 com tubo viscosimétrico Houillon. O equipamento trabalha com o software VH-PC, onde é possível controlar até quatro equipamentos simultaneamente, além de armazenar os resultados infinitamente, pode fazer os cálculos de conversão de unidade, estimar a viscosidade em uma dada temperatura, calcular o índice de viscosidade, entre outras características.

Utilizando os capilares Houillon o equipamento (figura 27) é capaz de analisar a viscosidade cinemática de óleos lubrificantes, óleos usados, combustíveis, polímeros e materiais similares, atendendo a norma ASTM D7279.

Principais características:

- Faixa de viscosidade: 2 a 3000 mm²/s.
- Comporta 4 tubos viscosimétricos Houillon. Possibilita a realização de até 4 testes simultaneamente.
- Volume da amostra: 1 ml.
- Precisão: conforme ASTM D445.
- Temperatura do banho programável de 20°C a 120°C.
- Estabilidade da temperatura do banho: 0.01°C.
- Sistema automático de limpeza e secagem dos tubos viscosimétricos Houillon após o teste.
- Sistema de detecção da viscosidade: através de sensores ópticos.
- Medição de viscosidade padrão e proporcional.

Figura 28. Viscosímetro



Fonte: Empresa (2015).

- Armazenamento ilimitado de resultados na memória.
- Medição da viscosidade em mm²/s, SUS e SFS.
- O VH1 acomoda dois solventes para limpeza
- Disponível cálculo de índice de viscosidade (40°C e 100°C).
- Calibrações disponíveis: Temperatura do banho e constantes de tubo, e possibilita armazenar duas constantes para cada tubo.
- Possibilita programação dos ciclos de limpeza e secagem dos tubos.
- Diagnósticos: automáticos em todas as diferentes funções do equipamento, diagnósticos para manutenção.
- Software VH: necessita de um micro computador padrão (não incluso). O microcomputador monitora simultaneamente até 4 viscosímetros ISL

Especificação técnica:

- Faixa de temperatura 20 a 100°C
- Precisão ±0,01°C
- Dimensão 30x45x87 cm (LxPxA)
- Peso 35kg
- Tensão 115V 50/60Hz ou 230V 50/60Hz
- Normas: ASTM D7279, ASTM D445, IP 71, EN 3104

Na sequência, apresenta-se o roteiro experimental sobre o efeito da concentração de sal na viscosidade do óleo hidráulico utilizado nos braços de carregamento.

6 EXPERIMENTO

Foram utilizadas trinta amostras de, no mínimo, vinte mililitros (20ml) cada, de óleo específico utilizado para sistema hidráulico que opera em condições severas de pressão e temperatura de grau ISO 32. As análises típicas e características do óleo hidráulico são apresentadas no capítulo 7.1.

As trinta amostras com diferentes concentrações de sal ou salinidade em óleo hidráulico foram preparadas devido às características particulares componentes óleo e sal.

Devido à característica que os óleos-base de possuírem cadeias de hidrogênio e carbono que não tem a propriedade de “quebrar” compostos iônicos como o cloreto de sódio, portanto houve a necessidade de se utilizar de meios alternativos para a dissolução do sal em óleo.

Por essa razão, foi utilizado método de dissolução por ultrassom.

6.1 Compostos utilizados

- Micropipeta para ajuste de volume de 50 a 1000 uL.
- Banho Termostático para preparação de amostra.
- Agitador mecânico.
- Haste com comprimento suficiente para atingir o fundo do recipiente original da amostra.
- Peneira de 75 μm (200 mesh) ou de menor abertura da malha.
- Béquer.
- Seringa.
- Funil de plástico com cabo longo.
- Proveta de 25mL.
- Pêra de borracha.
- Fluido transparente: Água, óleo de silicone 20 a 50 cSt entre 20 e 25°C ou outros não inflamáveis.

- Óleos padrões Cannon: S3, S6, N100, S200, S600, N1000, S2000 e outros materiais de referências certificados, desde que rastreável ao INMETRO ou organismo internacional que possua acordo de cooperação.
- Dissolvente: Persulfato de Amônio em Ácido Sulfúrico 8 g/L.
- Solvente de Limpeza: Tolueno, Xileno e outros recomendados pelo fabricante de equipamentos automáticos.
- Solvente de Secagem: Hexano, Acetona e outros recomendados pelo fabricante de equipamentos automáticos.

6.2 Preparo da amostra

Aquecer a amostra no frasco original com a tampa levemente desrosqueada a 60 +/- 2°C por 1 hora. Agitar a amostra, mecanicamente, de modo que a haste de agitação alcance o fundo do frasco. Tapar bem o frasco e agitar vigorosamente durante 1 min para completar a mistura.

6.3 Execução do ensaio

Preparar o equipamento com os parâmetros recomendados pela norma de referência; carregar o viscosímetro incorporado no equipamento; e executar o ensaio.

Preencha uma pipeta graduada de 20 mL de óleo com as diferentes concentrações de NaCl preparadas previamente. Se necessário, adicione pequenas porções de solução saturada de NaCl, agitando suavemente. Reserve para posterior teste de viscosidade.

7 PROPOSIÇÃO RESULTANTE DO MODELO EXPERIMENTAL

O modelo experimental de análise de viscosidade do óleo hidráulico testado em laboratório trouxe uma proposição da correlação causal entre a unidade primária de análise, a variável nível de concentração de salinidade no fluido hidráulico e a viscosidade do óleo hidráulico. Uma variação positiva da viscosidade do fluido com o incremento de concentração da salinidade indicou e possivelmente propôs uma relação com o problema de desempenho e eficiência dos braços de carregamento e sua relevante influência nos modos de falhas coletados nos registros do sistema de prevenção e recuperação de falhas da empresa.

Os resultados iniciais encontrados na pesquisa de campo apontam que os fatores operacionais que afetam a operação dos braços de carregamento são: 1) Fator de mantenebilidade: impacto pela dificuldade de importar peças de reposição, cujo tempo de reposição de desses componentes são elevados, o que acarreta em uma baixa mantenebilidade. Trata-se, portanto, da necessidade de se recolocar um equipamento em operação, a partir da programação de ações corretivas e preventivas do equipamento; 2) Fatores de suporte: atualização de procedimentos e treinamento.

De um modo geral, os funcionários de operação compreendem a função dos braços de carregamento como parte da estratégia de negócios e eles também usam normas operacionais e de todos os dados relacionados com a lista de verificação e controle das entradas e saídas do processo básico "carregar ou descarregar cargas".

Além disso, a cultura de aprendizagem contínua através da partilha de informações e lições aprendidas pode ser usado como uma ferramenta poderosa com resposta rápida em termos de dúvidas, intercâmbio de ideias e integração de pessoas.

Em relação aos funcionários de manutenção, nota-se a preocupação no histórico de anomalias e falhas bem como o seu tratamento e prevenção pois estes acabam perdendo o devido foco quando ações de rotina diária acabam sendo priorizadas em detrimento do estudo de ações preventivas e preditivas da manutenção.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a efetivação deste projeto, que tem por objetivo identificar fatores que afetam a confiabilidade dos braços de carregamento, realizou-se inicialmente uma ampla revisão bibliográfica pertinente ao tema em estudo, dividido em duas perspectivas: a perspectiva da gestão de operações através de seu modelo clássico de processo com entradas e saídas, monitorado por indicadores de desempenho para se atingir a um determinado objetivo; e, a perspectiva tecnológica que insere no estudo as análises laboratoriais para verificação de uma hipótese formulada e trazida ao longo da pesquisa.

Para atingir os objetivos, desenvolveu-se um questionário para obter opiniões de técnicos diretamente envolvidos com atividades operacionais e de manutenção, foram conduzidas entrevistas com especialistas, realizou-se uma análise de documentos e registros operacionais e observações diretas do autor da pesquisa foram considerados.

Os resultados empíricos mostraram que há dois fatores primordiais: fator de mantenebilidade e fatores de suporte.

Esta análise e classificação dos fatores operacionais podem ajudar indústrias petroquímicas a melhorar as operações de manutenção sob a condição de recursos limitados.

Importante também mencionar que este estudo abordou a gestão de operações a partir do nível estratégico, passando pelo nível tático e obteve-se as possíveis respostas no nível operacional. Dessa maneira, a abordagem operacional possibilita correlacionar e analisar a influência dos fatores operacionais ao nível estratégico.

A partir do resultado do experimento de laboratório, proposições trazidas sobre a possível correlação causal entre a unidade primária de análise, a variável nível de concentração de salinidade no fluido hidráulico e a viscosidade do óleo hidráulico podem ser consideradas para trabalhos futuros no sistema de prevenção e recuperação de falhas da empresa.

Ao melhorar a confiabilidade e, por consequência, o desempenho operacional dos braços de carregamento, há também como resultado deste estudo o melhoramento da empresa e de seu entorno, as condições de segurança, meio ambiente e saúde dos funcionários e *stakeholders* da empresa.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Confiabilidade e Mantenebilidade. NBR 5462**, Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 1994.

AKERS A., GASSMAN M. e SMITH R. **Hydraulic Power System Analysis**. Taylor & Francis Group: Boca Raton, 2006.

AL-HUSAIN, R., ASSAVAPOKEE, T., & KHUMAWALA, B. **Modelling the supply chain swap problem in the petroleum industry**. International Journal of Applied Decision Sciences, 1, 261-81. 2008.

ALVES, GUILHERME D. **Sistema especialista protótipo para diagnóstico de falhas em um sistema hidráulico naval**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

ARBIX, DE NEGRIS e VERMULM. Novos e velhos desafios do desenvolvimento. **Revista USP**, São Paulo, n.93, p.6-10, mar./abr./mai.2012.

BILLINTON R., ALLAN, R.N. **Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques**. New York and London: Plenum Press, 1983.

BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. **Systems engineering and analysis**. 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc., 1990.

BLANCHARD, Benjamin S., VERMA, Dinesh, PETERSON, Elmer L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management**, John Wiley & Sons, Inc., 1995.

BRUNETTI, FRANCO. **Mecânica dos Fluidos**. (2^a ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

CAMPOS, VICENTE F.. Como definir os seus problemas. In: **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004

CENGEL Y., CIMBALA J.. **Fluid Mechanics: fundamentals and applications**. 3rd edition. New York: McGraw-Hill, 2013.

CHISHOLM, HUGH, ed (1911). **Petroleum**. Encyclopædia Britannica. 21 (11th edition ed.). pp. 316-322.

http://en.wikisource.org/w/index.php?title=User:Tim_Starling/ScanSet_TIFF_demo&vol=21&page=ED1A336. Retrieved on 2008-02-22.

CHISHOLM, HUGH, ed (1911). **Ship**. Encyclopædia Britannica. 24 (11th edition ed.). pp. 881-889.

http://en.wikisource.org/w/index.php?title=User:Tim_Starling/ScanSet_TIFF_demo&vol=24&page=ED4A915. Retrieved on 2008-02-22.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 2002. Resolução N° 306. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais, objetivando avaliar os sistemas de gestão e controle ambiental nos portos organizados e instalações portuárias, plataformas e suas instalações de apoio e refinarias, tendo em vista o cumprimento da legislação vigente e do licenciamento ambiental.

CORRÊA, H.L. e GIANESI, I.G. **Gestão estratégica de operações de serviço**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1995.

CORRÊA, HENRIQUE L. e CORRÊA, CARLOS A.. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2013.

COZANET, HERVÉ. **Marine loading arm**. 2006.

Disponível em:

<<http://www.marine-marchande.net> > Acesso em: 27 jul, 2015.

DECKERT, I.S. *et al.* **Control of Vapors from Bulk Gasoline Loading**, Journal of the Air Pollution Control Association, 8:3, 223-233. Los Angeles: DOI, 1958.

DIAS, ACIRES. **Introdução à confiabilidade**. Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica Florianópolis: UFSC, 1999.

EATON. **Hydraulic Fluid Recommendations**. Eden Prairie: Eaton Corporation, 2008.

FABRYCKY, V. D., PETERSON, E.L. **Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management**. Toronto: Wiley Interscience Publication, 1995.

FALCONI, VICENTE. **O verdadeiro poder**. Minas Gerais: Falconi, 2009.

FMC TECHNOLOGIES. **Loading Systems**. 2015.

Disponível em:

<<http://www.fmctechnologies.com/en/LoadingSystems/Technologies/MarineSolutions/OnshoreMLA.aspx>> Acesso em: 24 jul, 2015.

FURLAN, HUMBER. **Tecnologia para processos de produção**: anotações de aula. São Paulo: Centro de Pós Graduação Paula Souza, 2015.

GERDAU, JORGE J.. **Abordagem por processos: método eficaz de ajuda às necessidades do mercado**. Jornal Linha Direta – Grupo Gerdau, São Paulo, edição especial, 2006.

GOLDEMBERG, J. MOREIRA, J.R.. **Política energética no brasil**. Estudos Avançados. São Paulo, v.19, n.55, p.215-228, 2005.

GULCAN, T. A. *et al.* **Factors Affecting Operational Efficiency of Chemical Cargo Terminals: A Qualitative Approach**. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Maritime Transport & Shipping, p. 27, 2013.

GURSKI, Carlos Alberto. **Curso de formação de operadores de refinaria: noções de confiabilidade e manutenção industrial**. Curitiba: Petrobras: UnicenP, 2002.

HAGE, José A.A.. **A política energética brasileira na era da globalização: energia e conflitos de um estado em desenvolvimento**. Revista de sociologia e política. Curitiba, v.20, n.41, p.75-91, fev.2012.

JENSEN, C.C. **Clean Oil Guide**. A/S Svendborg, Denmark, 2015.

Disponível em: <

http://www.cjc.dk/fileadmin/user_upload/pdf/CJC_Brochures/Clean_Oil_Guide.pdf> Acesso em: 30 jul, 2015.

KANON. Load Equipment.

Disponível em: <<http://kanon.nl/>>. Acesso em: 24 jul, 2015.

KIMURA, R. K.; GONÇALVES, A. C. **Uso da técnica de análise de óleo em motores diesel estacionários, utilizando misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante.** 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MARCONI, M.A. & LAKATOS, E.M. **Técnicas de Pesquisa.** (2ª ed.). São Paulo: Atlas, 1990.

MARSHALL, JR. Isnard. *et al.* **Gestão da Qualidade.** Rio de Janeiro: FGV, 2004.

MITCHELL, RICHARD J., PIPPENGER, JOHN J. **Fluid power maintenance basics and troubleshooting.** New York: Marcel Dekker, Inc., 1997.

MONCHY, FRANÇOIS. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial.** São Paulo: Ebras, 1989.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance.** 2nd Edition. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOSS, M. A., **Designing for Minimal Maintenance Expense.** New York: Marcel Dekker, 1985.

MÜLLER, G. L.; DIESEL, L.; SELLITO, M. A. **Análise de Processos e Oportunidade de Melhorias em uma empresa de serviços.** Revista Produção Online. v.10, n.3, p. 524-550, 2010.

MUNSON B.R., YOUNG D.F. e OKIISHI T.H., **Fundamentos da mecânica dos fluidos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

NAKANO, D.N.; FLEURY, A.C.C. **Métodos de Pesquisa na Engenharia de Produção.** São Paulo: EPUSP, 1996

NATH, G. e RAMOS, B. **Marine Dock Optimization for a Bulk Chemicals Manufacturing Facility.** Massachusetts Institute of Technology, 2011.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. **Performance measurement system design – a literature review and research agenda.** International Journal of Operations & Production Management. v.15, n.4, p.80-116, 1995.

O'CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineering.** 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1985.

PETROBRAS. Pré-sal. 2015.

Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 23 maio, 2015.

PORTER, M.E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior.** Rio de Janeiro: Campus, 1989.

SANNEMANN, Gustavo D. R. **Uso de um sistema especialista como apoio na estruturação do histórico de dados de equipamentos**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSC: Florianópolis, 1997.

SARAPH, V., BENSON, PG. & SCHROEDER, R.G. **An instrument for measuring the critical factors of quality management**. Decision Sciences, v.20, p. 810-829, 1989.

SASTRY, M.K.S. e SEEKUMAR, LARRY. **Automation of real time monitoring and controlling of a marine loading arm**. London: Journal of Engineering, Design and Technology, 2012.

SCHMITT, ARNO. **Treinamento hidráulico: livro de instrução e informação sobre a hidráulica**. Diadema: Rexroth, 1988.

SILVA, JOÃO CARLOS T. **Tecnologia: conceitos e dimensões**. Curitiba: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002.

SLACK, N. e LEWIS, M., **Operations Strategy**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

SLACK, NIGEL. CHAMBERS, STUART. JOHNSTON, ROBERT. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, NIGEL. CHAMBERS, STUART. JOHNSTON, ROBERT. **Operations Management**. Essex: Pearson, 2010.

SLACK, NIGEL. CHAMBERS, STUART. JOHNSTON, ROBERTO. BETTS, ALAN. **Operations and process management: principles and practice for strategic impact**. Pearson, 2012.

SCHOELER, Sadi Luís. **A Movimentação de Cargas Pesadas em Portos Brasileiros: dificuldades e perspectivas**. Florianópolis: Valor Setorial, 2000.

SOUZA, S. S. e LIMA, C. R. C. **Manutenção Centrada em Confiabilidade como ferramenta estratégica**. Anais XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, MG, 2003.

TESDAHL, S.A. e TOMLINGSON P.D. **Breakthrough Maintenance Strategy for the 21st Century**. Proceedings of the first International Conference on Information Technologies in the Minerals Industry, p.39-58, 1997.

TOLF, ROBERT W. **The World's First Oil Tankers - The Russian Rockefellers: The Saga of the Nobel Family and the Russian Oil Industry**. Hoover Press. 1976

TRANSPETRO. **Terminais Aquaviários. 2015**.

Disponível em: <http://www.transpetro.com.br/pt_br/areas-de-negocios/terminais-e-oleodutos/terminais-aquaviarios.html>. Acesso em: 1 maio, 2015.

WALDEMAN, David A., GOPALAKRISHNAN, Mohan. **Operational, Organizational, and Human Resource Factors Predictive of Customer Perceptions of Service Quality**. Journal of Quality Management v.1, n.41, p. 91-107, 1996.

WELCH, JACKIE. **2006 MBA Symposium Morning Keynote Address**. In: Management School of Boston University, 2006, Boston.

Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=5oMm71yvYS8>>. Acesso em: 18 maio 2014.

WHITE, FRANK M. **Fluids Mechanics**. 7th edition. New York: McGraw-Hill, 2010.

WOODMAN, RICHARD. **The History of the Ship: The Comprehensive Story of Seafaring from the Earliest Times to the Present Day**. New York: Lyons Press. 1998

YIN, ROBERT K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.