

Carla Graciella dos Santos Soares Silva

Desenvolvimento de Ferramenta Gerencial para Cálculo do Índice de Confiabilidade em Manutenção de Bombas Centrífugas Considerando os Fatores Humanos

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Industrial.

Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial

Orientador: Robson da Silva Magalhães

Salvador-BA

2016

Carla Graciella dos Santos Soares Silva

Desenvolvimento de Ferramenta Gerencial para Cálculo do Índice de Confiabilidade em Manutenção de Bombas Centrífugas Considerando os Fatores Humanos/ Carla Graciella dos Santos Soares Silva. – Salvador-BA, 2016-

90 p. : il. (algumas cores.) ; 30 cm.

Orientador: Robson da Silva Magalhães

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia

Escola Politécnica

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, 2016.

1. teste. 2. Palavra-chave2. 2. Palavra-chave3. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

Carla Graciella dos Santos Soares Silva

Desenvolvimento de Ferramenta Gerencial para Cálculo do Índice de Confiabilidade em Manutenção de Bombas Centrífugas Considerando os Fatores Humanos

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Industrial.

Trabalho aprovado. Salvador-BA, 16 de Dezembro de 2016:

Rosana Lopes Lima Fialho, Dra.
PEI-UFBA

Ademar Nogueira do Nascimento, Dr.
UFBA

Alex Álisson Bandeira Santos, Dr.
SENAI-CIMATEC

Salvador-BA
2016

Dedico esta dissertação ao meu Deus Jeová, de quem provém todo conhecimento, ao meu amado esposo Paulo, aos meus pais Rubem e Graça pelo bom exemplo e incentivo constantes, a minha tia Antônia que sempre me inspirou e em quem também me espelho, as minha irmãs Mara (in memoriam) e Rafaela, por tudo o que representam para mim.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Jeová Deus que permitiu que eu concluísse esse processo, me dando forças para superar os desafios e limites, acrescentando experiências que me tornaram uma pessoa melhor.

A minha família por todos os anos de dedicação, orientação e confiança que moldaram a pessoa que sou hoje. Por nunca me deixarem desistir de meus sonhos.

A Paulo Esteves, meu marido, que ao longo dos anos tem sido uma fonte inesgotável de revigoração e alegria, me apoiando e ajudando a conquistar esse e outros objetivos.

Agradeço imensamente ao meu orientador Robson Magalhães e ao caro colega Celso Figueirôa pela presente orientação, pelo conhecimento que compartilharam comigo e pelo incentivo. Agradeço, também, pela oportunidade e ajuda de transformar em realidade um desafio.

Aos meus grandes amigos que tiveram a paciência de me suportar nos momentos de tensão, estresse e ausência, e nunca me abandonaram ao longo do caminho.

Á CAPES (PROCAD), pelo apoio financeiro.

*“Pois é Jeová quem dá conhecimento;
da sua boca procedem conhecimento e discernimento.
Dê instrução ao sábio, e ele se tornará mais sábio.
Ensine ao justo, e ele aumentará em conhecimento.”
(Tradução do Novo Mundo, Provérbios 2:6 e 9:9)*

Resumo

Diante da atual competitividade no setor industrial e da importância da manutenção como uma das atividades fundamentais do setor produtivo, surge a necessidade de uma abordagem estratégica e proativa no tratamento dessa atividade. As ações de manutenção são executadas sobre diversos equipamentos e sistemas industriais, dentre os quais estão as bombas centrífugas. As bombas centrífugas são, de longe, os equipamentos que mais estão presentes na manutenção e operação do segmento industrial.

O objetivo dessa dissertação é proporcionar uma forma de análise que vise a melhoria dos indicadores relacionados à manutenção de bombas centrífugas. A melhoria desses indicadores pode ser obtida quando minimizada a quantidade de retrabalho em serviços executados nas bombas centrífugas. O equipamento industrial destacado são as bombas centrífugas instaladas em unidades industriais do ramo petroquímico. Para minimizar o retrabalho e reduzir as falhas humanas, é necessário a aplicação de uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão. Definindo-se, de forma assertiva, o como e quando intervir no equipamento. Outro objetivo que pode ser destacado na aplicação da ferramenta aqui proposta é a redução da ocorrência de falhas humanas durante a execução das atividades de manutenção, reforçando a importância dessas ações em um ciclo de melhoramento contínuo.

Essa ferramenta pode ser desenvolvida, a partir do diagnóstico do problema, estabelecendo-se de forma adequada os critérios de solução, de acordo com as necessidades apresentadas e objetivos corporativos. Esse trabalho apresenta uma proposição para a construção dessa ferramenta.

Portanto, a redução de falhas humanas e a necessidade de aumentar a eficiência e eficácia da gestão da manutenção de bombas centrífugas, visando reduzir custos e otimizar recursos, constituem-se em razões para o desenvolvimento deste trabalho.

Palavras-chave: Confiabilidade humana. fator humano. retrabalho. ferramenta gerencial.

Abstract

Given the current competition in the industrial sector and the importance of maintenance as one of the main activities of the productive sector it is created the need for a strategic and proactive approach in the treatment of this activity. The maintenance actions are performed on various equipment and industrial systems, among which there are the centrifugal pumps. Centrifugal pumps are by far the equipment that is most present in the maintenance and operation of the industrial sector.

The objective of the project is to provide a form of analysis aimed at improving the indicators related to the maintenance of centrifugal pumps. The improvement of the indicators can be obtained when minimizing a quantity of rework in services executed in the centrifugal pumps. The outstanding industrial equipment are like centrifugal pumps installed in industrial units of the petrochemical industry. To minimize rework and reduce as human failures, it is necessary to apply a tool that assists in decision making. Define, assertively, how and when to intervene in the equipment. Another objective that can be highlighted in the application of the tool proposed here is a reduction of the occurrence of human failures during a maintenance activities execution, reinforcing an act of actions in a cycle of continuous improvement.

This tool can be developed, from the diagnosis of the problem, establishing adequately the solution criteria, according to the needs presented and corporate objectives. This paper presents a proposition for the construction of this tool.

Therefore, the reduction of human failures and the need to increase the efficiency and effectiveness of the management of centrifugal pump maintenance, aiming to reduce costs and optimize resources, are the reasons for the development of this paperwork.

Keywords: human reliability. human factor. rework. management tool.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Áreas afetadas pela radiação	41
Figura 2 – Imagem do “Sarcófago” em Chernobyl	42
Figura 3 – Diagrama de Pareto de falhas x H/h	57
Figura 4 – Gráfico de comparação entre os anos 2013 e 2014	63
Figura 5 – Fatores de avaliação da Confiabilidade	67

Lista de tabelas

Tabela 1 – Amostragem de H/h atribuídas a Ordem de Manutenção de retrabalho em 2013	56
Tabela 2 – Relação entre falhas, ocorrência e H/h.	56
Tabela 3 – Exemplo de atividades divididas entre os perfis do indivíduo.	58
Tabela 4 – Pontuação de habilidades e competências.	60
Tabela 5 – Quantificação de funcionários para treinamento.	61
Tabela 6 – Média geral de desempenho individual e coletivo.	61
Tabela 7 – Exemplo da MH	62
Tabela 8 – Número de OMs de retrabalho nos anos de 2013 e 2014.	63
Tabela 9 – Lista de tarefas a serem executadas	69
Tabela 10 – Critérios para criticidade da tarefa	70
Tabela 11 – Tarefas executadas	71
Tabela 12 – Critérios para nota dimensional	72
Tabela 13 – Dimensão e ajustes deixados	72
Tabela 14 – Lista de componentes	73
Tabela 15 – Critério de avaliação para componentes utilizados	74
Tabela 16 – Avaliação dos componentes aplicados	74
Tabela 17 – Fator Humano - Funcional	76
Tabela 18 – Critérios de avaliação do fator Humano - Funcional	76
Tabela 19 – Critérios de avaliação do Fator Humano - Gerencial	77
Tabela 20 – Fator Humano - Gerencial	77
Tabela 21 – Fator Humano - Comportamental	78
Tabela 22 – Critério de avaliação do Fator Humano - Comportamental	78
Tabela 23 – Relatório de Confiabilidade	79

Lista de Abreviaturas

AHP *Analytic Hierarchy Process*

ATHEANA *A Technique for Human Event Analysis*

CPC *Common Performance Condition*

CREAM *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*

DMGR Diretrizes para Manutenção e Gestão de Recursos

EIAN Escala Internacional de Acidentes Nucleares

HEART *Human Error Assessment and Reduction Technique*

HEP *Human Error Probability*

HFACS *Human Factors Analysis and Classification System*

HFI *Human Factors Integration*

HFIT *Human Factor Investigation Tool*

HRA *Human Reliability Analysis*

HORAAM *Human and Organization Reliability Analysis in Accident Management*

IR Índice de Retrabalho

ITs Instruções Técnicas

JHEDI *Justified Human Error Data Information*

MC Matriz de Competência

MH Matriz de Habilidades

MMO *Man-Machine-Organization System*

MMOSA *Man-Machine-Organization System Analysis*

OMs Ordens de Manutenção

PSA *Probabilistic Safety Assessment*

PSF *Performance Shaping Factors*

QT Qualidade Total

RBMK *Reactor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy*

RC *Relatório de Confiabilidade*

SCR *Swiss Cheese Reason*

SHEL *Software, Hardware, Environment, Liveware*

SLIM *Success Likelihood Index Methodology*

SPAR-H *Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis*

SVM *Support Vector Machines*

THERP *Technique for Human Error Rate Prediction*

Lista de Símbolos

a_i	i -ésima nota atribuída pelo supervisor
k	é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação
n_c	n -ésimo componente listado na tabela Tabela 14
n_h	n -ésima tarefa listada na Tabela 4
n_m	n -ésima tarefa listada na Tabela 13
n_t	n -ésima tarefa listada na coluna Como fazer da tabela Tabela 9
n_{tc}	n -ésima habilidade listada na Tabela 22
n_{tf}	n -ésima tarefa listada na coluna Como fazer da tabela Tabela 17
n_{tg}	n -ésima habilidade listada na Tabela 20
$X_{4.1}$	fator humano funcional
$X_{4.2}$	fator humano gerencial
$X_{4.3}$	fator humano comportamental

Lista de Publicações

- Soares, C.G.S.; Magalhães, R.S.; Figueirôa, C.L.S.; Silva, P.E.A.; Gomes, R.B.; Ferramentas Gerenciais para Manutenção Considerando-se Fatores Humanos – Um estudo de caso aplicado a Bombas Centrifugas. 30º Congresso Nacional Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos, Campinas-SP, Brasil, 2015.
- Soares, C.G.S.; Magalhães, R.S.; Figueirôa, C.L.S.; Gomes, R.B.; Ferramenta Gerencial aplicada à Manutenção considerando os Fatores Humanos – Redução de Retrabalho em Bombas Centrifuga. 2º Congresso da Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processo e Confiabilidade 2015 PSAM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Motivação e importância	25
1.2	Objetivos gerais	26
1.3	Objetivos específicos	26
1.4	Contribuições e resultados esperados	27
1.5	Organização do trabalho	27
2	CONFIABILIDADE HUMANA E FATORES HUMANOS PARA MANUTENÇÃO	29
2.1	Introdução	29
2.2	Revisão bibliográfica	31
2.2.1	Conceitos gerais	36
2.2.2	Aplicações	37
2.3	Falhas relacionadas a fatores humanos na manutenção	46
2.4	Modelos para aplicação de confiabilidade humana	49
3	FERRAMENTA GERENCIAL APLICADA À MANUTENÇÃO CONSIDERANDO OS FATORES HUMANOS. UM ESTUDO DE CASO	53
3.1	Introdução	53
3.2	Objetivos do capítulo	54
3.3	Metodologia	55
3.3.1	Coleta de dados	55
3.3.2	Aplicação da matriz de habilidades	58
3.3.3	Detalhamento das etapas	58
3.4	Resultados obtidos	63
4	RELATÓRIO DE CONFIABILIDADE. UMA FERRAMENTA PARA CALCULAR O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE HUMANA NA MANUTENÇÃO	65
4.1	Introdução	65
4.2	Metodologia	66
4.3	Tarefas Executadas	68
4.3.1	Agrupamento das atividades Críticas	68
4.3.2	Cálculo da criticidade da tarefa	68
4.3.3	Avaliação das atividades	70
4.4	Medições e ajustes	70

4.4.1	Itens a serem medidos e/ou ajustados	70
4.4.2	Critérios de avaliação das medições e ajustes	71
4.4.3	Avaliação das medidas e ajustes	72
4.5	Componentes	73
4.5.1	Descrição dos componentes	73
4.5.2	Critérios de avaliação dos componentes utilizados	73
4.5.3	Avaliação dos componentes	73
4.6	O trabalhador	75
4.6.1	Fator Humano – Funcional	75
4.6.2	Fator Humano – Gerencial	75
4.6.3	Fator Humano – Comportamental	77
4.7	Relatório de Confiabilidade	79
4.7.1	Objetivo	79
4.7.2	Apresentação do resultado	79
4.7.3	Discussão	80
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	81
5.1	Comentários finais	81
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	82
	REFERÊNCIAS	83

1 Introdução

A alta competitividade no ramo industrial criou uma relação estreita entre a boa manutenção de equipamentos industriais e a minimização de custos. Assim, é necessária a criação de ferramentas gerenciais que reduzam os acidentes e minimizem os custos. Este capítulo apresenta uma visão geral do que será abordado neste trabalho e a importância do mesmo.

Esse capítulo ainda informa o que mais motivou a proposição e o desenvolvimento de uma ferramenta gerencial para a área de manutenção industrial petroquímica, que considerasse além da redução de acidentes e da minimização de custo. Abordaremos um tipo específico de falha, as que são atribuídas a uma ação direta do ser humano.

As indústrias petroquímicas possuem muitos equipamentos que precisam de manutenção, como torres de resfriamento, compressores, bombas centrífugas, entre outros. O foco deste trabalho está nas bombas centrífugas.

O pressuposto desse estudo é minimizar o retrabalho e reduzir as falhas humanas, através da criação de uma ferramenta gerencial, destacando a importância dessa ação no ciclo de melhoramento contínuo. O desenvolvido foi por meio de pesquisa exploratória, tendo em vista que não tem objetivo de verificar consistências teóricas, mas sim investigar o assunto, e aplicada, pois tem a finalidade de ajudar a resolver problemas no ambiente da manutenção industrial com metodologia investigativa de caráter bibliográfico, com estudo de procedimentos técnicos da literatura pertinente.

A importância da redução de falhas humanas, e a necessidade de aumentar a eficiência e eficácia da gestão da manutenção de bombas centrífugas, constituem-se como razões para o desenvolvimento deste trabalho. Assim, espera-se reduzir as por falhas humanas, usando como indicador o Índice de Retrabalho (IR).

1.1 Motivação e importância

A busca pela redução de acidentes em indústrias petroquímicas é uma necessidade cada vez mais emergente no ambiente onde o ser humano está inserido. Segundo [Oliveira e Silva \(2013\)](#), hoje, a manutenção não significa mais consertar um equipamento com defeito ou irregularidades, mas sim, garantir a disponibilidade dos equipamentos, com confiabilidade e segurança, minimizando os custos.

As consequências da baixa confiabilidade em operações de manutenção podem ser elementares, como uma produção atrasada, ou graves, como a perda de muitas vidas. A alta frequência de falhas atribuídas ao homem é assustadora ([ANTONOVSKY; POLLOCK;](#)

STRAKER, 2014). No entanto, a maioria das investigações de falhas ligadas a fatores humanos se dá na área da aviação e da indústria de energia nuclear (NOROOZI et al., 2014). Na manutenção em indústrias petroquímicas o estudo das ocorrências desse tipo de falhas vem sendo um requisito cada vez mais **importante e necessário** (SOUZA; HIDALGO; PIMENTA, 2012).

Para minimizar o retrabalho e reduzir as falhas humanas, é necessária a aplicação de uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão. Essa ferramenta deve orientar a tomada de decisão de como e quando intervir no equipamento, levando-se em consideração as necessidades e objetivos corporativos. Com a aplicação dessa ferramenta, propõe-se reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas humanas, destacando a importância dessas ações no ciclo de melhoramento contínuo.

As principais razões para o desenvolvimento deste trabalho são: as **vantagens** da redução das falhas humanas, a necessidade de aumentar a eficiência e eficácia da gestão da manutenção de bombas centrífugas, além da redução dos custos e otimização dos recursos.

1.2 Objetivos gerais

O objetivo geral desse trabalho é propor uma ferramenta gerencial que permita uma análise para promover uma melhoria dos indicadores relacionados à manutenção de bombas centrífugas. A melhoria dos indicadores pode ser obtida através da redução da quantidade de retrabalho dos serviços de manutenção realizados nos equipamentos, atentando para as ocorrências de falhas humanas durante as intervenções realizadas nesses equipamentos.

1.3 Objetivos específicos

- desenvolver de uma ferramenta gerencial que reduza a quantidade de retrabalho em serviços de manutenção de bombas centrífugas.
- gerar de um índice de confiabilidade dos serviços de manutenção realizados, possibilitando um maior controle da confiabilidade dos equipamentos.
- criar um armazenamento de dados e do histórico de manutenção dos equipamentos.
- aplicar metodologia de análise de confiabilidade qualitativa e quantitativa nos serviços de manutenção.

1.4 Contribuições e resultados esperados

A contribuição desse trabalho é a proposição e o desenvolvimento de uma ferramenta gerencial, que como resultado, indique um índice de confiabilidade do serviço de manutenção realizado em bombas centrífugas em uma oficina mecânica industrial, visando o bem-estar e a segurança dos funcionários, a redução de custo e o bom atendimento ao cliente.

O armazenamento dos dados e do histórico dos serviços de manutenção de cada equipamento, contribuirá para a tomada de decisão de quando realizar uma manutenção preventiva nesses equipamentos e como fazê-la. Já que fornecerá a informação completa do equipamento, tais como, quando houve a falha e por que ocorreu.

1.5 Organização do trabalho

O [Capítulo 2](#) apresenta uma revisão bibliográfica sob a forma de um breve histórico comentado. São referenciados os trabalhos que formalizaram a confiabilidade humana e o fator humano, aplicados em três campos de manutenção: a aviação, a indústria nuclear e a indústria petroquímica. Por fim, este capítulo apresenta algumas das possíveis ocorrências de falhas na manutenção industrial, com o foco naquelas que estão relacionadas a fatores humanos. Alguns dos métodos mais utilizados para atenuar as falhas humanas são descritos.

O [Capítulo 3](#) apresenta um estudo de caso da aplicação de uma ferramenta gerencial baseada em fatores humanos. Trata-se da Matriz de Habilidades, aplicada em uma oficina mecânica que realiza reparo em equipamento industriais com alto índice de retrabalho.

No [Capítulo 4](#) traz uma proposta de uma nova ferramenta destinada a calcular a confiabilidade dos serviços de manutenção nas bombas centrífugas. Essa ferramenta gera um índice de confiabilidade que está proposto como um indicador que visa monitorar o atendimento das exigências do cliente, e controlar os serviços de uma maneira mais eficaz.

Este trabalho é encerrado no [Capítulo 5](#) com a apresentação das conclusões finais e as sugestões para o desenvolvimento de estudos posteriores.

2 Confiabilidade humana e fatores humanos para manutenção

2.1 Introdução

O conhecimento a priori da confiabilidade, associada à realização de um serviço de manutenção, permite que sejam realizadas ações no sentido da redução do número de retrabalhos, com uma conseqüente redução do custo da manutenção, associado ao menor custo operacional. Esse processo é uma conseqüência direta da implantação de procedimentos técnicos corretos, e da avaliação da influência dos fatores humanos nesses procedimentos.

A literatura sobre confiabilidade humana aplicada à manutenção petroquímica é escassa, entretanto, existe um número considerável de trabalhos aplicados à manutenção no segmento nuclear e no segmento da aviação.

A análise de confiabilidade humana, ou *Human Reliability Analysis (HRA)*, consiste em um conjunto de ações de análise e controle das falhas humanas, através da aplicação de ferramentas gerenciais e estatísticas. Essa técnica permite a obtenção de uma redução nos efeitos dos erros e falhas humanas cometidas durante a realização de um processo.

A análise da confiabilidade teve o seu início na década de 1940. No entanto, somente a partir da década de cinquenta é que ela teve uma ampla aplicação, adicionando-se o comportamento humano ao cálculo da confiabilidade. Essa nova abordagem ocorreu principalmente nos setores aeroespacial, eletrônico e nuclear, devido aos avanços ocorridos na área industrial e da tecnologia.

O estudo e o uso prático da tecnologia possibilitaram que vários métodos fossem aplicados ao controle de falhas humanas nos processos de manutenção.

Devido ao grande crescimento, em número e variedade, das instalações industriais ao redor do mundo, e considerando-se que essas instalações devem ser mantidas em perfeitas condições operacionais, a função manutenção vem utilizando técnicas inovadoras diante de projetos mais complexos. A gestão da manutenção vem experimentando uma mudança de visão e de procedimentos em sua forma de organização e responsabilidades.

[Kardek e Nascif \(2009\)](#) ressaltam que, na visão atual, a manutenção existe para que não haja manutenção; tratando-se, nesses termos, da manutenção corretiva não planejada. Eles ainda enfatizam que, numa visão mais pontual, o trabalho da manutenção vem sendo enobrecido, requerendo que o pessoal da área seja melhor qualificado e equipado para evitar a ocorrência das falhas e não a sua correção. As antigas exigências dos clientes, tais como

as requeridas na Qualidade Total (QT), hoje são requisitos básicos, e a organização que não atender a esses requisitos poderá ter dificuldades (PELOGGIA; VASCONCELLOS, 2006).

Com essa visão estratégica, vários estudos vêm sendo publicados, e abordam as inovações da gestão da manutenção e a influência dessa gestão na qualidade (NASCIF; DORIGO, 2013; OTANI; MACHADO, 2008).

FLEMING, SILVA e FRANÇA (1999) mencionam que, embora os custos da manutenção sejam bastante expressivos, os custos da falta de manutenção ou da falta de qualidade são ainda mais importantes.

Como consequências, da falta de manutenção ou da falta de qualidade, podem ser citadas: a falta de segurança, as paradas não previstas de equipamentos, as perdas de matéria prima por um baixo rendimento advindo de uma manutenção inadequada, as peças refugadas, as despesas com garantia, *recalls* e horas extras, entre outras (FLEMING; SILVA; FRANÇA, 1999).

Os estudos da influência do fator humano na manutenção têm ganhado força ao longo dos últimos anos. Esses estudos se iniciaram no campo da manutenção aeronáutica, como uma busca de respostas para o aumento significativo, nas últimas décadas, do número de acidentes aéreos, que, quando comparados ao número total de acidentes ocorridos, tiveram como principais causas os fatores relacionadas à manutenção (SERRA, 2010).

Seixas (2011) aponta que a confiabilidade dos equipamentos pode ser afetada pelas pessoas que os operam, ou pelas pessoas que planejam e realizam a sua manutenção. A grande dificuldade está na aplicação adequada das práticas e dos procedimentos gerenciais necessários para identificar e corrigir as causas raízes dos problemas. Utilizando o conceito genérico de SCAPIN (1999) defini a confiabilidade de equipamentos ou de sistema como sendo a probabilidade de um sistema ou de um produto executar sua função de maneira satisfatória, dentro de um intervalo de tempo em suas condições normais de operação.

Já confiabilidade humana pode ser definida como a probabilidade de que um sistema, que requer ações, tarefas ou trabalhos humanos, opere com sucesso, dentro de um intervalo de tempo; adicionada à probabilidade de que nenhuma ação humana seja desempenhada em detrimento à confiabilidade e disponibilidade desse sistema (HOLLNAGEL, 2009). A disponibilidade pode ser definida como a relação entre o tempo de operação ou de funcionamento e o tempo de inatividade causado por uma falha, incluindo o tempo de intervenção de manutenção corretiva necessário para retornar o equipamento à operação normal, é portanto, a combinação entre o tempo médio entre falhas, e o tempo médio para reparos (VAZ; CARAZAS; SOUZA, 2010).

Os estudos e análises sobre a confiabilidade humana têm apresentado uma nova oportunidade de melhoria para os processos de manutenção (ALVARENGA; MELO;

FONSECA, 2014). A elaboração dos procedimentos de manutenção, tomando-se por base os estudos desses fatores de confiabilidade humana, se mostra com grande potencial de aceitação pelas empresas que visam a melhoria dos seus processos (FILHO; SOUZA, 2011).

2.2 Revisão bibliográfica

Bueno, Domingues e Corrêa (2005) definem que a qualidade da manutenção é alcançada quando os produtos e serviços de uma empresa satisfazem aos padrões estabelecidos pela organização. Essas expectativas e exigências podem ser aplicadas à qualidade técnica de um produto ou serviço, mas também podem ser aplicadas ao aspecto humano da qualidade, isto é, à atitude ou ao comportamento das pessoas que produzem o produto ou que prestam um serviço.

Segundo Neves, Silva e Souza (2015), a abordagem sobre os fatores humanos retira o equipamento do centro dos questionamentos, e prioriza a análise sobre a falha, possibilitando a identificação dos fatores determinantes para a ocorrência da falha.

Filho e Souza (2011) destacam que a abordagem da falha humana, como um elemento inerente a nossa condição, esta ganhando força ao longo dos anos. O foco das pesquisas nessa área passou a ser o gerenciamento do erro, e não mais a luta para evitá-lo. Ele ainda ressalta que é mais eficaz descobrir e tentar evitar os fatores que levam ao erro do que combater a natureza humana falível.

Analisaremos alguns fatores humanos que levam ao erro durante a execução das tarefas de manutenção, e os vários métodos que existem para neutralizar, ou gerenciar as falhas e os erros humanos.

A **primeira geração** da manutenção abrange o período que se inicia antes da Segunda Guerra Mundial. Nessa época, a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos tinham projetos simples e, na sua grande maioria, eram superdimensionados. Aliado a tudo isto, devido à conjuntura econômica da época, a questão da produtividade não era uma prioridade. Consequentemente, não era necessária a realização de uma manutenção sistematizada. Apenas eram executados os serviços de limpeza e lubrificação. As ações de reparo só eram realizadas após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva.

O primeiro trabalho formal sobre a confiabilidade foi publicado na década de 1950. Em 1953, Robert Lusser, matemático e engenheiro alemão, trabalhava em uma equipe de desenvolvimento de foguetes, junto com a equipe do engenheiro alemão Von Braun. Durante seis anos, ele formalizou as suas teorias de confiabilidade, defendendo a teoria de que a confiabilidade de cada parte de um sistema influencia na confiabilidade global desse sistema (KORTOV; USTYANTSEV, 2013).

A **segunda geração** da manutenção abrange o período que se inicia após a segunda guerra mundial até os anos 60. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, e a disponibilidade de mão de obra na indústria diminuiu sensivelmente. Conseqüentemente, houve um forte aumento da mecanização, e as instalações industriais ficaram mais complexas. A disponibilidade e a confiabilidade começaram a ser importantes. A dependência da indústria ao bom funcionamento das máquinas levou a uma ideia de que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva.

Na década de cinquenta, com o surgimento da indústria aeroespacial e eletrônica, em conjunto com a implantação da indústria nuclear, ocorreu um grande salto no desenvolvimento da metodologia de cálculos e nas aplicações da confiabilidade. Ocasão em que se valorizou muito a etapa do projeto e a análise de confiabilidade relacionada ao comportamento humano. Essa ideia foi reforçada por [Watson \(1962\)](#), na década de 1960, que elaborou a teoria da “análise da árvore de falhas”. Essa teoria traz os fundamentos da análise de confiabilidade em sistemas mecânicos e em sistemas computacionais.

Na década de sessenta, a política de manutenção predominante determinava a realização de intervenções, em intervalos regulares, nos equipamentos. Quando comparado com os outros custos operacionais, o custo da manutenção ainda era elevado. Esse fator demandou sistemas mais eficientes para o planejamento e controle da manutenção. Esses sistemas tornaram-se partes integrantes das políticas modernas estabelecidas para a manutenção. A quantidade de capital investido em novos equipamentos, e o aumento do custo desses equipamentos, levou as empresas a buscarem os meios para aumentar a vida útil dos seus sistemas de produção ([OTANI; MACHADO, 2008](#)).

Em 1964, [Swain \(1964\)](#) apresentou um documento em um simpósio com o tema: “Sociedade e fatores humanos”. Esse documento introduziu uma técnica para calcular a probabilidade de ocorrência de um erro humano. A técnica ficou conhecida como *Technique for Human Error Rate Prediction* ([THERP](#)). Em 1963, uma monografia nos Laboratórios Sandia, delinearão a quantificação de erro humano básico usando a [THERP](#) ([SWAIN; GUTTMANN, 1983](#)). Ao longo da década de 1960, Swain e seus colegas estavam focados na coleta de dados de desempenho humano para realizar estimativas do erro humano, principalmente os dados relacionados a confiabilidade do conjunto de armas nucleares nos Estados Unidos da América. Em 1969, Swain se reuniu com Jens Rasmussen, do laboratório nacional Riso, e discutiu a aplicabilidade do [THERP](#) para a área nuclear ([BORING, 2012](#)).

A **terceira geração** da manutenção se inicia a partir da década de 1970. Nesse período, a paralisação da produção, em qualquer processo, gerava uma grande preocupação, já que uma paralisação diminuía a capacidade de produção, aumentava os custos e afetava a qualidade dos produtos. Portanto, foi acelerado o processo de mudança da manutenção nas

indústrias. Considerando-se a manufatura praticada nessa ocasião, os efeitos dos períodos de paralisação foram agravados pela tendência mundial de utilização dos sistemas *just-in-time*, onde estoques reduzidos para a produção contínua causavam pequenas paradas na produção/entrega. Nessas circunstâncias, essas ocorrências poderiam paralisar todo o processo. O crescimento da automatização e da mecanização passou a indicar que a confiabilidade e a disponibilidade, tornavam-se pontos-chaves em setores tão distintos quanto a saúde dos funcionários, o processamento de dados, as telecomunicações e o gerenciamento de edificações (KARDEK; NASCIF, 2009). O aumento da utilização da automatização evidenciava que a ocorrência das falhas, cada vez mais frequentes, afetariam as noções de confiabilidade e da manutenção industrial, e a capacidade de manter os padrões de qualidade pré-estabelecidos (KARDEK; NASCIF, 2009). Isso se aplica tanto aos padrões de serviços, quanto à qualidade do produto; por exemplo, falhas em equipamentos podem afetar as ações de controle climático em edifícios, ou a pontualidade das partidas e chegadas de veículos em redes de transporte.

Tem sido recorrente o fato de que as falhas provocam sérias consequências na segurança e no meio ambiente. Isso acontece em um momento em que os padrões exigidos, para a segurança operacional e para as condições de preservação do meio ambiente, estão cada vez mais rigorosos. Em uma economia global, as empresas devem satisfazer as normas internacionais de segurança e de preservação ambiental, ou podem ser impedidas de funcionar. A terceira geração reforçou o conceito da política de manutenção preditiva. Tornou-se mais evidente a interação entre as fases de implantação de um sistema (projeto, fabricação, instalação e manutenção) e a sua disponibilidade/confiabilidade .

Por volta de 1975, em WASH-1400, Swain tinha articulado o uso de THERP para aplicações nucleares, e a abordagem foi finalizada na publicação do CR-1278 NUREG em 1983 (SWAIN; GUTTMANN, 1983).

Uma maior difusão e interesse nessa área se deu próximo ao início da década de 1970, com a consolidação da análise de confiabilidade em outras áreas, destacando-se entre todas, a área nuclear, quando surgiram os primeiros modelos de análise de confiabilidade em programas computacionais (*softwares*). Posteriormente, foi publicada uma série de trabalhos abordando diferentes métodos de análise de confiabilidade humana. Na década de 1980, países detentores de tecnologia de ponta implementaram definitivamente as técnicas de análise de confiabilidade. No Brasil, verificou-se uma aplicação da confiabilidade nos setores de telecomunicações, elétrico, de armamento e nuclear (SWAIN; GUTTMANN, 1983).

O desenvolvimento das técnicas de análise de confiabilidade, o entendimento dos princípios e mecanismos envolvidos em um sistema complexo como o ser humano, os avanços em tecnologia e a ocorrência dos acidentes contribuíram em grande parte para o interesse nessa área de pesquisa. Com o amadurecimento dessas técnicas, a HRA teve

ampla expansão com diversas implementações e desenvolvimento de novos algoritmos (SIMPSON; SHEPPARD, 1991). A seguir, referenciaremos as contribuições dos principais textos científicos publicados.

Sträter e Bubb (1999), usando uma abordagem qualitativa, apresentaram um método desenvolvido para descrever e analisar as interações humanas observadas dentro de eventos, no qual uma base de dados foi construída. O método foi proposto para a análise de erros, considerando-se os aspectos organizacionais cognitivos. Nesse mesmo trabalho, uma abordagem quantitativa foi feita com uma aplicação para 165 eventos em reatores de água fervente, em uma área nuclear, usando-se estimativas de probabilidades e comparando o resultado com o método THERP.

Baumont et al. (2000) descrevem o método desenvolvido para introduzir a avaliação probabilística de segurança pelo método *Human and Organization Reliability Analysis in Accident Management* (HORAAM) ou análise de confiabilidade humana e organizacional em gestão de acidentes. Como o nome já diz, o objetivo é considerar a confiabilidade humana e o aspecto organizacional durante a gestão de acidentes. Foi realizado um estudo, no centro de uma crise, a fim de identificar os principais fatores de influência que afetam os seres humanos e a confiabilidade organizacional. O julgamento dos peritos foi usado para verificar os principais fatores de influência, classificando-os, e para estimar os valores dos fatores agregados, simplificando a árvore de decisão.

Lee et al. (2004) trouxeram a atenção à eventos operacionais em usinas nucleares, observando-se as operações relacionadas com o reator. Foi utilizada a frequência de dano condicional para considerar as informações de risco na definição de prioridades em fatores organizacionais. Para a aplicação dessa metodologia, em algumas ocasiões, são utilizados questionários focados nas tarefas centrais, e são realizadas entrevistas para a obtenção de dados destinados a uma análise com abordagem qualitativa (REIMAN; OEDEWALD; ROLLENHAGEN, 2005).

Chang e Mosleh (2007) mostram que, no contexto de uma resposta de um operador, deve-se incluir os aspectos cognitivos, as atividades emocionais e físicas durante a ocorrência de um acidente. Probabilisticamente, avaliando-se os efeitos da influência do fator de desempenho, é possível prever a resposta da sala de controle operacional de uma central nuclear. Como isso é muito complexo em uma central nuclear, Galán, Mosleh e Izquierdo (2007) usam as redes Bayesianas para fins de quantificação.

Bellamy, Geyer e Wilkinson (2008) descrevem o trabalho que deve ser realizado como uma base preparatória para o desenvolvimento de um modelo holístico, prático, para ajudar aos interessados em uma compreensão de como os fatores humanos, a segurança em sistemas de gestão e as questões organizacionais mais amplas se relacionam. Nesse mesmo ano, Li, Harris e Yu (2008) analisaram 41 acidentes de aviação civil que envolveram as aeronaves registradas na República da China, no período 1999 e 2006. Eles usaram a estrutura

Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Os autores contribuíram com o modelo organizacional indicando a razão do erro humano. Eles sugerem que as falhas ativas são promovidas pelas condições latentes em uma organização. Verificou-se que as relações estatísticas que ligam decisões falíveis nos níveis superiores de gestão afetam diretamente as práticas de supervisão, criando assim as condições psicológicas para atos inseguros e, conseqüentemente, prejudicando indiretamente o desempenho dos pilotos, conduzindo em última instância a acidentes.

Ren et al. (2008) propuseram uma metodologia quantitativa para modelar as relações casuais em uma empresa *off-shore*, onde foi usado o modelo de *Swiss Cheese Reason (SCR)* para formar um quadro genérico para a avaliação da segurança. O modelo do SCR é um quadro tão teórico que se baseia na sólida teoria comportamental e, portanto, pode ser usado para fornecer à indústria um roteiro para a modelagem e implicações numa rede bayesiana, afim de fazer esta avaliação de segurança offshore.

Schönbeck, Rausand e Rouvroye (2010) realizaram um estudo de *benchmarking* para comparar e avaliar os resultados do método HRA como instrumento de avaliação do desempenho do operador de uma planta de processo, aplicando-se um simulador de experiências. Eles mostram que os fatores para a avaliação do desempenho são os que mais necessitam de melhoria, e fornecem uma orientação para a ação preventiva ou corretiva a ser tomada.

Waterson e Kolose (2010) delinearam um quadro que visa capturar alguns dos aspectos sociais e organizacionais da ferramenta *Human Factors Integration (HFI)*. O quadro foi parcialmente utilizado para projetar um conjunto de perguntas das entrevistas que foram usadas como um caso para o estudo de fatores humanos. Mostrando a importância da utilização de entrevistas na análise de fatores humanos.

Souza, Hidalgo e Pimenta (2012) utilizaram algumas ferramentas da qualidade para a análise e a resolução de problemas, especificamente o *brainstorming* (TAYLOR, 1982) e o diagrama de causa e efeito ou “Diagrama de Ishikawa” (ISHIKAWA, 1981), pôde-se identificar os problemas de maior relevância, sendo identificadas as causas-raiz das paradas de um forno industrial, elaborando-se um plano de ação para a melhoria das atividades de manutenção desse equipamento.

Os procedimentos para a remoção (pré-manutenção) de equipamentos em serviço, que esteja operando em um determinado processo, e a sua posterior montagem, disponibilizando-o ao serviço (pós-manutenção), são considerados possíveis cenários de falha. Para cada cenário, a probabilidade de ocorrência de um erro humano é calculada para todas as atividades, utilizando-se a probabilidade de sucesso do método *Success Likelihood Index Methodology (SLIM)*. As conseqüências da ocorrência de uma falha também são avaliadas por essa metodologia. O risco é uma combinação de evento, probabilidade e conseqüências: uma medida de conseqüências a humanos e ao meio ambiente e de perdas

econômicas em termos da probabilidade do acidente e a magnitude das consequências (ABÍLIO M.; ESTEVÃO, 2010). Sendo assim, a avaliação do risco é conduzida para cada componente, e o risco global é estimado pela adição de riscos individuais. O artigo de Noroozi et al. (2013) esclarece importância de se considerar o erro humano em uma análise quantitativa do risco. Essa metodologia foi aplicada a um estudo de caso em um processo de instalação *off-shore* (NOROOZI et al., 2013). Noroozi et al. (2013) ainda apresentam uma análise dos fatores humanos em operações de pré e pós-manutenção usando a técnica *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) para avaliar a *Human Error Probability* (HEP), ou a probabilidade de um erro humano, em cada tarefa e nas subtarefas. O risco global do erro humano é identificado para cada atividade, integrando a HEP e gravidade das consequências. Se o risco de uma atividade é muito alto, são dadas as medidas para se reduzir o risco (NOROOZI et al., 2014).

De uma forma geral, as pesquisas sobre os fatores humanos relacionados a manutenção, se concentram nas áreas nuclear, aviação e petroquímica, priorizadas por essa ordem (ALVARENGA; MELO; FONSECA, 2014). A abordagem para a análise da confiabilidade humana, considerando-se a corrente da “terceira geração”, apresenta diferentes métodos e ferramentas para minimizar o erro humano. A “segunda geração”, foca a sua atenção sobre as condições contextuais em que uma determinada ação é executada. Já a corrente da “primeira geração” mantém o foco sobre a noção de probabilidades de ocorrência de um erro inerente ao ser humano (MARSEGUERRA; ZIO; LIBRIZZI, 2006).

2.2.1 Conceitos gerais

O objetivo conceitual da manutenção moderna é garantir a disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações, de modo a atender adequadamente a um processo de produção ou serviço, com confiabilidade, segurança do meio ambiente e custos compatíveis com os resultados obtidos (ZIVIANI, 2013). Segundo Ziviani (2013), a intensificação da gestão de falhas em uma empresa está diretamente ligada ao incremento da produtividade, permitindo a adequada alocação dos recursos em busca de uma maior qualidade.

De acordo com a União Internacional de Telecomunicações (1990), a causa da falha pode ser definida como sendo uma circunstância manifestada durante o projeto, manufatura ou uso, que tenha conduzido ao desencadeamento da ocorrência de uma falha. A causa de uma falha deve compor o conjunto de informações necessárias para se evitar uma falha ou a sua reincidência. Uma das formas para realizar uma análise de falhas é através da realização do mapeamento das mesmas.

A falha humana pode ser conceituada ou classificada de diferentes formas. Ela pode se referir a erros enormes, que têm consequências de longo alcance, e que, muitas vezes, são consequências morais que afetam a natureza, com desdobramentos catastróficos; ou pode se referir a erros causados por negligência ou um desvio de comportamento intencional,

muitas vezes passível de punição (NOROOZI et al., 2013).

O erro humano se expressa como um comportamento humano que pode ser considerado indesejável, inaceitável, ou ainda como uma consequência de uma falta de atenção. Em muitas vezes, apesar de muitos erros serem detectados e corrigidos antes de causar algum dano, a sua compreensão e o controle de sua existência são formas de prever a ocorrência de problemas maiores. Podemos entender os erros humanos como sendo erros comuns que são facilmente identificadas, diagnosticadas e geralmente desculpáveis (MARTINS, 2008).

Os erros e as falhas humanas têm sido uma grande preocupação nas áreas aeroespaciais, nucleares e petroquímicas, desde a realização do projeto até a operacionalização dos sistemas dessas áreas. Os principais desafios a serem considerados estão relacionados à complexidade do ser humano. Devido a sua eterna e inatingível complexidade, é impossível prever, com precisão, o comportamento de um ser humano (MARTINS, 2008). A fim de produzir um elevado grau de disponibilidade, a exigência de um controle de alta confiabilidade é imprescindível, e esse controle deve minimizar a possibilidade de ocorrência de um erro. Por conseguinte, é desejável que o método de controle, a ser aplicado, seja o mais apropriado para a empresa.

2.2.2 Aplicações

A HRA é uma técnica adequada para se conseguir uma expressiva redução de erros humanos nas atividades de manutenção, e o aumento da disponibilidade dos equipamentos e dos processos industriais. Diferentes áreas da indústria têm diferentes requisitos regulamentados, o que implica que as possíveis metodologias devem ser avaliadas quanto a sua forma e a sua conformidade para a aplicação em determinada área. Um exemplo disso são os requisitos regulamentados para a área nuclear (ALVARENGA; MELO; FONSECA, 2014).

Os riscos são representados por uma combinação linear das falhas e do mau funcionamento (LEAL; PINHO; ALMEIDA, 2006). Portanto, os acidentes são evitados pela identificação e eliminação das causas possíveis. A segurança é garantida pela contínua capacidade de antecipar a ocorrência de eventos futuros (LEAL; PINHO; ALMEIDA, 2006). Veremos como a HRA se aplica na manutenção na aviação, na manutenção nuclear e na manutenção industrial petroquímica.

a) Na manutenção da Aviação

Nas últimas décadas, em consequência de um aumento significativo do número de acidentes aéreos com causas relacionadas à manutenção, quando comparadas com outras causas, iniciaram-se os estudos de confiabilidade na manutenção da aviação (SERRA, 2010).

Por mais de uma década, o termo “PERA” tem sido usado como uma memória mnemônica, para caracterizar os fatores humanos nos serviços de manutenção na aviação. O termo “PERA” pede atenção a quatro considerações importantes para os programas de fatores humanos: as pessoas que fazem o trabalho; o ambiente em que trabalham; as ações que realizam, e os recursos necessários para se completar o trabalho. A empresa *Electrónica Aircraft Association* reconhece a “PERA” como uma excelente maneira de lembrar as considerações chaves relacionadas aos fatores humanos (JOHNSON; MADDOX, 2007).

De acordo com *Authority* (2003), em uma análise de fatores humanos, uma empresa deve combinar todas das características físicas de cada funcionário em cada uma das tarefas que eles desempenham. Também devem ser considerados fatores como: o tamanho de cada pessoa, a força, a idade, a acuidade visual. É necessário garantir que cada pessoa seja fisicamente capaz de realizar todas as tarefas que compõem o seu trabalho. Um bom programa de fatores humanos considera as limitações dos seres humanos e planeja cada atividade em conformidade com essas limitações.

A ferramenta *Support Vector Machines* (SVM) fornece uma nova abordagem para a análise da influência dos fatores humanos nos acidentes, possibilitando o tratamento das incertezas nos dados disponíveis para os acidentes ocorridos na aviação tradicional (MITCHELL, 1999). Entretanto, o SVM mostrou algumas limitações em sua aplicação. Assim, Xu et al. (2014) propôs uma melhoria do SVM. Com base na estimativa da densidade de probabilidade *kernel*. Quando a distribuição de dados for desconhecida, ela estima toda a distribuição de densidade de probabilidade com o uso de poucas amostras. Utilizando-se *Analytic Hierarchy Process* (AHP), um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas e a justificar a sua escolha baseado em matemática e psicologia, a importância de cada índice pode ser conhecida (SAATY, 1987). Esse modelo de análise dos acidentes ligados aos fatores humanos, baseado no aperfeiçoamento do SVM, com a estimativa de densidade de *kernel*, foi aplicado no trabalho de Xu et al. (2014).

As Diretrizes para Manutenção e Gestão de Recursos (DMGR) são desenvolvidas para combinar os fatores de conhecimento humano com as habilidades interpessoais e pessoais de manutenção, tendo-se como objetivo a melhoria da eficácia da comunicação, e da segurança nas operações de manutenção nas aeronaves. Um dos fatores humanos identificados que levam a erros de manutenção é a fadiga. Em razão disso, através da aplicação de um questionário, foi realizada uma análise do psicológico, considerando-se a variação da fadiga fisiológica em trabalhadores, por turnos, e os fatores subjetivos que afetam a fadiga das equipes de manutenção. Os questionários, recolhidos a partir de duas

grandes companhias aéreas em Taiwan, são utilizados para investigar os fatores subjacentes à fadiga, resultante de excessivas horas de trabalho e a falta de pausa curtas durante os longos turnos de trabalho. Com base nos resultados da análise, várias sugestões são fornecidas às companhias aéreas para promover a melhora do trabalho das equipes de manutenção e das condições causadoras da fadiga (WANG; CHUANG, 2014).

Para ajudar as companhias aéreas a focar as suas principais deficiências operacionais e de gestão, realiza-se uma análise a classificação dos fatores de risco significativos para os técnicos de manutenção de aeronaves. Isso resulta em uma melhoria nas operações sob uma condição de recursos limitados (CHANG; WANG, 2010).

Salas, Maurino e Curtis (2010) afirmam que todos os acidentes de aviação são compostos de quatro fatores: o *software* (que contem, por exemplo: os procedimentos de manutenção, os manuais de manutenção, o *layout* de *checklist*); o *hardware* (que contem por exemplo: as ferramentas, es equipamentos de teste, a estrutura física da aeronave, o posicionamento e a percepção operacional dos comandos e instrumentos); o meio ambiente (composto pelo ambiente físico, com elementos, tais como: as condições no hangar; o ambiente de trabalho, os padrões de trabalho, a estrutura de gestão e a percepção pública da indústria), e o *liveware* (ou seja, a pessoa ou as pessoas no centro do modelo, incluindo-se os engenheiros de manutenção, os supervisores, os planejadores, os gestores, etc.). Isto é conhecido como o modelo *Software, Hardware, Environment, Liveware* (SHEL). O modelo destina-se apenas como uma ajuda básica para a compreensão dos fatores humanos.

b) Na manutenção nuclear

Os resultados de diversos estudos da *Probabilistic Safety Assessment* (PSA), ou avaliação probabilística de segurança, mostram uma contribuição muito significativa de erros humanos ao fracasso nas instalações nucleares.

Ao pesquisar os fatores humanos em falhas relacionadas com a manutenção, Hobbs e Williamson (2003) centraram-se sobre o papel do erro humano, e Reason, Parker e Lawton (1998) sugeriram que as violações dos procedimentos no local de trabalho são como uma causa da falha. Ambos, os erros humanos e as violações humanas das regras são temas frequentes nas investigação dos fatores humanos .

Técnicas de *Human Error Probability* (HEP), como uma avaliação preliminar, têm sido um foco para a indústria nuclear, por esta razão, ela desenvolveu as técnicas de pareceres por peritos, tais como a *Success Likelihood Index*

Methodology (SLIM), a *Justified Human Error Data Information (JHEDI)* e a *Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)*, que são descritas e validadas por Kirwan (1996), Kirwan et al. (1997), Kirwan (1997).

Farcasiu e Prisecaru (2014) analisaram, tanto os estudos importantes da *Probabilistic Safety Assessment (PSA)*, como o desempenho humano e os elementos que influenciam na manutenção, apresentando o *Man-Machine-Organization System (MMO)*, e a nova abordagem *Man-Machine-Organization System Analysis (MMOSA)*, que foi desenvolvida para permitir a inclusão dos compromissos explícitos do ser humano e dos fatores organizacionais nos estudos da *PSA*. Esse método utiliza técnicas antigas de *HRA*. A principal novidade em *MMOSA* é a identificação da interface máquina - organização (manutenção, modificação e gestão do envelhecimento na interface homem-máquina) e a avaliação do desempenho humano com base nelas. O resultado detalhado da *HRA*, utilizando-se a metodologia *MMOSA*, mostrou eventuais e graves deficiências de desempenho humano, que, normalmente, podem ser corrigidos através da melhoria das interfaces *MMOs*.

O acidente Chernobyl

Há trinta anos, ocorreu um acidente catastrófico numa usina nuclear, mostrando a importância de se considerar os fatores humanos na manutenção.

Em 26 de abril de 1986, um reator explodiu na usina nuclear de Chernobyl, no norte da Ucrânia - disseminando uma nuvem radioativa por toda a região. A cidade mais próxima, Pripyat, foi construída em 1970 para abrigar trabalhadores e famílias de operários da usina nuclear de Chernobyl. (POTTER, 1991).

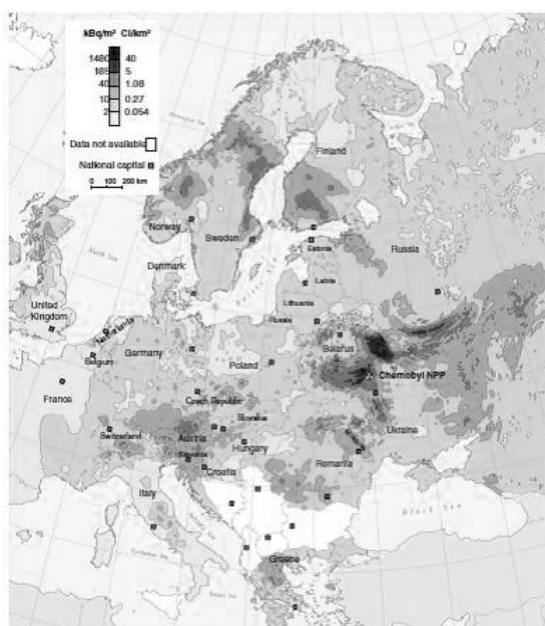
Os trabalhadores da usina não souberam, imediatamente, que os níveis de radiação, no interior do prédio, seriam suficientes para matar uma pessoa desprotegida em 60 segundos, por não terem os instrumentos para medir a radiação. Semanas depois, dezenas de pessoas, que trabalharam na usina durante o desastre, morreriam de envenenamento (MCCALL, 2016).

As equipes do Corpo de Bombeiros, que trabalharam no incêndio, não sabiam que se tratava de uma explosão nuclear. Vinte e sete bombeiros morreram depois de atenderem a ocorrência. O incêndio foi extinto depois que os helicópteros jogaram uma mistura de areia, chumbo e boro no reator em chamas (MCCALL, 2016).

A cidade de Pripyat só foi evacuada 24 horas após o acidente, quando uma comissão de investigação verificou que os níveis de radiação ofereciam muito risco.

A União Soviética só admitiu o ocorrido dois dias depois, quando a radiação foi sentida em uma usina na Suécia (a mais de mil quilômetros de Chernobyl). O mapa na [Figura 1](#) mostra todas as áreas atingidas pela radiação resultante do desastre. Os primeiros relatórios da União Soviética atribuíam falhas humanas como causas para o desastre. A cidade foi evacuada e os moradores tiveram que deixar todos os seus pertences para trás ([JURKIEWICZ; ZABKOWSKI; SHEVCHUK, 2014](#)).

Figura 1 – Áreas afetadas pela radiação



Fonte: [Steinhauser, Brandl e Johnson \(2014\)](#)

A Bielorrússia e a Ucrânia foram os países mais afetados, com relatos indicando o aumento nos nascimentos de bebês com defeitos congênitos, em ambos os países. Muitos outros países, até ao Reino Unido, registraram anomalias climáticas e danos à flora, por causa do ocorrido. Para conter a radiação, foi construído, ainda em 1986, uma estrutura de concreto gigantesca, que isolou a usina, e foi chamada de “Sarcófago”. Ela será substituída, até 2017, por uma nova estrutura, já em construção. Na [Figura 2](#) apresentamos uma imagem do “Sarcófago” ([POTTER, 1991](#)).

Um relatório de 2005 indica que 5% dos gastos públicos da Ucrânia ainda estão relacionados ao desastre de Chernobyl. Números semelhantes são vistos na Bielorrússia.

Em termos de custo e de mortes resultantes, o desastre de Chernobyl é o pior acidente nuclear da história. Além de ser um dos dois únicos classificados como

Figura 2 – Imagem do “Sarcófago” em Chernobyl



Fonte: [Seixas \(2011\)](#)

um evento de nível 7 (classificação máxima) na Escala Internacional de Acidentes Nucleares ([EIAN](#)). O outro acidente foi o acidente nuclear de Fukushima I, no Japão, em 2011 ([STEINHAUSER; BRANDL; JOHNSON, 2014](#)).

O acidente fez crescer as preocupações sobre a segurança na indústria nuclear soviética, diminuindo a sua expansão por muitos anos, e forçando o governo soviético a divulgar informações. A Rússia, a Ucrânia e a Bielorrússia têm suportado um contínuo e substancial custo de descontaminação, e de assistência de saúde aos atingidos pelo acidente de Chernobyl. É difícil dizer, com precisão, o número de mortes causadas pelos eventos de Chernobyl. Não é possível contabilizar as muitas mortes por câncer que ocorreram, especificamente devido ao acidente ([STEINHAUSER; BRANDL; JOHNSON, 2014](#)).

Em 12 de dezembro de 2000, depois de várias negociações internacionais, a usina de Chernobyl foi desativada. Pripjat permanece desabitada até hoje, uma vez que os cientistas estimaram que a região não seria segura para a ocupação humana, por séculos ([POTTER, 1991](#)).

Causas do acidente Chernobyl

Há duas teorias oficiais, mas contraditórias, sobre a causa fundamental do acidente. Apresentada em agosto de 1986, a primeira teoria atribuiu a culpa, exclusivamente, aos operadores da usina. A segunda teoria foi publicada 5 anos mais tarde, atribuindo o acidente aos defeitos no projeto do reator *Reactor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy (RBMK)*. Ambas teorias foram fortemente apoiadas por diferentes grupos, inclusive pelos projetistas dos reatores, pelos funcionários da usina de Chernobyl, e pelo governo (STEINHAUSER; BRANDL; JOHNSON, 2014).

Alguns especialistas independentes acreditam que nenhuma dessas teorias estavam completamente certas. Na realidade, o que aconteceu foi uma conjunção das duas teorias, sendo que, a possibilidade de defeito no reator foi exponencialmente agravado pelo erro dos operadores (MCCALL, 2016).

Outro fator, e não menos importante, foi que Anatoly Dyatlov, engenheiro chefe responsável pela realização dos testes nos reatores 3 e 4, a gerência da instalação e uma grande parte de pessoal não eram qualificados em RBMK. O diretor, V.P. Bryukhanov, tinha a sua experiência e o seu treinamento em usinas termoelétricas a carvão. O engenheiro chefe, Nikolai Fomin, também veio de uma usina convencional. O próprio Dyatlov somente tinha “alguma experiência com pequenos reatores nucleares” (LEE et al., 2004) (STEINHAUSER; BRANDL; JOHNSON, 2014).

Muitos procedimentos irregulares contribuíram para causar o acidente. Um deles foi à comunicação ineficiente entre os escritórios de segurança (na capital, Kiev) e os operadores encarregados do experimento, que estava sendo conduzido naquela noite. É importante notar que os operadores desligaram muitos dos sistemas de proteção do reator, o que era proibido pelos guias técnicos publicados, a menos que houvesse um mau funcionamento (MARTINS, 2008).

Portanto, quer tenha sido um erro dos operadores, quer dos projetistas, quer falta de experiência e treinamento, foi uma falha humana. Estabeleceu-se que o erro humano consecutivo é a principal razão para este tipo de acidente catastrófico (LEE et al., 2004).

O acidente de Chernobyl chamou a atenção para a importância do fator humano na operação de uma planta. Por causa desse acidente, no Reino Unido, estudos iniciais passaram a se concentrar sobre o papel do operador e o seu potencial de erro. Foram criados programas para reforçar a cultura de segurança. Recentemente, avaliações de segurança para longo prazo foram realizadas nas estações nucleares de Magnox, equipadas com um modelo mais velho de reator (MCCALL, 2016).

Algumas das melhorias genéricas, identificadas para estações de Magnox, são igualmente aplicáveis às outras estações mais velhas. Finalmente, o estatuto de planejamento de emergência foi revisto (KIRWAN, 1996; FÜTTERER et al., 2014).

Portanto, o acidente Chernobyl evidenciou como a falta de capacitação, experiência e treinamento do trabalhador pode afetar perigosamente a operação de uma planta industrial. Não devemos ignorar falhas, por que a soma das falhas pode resultar em acidentes, no mínimo, fatais. Apesar do acidente Chernobyl ter motivado mudanças na segurança e procedimentos industriais, ainda hoje é possível ver as mesmas falhas apresentadas nesse terrível acidente em plantas industriais, que precisam ser analisadas para serem evitadas.

c) Na manutenção industrial petroquímica

A *Human Reliability Analysis (HRA)* é muito mais recente na manutenção industrial. Na literatura brasileira, os fatores humanos estudados na indústria petroquímica são poucos (ANTONOVSKY; POLLOCK; STRAKER, 2014).

Noroozi et al. (2014) define que os procedimentos realizados na remoção de um equipamento danificado durante um serviço compõem as pré-manutenções; e os realizados na montagem de um equipamento restaurado, recolocando-o em serviço, compõem as pós-manutenções. No estudo de Noroozi et al. (2014), uma bomba é usada como um *setup* experimental para os testes. Tanto a pré-manutenções como as pós-manutenção são compostas por diversas subtarefas. Usa-se a técnica HEART para a avaliação da HEP de cada tarefa, e das suas subtarefas. O risco global de ocorrência de um erro humano é identificado para cada atividade, integrando-se a HEP e a gravidade das consequências da ocorrência desse erro humano. Se o risco de uma atividade é muito alto, são estabelecidas medidas de redução de risco.

A utilização de componentes redundantes, de operadores experientes, do agendamento de manutenção para redução de tempos e da identificação dos eventos emergenciais com antecedência são ações corretivas úteis para as atividades estabelecidas no experimento, tais como: fechamento de válvulas abertas, preenchimento de bombas com o fluido de trabalho, teste de existência de vazamentos, etc. Como resultado do experimento, sugeriu-se a otimização e a utilização de alguns equipamentos e dispositivos, além da contratação de operadores mais experientes, ou a melhora do nível de formação dos operadores, principalmente para as tarefas críticas (NOROOZI et al., 2014).

Os procedimentos para a remoção de equipamentos industriais de processo em serviço (pré-manutenção) e montagem do equipamento de volta ao serviço

(pós-manutenção) também são considerados para possíveis cenários de falha (CALIXTO et al., 2013). Utilizando-se o método SLIM, para cada cenário e para cada atividade, é calculada a probabilidade de erro humano. A avaliação do risco é conduzida para cada componente e o risco global é estimado pela adição de riscos individuais (CALIXTO et al., 2013).

O estudo realizado por Noroozi et al. (2013) visa tornar evidente a alta importância em se considerar o erro humano nas análises quantitativas de risco. A metodologia foi desenvolvida e aplicada em um estudo de caso sobre uma instalação *off-shore*. O objetivo era investigar o papel do erro humano em procedimentos de manutenção em instalações de processo, utilizando-se o diagrama de árvore de eventos. Utilizando-se o método SLIM, após a probabilidade de erro humano ser estimada, o resultado é acoplado com as barreiras de segurança existentes em uma árvore de eventos, estimando-se as probabilidades de resultados potenciais provenientes de um erro humano.

Como resultado, a função de probabilidade de erro humano na análise do risco, a confiabilidade e a segurança geral de um sistema podem ser cabalmente investigadas. Os resultados mostram que, ignorar o erro humano na análise de risco quantitativo nos procedimentos de manutenção, pode resultar em uma diferença notável na quantidade da previsão do risco (NOROOZI et al., 2013).

Antonovsky, Pollock e Straker (2014) investigam os fatores humanos que contribuem para melhorar a nossa compreensão dos fatores humanos na confiabilidade e quais os fatores são específicos a esse domínio. Em uma empresa de petróleo, foram realizadas análises detalhadas de fracassos, ou falhas, relacionados à manutenção, utilizando-se entrevistas estruturadas com 38 técnicos de manutenção. A estrutura da entrevista aplicada esta baseada na ferramenta *Human Factor Investigation Tool* (HFIT), que por sua vez esta baseado no modelo de defeito humano de Rasmussen (RASMUSSEN, 1997). Para determinar quais dos 27 principais fatores identificados estariam relacionados aos erros de ação, o instrumento faz uso de um formato de entrevista guiada. A percepção da situação e as ameaças organizacionais também contribuem para um evento adverso. A HFIT se baseia em uma série de perguntas que determinam se um fator contribuiu ou não para o fracasso que está sob investigação. Considera-se necessária a modificação da ferramenta para melhorar a consistência dos resultados, evitando-se as falhas na avaliação e aumentando a aplicabilidade das propostas apresentadas no contexto da pesquisa de Antonovsky, Pollock e Straker (2014). O HFIT provou ser um instrumento útil para a identificação do padrão de fatores humanos que recorreram mais frequentemente em falhas associadas à manutenção (ANTONOVSKY; POLLOCK; STRAKER, 2014).

Tendo-se em vista a alta frequência de falhas humanas atribuídas aos acidentes nas indústrias, para atenuar estas falhas, evitando-se a ocorrência desses acidentes, torna-se necessário e importante o estudo de novas técnicas e o aprimoramento das técnicas já disponíveis [Antonovsky, Pollock e Straker \(2014\)](#).

2.3 Falhas relacionadas a fatores humanos na manutenção

Em uma análise dos dados dos últimos 30 anos, demonstra-se que, nos sistemas aeroespaciais, de 50 a 70 % dos erros cometidos, a causa raiz é decorrente de uma falha creditada ao homem ([PATÉ-CORNELL; MURPHY, 1996](#)). De uma forma geral, pode-se dizer que 90 % de todas as falhas em equipamentos podem ser atribuídas a um erro humano ([PATÉ-CORNELL; MURPHY, 1996](#)). Em qualquer análise, ao não levar em consideração a probabilidade de uma falha humana, faremos com que a eficiência de um sistema utilizado para análise seja reduzida em pelo menos 50 % ([PATÉ-CORNELL; MURPHY, 1996](#)). A detecção de falhas em um ambiente de manutenção, onde os fatores humanos devem ser levados em conta, resulta no aumento da segurança, da confiabilidade, da eficiência e da qualidade de desempenho no trabalho ([PATÉ-CORNELL; MURPHY, 1996](#)). Seguem os registros de algumas causas das falhas recorrentes em atividades realizadas pelo ser humano.

- Cultura organizacional:

Fatores culturais claramente tendem a descrever o aspecto coletivo em vez do individual. Muitas vezes, uma organização pode ser excessivamente burocrática e resistente em sua resposta à mudança, e não reconhece que isso é um problema. No entanto, é amplamente reconhecido que para desencadear os eventos de falhas não identificadas, os fatores mais significativos são os atribuídos ao comportamento humano e aos conjuntos de habilidades e a comunicação entre técnicos, engenheiros de uma organização e da gestão ([KHAN et al., 2014](#)). Geralmente, não há nenhuma capacitação dos funcionários, ou incentivos para se identificar as causas das falhas. Em outras palavras, os comportamentos errados são subliminarmente autorizados, crescem e criam raízes. A organização pode influenciar o estado do indivíduo (por exemplo, as políticas de seleção, rastreamento, formação e carga de trabalho), ou seja, são potenciais para afetar a uma situação (por exemplo: informações, procedimentos, estrutura organizacional e cultura); qualquer dessas influências podem afetar a ação de um indivíduo e, portanto, têm um efeito global sobre o risco do sistema ([KHAN et al., 2014](#)).

- Falha na comunicação ([BENIAMINY; JOSEPH, 2002](#)):

Em nível pessoal, a falta de comunicação acontece com uma maior frequência entre o pessoal da manutenção, por ocasião da troca de turno. A má comunicação pode causar uma mudança no diagnóstico de um problema. Do mesmo modo, a falta de comunicação entre especialistas de uma organização pode provocar que a informação vital não seja repassada para ajudar na tomada de decisão, ou não seja repassada de uma maneira eficiente.

- Não seguir o processo ou procedimento correto (BROMBACHER et al., 2005):

Alguns técnicos podem ser reconhecidos por seus atalhos, já que eles “sabem melhor”, ou por eles realizarem um serviço de outra maneira. Há uma necessidade imperiosa do equipamento retornar ao serviço, rapidamente. A disponibilidade dos equipamentos para a operação fornece uma pressão esmagadora sobre as ações de diagnóstico e da manutenção. Muitas vezes, essas pressões operacionais limitam o tempo disponível para que o técnico solucione os problemas de manutenção, e, provavelmente, são as principais razões para determinados comportamentos.

- Comportamento dos Trabalhadores (JAMES et al., 2003):

Dentre os comportamentos da força de trabalho, predomina-se o comportamento de dependência às habitualidades, manifestando-se por declarações como “sempre fizemos isso dessa maneira e isso sempre funciona”. As pessoas são relutantes em admitir o seu comportamento, procedimentos e cultura como parte do problema.

- O treinamento inadequado ou a falta capacitação (MAUBORGNE et al., 2016):

O treinamento precisa ser eficiente para tornar o trabalhador competente em realizar diagnósticos complicados. O treinamento, também, é uma forma de comunicação da organização com o trabalhador, pois define como a organização deseja que o trabalhador realize a sua função. Portanto, Rouse e Cody (1988) identificaram quatro abordagens de treinamento para realizar as estratégias de resolução de problemas pelos operadores, identificando-se e corrigindo as falhas de um sistema:

1. Instrução da teoria; explicando-se o funcionamento do sistema, ou tarefa.
2. Exercícios práticos da solução dos problemas.
3. Orientação para o uso dos conhecimentos de um sistema, ou seja, onde encontrar a informação, quais manuais usar e como usá-los.
4. Orientação para o uso de algoritmos ou regras. É melhor para os mantenedores formar um modelo mental de uma estrutura funcional global de um sistema, entendendo as suas contingências e interações, em vez de acumular os conhecimentos compartimentados.

- Compartilhamento de informações:

É preciso haver uma cultura e compromisso com o intercâmbio de conhecimentos entre designers, fabricantes, fornecedores e operadores de um serviço e/ou processo. Isso pode ser mais fácil dizer do que fazer, mas, o executante precisa de um sistema para compartilhar informações adequadas entre todas as partes, permitindo uma rápida e efetiva transferência ou compartilhamento de conhecimento. [Soderholm \(2007\)](#) aponta que pode haver uma série de possíveis deficiências na utilização dos manuais como um meio para a partilha de informações, incluindo a falta de exatidão ou completude, e a falta de facilidade no seu uso. Isso, muitas vezes, pode se manifestar por uma falta de orientação específica do fabricante. Pode ser que uma falha particular seja notada ou um determinado procedimento está sendo melhorado pelo fabricante, e esta informação, ou melhor, a solução não está sendo comunicada ao cliente ([KHAN et al., 2014](#)).

- A relutância em mudar:

Muitas vezes, uma organização não vai mudar porque em sua opinião, a organização não é o problema. As soluções que são susceptíveis de ser prejudicial são um desafio para as habilidades técnicas do funcionário, mas as mudanças são sempre rejeitadas. ([ALVARENGA; MELO; FONSECA, 2014](#))

- Dados históricos inadequados:

É essencial que o histórico das falhas em um equipamento seja registrado e esteja acessível. Muitas vezes, o técnico não tem acesso a história do equipamento, podendo olhar para uma ocorrência passada de uma mesma falha, não percebendo que ela está se repetindo ([ALVARENGA; MELO; FONSECA, 2014](#)).

[Leveson \(2004\)](#) identifica as seguintes causas de acidentes:

- Ações de controle que exercem coerção inadequada e estão relacionada com as restrições;
- Ações de controle inadequadas, ineficientes ou não existentes para os riscos identificados;
- Falhas no processo de criação/design;
- Modificações incorretas ou adaptações em equipamentos, sistemas e procedimentos;
- Falhas no processo de atualização;
- Atrasos no tempo de resposta às irregularidades.

De acordo com [Dhillon e Liu \(2006\)](#), os fatores de projeto, incluindo-se as questões que envolvem os equipamentos e a manutenção; as dificuldades enfrentadas pelos trabalhadores, tais como: as ferramentas impróprias para o trabalho e a fadiga sobre os trabalhadores estressados; e os fatores ambientais, tais como: a umidade, a iluminação e a temperatura; são as principais razões para a ocorrência de um erro na execução dos procedimentos de manutenção.

Também contribuem para um elevado número de erros na manutenção: a formação inadequada do executante, o uso de manuais de manutenção desatualizados e a falta de experiência do trabalhador. Existem alguns fatores que podem melhorar o ambiente de trabalho, tais como: proporcionar mais experiência ao executante, garantir a estabilidade emocional do executante e promover a contratação de trabalhadores que tenham uma maior aptidão para o ambiente de execução, resultando em uma menor fadiga, uma maior satisfação e um melhor trabalho em equipe ([NOROOZI et al., 2014](#)).

2.4 Modelos para aplicação de confiabilidade humana

O método [THERP](#) tem 50 anos de existência, e continua sendo o mais conhecido e amplamente utilizado na [HRA](#). Os fundamentos da análise de confiabilidade humana que estão presentes no [THERP](#) são: os eventos de falha humana, a análise de tarefas, os fatores que determinam o desempenho, as probabilidades de um erro humano, a dependência, as árvores de eventos ou árvores de falhas, a recuperação e os eventos de pré e pós-iniciação. Todos esses foram introduzidos no [THERP](#). Apesar do [THERP](#) está mostrando sinais de sua desatualização, em face de aplicações tecnológicas mais recentes, a longevidade desse método é um testemunho de sua enorme importância ([BORING, 2012](#)).

O *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* ([CREAM](#)) é um método representativo da segunda geração da [HRA](#), e pode ser usado tanto em análise retrospectiva quanto em análise prospectiva. Junto ao [CREAM](#), pode-se usar um fator que tem um efeito de contexto e o fator de *Common Performance Condition* ([CPC](#)). Em uma central nuclear, para proporcionar o uso de um processo simplificado desse método, foi desenvolvida uma fórmula de cálculo para a probabilidade de erro cognitivo, usada na avaliação da probabilidade de segurança ([HE et al., 2008](#)). Na área de computação, esse método ainda propõe algum desenvolvimento em relação a um procedimento sistemático de cálculo para a probabilidades de falha. O [CREAM](#) que pode ser ainda mais alargado para incluir a incerteza sobre a qualificação das condições sob as quais a ação é executada, e os efeitos das [CPCs](#) sobre a confiabilidade de desempenho não podem ser todos iguais ([MARSEGUERRA; ZIO; LIBRIZZI, 2006](#)).

A *Technique for Human Event Analysis* ([ATHEANA](#)) é uma técnica desenvolvida para a análise de erro humano que considera os erros de comissão, o erro de comunicação,

e os erros de omissão, de uma forma explícita. Também usa um método de quantificação aplicada para situações de interface homem-máquina. A [ATHEANA](#) é uma metodologia da segunda geração, que dirige um grupo multidisciplinar a usar as palavras de orientação para procurar os desvios, que são as variações aleatórias do contexto nominal, normalmente avaliados nos métodos de análise de confiabilidade humana ([RUIZ-SÁNCHEZ; NELSON, 2010](#)).

Os resultados são obtidos através de opiniões de especialistas, em conjunto com a teoria difusa. A escassez de dados é uma deficiência comum no domínio [HRA](#). A incerteza dos dados pode ser levada em conta, de uma forma muito convincente, usando-se a abordagem de variáveis linguísticas da teoria dos conjuntos *fuzzy* ([DOUGHERTY, 1998](#)).

Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis ([SPAR-H](#)) é um método de quantificação que não inclui uma descrição da coleta de dados qualitativos, nem a identificação de tarefas para uma [HRA](#). O [SPAR-H](#) é usado como o principal método para ajustar um contexto da indústria do petróleo. Também é utilizado na indústria nuclear para a quantificação da probabilidade de erro humano. Na Noruega, está sendo realizado um esforço conjunto entre a indústria e a academia para adaptar o [SPAR-H](#) a uma técnica [HRA](#) proveniente da indústria nuclear, configurando-se o [PetroHRA](#) destinado ao segmento de petróleo ([PAPER; LAURIDS; IDAHO, 2015; GERTMAN et al., 2005](#)).

O [SPAR-H](#) aborda a necessidade de um regulador para explicar os erros humanos quando é necessário: (a) a realização de estudos de segurança, tais como análise de risco probabilístico; (b) uma composição com o risco do processo de inspeção; (c) analisar questões específicas; e (d) a contribuição para o risco regulamentar ([MERWE et al., 2014](#)).

A abordagem do [SPAR-H](#) decompõe a probabilidade em contribuições de falhas de diagnóstico e de falhas de ação. Essa abordagem explica o contexto associado à eventos de uma falha humana, utilizando-se de fatores de desempenho de modelagem, e de dependência de atribuição, ajustando uma base de dados compondo a probabilidade de um erro humano. Orienta sobre como atribuir o valor apropriado do *Performance Shaping Factors* ([PSF](#)) e oferece um fator de ajuste para reduzir a contagem dupla de fatores compartilhados pela influência dos [PSFs](#) ([LAUMANN; RASMUSSEN, 2016; WHALEY et al., 2012](#)).

A Matriz de Habilidades ([MH](#)) ou Matriz de Competência ([MC](#)) é uma ferramenta, através da qual, as competências de uma pessoa são avaliadas. É usada como um meio, para definir as competências necessárias para uma determinada posição, bem como uma ferramenta para ajudar a identificar os indivíduos mais adequados para o trabalho. As habilidades se ligam a atributos relacionados não apenas ao saber-conhecer mas ao saber-fazer, saber-conviver e ao saber-ser; as competências pressupõem operações mentais, capacidades para usar as habilidades, emprego de atitudes, adequadas à realização de tarefas e conhecimentos. A [MH](#) enfoca três aspectos dos perfis do colaborador, para determinadas funções, que são: funcional gerencial e comportamental ([FERNANDES et](#)

al., 2011).

- **Funcional:** Refere-se as competências técnicas ou habilidades que seriam necessárias para que um profissional realize seu trabalho.
- **Gerencial:** Refere-se à habilidade de trabalhar produtivamente com outras pessoas. Isso inclui vários aspectos, tais como, gestão do tempo, tomada de decisões, comunicação e gestão de recursos.
- **Comportamental:** Refere-se ao interpessoal e às "pessoas" as habilidades de um indivíduo. Este o lugar onde as habilidades sociais no trabalho de uma pessoa são categorizados. Tais competências como liderança, trabalho em equipe, motivação, adaptabilidade, comunicação, iniciativa e dinamismo.

A **MH** é uma das responsáveis por reduzir desperdícios, aumentar o desempenho das equipes, aproveitar melhor o capital humano através do conhecimento de cada indivíduo. Como regra geral, a **MH** deve ser capaz de identificar as diversas competências de seus colaboradores (função operacional), das gerências (função tática), e alta administração (função estratégica). Uma **MC** pode ser personalizada, dependendo do tipo de organização ou empresa (**FERNANDES et al., 2011; GOMES; SACRAMENTO, 2013**). A flexibilidade da construção e aplicação da **MH**, a torna o método mais interessante a ser utilizado.

Portanto, a aplicação desses métodos tem como objetivo fornecer aos gestores a orientação que eles necessitam para gerir, com segurança, os sistemas complexos; procurando tornar a comunidade de gerenciamento plenamente consciente dos pressupostos implícitos na análise da confiabilidade humana, e as suas limitações (**FRENCH et al., 2011**)

A análise das falhas e dos métodos para minimizá-las, contribuem para a fundamentação teórica e para o embasamento na escolha do método a ser aplicado no estudo de caso.

3 Ferramenta gerencial aplicada à manutenção considerando os fatores humanos. Um estudo de caso

3.1 Introdução

Para alcançar o objetivo geral dessa dissertação, é importante estabelecer como os fatores humanos influenciam a manutenção industrial. Portanto, esse capítulo se insere fazendo uma análise de uma ferramenta gerencial implementada nos serviços de manutenção realizados em uma oficina mecânica industrial, atendo-se aos serviços de bombas centrífugas. A ferramenta gerencial [MH](#) abrange três aspectos dos fatores humanos: **características da tarefa**, **característica pessoal** e **o aspecto organizacional**.

A confiabilidade dos equipamentos e serviços são conceitos cada vez mais presentes e caracterizam os indicadores de desempenho da equipe, cronograma e estratégia da manutenção.

Diante da atual competitividade no setor industrial e da importância da manutenção como uma das atividades fundamentais do setor produtivo, surge a necessidade de uma abordagem estratégica e proativa no planejamento, na programação e na execução das atividades de manutenção. Com o aumento dessa competitividade global, a redução de custos de produção é fator primordial para a viabilização do negócio, assim a manutenção adquire valor estratégico. Reduzir custos passa diretamente por aumentar a eficácia, ou seja, atingir o objetivo final usando um método que exija menos recursos financeiros, tempo e energia.

Segundo [Oliveira e Silva \(2013\)](#), hoje a manutenção não significa mais consertar um equipamento com defeito ou irregularidades, mas sim garantir a disponibilidade dos equipamentos, com confiabilidade e segurança, minimizando os custos. Conforme [Seixas \(2011\)](#), as atividades da manutenção industrial englobam a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou restabelecer um item para um estado no qual possa desempenhar sua função requerida.

As consequências da baixa confiabilidade em operações de manutenção podem ser tão simples como a produção atrasada ou tão graves como a perda de muitas vidas. A alta frequência de falhas atribuídas ao homem é expressiva ([ANTONOVSKY; POLLOCK; STRAKER, 2014](#)), no entanto, as investigações de falhas ligadas a fatores humanos nas áreas da aviação e da indústria de energia nuclear, são as mais meticulosas. Na literatura brasileira, os fatores humanos abordados na indústria petroquímica são pouco estudados,

o que torna relevante o objetivo desse capítulo na compreensão do cenário atual e futuro dessa abordagem.

A ferramenta gerencial, aplicada nesse caso em estudo, nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2014, tem sua implementação focada na avaliação da influência dos fatores humanos nos serviços de manutenção executados, principalmente sobre três aspectos:

- a natureza da tarefa e sua adequação as condições de execução pelo técnico.
- a avaliação do nível de qualificação técnica do indivíduo em cada uma das competências necessárias à execução.
- a comunicação entre a empresa e seu corpo técnico através das instruções de serviços e formulários de avaliação.

[Antonovsky, Pollock e Straker \(2014\)](#) investigam os fatores humanos contribuintes para melhorar a compreensão dos mesmos. Em seu trabalho, eles destacam a alta frequência de falhas atribuídas a problemas de comunicação organizacional com o pessoal de manutenção, destacando os procedimentos técnicos como sendo uma forma específica de comunicação organizacional e uma base para o sucesso ou o fracasso das atividades realizadas. A comunicação está também destacada por [Dhillon \(2009\)](#) como um dos fatores institucionais que levam ao aumento do número de erros em serviços de manutenção.

Existem, na literatura, diversas técnicas para a quantificação da influência do fator humano sobre os serviços de manutenção e para a predição probabilística de ocorrência de erros. Algumas das principais técnicas são detalhadas no trabalho de [Filho \(2014\)](#). [Noroozi et al. \(2013\)](#) chama a atenção para o monitoramento dessa probabilidade de erro, para seu efeito sobre a falha do sistema, e os meios para gerir e reduzir a falha.

3.2 Objetivos do capítulo

Esse capítulo apresenta uma metodologia para análise e atuação quando evidenciado um problema de número excessivo de ocorrências de retrabalhos e evidenciar a influência do fator humano na composição do indicador de retrabalho na atividade de manutenção. Foram objeto desse estudo os casos de retrabalho para os serviços realizados em bombas centrífugas, reparadas na oficina de uma indústria do ramo petroquímico.

Definimos o retrabalho quando um equipamento que sofreu manutenção apresenta problemas, ou perda de suas funções, em um prazo menor do que 30 dias. Para diminuir o indicador de manutenção intimamente ligado a ocorrência de erro humano, que é o número de retrabalhos, foram realizadas análises estatísticas, quantificação e caracterização das causas raízes das falhas ocorridas após serviços de manutenção.

Analisaremos o efeito da ferramenta gerencial, [MH](#), na melhoria da qualidade e produtividade dos serviços de manutenção.

3.3 Metodologia

A pesquisa é aplicada, pois tem a finalidade de ajudar a resolver problemas no ambiente da manutenção industrial, para dar suporte às atividades de manutenção preventiva. Quanto aos meios de investigação, classifica-se esta pesquisa como de campo, por ser realizada no local onde ocorreu o fenômeno ou problema, dispondo de elementos para explicá-lo.

A empresa estudada durante os anos de 2013 e 2014, possui uma equipe de manutenção composta de um (1) engenheiro líder, três (3) técnicos de manutenção, seis (6) supervisores e quarenta e seis (46) profissionais de mecânica e usinagem, que são responsáveis por dar manutenção em torno de 1200 equipamentos por ano das famílias de bombas centrífugas horizontais e verticais (simples estágios, multiestágios e tipo barrel), turbinas a vapor de pequeno e grande porte, compressores centrífugos e alternativos, redutores, entre outros. Dentre os 1200 equipamento, 960 são bombas centrífugas.

O elevado número de retrabalhos nos equipamentos dinâmicos, e conseqüentemente, uma insatisfação do cliente no período analisado, evidenciou-se com um alerta para que houvesse uma decisão gerencial de estruturar, de forma estratégica, uma ferramenta que garantisse a redução do número de retrabalho.

Foram realizadas análises estatísticas, quantificação e caracterização das causas raízes das falhas ocorridas após serviços de manutenção. Na análise dos casos foram aplicadas ferramentas adequadas para a caracterização dos fatores humanos, levando-se em conta três pontos: a característica da tarefa, as características pessoais e os aspectos organizacionais.

Em janeiro de 2014 foi aplicada uma ferramenta gerencial que chama atenção para as características das tarefas, listando as ações necessárias para cada etapa da atividade de intervenção no equipamento, quantificando-as e gerando, ao final do processo, um valor de confiabilidade para cada serviço realizado. Após a aplicação das ferramentas, realiza-se uma avaliação do seu efeito sobre indicador: Índice de Retrabalho ([IR](#)).

3.3.1 Coleta de dados

Com a intenção de garantir a melhoria do [IR](#), foi realizada uma pesquisa minuciosa nas Ordens de Manutenção ([OMs](#)) de retrabalho, indicadas pela empresa onde são executadas as manutenções, do ano de 2013 para comparação com os dados do ano de 2014.

A escolha dos indicadores para o monitoramento de resultados é de extrema importância para tomada de decisões. O indicador utilizado foi o número de retrabalhos obtido através de uma pesquisa das OMs executadas. Os dados foram obtidos através das OMs de retrabalho (Tabela 1) que são identificadas na sua abertura com o nome retrabalho, diferenciando-as das OMs de serviços normais. Na Tabela 2, observa-se o detalhamento das falhas ocorridas, quantas vezes elas ocorreram e a quantidade de Homem hora (H/h) que foi utilizada para corrigir o problema.

Tabela 1 – Amostragem de H/h atribuídas a Ordem de Manutenção de retrabalho em 2013

MESES	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
	17	106	40	66	67	18	128	27
	17	17	44	50	16	58	16	68
	53		30	80	134	36	4	
	39		2	42	68	8	24	
	97		22	9	34	25	32	
			74	24	86	52	20	
			42	104	69	48	16	
				32	58	80	72	
					28	32	24	
					34	128		
					20	8		
					59			
TOTAL	5	2	7	8	12	11	9	2

Fonte: Produzido pelo autor.

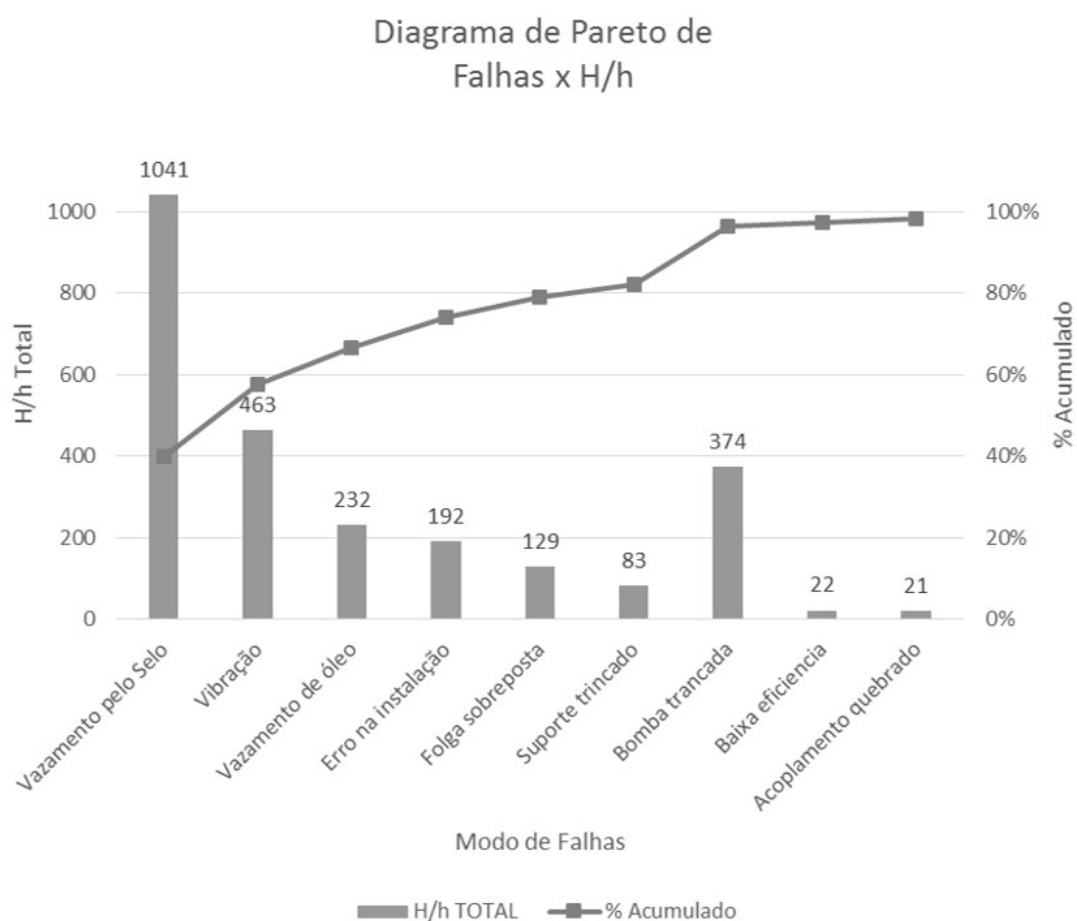
Tabela 2 – Relação entre falhas, ocorrência e H/h.

FALHA	OCORRENCIA	H/h TOTAL	% OCORRENCIAS	% H/h	% Acumulado	H/h Acumulado
Vazamento pelo Selo	23	1041	41%	40%	40%	1041
Vibração	9	463	16%	18%	58%	1504
Vazamento de óleo	6	232	11%	9%	67%	1736
Erro na instalação	4	192	7%	7%	74%	1928
Folga sobreposta	3	129	5%	5%	79%	2057
Suporte trincado	3	83	5%	3%	82%	2140
Bomba trancada	2	374	4%	14%	96%	2514
Baixa eficiência	2	22	4%	1%	97%	2536
Acoplamento quebrado	2	21	4%	1%	98%	2557
Outros	2	50	4%	2%	100%	2607
TOTAL	56	2607	100%	100%		

Fonte: Produzido pelo autor.

O vazamento pelo selo, geralmente, acontece pela montagem incorreta realizada pelo executante do serviço. As análises das falhas registradas (Tabela 1 e Tabela 2) revelam que

Figura 3 – Diagrama de Pareto de falhas x H/h



Fonte: Produzido pelo autor.

as origens dos retrabalhos estão relacionadas principalmente, com a falta de capacitação técnica do executante que realiza uma determinada atividade e/ou, a falta de conhecimento do supervisor acerca das condições de capacitação da sua equipe. Somente o vazamento pelo selo totalizou 41% das ocorrências de falhas, somando os meses de janeiro a agosto do ano de 2013.

O diagrama de Pareto, representado na [Figura 3](#) mostra as três falhas mais recorrentes na manutenção de bombas centrífugas:

- Vazamento pelo selo.
- Vibração.
- Vazamento de óleo .

3.3.2 Aplicação da matriz de habilidades

A **MH** é uma ferramenta onde são avaliadas as habilidades necessárias para realizar determinada atividade de uma pessoa, bem como uma ferramenta para ajudar a identificar os indivíduos mais adequados para o trabalho. Uma **MH** caracteriza a competência do corpo técnico responsável pela execução dos serviços. A **MH** possibilita a elaboração de um plano de treinamento direcionado à melhoria da qualificação desses profissionais, levando em conta os aspectos específicos de cada atividade.

Geralmente, essa ferramenta, enfoca três aspectos do perfil dos colaboradores para determinadas funções, que são: funcional, gerencial e comportamental, com o objetivo de uma avaliação mais detalhada do profissional. A **Tabela 3** apresenta algumas atividades relacionadas à **MH**, aplicada nesse estudo de caso, dentro dos perfis funcional, gerencial. No entanto, as atividades do perfil comportamental do funcionário devem ser avaliadas e definidas por um psicólogo organizacional. Com a **MH** a empresa pretende fazer um estudo estratégico de seus funcionários, afim de atender as necessidades de maneira específica e individual (**FERNANDES et al., 2011**).

Tabela 3 – Exemplo de atividades divididas entre os perfis do indivíduo.

Funcional	Gerencial
Manuais	Assiduidade
Metrologia	Pontualidade - início e fim de expediente
Desenho técnico	Pontualidade - Hora do almoço
Mecânica Básica	Ritmo de trabalho nas atividades - tempo de resposta
Selo Mecânico	Qualidade do trabalho realizado - Resserviço
Alinhamento	
Acoplamento	
Ferramentas	

Fonte: Produzido pelo autor.

3.3.3 Detalhamento das etapas

Com a **MH** pode-se avaliar a natureza das tarefas relacionadas aos serviços de manutenção, as características pessoais, ou seja, o nível de capacitação técnica do trabalhador e a forma de comunicação entre a empresa e o trabalhador. A construção e avaliação da **MH** é realizada através de seis etapas.

A primeira etapa a fazer para a realização da **MH** consiste em levantar as competências e capacitação (habilidades) necessárias para se executar todas as atividades dos serviços de manutenção da planta de produção do cliente, com qualidade e produtividade. Com o conhecimento das competências necessárias para execução das atividades a serem

desenvolvidas, a **MH** é expressa em uma planilha customizada, onde é possível visualizar as competências técnicas necessárias para executar a manutenção dos ativos do cliente. Nessa fase são estudadas as Instruções Técnicas (**ITs**) de cada atividade exigida nos serviços de manutenção. O uso das instruções técnicas é a forma como a empresa se comunica com seus funcionários, padronizando como devem ser feitos os serviços de manutenção prestados pela empresa. Há também a descrição de todas as atividades relacionadas com o serviço prestado.

Na segunda etapa é feito o levantamento das habilidades individuais de cada membro da equipe, através de entrevista técnica individual executada pelo supervisor da equipe com base nas competências indicadas pela Matriz de Habilidades. As entrevistas foram realizadas nos meses de novembro e dezembro do ano de 2013. Com os dados identificados de competências e habilidades, é possível identificar na **MH** os pontos fortes e fracos individualmente de cada membro da equipe. Os funcionários são pontuados com notas 1 (ruim), 2 (regular) e 3 (bom), para cada habilidade. A média das habilidades gera uma nota, em percentual, para cada competência. A nota na competência C_1 (**Tabela 4**) é calculado pela **Equação 3.1**.

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} a_i}{k \cdot n_h} \cdot 100 \quad (3.1)$$

onde n_h é a n -ésima habilidade listada na tabela **Tabela 4**, a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da habilidade, neste caso, $k = 3$. A **Tabela 4**, apresenta o perfil funcional de um trabalhador. Observamos que o “Funcionário X” recebeu notas de 1 a 3 em suas habilidades dentro da competência “Metrologia, Desenho técnico e Mecânica Básica”, gerando uma nota percentual $C_1=79\%$ nessa competência.

Com esses dados, é possível desenvolver um plano de treinamento dinâmico direcionado à melhorar a qualificação técnica e motivacional da equipe de manutenção (**GOMES; SACRAMENTO, 2013**). Portanto, nessa segunda fase o supervisor (ou Líder) deve fazer uma entrevista individual com todos os seus subordinados, identificando os pontos fortes e fracos de cada membro da equipe, pontuando-os na **MH**, isso auxiliará o líder a conhecer melhor cada um dos seus subordinados. Em contrapartida, os subordinados passam a conhecer, através da **MH**, as competências requeridas pela empresa e passam a conhecer quais as competências que eles possuem e quais as competências que eles precisam adquirir.

Na terceira etapa, o supervisor (ou líder) deve utilizar a **MH** para estabelecer uma meta de qualificação técnica (habilidades) para o seu subordinado, com o objetivo de que se busque o crescimento pessoal do trabalhador afim de atender melhor às necessidades do cliente (maior produtividade sem retrabalho).

Tabela 4 – Pontuação de habilidades e competências.

COMPETÊNCIA	HABILIDADES	TOTAL	funcionário X
Metrologia, Desenho técnico e Mecânica básica.	Conhecimento em Paquímetro	1	3
	Conhecimento em Micrômetro	1	3
	Conhecimento em Relógio Comparador	1	3
	Conhecimento em Desenho mecânico (Vistas e perspectivas)	1	2
	Conhecimento em ajustes e tolerâncias	1	2
	Conhecimento em lubrificação	1	2
	Conhecimentos básicos em vibração e balanceamento	1	1
	Conhecimento em materiais metálicos e não metálicos, podendo identificar e aplicar de acordo com suas propriedades e especificações.	1	3
Total		8	19
	NÍVEL DE PROFICIÊNCIA NA COMPETÊNCIA	PR%	79%

Fonte: Produzido pelo autor.

Na quarta etapa, o supervisor (ou líder) deve elaborar um plano de treinamento direcionado a atender as deficiências dos seus subordinados, indicadas pela MH. Essa também é uma etapa onde podemos notar a comunicação entre a empresa e o seu corpo técnico, porque, é no treinamento que o funcionário aprenderá as normas e diretrizes da empresa. Ele passará a conhecer bem as ITs, que mostram as características das tarefas que serão executadas nos serviços de manutenção prestados pela empresa. Na Tabela 5, nós observamos uma situação modelo para dois funcionários. Na habilidade “Comportamento proativo”, um funcionário obteve nota 1 (ruim), sendo classificado no Nível 1; um funcionário ficou com nota 2 (regular), sendo classificado no Nível 2; assim os dois funcionários, que não obtiveram a nota máxima, precisarão de treinamento. O funcionário que obtiver nota 3 (bom) não necessitará de treinamento imediato nessa habilidade, devendo participar de uma reciclagem posteriormente, já que foi classificado no Nível 3.

Na quinta etapa deve-se estabelecer a sistemática de acompanhamento do desempenho de cada membro da equipe, através dos índices de retrabalho e produtividade, com o objetivo de dar *feedback* do seu desempenho para o subordinado. A Tabela 6 apresenta o perfil gerencial do trabalhador. Nessa tabela, logo acima do número de matrícula fictício, apresenta-se a média percentual individual do trabalhador. Em uma coluna específica, está registrada a média do grupo. Através do conhecimento dessas médias, pode-se acompanhar o desempenho do trabalhador, tanto como indivíduo, como coletivamente.

Como sexta e última etapa, deve se estabelecer uma sistemática de entrevista de avaliação semestral para cada membro da equipe, com o objetivo de atualizar os níveis de

Tabela 5 – Quantificação de funcionários para treinamento.

COMPETÊNCIA	HABILIDADES	TOTAL	1	18	Média do grupo			
			83.8%	79.7%	68.7%			
			funcionário I	funcionário II	Qtd. Nível I	Qtd. Nível II	Pessoas a treinar	Qtd. Nível III
POSTURA PROFISIONAL	Comportamento Proativo	1	1	1	2	0	2	0
	Relacionamento interpessoal com colegas e lideres	1	3	2		1	1	1
	Disponibilidade para trabalhar fora do horário de ADM	1	3	1	1		1	1

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 6 – Média geral de desempenho individual e coletivo.

COMPETÊNCIA	HABILIDADES	TOTAL	1	18	Média do grupo			
			83.8%	79.7%	68.7%			
			Nº MAT. 1401	Nº MAT. 1418	Qtd. Nível I	Qtd. Nível II	Pessoas a treinar	Qtd. Nível III
PRODUTIVIDADE	Assiduidade	1	3	3		3	3	38
	Pontualidade - Início e fim do expediente	1	3	3		5	5	36
	Pontualidade - Hora do almoço	1	3	3		4	4	37
	Ritmo de trabalho nas atividades afins - tempo de resposta	1	3	3		3	3	38
	Qualidade do trabalho realizado - Resserviço	1	3	3		2	2	39

Fonte: Produzido pelo autor.

competências do subordinado e da equipe na [MH](#). Portanto, as qualificações técnicas do indivíduo atenderão as competências necessárias à execução dos serviços prestados pela empresa.

Através de uma visualização dos perfis funcional, gerencial e comportamental, e de uma forma reduzida na quantidade de funcionários, a [Tabela 7](#) apresenta a [MH](#).

Tabela 7 – Exemplo da MH

COMPETÊNCIA	HABILIDADES	TOTAL	1	18	32	39	Média do grupo		
			89,5% N° MAT. 1401	89,3% N° MAT. 1418	89,3% N° MAT. 1432	69,5% N° MAT. 1439	Qtd. Nivel I	Qtd. Nivel II	Qtd. Nivel III
POSTURA PROFISIONAL	Comportamento Proativo	1	3	3	3	3	3	3	38
	Relacionamento interpessoal com colegas e líderes	1	3	3	3	3	4	4	37
	Disponibilidade para trabalhar fora do horário administrativo	1	3	3	3	3	4	4	37
Total	NIVEL DE PROFICIÊNCIA NA COMPETENCIA	3	3	3	3	3	1	1	40
	1	PR%	100%	100%	100%	100%			
PRODUTIVIDADE	Assiduidade	1	3	3	3	3	3	3	38
	Pontualidade - Início e fim do expediente	1	3	3	3	3	5	5	36
	Pontualidade - Hora do almoço	1	3	3	3	3	4	4	37
	Ritmo de trabalho nas atividades afins - tempo de resposta	1	3	3	3	3	3	3	38
	Qualidade do trabalho realizado - Reserviço	1	3	3	3	3	2	2	39
Total	NIVEL DE PROFICIÊNCIA NA COMPETENCIA	5	3	3	3	3	2	2	39
	1	PR%	100%	100%	100%	100%			
METROLOGIA	Conhecimento em Paquímetro	1	3	3	3	3	1	1	40
	Conhecimento em Micrômetro	1	3	3	3	2	8	8	33
	Conhecimento em Relógio Comparador	1	3	3	3	3	7	7	34
	Conhecimento em Desenho mecânico (Vistas e perspectivas)	1	2	2	2	2	1	24	25
	Conhecimento em ajustes e tolerâncias	1	2	3	3	3	1	2	24
DESENHO TÉCNICO	Conhecimento em lubrificação	1	2	3	3	2	1	19	20
	Conhecimentos básicos em vibração e balanceamento	1	1	1	1	1	41	41	21
	Conhecimento em materiais metálicos e não metálicos, podendo identificar e aplicar de acordo com suas propriedades e especificações.	1	3	2	2	1	4	30	34
Total	NIVEL DE PROFICIÊNCIA NA COMPETENCIA	8	2	3	3	2	1	25	16
	1	PR%	72%	78%	78%	53%			
MANCAIS	Identificação dos tipos de rolamentos e interpretação de designações	1	3	3	3	1	4	20	24
	Manutenção e inspeção de mancais de rolamento (Desmontagem, inspeção visual, controle de folgas e montagem).	1	3	3	3	1	4	13	17
	Manutenção e inspeção de mancais de deslizamento (Desmontagem, inspeção visual, dimensional e montagem)	1	3	3	3	1	8	24	32
	Conhecimento do PO-009-9999.005 (MONTAGEM DE MANCAIS DE ROLAMENTO)	1	2	3	1	1	14	17	31
	Conhecimento do PO-009-9999.005 (MONTAGEM DE MANCAIS DE BULÃO)	1	2	2	1	1	16	23	39
MANCAIS	Vedadores de mancais (Labirintos e Retenores) - Desmontar, inspecionar, ajustar e montar.	1	3	3	3	1	5	14	19
	Protetores de mancais - Tipo e características, cuidados no manuseio e montagem.	1	3	3	3	1	6	15	21
	Total	NIVEL DE PROFICIÊNCIA NA COMPETENCIA	7	3	3	3	1	5	13
	1	PR%	86%	79%	79%	25%			

Fonte: Produzido pelo autor.

3.4 Resultados obtidos

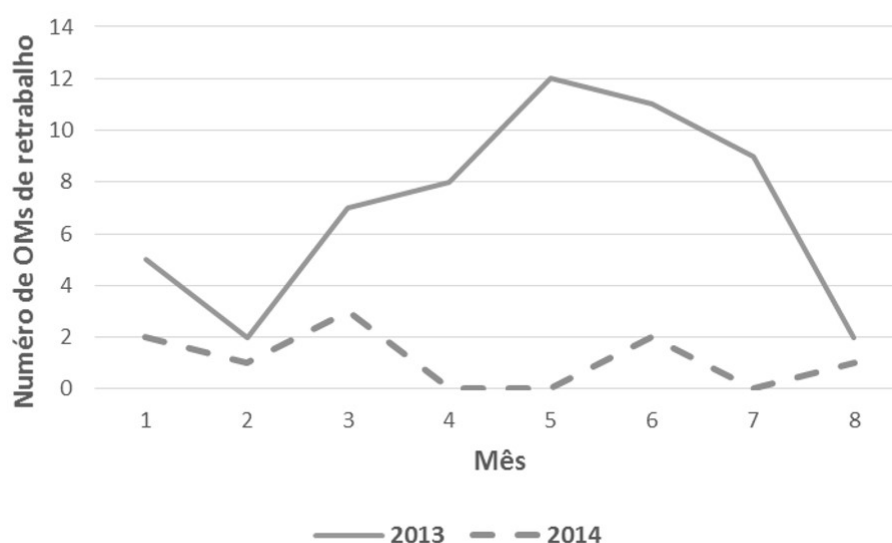
Os procedimentos, descritos na [seção 3.3](#), serviram de auxílio à empresa, como ferramenta para a redução dos custos de manutenção e aumento da disponibilidade e confiabilidade de seus equipamentos, conforme pode ser observado pela comparação dos dados apresentados pelas [Tabela 8](#) e [Figura 4](#).

Tabela 8 – Número de OMs de retrabalho nos anos de 2013 e 2014.

	NÚMERO DE OMs								
	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	TOTAL
2013	5	2	7	8	12	11	9	2	56
2014	2	1	3	0	0	2	0	1	9

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 4 – Gráfico de comparação entre os anos 2013 e 2014



Fonte: Produzido pelo autor.

A metodologia foi aplicada nos serviços realizados nos meses de janeiro a dezembro do ano de 2014, alcançando muitos benefícios, tais como:

- Identificar as áreas em que a empresa tem necessidade de formação e aperfeiçoamento de seus recursos humanos.
- Permitir ao colaborador saber quais são as tarefas que ele está capacitado a realizar.

- Conhecer os objetivos da empresa para o colaborador saber o que mais precisa aprender.
- Identificar quem está mais bem qualificado para realizar uma determinada tarefa, otimizando o trabalho.
- Identificar quais tarefas que são altamente eficazes e quais precisam melhorar.
- Identificar distorções de função na equipe de manutenção.

Com esses benefícios adquiridos, os profissionais passaram a alcançar as competências técnicas exigidas para realizar, os serviços de manutenção em bombas centrífugas, serviços executados em oficina de uma indústria no ramo petroquímico.

Fez-se uma comparação entre os valores totais de retrabalho no ano de 2013 (56 OMs) com os valores totais de retrabalho no ano de 2014 (9 OMs), considerando-se os meses de janeiro a agosto. Através de uma avaliação percentual, tomando o valor de 56 OMs como total (100%), e realizando o cálculo de proporção direta verificamos que 9 OMs correspondem a 16,1% do valor total. Pode-se perceber, portanto, uma redução em 83,9% no número de OMs de retrabalhos, apenas referentes a bombas centrífugas, como vista na [Tabela 8](#) e na [Figura 4](#). Essa comparação foi realizada até os meses de agosto porque os dados dos meses de setembro a dezembro de 2013 não foram fornecidos pela empresa estudada até a data da conclusão do trabalho, apesar do compromisso da empresa em fornecer os dados.

O objetivo principal da aplicação da [MH](#) foi propor a redução do número de retrabalho, em serviços de manutenção de bombas centrífugas, através de uma ferramenta gerencial que aumenta a confiabilidade do serviço de manutenção. A redução do número de retrabalho foi em 83,9%, comparando os meses de janeiro até agosto entre 2013 e 2014, atingindo nosso objetivo de maneira satisfatória.

Portanto, devido a significativa redução do número de retrabalho, a [MH](#) mostra que os três aspectos do fator humano, as características da tarefa, a qualificação técnica do indivíduo e a comunicação entre a empresa e seu corpo técnico, estão intimamente relacionados com a qualidade da manutenção. A ferramenta foi adotada pela empresa nos serviços de manutenção.

Podemos concluir também, que a escolha do indicador para o monitoramento de resultados, o [IR](#), foi apropriada por retratar bem a influência do fator humano na manutenção.

No entanto, apesar do resultado alcançado, a [MH](#) não é suficiente para fazer uma avaliação estratégica de seus funcionários é necessário uma aplicação mais detalhada dos fatores humanos.

4 Relatório de Confiabilidade. Uma Ferramenta para Calcular o Índice de Confiabilidade Humana na Manutenção

4.1 Introdução

O [Capítulo 3](#) demonstra a avaliação do desempenho da Matriz de Habilidades (MH) sobre um número elevado de retrabalho existente em uma oficina, no entanto, conclui-se que a MH não é uma ferramenta completa, pois não trata das tarefas executadas com sucesso e, além disso, não considera as características pessoais do trabalhador.

Na indústria, os acidentes podem ser potencializados pelas falhas humanas ocorridas durante a manutenção ([HACKWORTH et al., 2007](#)). Para diminuir a falha humana na execução de atividades de manutenção, o uso combinado de estratégias gerenciais é eficaz apenas quando aplicadas com persistência e adotadas como uma cultura organizacional. As estratégias de análise de confiabilidade são necessárias devido à elevada ocorrência das falhas humanas, e pelo grande número de retrabalho existente na empresa estudada ([OTANI; MACHADO, 2008](#)).

Com o propósito de alcançar esse objetivo, o presente capítulo descreve o desenvolvimento de uma ferramenta gerencial que compreende uma aplicação mais detalhada dos fatores humanos e, que indica o índice de confiabilidade do serviço de manutenção realizado. A criação dessa ferramenta esta baseada em quatro fatores de avaliação, ligados aos fatores humanos: as tarefas executadas, os componentes utilizados, a dimensão/ajustes deixados e o trabalhador. Cada um desses quatro fatores gera um valor percentual de influência. A média deles irá gerar o índice de confiabilidade proposto. Essa ferramenta também possibilita a construção de um histórico de manutenção para o equipamento, permitindo um maior controle na tomada de decisão acerca da realização de outras intervenções no equipamento. A proposta dessa nova ferramenta, tem como base a ferramenta aplicada no [Capítulo 3](#), a MH ([FERNANDES et al., 2011](#); [GOMES; SACRAMENTO, 2013](#))

Portanto, dentro do contexto geral da dissertação e de seus objetivos, este capítulo se insere propondo uma nova ferramenta gerencial que compreende uma aplicação mais detalhada dos fatores humanos. A proposta dessa nova ferramenta, tem como base a ferramenta aplicada no [Capítulo 3](#), a MH ([FERNANDES et al., 2011](#); [GOMES; SACRAMENTO, 2013](#)). O Relatório de Confiabilidade (RC) é uma ferramenta gerencial criada para amenizar o problema de um elevado número de retrabalhos em uma oficina mecânica, onde se realiza a manutenção de equipamentos industriais. Uma empresa responsável por

dar manutenção em cerca de 1200 equipamentos industriais, mencionada no [Capítulo 3](#), utiliza a [MH](#) como ferramenta gerencial. No entanto, a [MH](#) se mostrou ineficiente no controle das falhas humanas na manutenção de bombas centrífugas.

O objetivo do [RC](#) é mensurar a confiabilidade na execução dos serviços de manutenção em bombas centrífugas, podendo-se ampliar a sua aplicação para outros equipamentos. O [RC](#) fornece um valor percentual de confiabilidade para o serviço de manutenção executado. Com o aumento do nível de confiabilidade nos serviços de manutenção, estaremos atuando também no problema de número excessivo de ocorrências de retrabalho ([NEVES; SILVA; SOUZA, 2015](#)).

4.2 Metodologia

A pesquisa foi do tipo exploratória, tendo em vista que não tem objetivo de verificar consistências teóricas, mas sim investigar o assunto, explorado pela empresa estudada, associada a uma pesquisa bibliográfica do assunto, com base em livros, revistas, artigos.

Como primeira etapa, através de revisão de literatura e consulta ao acervo técnico, foram levantadas as instruções de trabalhos e normas técnicas relacionadas, pontuados os fatores humanos pertinentes e suas interações com as etapas dos processos e definido os fatores de avaliação. No entanto, nem todos os aspectos dos fatores humanos conhecidos ou estudados foram aplicados.

O desenvolvimento da ferramenta se baseou, também, em entrevistas realizadas com a equipe de técnicos de modo a listar as atividades e competências envolvidas. Estabelecendo-se os critérios e pesos para quantificação dos aspectos abordados na avaliação.

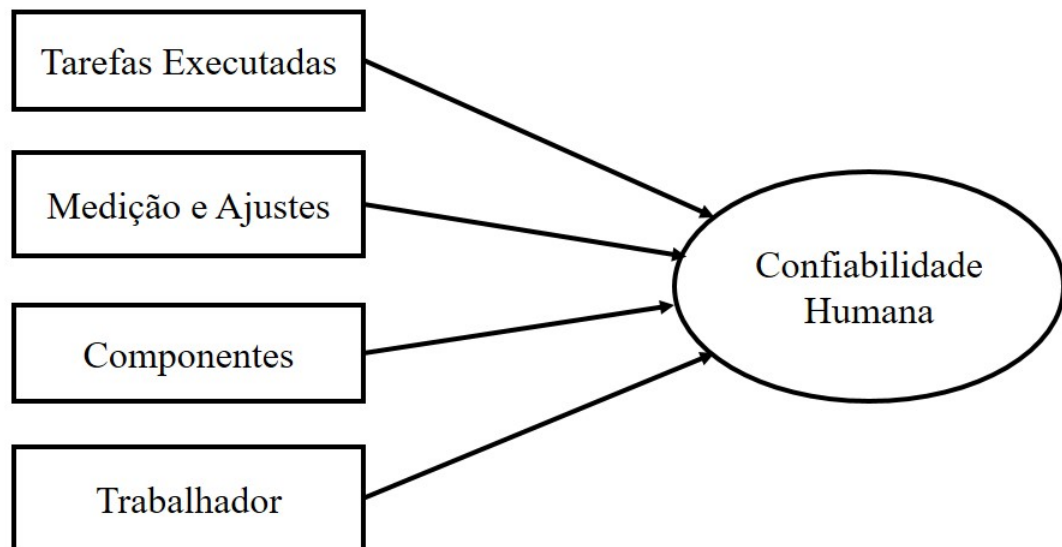
O algoritmo foi implementado em Excel por apresentar capacidade de processamento adequada para o modelo proposto e ser de fácil manuseio. A ferramenta foi escolhida também por fazer parte da rotina da equipe de manutenção e, portanto, não demandar treinamento específico.

Os fatores de avaliação, como indicado na [Figura 5](#), se resumem em quatro:

1. Tarefas executadas:

É necessário detalhar as Instruções Técnicas ([ITs](#)) que contemplam todas as tarefas críticas e os itens que devem ser executados. O detalhamento das [ITs](#) deve, no mínimo, responder a três perguntas: “O que fazer?”; “Como fazer?” e “Porque fazer?”. Ao construirmos uma planilha com as respostas dadas para essas perguntas, observamos que a coluna “O que fazer?” define um bloco de tarefas, a coluna “Como fazer?”

Figura 5 – Fatores de avaliação da Confiabilidade



Fonte: Produzido pelo autor.

define como as tarefas devem ser executadas, e a coluna “Porque fazer?” contribui para identificar o motivo real para a realização da intervenção.

2. Medições e ajustes:

Para a realização do procedimento proposto nesse trabalho, é necessário o registro dos valores para as dimensões e os ajustes que influenciam na confiabilidade dos equipamentos, e o registro do tempo médio entre falhas dos equipamentos. Deve-se transcrever para as **ITs** as informações técnicas recomendadas por normas internacionais e/ou pelos fabricantes; a comparação entre os valores recomendados e os valores encontrados/deixados. Finalmente, através de um algoritmo adequado, atribui-se uma nota para a execução da atividade.

3. Componentes:

Também é necessário o cadastro de todos os componentes do equipamento, avaliando-se o estado de todos os componentes que não forem substituídos. Finalmente, através de um algoritmo adequado, atribui-se uma nota para a execução da atividade.

4. O trabalhador:

Nesse elemento de avaliação, analisa-se as competências, habilidades e perfis dos colaboradores. Através de um algoritmo adequado, atribui-se uma nota.

Veremos detalhadamente cada um desses elementos.

4.3 Tarefas Executadas

De acordo com as *ITs*, considerando-se as atividades executadas e a experiência dos trabalhadores na manutenção de bombas centrífugas instaladas em uma área industrial, são determinadas as tarefas e/ou as atividades de maior criticidade. Durante a realização das atividades críticas são registrados o maior número de ocorrências de erros na execução, principalmente onde as consequências dos erros são mais graves ([DRURY, 1983](#); [HANA, 2010](#)).

4.3.1 Agrupamento das atividades Críticas

Um exemplo de agrupamento das atividades críticas, necessárias para a execução da manutenção em uma bomba centrífuga, pode ser observado na [Tabela 9](#). Essas atividades devem ser realizadas de acordo com os procedimentos baseados nas *ITs*. Esse agrupamento de atividades foi construído com as respostas obtidas para duas das três perguntas anteriormente propostas, ou seja: “o que fazer?” e “como fazer?”.

4.3.2 Cálculo da criticidade da tarefa

O supervisor é o líder de uma equipe de técnicos de manutenção. Ele precisa definir quão crítica é uma tarefa que deve ser realizada. Para isso, ele deve seguir os critérios estabelecidos para a definição da importância de cada atividade, seguindo o manual da empresa, considerando-se a sua experiência e a experiência da sua equipe ([WYNNE; DICKSON, 1975](#)). O valor atribuído como uma nota para a definição da criticidade de uma tarefa, deve ser atribuído de acordo com as melhores práticas recomendadas nas *ITs*. As *ITs* também definem procedimentos específicos para a execução dos serviços em um equipamento. Assim, segundo as *ITs* e a experiência dos supervisores, são definidas as atividades mais críticas.

Para cada tarefa, deve ser atribuída uma nota que varia entre 0 e 3. Considera-se os quatro níveis de avaliação, conforme pode ser observado na [Tabela 10](#). Usando esses níveis, o supervisor do serviço avalia as tarefas listadas na [Tabela 10](#), preenchendo, como resultado da sua avaliação, a [Tabela 11](#).

O fator de avaliação X_1 ([Tabela 23](#)) é calculado pela [Equação 4.1](#).

Tabela 9 – Lista de tarefas a serem executadas

O que fazer	Como fazer
Deslocamento interno na oficina	Verificar a condição do piso antes do deslocamento.
	Verificar a condição de interferência no espaço da execução do serviço.
	Verificar o posicionamento da ponte rolante.
	Não circular na área de máquinas operatrizes sem autorização prévia.
	Não permanecer na área de execução de serviços sem estar participando da atividade.
Posicionamento do equipamento em bancada ou dispositivo	O transporte de equipamentos e ferramentas, é realizado com o uso de luvas de segurança
	A carga deverá ter peso compatível com a pessoa que irá descarregá-la.
	A trajetória de movimentação, o local de descarregamento e as condições do acessório de repouso das peças movimentadas manualmente, devem ser analisados previamente.
	A ponte-rolante só pode ser operada por pessoal credenciado.
	A ponte rolante só pode ser operada com o plano de manutenção preventiva dentro da validade.
	A trajetória de movimentação e as condições das bancadas e dispositivos de repouso (desobstrução e estado geral) dos equipamentos movimentados pela ponte-rolante, devem ser analisados previamente e assegurada à adequação a capacidade de carga.
Limpeza do Equipamento	Os produtos químicos operados nos equipamentos manuseados devem ter as FISPQs conhecidas e disponibilizadas
	Verificar forma de limpeza adequada de acordo com o produto manuseado pelo equipamento
	Descarte inadequado dos produtos / substâncias utilizados na manutenção
Desmontagem	Utilizar o meio adequado para movimentação de ferramentas e equipamentos de peso e/ou volume excessivo ou acessórios adequados (manilha, estropos, cintas, ponte rolante, talha, etc.)
	Checar as ferramentas necessárias para o serviço
	Não improvisar quanto ao exercício de força, usar a mão direita para quem é destro e mão esquerda para quem é canhoto, na execução de tarefas que requerem uma precisão de movimento e controle de força.
	Inspecionar as guarnições (borracha de vedação) do engate rápido e soquetes, verificando se os mesmos não estão com folga excessiva devido a desgastes.

Fonte: Produzido pelo autor.

$$X_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} a_i}{k \cdot n_t} \cdot 100 \tag{4.1}$$

onde n_t é a n -ésima tarefa listada na coluna **Como fazer** da tabela [Tabela 9](#), a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor ([Tabela 11](#)) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da tarefa, neste caso, $k = 3$ ([Tabela 10](#)).

Tabela 10 – Critérios para criticidade da tarefa

Peso	0	Eliminatório
	1	Imprescindível
	2	Necessário
	3	Desejável

Fonte: Produzido pelo autor.

4.3.3 Avaliação das atividades

De acordo com os critérios apresentados na [Tabela 10](#), as menores notas são atribuídas as tarefas mais críticas. Portanto, o número de tarefas de alta criticidade influencia negativamente no valor final de confiabilidade do serviço.

4.4 Medições e ajustes

As medições e os ajustes necessários para um bom funcionamento de uma bomba centrífuga, devem ser cuidadosamente registrados. As dimensões encontradas em uma bomba centrífuga em reparo devem ser comparadas com as dimensões e os padrões de ajustes que são exigidas pelas [ITs](#), ou pelos fabricantes.

4.4.1 Itens a serem medidos e/ou ajustados

Em alguns itens de uma bomba centrífuga, é obrigatória a realização das medições e dos ajustes adequados. Essas medições e ajustes são pré-determinados em manuais dos fabricantes e dos projetistas desses equipamentos:

- Mancal Radial LA
- Mancal Radial LOA
- Mancal de escora
- Eixo
- Passeio do Rotor

Tabela 11 – Tarefas executadas

O que fazer	Como fazer	Criticidade da tarefa
Deslocamento interno na oficina	Verificar a condição do piso antes do deslocamento	2
	Verificar a condição de interferência no espaço da execução do serviço.	2
	Verificar o posicionamento da ponte rolante.	1
	Não circular na área de máquinas operatrizes sem autorização prévia.	2
	Não permanecer na área de execução de serviços sem estar participando da atividade.	3
Posicionamento do equipamento em bancada ou dispositivo	O transporte de equipamentos e ferramentas, é realizado com o uso de luvas de segurança	3
	A carga deverá ter peso compatível com a pessoa que irá descarregá-la.	2
	A trajetória de movimentação, o local de descarregamento e as condições do acessório de repouso das peças movimentadas manualmente, devem ser analisados previamente.	1
	A ponte-rolante só pode ser operada por pessoal credenciado.	2
	A ponte rolante só pode ser operada com o plano de manutenção preventiva dentro da validade.	2
	A trajetória de movimentação e as condições das bancadas e dispositivos de repouso (desobstrução e estado geral) dos equipamentos movimentados pela ponte-rolante, devem ser analisados previamente e assegurada à adequação a capacidade de carga.	2
Limpeza do Equipamento	Os produtos químicos operados nos equipamentos manuseados devem ter as FISPQs conhecidas e disponibilizadas	2
	Verificar forma de limpeza adequada de acordo com o produto manuseado pelo equipamento	2
	Descarte inadequado dos produtos / substâncias utilizados na manutenção	2
Média		2,8

Fonte: Produzido pelo autor.

- Selo Mecânico
- Anéis de vedação
- Rolamentos

4.4.2 Critérios de avaliação das medições e ajustes

O supervisor deve seguir o critério estabelecido para o controle dimensional/ajuste, descrito na [Tabela 12](#). Esse valor de confiabilidade é calculado através da medição e da comparação dos resultados com as melhores práticas, aquelas que estão recomendadas no manual do projetista.

Tabela 12 – Critérios para nota dimensional

MEDIDO		NÃO MEDIDO	
COTA < MIN	0	com substituição	sem substituição
MIN < COTA < MAX	4	0	2
COTA > MAX	2		
COTA > SUBST	0		

Fonte: Produzido pelo autor.

4.4.3 Avaliação das medidas e ajustes

Para cada tarefa, considerando-se o componente montado, avalia-se a necessidade de substituição da peça, o dimensional e o ajuste deixado. Usando os critério da [Tabela 12](#), o supervisor avalia as medições e ajustes deixados, preenchendo, como resultado de sua avaliação as notas na [Tabela 13](#).

Tabela 13 – Dimensão e ajustes deixados

				Nota	
Folgas Diametrais	Projeto		Encontrado	Deixado	
	Min	0,15	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>4</i>
	Max	0,3			
Subst.	0,45				
Mancal Radial LA e eixo	Min	0,15	<i>0,1</i>	<i>0,31</i>	<i>2</i>
	Max	0,3			
	Subst.	0,45			
Folgas Axiais	Projeto		Encontrado	Deixado	
	Min.	6	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>4</i>
Proj.	7				
Mancal de Escora	Min.	0,3			<i>2</i>
	Max.	0,35			
	Subst.	0,5			
Sede e disco de balanceamento	Min.	0,12			<i>2</i>
	Max.	0,14			
				Média	<i>4</i>

Fonte: Produzido pelo autor.

O fator de avaliação X_2 ([Tabela 23](#)) é calculado pela [Equação 4.2](#).

$$X_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_m} a_i}{k \cdot n_m} \cdot 100 \quad (4.2)$$

onde n_m é a n -ésima tarefa listada na tabela [Tabela 13](#), a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor ([Tabela 13](#)) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da tarefa, neste caso, $k = 4$ ([Tabela 12](#)).

4.5 Componentes

Os componentes de uma bomba centrífuga precisam ser cadastrados e avaliados quanto ao seu estado, isso é imprescindível para evitar vazamentos.

4.5.1 Descrição dos componentes

Os componentes de uma bomba centrífuga, que necessitam de atenção quanto aos seus estados, são listados na [Tabela 14](#). Alguns desses componentes, como regra geral, são substituídos, independente da sua condição, tais como os anéis e as buchas, a fim de evitar vazamentos. Se for indicado pelo fabricante, outros se sujeitam a esse mesmo procedimento.

Tabela 14 – Lista de componentes

SUBITEM	COMPONENTE
1	Selo mecânico LOA
2	Selo mecânico LA
3	Sapatas mancal escora ativo
4	Sapatas mancal escora inativo
5	Mancal radial LA
6	Mancal radial LOA
7	Anel ajuste disco de escora
8	Labirinto LOA externo
9	Anel "O"do labirinto LOA externo
10	Labirinto LOA interno
11	Anel "O"do labirinto LOA interno
12	Labirinto LA externo
13	Anel "O"do labirinto LA externo
14	Labirinto LA interno
15	Anel "O"do labirinto LA interno
16	Bucha ajuste selo LOA

Fonte: Produzido pelo autor.

4.5.2 Critérios de avaliação dos componentes utilizados

Em conformidade com a [Tabela 15](#), o supervisor deve seguir o critério estabelecido para o controle dos componentes. O valor da nota é atribuído de acordo com o estado físico do componente e da recomendação de seu fabricante. Considerando-se o componente a ser montado, é dada uma nota de avaliação de acordo com o critério estabelecido ([Tabela 15](#)).

4.5.3 Avaliação dos componentes

Para cada componente, deve ser atribuída uma nota considerando os critérios de avaliação observado na [Tabela 15](#). Usando esses critérios, o supervisor do serviço avalia os componentes, preenchendo, como resultado da sua avaliação, a [Tabela 16](#).

Tabela 15 – Critério de avaliação para componentes utilizados

Estado	Original	Fabricante credenciado	Fabricante não credenciado
Novo	4	3	2
Remanufaturado	4	2	1
Recuperado	3	1	0
Meia vida	1	0	0
Acima vida esperada	0	0	0

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 16 – Avaliação dos componentes aplicados

SUBITEM	COMPONENTE	NOTA
1	Selo mecânico LOA	4
2	Selo mecânico LA	4
3	Sapatas mancal escora ativo	3
4	Sapatas mancal escora inativo	3
5	Mancal radial LA	3
6	Mancal radial LOA	3
7	Anel ajuste disco de escora	4
8	Labirinto LOA externo	4
9	Anel "O"do labirinto LOA externo	4
10	Labirinto LOA interno	4
11	Anel "O"do labirinto LOA interno	4
12	Labirinto LA externo	4
13	Anel "O"do labirinto LA externo	4
14	Labirinto LA interno	4
15	Anel "O"do labirinto LA interno	4
16	Bucha ajuste selo LOA	3
	Média	47

Fonte: Produzido pelo autor.

O fator de avaliação X_3 (Tabela 23) é calculado pela Equação 4.3.

$$X_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} a_i}{k \cdot n_c} \cdot 100 \quad (4.3)$$

onde n_c é o n -ésimo componente listado na tabela Tabela 14, a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor (Tabela 16) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação do componente, neste caso, $k = 4$ (Tabela 15).

4.6 O trabalhador

A parte mais desafiadora desse trabalho é a valorização ou a contabilização das intervenções de um ser humano. Essa ação, em si mesma, já introduz um erro. Em consequência da complexidade do ser humano, jamais conseguiremos retratá-lo de uma forma exata e fiel (MARTINS, 2008). Seria necessário o uso da filosofia, da psicologia e da sociologia para tentar chegar o mais próximo do real. Conclusivamente, o estudo de fatores humanos é uma importante área de engenharia, e inclui as sistemáticas informações sobre as características humanas e o seu comportamento para melhorar o desempenho de um sistema homem-máquina (NOROOZI et al., 2014).

Destacam-se três aspectos do perfil dos colaboradores, o funcional, o gerencial e o comportamental (FERNANDES et al., 2011).

4.6.1 Fator Humano – Funcional

No fator humano funcional deve ser avaliada a qualidade das tarefas realizadas pelo trabalhador, e a comunicação entre a empresa e o funcionário. Isso ocorre através dos procedimentos pré-estabelecidos. Trata-se das competências técnicas ou habilidades que são necessárias para que um profissional realize o seu trabalho de uma forma eficaz (BUENO; DOMINGUES; CORRÊA, 2005). A qualidade é expressa através de valores que variam em dependência com o trabalho a ser realizado (Tabela 17).

a) Cálculo do fator humano funcional

Para cada tarefa, deve ser atribuída uma nota considerando os critérios de avaliação observado na Tabela 18. Usando esses critérios, o supervisor do serviço avalia como a tarefa foi realizada, preenchendo, como resultado da sua avaliação, o campo **Nota** na Tabela 17.

O fator de avaliação $X_{4.1}$ (fator humano funcional) é calculado pela Equação 4.4.

$$X_{4.1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{tf}} a_i}{k \cdot n_{tf}} \cdot 100 \quad (4.4)$$

onde n_{tf} é a n -ésima tarefa listada na coluna **Como fazer** da tabela Tabela 17, a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor (Tabela 17) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da atividade, neste caso, $k = 4$ (Tabela 18).

4.6.2 Fator Humano – Gerencial

Refere-se a habilidade de trabalhar produtivamente com outras pessoas. Essa habilidade pode ser classificada em organizacional, relacionada à pessoa e ao papel da

Tabela 17 – Fator Humano - Funcional

O que fazer	Como fazer	Nota
Desmontagem da bomba	Medir folga do mancal de escora	4
	Desmontar tampas superiores dos mancais	3
	Medir aperto ("crush") entre caixa e mancais radiais	3
	Medir folga dos mancais radiais	3
	Medir folga axial do disco de balanceamento	3
	Soltar os dois selos mecânicos	3
	Medir passeio total do rotor na carcaça	2
	Remover mancais radiais e parte inferior das caixas de mancais	3
	Remover selos mecânicos	3
	Remover caixas de selagem	2
Limpeza e Inspeção	Limpar e remover as rebarbas e pontos altos de todos os componentes	4
	Fazer inspeção visual de todos os componentes removidos	4
	Fazer inspeção por LP de todos os componentes removidos	2
	Controle dimensional das sapatas do mancal de escora (máxima diferença de cada jogo deverá ser menor que 0.03mm)	1
	Inspeccionar selos mecânicos do tipo cartucho (visual, diâmetro interno, diâmetro do guia da sobreposta na carcaça, comprimento da luva e distância entre sobreposta e extremidade da luva)	3
	Com base nas inspeção acima, definir componentes à serem substituídos ou recuperados	3
Média		4,0

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 18 – Critérios de avaliação do fator Humano - Funcional

		Notas para tarefas			
Qualidade	Boa	0	2	3	4
	Ruim	0	1	2	3
	Regular	0	0	1	2
	Não executado	Não executado (procedimentos)	Executado parcialmente (procedimentos)	Executado totalmente	
Conformidade e Procedimento					

Fonte: Produzido pelo autor.

liderança. Isso inclui vários aspectos, tais como a gestão do tempo, o desenvolvimento, a tomada de decisões, a comunicação, a delegação e a gestão de recursos (Tabela 20).

a) Cálculo do fator humano gerencial

Para cada habilidade, deve ser atribuída uma nota que varia entre 1 e 3. Considera-se os três níveis de avaliação, conforme pode ser observado na Tabela 19. Usando esses níveis, o supervisor do serviço avalia as habilidades listadas na Tabela 20, preenchendo, como resultado da sua avaliação, o campo **Nota** na Tabela 20.

Tabela 19 – Critérios de avaliação do Fator Humano - Gerencial

Peso	Ruim	1
	Regular	2
	Bom	3

Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 20 – Fator Humano - Gerencial

SUBITEM	HABILIDADES	NOTA
1	Assiduidade	3
2	Pontualidade - Início e fim de expediente	3
3	Pontualidade - Hora do almoço	2
4	Ritmo de trabalho nas atividades - tempo de resposta	1
5	Qualidade do trabalho - Resserviço	3
6	Treinamento	2
7	Experiência - Tempo de serviço	3
8	Liderança	2
	Média	19

Fonte: Produzido pelo autor.

O fator de avaliação $X_{4.2}$ (fator humano gerencial) é calculado pela Equação 4.5.

$$X_{4.2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{tg}} a_i}{k \cdot n_{tg}} \cdot 100 \quad (4.5)$$

onde n_{tg} é a n -ésima habilidade listada na Tabela 20, a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor (Tabela 20) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da habilidade, neste caso, $k = 3$ (Tabela 19).

4.6.3 Fator Humano – Comportamental

No fator humano comportamental, são categorizadas as habilidades sociais no trabalho e a personalidade de uma pessoa. Essas habilidades são descritas por competências,

tais como o trabalho em equipe, a motivação, a adaptabilidade, a comunicação, a orientação para o trabalho, a iniciativa e o dinamismo, entre outros. Referem-se às habilidades interpessoais de um indivíduo (Tabela 21).

Tabela 21 – Fator Humano - Comportamental

SUBITEM	HABILIDADES	NOTA
1	Comportamento Proativo	2
2	Relacionamento interpessoal	3
3	Disponibilidade	2
4	Comunicação Oral e Escrita	1
5	Criatividade	1
6	Adaptabilidade	2
7	Ética	3
	Média	14

Fonte: Produzido pelo autor.

a) Cálculo do fator humano comportamental

Para cada habilidade comportamental, deve ser atribuída uma nota que varia entre 1 e 3. Considera-se os três níveis de avaliação, conforme pode ser observado na Tabela 22. Usando esses níveis, o supervisor do serviço avalia as habilidades listadas na Tabela 21, preenchendo, como resultado da sua avaliação, o campo **Nota** na Tabela 21.

Tabela 22 – Critério de avaliação do Fator Humano - Comportamental

	Ruim	1
Peso	Regular	2
	Bom	3

O fator de avaliação $X_{4.3}$ (fator humano comportamental) é calculado pela Equação 4.6.

$$X_{4.3} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{tc}} a_i}{k \cdot n_{tc}} \cdot 100 \quad (4.6)$$

onde n_{tc} é a n -ésima habilidade listada na Tabela 21, a_i é a i -ésima nota atribuída pelo supervisor (Tabela 21) e k é a nota máxima que pode ser obtida na avaliação da habilidade, neste caso, $k = 3$ (Tabela 22).

Com os valores do fator humano funcional, gerencial e comportamental, na Equação 4.7 é calculada então a média dos percentuais para definir o aproveitamento do aspecto de avaliação: O trabalhador.

O fator de avaliação X_4 (Tabela 23) é calculado pela Equação 4.7.

$$X_4 = \frac{X_{4.1} + X_{4.2} + X_{4.3}}{3} \quad (4.7)$$

onde $X_{4.1}$ é o fator humano funcional (Equação 4.4), $X_{4.2}$ é o fator humano gerencial (Equação 4.5) e $X_{4.3}$ é o fator humano comportamental (Equação 4.6) . .

4.7 Relatório de Confiabilidade

4.7.1 Objetivo

O relatório de confiabilidade é uma ferramenta destinada a calcular a confiabilidade dos serviços de manutenção realizado em bombas centrífugas. Essa ferramenta é composta de quatro fatores: as tarefas executadas, as dimensões/ajustes deixados, os componentes utilizados e o trabalhador. No relatório consta um índice de confiabilidade que monitora o atendimento às exigências do cliente, e controla a realização dos serviços de uma maneira mais eficaz.

Essa ferramenta tem o objetivo de contribuir com o aumento da confiabilidade dos serviços, da satisfação do cliente, e dos lucros da empresa (NEVES; SILVA; SOUZA, 2015).

4.7.2 Apresentação do resultado

No estudo de caso para a aplicação da ferramenta, preenchidas as Tabelas 11, 13, 16, 17, 20 e 21, o resultado é apresentado em uma tabela final, contendo, separadamente, os dados de cada um dos quatro fatores. O resultado final deve ser impresso com um cabeçalho fixo contendo o nome da empresa, a identificação do equipamento, a área do equipamento, o executante da manutenção, o supervisor e as informações contidas na tabela final, tendo-se como exemplo a Tabela 23.

Tabela 23 – Relatório de Confiabilidade

X_1	TAREFAS EXECUTADAS	66.67%
X_2	MEDIÇÃO E AJUSTES	70.00%
X_3	COMPONENTES	73.44%
X_4	O TRABALHADOR	72.57%
	MÉDIA	70.67%

Fonte: Produzido pelo autor.

4.7.3 Discussão

O Relatório de Confiabilidade (RC) tem a função de calcular um índice de confiabilidade para um serviço de manutenção executado em uma bomba centrífuga.

Como funcionalidade da ferramenta podemos destacar a quantificação da qualidade do serviço realizado, representado pela média final conforme a Tabela 23. O número de retrabalho foi escolhido como indicador da qualidade do serviço, conseqüentemente, com o índice de confiabilidade. Portanto, o Índice de Retrabalho (IR) está intimamente relacionado a qualidade do serviço. Assim, quantificar a qualidade do serviço, o cuidado em como as tarefas do serviço de manutenção são realizadas e a capacitação de quem às executa, significa atuar diretamente no retrabalho.

A empresa responsável pelo serviço e a contratante podem estabelecer valores mínimos aceitáveis para RC. Uma vez que haja disparidade entre valores encontrados e desejáveis, pode-se revisar a etapa deficitária através dos valores destacados no relatório, antes de retornar o equipamento a operação. No resultado do RC podemos perceber qual foi o fator de avaliação que requer maior atenção. No exemplo citado o fator, Tarefas executadas, foi o que obteve a menor nota percentual. Podemos concluir que o serviço envolve um número elevado de tarefas de alta criticidade, o que pode comprometer a confiabilidade humana do serviço. Esse conhecimento auxilia na tomada de decisão, por parte do supervisor, de quem realizará a tarefa e quais serão os recursos utilizados.

A ferramenta RC, assim como a Matriz de Habilidades (MH), envolve a consideração dos três aspectos dos fatores humanos: características da tarefa, características pessoais e aspecto organizacional. A análise desses três aspectos e do seu impacto sobre a qualidade dos serviços através da aplicação da MH gerou um resultado positivo na redução do indicador Índice de Retrabalho (IR) conforme demonstrado no Capítulo 3. Enquanto a MH envolvia apenas as entrevistas atualizadas periodicamente, o RC avalia essas competências e gera uma base de dados a cada serviço realizado. Portanto, através de sua aplicação, é esperado um resultado ainda mais efetivo na redução e controle desse indicador.

Uma outra funcionalidade é a geração e registros de dados e histórico de manutenção dos equipamentos que podem ser usados para outros estudos.

A aplicação dessa ferramenta também leva em consideração a experiência de profissionais na área de manutenção industrial. Como resultado, obteve-se uma ferramenta de fácil manuseio, simples, e bem semelhante a ferramenta já usada pela empresa estudada.

5 Conclusões e Sugestões

Neste capítulo são feitos alguns comentários finais, fornecendo uma visão geral de todo o trabalho realizado. Além disso, é feita uma lista de sugestões para a continuação dos estudos e pesquisas desenvolvidos ao longo do trabalho, envolvendo a exploração de novas abordagens relacionadas à análise de confiabilidade humana ou *Human Reliability Analysis (HRA)*, e temas correlatos.

5.1 Comentários finais

Tendo em vista que a análise de confiabilidade humana seja utilizada em uma diversidade de aplicações, os fatores humanos aplicados na manutenção ainda permanecem como componentes desafiadoras; a complexidade do ser humano, expressa durante a realização de atividades críticas, agrava essa situação. O sucesso da ferramenta gerencial depende da escolha correta para a estrutura do modelo.

Além disso, o erro humano tem mostrado ser um grande contribuinte para uma série de acidentes graves na indústria do petróleo. Há mais de 30 anos, tem sido reconhecido que o papel das operações humanas em sistemas críticos de segurança é muito importante. As operações humanas devem ser explicitamente modeladas como um dos componentes para a avaliação de risco em operações de uma planta.

Diante das referências apresentadas percebemos a discussão e maior formalização da confiabilidade humana e o fator humano em três campos da manutenção: a aviação, a indústria nuclear e a indústria petroquímica, as falhas relacionadas ao fator humano e os métodos de atenuar essas falhas. Conclui-se que uma boa parte dessas referências estão relacionadas à confiabilidade humana aplicada na aviação e na indústria nuclear. Isto justificou o desenvolvimento desse trabalho, que no âmbito gerencial na indústria petroquímica, propôs uma estrutura de modelo com baixa complexidade, e que, de uma forma simples, permite a avaliação do serviço e o registro adequado do equipamento, no âmbito de uma indústria petroquímica.

A aplicação da Matriz de Habilidades (MH) demonstrou grande eficiência ao atingir uma redução de 83,9% no número de retrabalho. A MH demonstrou ser capaz de fornecer informações de extrema importância para análise dos fatores humanos envolvidos nos serviços de manutenção. Em vista disso, a proposta de uma nova ferramenta destinada a calcular a confiabilidade dos serviços de manutenção nas bombas centrífugas, reduzirá as falhas humanas durante o processo de manutenção, uma vez que essa ferramenta é baseada em dados originados na MH, permitindo-se também, de uma maneira mais eficaz,

o registro do histórico dos equipamentos e o controle dos serviços.

O Relatório de Confiabilidade (RC) foi desenvolvido a fim de proporcionar uma redução no número de retrabalhos em uma oficina industrial e gerar um índice de confiabilidade do serviço, para isso foram levados em conta quatro fatores, que influenciam diretamente no serviço realizado. Os fatores foram descritos como as tarefas executadas, as medições e ajustes, os componentes e o trabalhador. Com essa ferramenta é possível fazer um histórico de manutenção para cada equipamento, auxiliando as atividades em manutenções futuras, e ajudando na tomada de decisão.

Nesse trabalho atingimos basicamente dois objetivos principais:

- A proposição de uma ferramenta gerencial com a intensão de reduzir o número de retrabalho em serviços de manutenção de bombas centrífugas, e gerar um índice de confiabilidade dos serviços de manutenção realizados;
- A proposição de um método para reduzir a ocorrência de falhas humana nos serviços de manutenção de bombas centrífugas, visando aumentar a segurança dos funcionários e o uso inadequado dos recursos.

Portanto, dentre todas as falhas humanas analisadas, considerando-se as relacionadas com as características pessoais, com os aspectos organizacionais e com as características da tarefa. Além disso, a ferramenta Relatório de Confiabilidade (RC), quando comparada ao modelo já utilizado pela empresa estudada, a MH, aumenta o potencial de redução do número de retrabalho. Propõe-se que o modelo RC seja aplicado nas atividades de manutenção relacionadas a bombas centrífugas.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A despeito da investigação feita sobre o processo em estudo, e até por este motivo, várias frentes de trabalho se abrem para a continuidade das pesquisas, dentre elas:

- Aplicar a ferramenta desenvolvida no Capítulo 4 em uma oficina industrial, confirmando, ou não, a sua eficácia (qualitativa e quantitativamente) no serviço de manutenção em bombas centrífugas;
- Acrescentar outros aspectos do fator humano à ferramenta, tais como o ambiente físico e a interface homem máquina, visando uma maior ação de controle sobre as falhas humanas na manutenção industrial.

Referências

- ABÍLIO M.; ESTEVÃO, P. D. E. L. Análise Quantitativa de Risco : Aplicação em uma Unidade de Hidrocraqueamento Cataítico de uma Refinaria de Petróleo. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2010. Citado na página 36.
- ALVARENGA, M. A. B.; MELO, P. F. F. E.; FONSECA, R. A. A critical review of methods and models for evaluating organizational factors in Human Reliability Analysis. *Progress in Nuclear Energy*, Elsevier Ltd, v. 75, p. 25–41, 2014. ISSN 01491970. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.04.004>>. Citado 4 vezes nas páginas 31, 36, 37 e 48.
- ANTONOVSKY, A.; POLLOCK, C.; STRAKER, L. Identification of the Human Factors Contributing to Maintenance Failures in a Petroleum Operation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, v. 56, p. 306–321, 2014. ISSN 1071-1813. Citado 6 vezes nas páginas 26, 44, 45, 46, 53 e 54.
- AUTHORITY, C. CAP 716 Aviation Maintenance Human Factors (EASA / JAR145 Approved Organisations). *Civil Aviation Authority*, v. 14, 2003. Disponível em: <[http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:CAP+716+Aviation+Maintenance+Human+Factors+\(+EASA+/+JAR145+Approved+Organisatio](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:CAP+716+Aviation+Maintenance+Human+Factors+(+EASA+/+JAR145+Approved+Organisatio)>. Citado na página 38.
- BAUMONT, G. et al. Quantifying human and organizational factors in accident management using decision trees: The HORAAM method. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 70, n. 2, p. 113–124, 2000. ISSN 09518320. Citado na página 34.
- BELLAMY, L. J.; GEYER, T. A. W.; WILKINSON, J. Development of a functional model which integrates human factors, safety management systems and wider organisational issues. *Safety Science*, v. 46, n. 3, p. 461–492, 2008. ISSN 09257535. Citado na página 34.
- BENIAMINY, I.; JOSEPH, D. Reducing the no Fault Found problem: Contributions from expert-system methods. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, v. 6, p. 2971–2973, 2002. ISSN 1095323X. Citado na página 46.
- BORING, R. L. Fifty Years of THERP and Human Reliability Analysis. *Proceedings of PSAM11*, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 49.
- BROMBACHER, A. C. et al. Managing product reliability in business processes 'under pressure'. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 88, n. 2, p. 137–146, 2005. ISSN 09518320. Citado na página 47.
- BUENO, J. M.; DOMINGUES, C. R.; CORRÊA, F. D. D. Capacitação e treinamento dos profissionais da manutenção e sua influência na qualidade e produtividade de pequenas e médias empresas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2005. ISSN 1098-6596. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 75.
- CALIXTO, E. et al. Comparing SLIM , SPAR-H and Bayesian Network Methodologies. *Open Journal of Safety Science and Technology*, v. 3, n. 2, p. 31–41, 2013. Citado na página 45.

- CHANG, Y.-H.; WANG, Y.-C. Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians. *Safety Science*, Elsevier Ltd, v. 48, n. 1, p. 54–62, 2010. ISSN 09257535. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092575350900109X>>. Citado na página 39.
- CHANG, Y. H. J.; MOSLEH, A. Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 4: IDAC causal model of operator problem-solving response. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 92, n. 8, p. 1061–1075, 2007. ISSN 09518320. Citado na página 34.
- DHILLON, B.; LIU, Y. Human error in maintenance: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 12, n. 1, p. 21–36, 2006. ISSN 1355-2511. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/13552510610654510>>. Citado na página 49.
- DHILLON, B. S. Human Reliability, Error, and Human Factors in Engineering Maintenance with Reference to Aviation and Power Generation. *CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business*, 2009. Citado na página 54.
- DOUGHERTY, E. Human errors of commission revisited : an evaluation of the A T H E A N A approach. v. 60, 1998. Citado na página 50.
- DRURY, C. G. Task analysis methods in industry. *Appl. Ergon.*, v. 14, p. 19–28, 1983. Citado na página 68.
- FARCASIU, M.; PRISECARU, I. MMOSA - A new approach of the human and organizational factor analysis in PSA. *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, v. 123, p. 91–98, 2014. ISSN 09518320. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832013002883>>. Citado na página 40.
- FERNANDES, L. et al. Gestão Do Conhecimento Pela Matriz De Competência. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2011. Citado 4 vezes nas páginas 51, 58, 65 e 75.
- FILHO, C. L. S. F. Avaliação Quantitativa da Confiabilidade Humana – comparativos de métodos usados e perspectivas para avaliação da confiabilidade sócio- técnica em tarefas de inspeção de rotina. p. 1–18, 2014. Citado na página 54.
- FILHO, C. L. S. F.; SOUZA, M. Confiabilidade Humana : a Importância Da Gestão Visual. 2011. Citado na página 31.
- FLEMING, P. V.; SILVA, M. F. d.; FRANÇA, S. R. R. O. Aplicando Manutenção Centrada Em Confiabilidade (Mcc) Em Indústrias Brasileiras: Lições Aprendidas. *Enegep*, n. Mcc, p. não paginado, 1999. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999{_}a0366.> Citado na página 30.
- FRENCH, S. et al. Human reliability analysis: A critique and review for managers. *Safety Science*, Elsevier Ltd, v. 49, n. 6, p. 753–763, 2011. ISSN 09257535. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.008>>. Citado na página 51.
- FÜTTERER, M. A. et al. Status of the very high temperature reactor system. *Progress in Nuclear Energy*, v. 77, p. 266–281, 2014. ISSN 01491970. Citado na página 44.

GALÁN, S. F.; MOSLEH, A.; IZQUIERDO, J. M. Incorporating organizational factors into probabilistic safety assessment of nuclear power plants through canonical probabilistic models. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 92, n. 8, p. 1131–1138, 2007. ISSN 09518320. Citado na página 34.

GERTMAN, D. et al. The SPAR-H human Reliability Analysis Method. *Idaho National Laboratory*, n. NUREG/CR-6883 INT/EXT-05-00509, p. 230, 2005. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+SPAR-H+Human+Reliability+Analysis+Me>>. Citado na página 50.

GOMES, R. B.; SACRAMENTO, J. C. Matriz de habilidades – gestão de qualidade e produtividade dos serviços de manutenção. *Associação Brasileira de Manutenção e gestão de ativos.*, TT-102, 2013. ISSN 1098-6596. Citado 3 vezes nas páginas 51, 59 e 65.

HACKWORTH, C. et al. A survey of maintenance human factors programs across the world. *Int. J. Appl. Aviat. Stud.*, v. 7, p. 212–231, 2007. Citado na página 65.

HANA, P. Human reliability in maintenance task. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, v. 5, n. 2, p. 184–188, 2010. ISSN 16733479. Citado na página 68.

HE, X. et al. A simplified CREAM prospective quantification process and its application. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 93, n. 2, p. 298–306, 2008. ISSN 09518320. Citado na página 49.

HOBBS, A.; WILLIAMSON, A. Associations between Errors and Contributing Factors in Aircraft Maintenance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, v. 45, n. 2, p. 186–201, 2003. ISSN 1547-8181. Disponível em: <<http://hfs.sagepub.com/cgi/doi/10.1518/hfes.45.2.186.27244>>. Citado na página 39.

HOLLNAGEL, E. Safety Culture, Safety Management, and Resilience Engineering. *Association of Air Transport Engineering & Research*, p. 34, 2009. Disponível em: <<http://www.atec.or.jp/Forum/09/H>>. Citado na página 30.

ISHIKAWA, K. COMPANY-WIDE QUALITY CONTROL-REVOLUTION-MANAGEMENT. *35th Annual Quality Congress Transactions - American Society for Quality Control. In Conjunction with the 5th Triennial Conference - International Academy for Quality.*, p. 124–131, 1981. Citado na página 35.

JAMES, I. et al. Investigating no fault found in the aerospace industry. *Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003.*, p. 441–446, 2003. ISSN 0149-144X. Citado na página 47.

JOHNSON, W.; MADDOX, M. A Model to Explain Human Factors in Aviation Maintenance. *Avionics News*, n. abril, p. 38–41, 2007. Citado na página 38.

JURKIEWICZ, B.; ZABKOWSKI, T.; SHEVCHUK, D. Ureteral quintuplication with renal atrophy in an infant after the 1986 chernobyl nuclear disaster. *Urology*, v. 83, n. 1, p. 211–213, 2014. ISSN 00904295. Citado na página 41.

KARDEK, A.; NASCIF, J. *Manutenção: Função estratégica.* 2009. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 33.

- KHAN, S. et al. No Fault Found events in maintenance engineering Part 1: Current trends, implications and organizational practices. *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, v. 123, p. 183–195, 2014. ISSN 09518320. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2013.11.003>>. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.
- KIRWAN, B. The validation of three Human Reliability Quantification techniques - THERP, HEART and JHEDI: Part 1 - technique descriptions and validation issues. *Applied Ergonomics*, v. 28, n. 1, p. 27–39, 1996. ISSN 00036870. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 44.
- KIRWAN, B. The validation of three human reliability quantification techniques—THERP, HEART and JHEDI: Part III—Practical aspects of the usage of the techniques. *Applied ergonomics*, v. 28, n. 1, p. 27–39, 1997. ISSN 0003-6870. Citado na página 40.
- KIRWAN, B. et al. The validation of three human reliability quantification techniques—THERP, HEART and JHEDI: Part II— Results of validation exercise. *Applied Ergonomics*, v. 28, n. 1, p. 27–39, 1997. ISSN 00036870. Citado na página 40.
- KORTOV, V.; USTYANTSEV, Y. Chernobyl accident: Causes, consequences and problems of radiation measurements. In: *Radiation Measurements*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 55, p. 12–16. ISSN 13504487. Citado na página 31.
- LAUMANN, K.; RASMUSSEN, M. Suggested improvements to the definitions of Standardized Plant Analysis of Risk-Human Reliability Analysis (SPAR-H) performance shaping factors, their levels and multipliers and the nominal tasks. *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, v. 145, p. 287–300, 2016. ISSN 09518320. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.07.022>>. Citado na página 50.
- LEAL, F.; PINHO, A. F. D.; ALMEIDA, D. A. D. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey. *Revista Gestão Industrial*, v. 2, n. 1, p. 79–88, 2006. Citado na página 37.
- LEE, Y. S. et al. Analysis of human error and organizational deficiency in events considering risk significance. *Nuclear Engineering and Design*, v. 230, n. 1-3, p. 61–67, 2004. ISSN 00295493. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 43.
- LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, v. 42, n. 4, p. 237–270, 2004. ISSN 09257535. Citado na página 48.
- LI, W.-C.; HARRIS, D.; YU, C.-S. Routes to failure: analysis of 41 civil aviation accidents from the Republic of China using the human factors analysis and classification system. *Accident; analysis and prevention*, v. 40, n. 2, p. 426–434, 2008. ISSN 0001-4575. Citado na página 34.
- MARSEGUERRA, M.; ZIO, E.; LIBRIZZI, M. Quantitative developments in the cognitive reliability and error analysis method (CREAM) for the assessment of human performance. *Annals of Nuclear Energy*, v. 33, n. 10, p. 894–910, 2006. ISSN 03064549. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 49.
- MARTINS, M. P. S. Estudo de fatores humanos , e observação dos seus aspectos básicos, focados em operadores do reator de pesquisa IEA-R1, objetivando a prevenção de acidentes ocasionados por falhas humanas. *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, Dissertação, 2008. ISSN 1098-6596. Citado 3 vezes nas páginas 37, 43 e 75.

- MAUBORGNE, P. et al. Operational and System Hazard Analysis in a Safe Systems Requirement Engineering Process – Application to automotive industry. *Safety Science*, Elsevier Ltd, v. 87, p. 256–268, 2016. ISSN 09257535. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753516300534>>. Citado na página 47.
- MCCALL, C. Chernobyl disaster 30 years on: lessons not learned. *The Lancet*, Elsevier Ltd, v. 387, n. 10029, p. 1707–1708, 2016. ISSN 01406736. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014067361630304X>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 43.
- MERWE, K. D. et al. Human-reliability analysis for the petroleum industry: Lessons learned from applying SPAR-H. *SPE Economics and Management*, v. 6, n. 4, p. 159–164, 2014. ISSN 21501173. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84908699438&partnerID=40&md5=4d8d5fe30864a8ce69cb23a86a>>. Citado na página 50.
- MITCHELL, T. Machine Learning. *Communications of the ACM*, p. 30–36, 1999. Citado na página 38.
- NASCIF, J.; DORIGO, L. C. Como evitar as “armadilhas” na Gestão da Manutenção. In: . [S.l.: s.n.], 2013. p. 17. Citado na página 30.
- NEVES, P. R. F.; SILVA, L. A. A. T.; SOUZA, M. L. A importância dos estudos de confiabilidade humana para melhoria dos procedimentos de montagem e manutenção. *Brasil Windpower Conference & Exhibition*, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 31, 66 e 79.
- NOROOZI, A. et al. The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities. *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier, v. 119, p. 251–258, 2013. ISSN 09518320. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2013.06.038>>. Citado 4 vezes nas páginas 36, 37, 45 e 54.
- NOROOZI, A. et al. Determination of human error probabilities in maintenance procedures of a pump. *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of Chemical Engineers, v. 92, n. 2, p. 131–141, 2014. ISSN 09575820. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2012.11.003>>. Citado 5 vezes nas páginas 26, 36, 44, 49 e 75.
- OLIVEIRA, J.; SILVA, A. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas.*, p. 53–69, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 53.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A Proposta De Desenvolvimento De Gestão Da Manutenção Industrial Na Busca Da Excelência Ou Classe Mundial. *Revista Gestão Industrial*, p. 01–16, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 30, 32 e 65.
- PAPER, C.; LAURIDS, R.; IDAHO, B. Analysis of human actions as barriers in major accidents in the petroleum industry , applicability of human reliability analysis methods (Petro-HRA). n. July 2016, 2015. Citado na página 50.
- PATÉ-CORNELL, M. E.; MURPHY, D. M. Human and management factors in probabilistic risk analysis : the SAM approach and observations from recent applications. v. 53, 1996. Citado na página 46.

PELOGGIA, D. F.; VASCONCELLOS, R. R. Critérios de avaliação da qualidade do serviço em manutenção – caso de uma indústria de papel e celulose . p. 1–8, 2006. Citado na página 30.

POTTER, W. C. The impact of Chernobyl on nuclear power safety in the Soviet Union. *Studies in Comparative Communism*, v. 24, n. 2, p. 191–210, 1991. ISSN 00393592. Citado 3 vezes nas páginas 40, 41 e 42.

RASMUSSEN, J. *Risk Management in a Dynamic Society: a modeling problem*. 1997. 183–213 p. Citado na página 45.

REASON, J.; PARKER, D.; LAWTON, R. Organizational controls and safety: The varieties of rule-related behaviour. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, v. 71, n. 4, p. 289–304, 1998. ISSN 2044-8325. Disponível em: <10.1111/j.2044-8325.1998.tb00678.x{\T1\textbackslash}nhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true{&}db=psyh{&}AN=1998-03193-001{&}si>. Citado na página 39.

REIMAN, T.; OEDEWALD, P.; ROLLENHAGEN, C. Characteristics of organizational culture at the maintenance units of two Nordic nuclear power plants. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 89, n. 3, p. 331–345, 2005. ISSN 09518320. Citado na página 34.

REN, J. et al. A methodology to model causal relationships on offshore safety assessment focusing on human and organizational factors. *Journal of Safety Research*, v. 39, n. 1, p. 87–100, 2008. ISSN 00224375. Citado na página 35.

ROUSE, W. B.; CODY, W. J. On the design of man-machine systems Principles, practices and prospects. *Automatica*, v. 24, n. 2, p. 227–238, 1988. ISSN 00051098. Citado na página 47.

RUIZ-SÁNCHEZ, T.; NELSON, P. Application of the ATHEANA methodology for the HRA of a PSA scenario for a BWR nuclear power plant. In: *10th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management 2010, PSAM 2010*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 2, p. 1520–1530. ISBN 9781622765782. Citado na página 50.

SAATY, T. L. How to handle dependence with the analytic hierarchy process. *Mathematical Modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 369–376, 1987. ISSN 02700255. Citado na página 38.

SALAS, E.; MAURINO, D.; CURTIS, M. Human Factors in Aviation. An overview. In: *Human Factors in Aviation*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 3–19. ISBN 9780123745187. Citado na página 39.

SCAPIN, C. A. *Análise sistêmica de falhas*. Belo Horizonte: [s.n.], 1999. Citado na página 30.

SCHÖNBECK, M.; RAUSAND, M.; ROUVROYE, J. Human and organisational factors in the operational phase of safety instrumented systems: A new approach. *Safety Science*, Elsevier Ltd, v. 48, n. 3, p. 310–318, 2010. ISSN 09257535. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.11.005>. Citado na página 35.

SEIXAS, E. D. S. Erro Humano na Manutenção. *Abraman*, XXXIII, n. 2, p. 81–87, 2011. ISSN 0717-6163. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161><http://cid.oxfordjournals.org/lookup/doi/10.1093/cid/cir991><http://www.scielo.cl/pdf/udecada/v15n26/art06.pdf><http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861150233&partnerID=tZOtx>>. Citado 3 vezes nas páginas 30, 42 e 53.

SERRA, P. R. F. Factores Humanos em Manutenção de Aeronaves. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 37.

SIMPSON, W. R.; SHEPPARD, J. W. System Complexity and Integrated Diagnostics. *IEEE Design and Test of Computers*, v. 8, n. 3, p. 16–30, 1991. ISSN 07407475. Citado na página 34.

SODERHOLM, P. A system view of the No Fault Found (NFF) phenomenon. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 92, n. 1, p. 1–14, 2007. ISSN 09518320. Citado na página 48.

SOUZA, G.; HIDALGO, E.; PIMENTA, C. Os Benefícios Do Uso De Ferramentas Da Qualidade Na Manutencao Industrial : Estudo De Caso Num Forno De Tratamento. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 35.

STEINHAUSER, G.; BRANDL, A.; JOHNSON, T. E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., v. 470-471, p. 800–817, 2014. ISSN 18791026. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>>. Citado 3 vezes nas páginas 41, 42 e 43.

STRÄTER, O.; BUBB, H. Assessment of human reliability based on evaluation of plant experience : requirements and implementation. *Reliability Engineering and Systems Safety* 63 (1999), v. 63, p. 199–219, 1999. ISSN 09518320. Citado na página 34.

SWAIN, A.; GUTTMANN, H. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. *Office of Nuclear Regulatory Research, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC*, n. NUREG/CR-1278, p. 707, 1983. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

SWAIN, A. D. Some Problems in the Measurement of Human Performance in Man–Machine Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 6, 6, p. 687–700, 1964. Disponível em: <[1.1SandiaCorporation,Albuquerque,NewMexico](http://www.sandia.gov)>. Citado na página 32.

TAYLOR, R. A. BRAINSTORMING: IN SEARCH OF AN IDEA. *IEEE Transactions on Professional Communications*, PC-25, n 1, p. 38–40, 1982. Citado na página 35.

União Internacional de Telecomunicações. *NORME INTERNACIONAL IEC 50(191)*. [S.l.: s.n.], 1990. 1–13 p. Citado na página 36.

VAZ, A.; CARAZAS, F.; SOUZA, G. Aplicação das ferramentas de gestão de manutenção baseadas em manutenção centrada em confiabilidade em um laminador desbastador. 2010. Citado na página 30.

WANG, T. C.; CHUANG, L. H. Psychological and physiological fatigue variation and fatigue factors in aircraft line maintenance crews. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier Ltd, v. 44, n. 1, p. 107–113, 2014. ISSN 01698141. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.003>>. Citado na página 39.

WATERSON, P.; KOLOSE, S. L. Exploring the social and organisational aspects of human factors integration: A framework and case study. *Safety Science*, Elsevier Ltd, v. 48, n. 4, p. 482–490, 2010. ISSN 09257535. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.018>>. Citado na página 35.

WATSON, H. A. Fault tree analysis. *Bell Laboratories*, 1962. Citado na página 32.

WHALEY, A. M. et al. SPAR-H Step-by-Step Guidance. 2012. Citado na página 50.

WYNNE, B. E.; DICKSON, G. W. 'Experienced Managers' Performance in Experimental Man-Machine Decision System Simulation. *Acad. Manag. J.*, v. 18 n° 1, p. 25–40, 1975. Citado na página 68.

XU, J.-h. et al. Study on the Aviation Accidents Due to Human Factors Based on Improved Support Vector Machine. *Management College, Safety Engineering Force*, p. 278–283, 2014. Citado na página 38.

ZIVIANI, F. A dinâmica de conhecimento e inovação no setor elétrico brasileiro: proposta de um conjunto de indicadores gerenciais. *Perspectivas em Ciência da Informação*, p. 254–255, 2013. Citado na página 36.