



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUÍS HENRIQUE STOCCO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE RISCOS EM
LABORATÓRIOS DE PESQUISA: UM ESTUDO DE CASO DE CORROSÃO NAF-
TÊNICA

CURITIBA

2018

LUÍS HENRIQUE STOCCO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE RISCOS EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA: UM ESTUDO DE CASO DE CORROSÃO NAFTÊNICA

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Haroldo de Araújo Ponte

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586

Silva, Luís Henrique Stocco da

Desenvolvimento de ferramenta para redução de riscos em laboratórios de pesquisa: um estudo de caso de corrosão naftênica. / Luís Henrique Stocco da Silva – Curitiba, 2018.

175 f.: il.; tabs. : color. : 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dr. Haroldo de Araújo Ponte

1. Inovações tecnológicas. 2. Petróleo. I. Universidade Federal do Paraná. II. Ponte, Haroldo de Araújo. III. Título.

CDD 658.4062

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
MECÂNICA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA MECÂNICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de LUIS HENRIQUE STOCO DA SILVA intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE RISCOS EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA: UM ESTUDO DE CASO DE CORROSÃO NAFTÊNICA**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 04 de Junho de 2018.


HAROLDO DE ARAÚJO PONTE
Presidente da Banca Examinadora


MARIA LUCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO
Avaliador Interno


GIUSEPPE PINTAUDE
Avaliador Externo


ANA CAROLINA TEDESCHI GOMES ABRANTES
Avaliador Externo


LUIZ CARLOS DE ABREU RODRIGUES
Avaliador Externo


CARLOS ITESO YAMAMOTO
Avaliador Externo

*Dedico este trabalho aos meus
pais Joel e Aglacy e a minha esposa
Selma e meus filhos Aglaher Mayra e
Luís Guilherme.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração à todas as pessoas que contribuíram para realização desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Haroldo de Araujo Ponte pelo aprendizado, constantes incentivos e orientação neste trabalho.

À Prof^a Dr^a. Maria José pelo incentivo na participação do Programa de Recursos Humanos da ANP/PRH-24.

Ao Prof. Dr. Alysson Diogenes Nunes pelo companheirismo e parceria na confecção das planilhas de programação do algoritmo.

Aos integrantes do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica PG-MEC por tornar possível esse doutorado.

Aos colegas do GEA Grupo de Eletroquímica Aplicada pelo apoio, amizade, calorosas discussões e conhecimento repassado.

À minha família pela compreensão e carinho.

Ao meu mestre da vida Dr. Daisaku Ikeda por me indicar o caminho.

Agradeço o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP – da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCTI, bem como da Petrobras.

“Não existe nada tão sublime quanto a paz. Não há nada mais feliz do que a paz. Paz - eis o primeiro passo fundamental no propósito do avanço da humanidade”.

Nova Revolução Humana. Vol 1, p 01.

(DAISAKU IKEDA, 1960)

RESUMO

Independente da escala dos problemas socioambientais e a escassez de recursos naturais, a indústria do petróleo possui um papel vital como fornecedora de energia e matéria-prima para a produção de bens de consumo. Este setor da economia investe constantemente em pesquisa e inovação, englobando atividades complexas, que geram riscos físicos, ambientais e fornecem suporte econômico a diversos setores industriais. Uma das instituições de suporte para o fornecimento de subsídios a essa indústria, desenvolvendo metodologias, produzindo conhecimento são os Laboratórios de Pesquisa, Acadêmicos e os de Desenvolvimento e Inovação. Esses, possuem experimentos únicos, que colaboram para o crescimento da pesquisa no país. Porém, os laboratórios acadêmicos caracterizam-se por apresentarem alta rotatividade de pessoas, que muitas das quais desconhecem os riscos físicos, ambientais, inerentes às suas atividades. Nesse contexto, a presente tese, desenvolveu uma ferramenta de gestão integrada baseada em princípios *Poka-Yoke*, para obtenção de experimento confiável de baixo custo com o mínimo de riscos físicos e ambientais. Utilizou-se para a integração, métodos de identificação e análise de riscos, como *PFMEA* para riscos de segurança, *HAZOP* para riscos ambientais e métodos *Poka-Yoke* para características de qualidade de resultados nos experimentos. Essa integração foi possível com a utilização de um *checklist* e planilhas eletrônicas incorporadas que utilizam um algoritmo de quantificação, e assim, obter um nível de risco aceitável associado aos experimentos. Desta forma, determinando níveis de risco conforme o tipo de experimento e o contexto da pesquisa, pode-se garantir confiabilidade e segurança ao sistema sem desperdícios. A ferramenta foi validada através de um estudo de caso de monitoramento de corrosão naftênica conduzido no Laboratório de Eletroquímica de Superfícies e Corrosão (LESC) da Universidade Federal do Paraná.

Palavras-chave: Setor do petróleo. Gerenciamento de riscos. *HAZOP*. *PFMEA*. *Poka-Yoke*.

ABSTRACT

Regardless of the scale of socio-environmental problems and the scarcity of natural resources, the oil industry plays a vital role as a supplier of energy and raw material for the production of consumer goods. This sector of the economy constantly invests in research and innovation, encompassing complex activities that generate physical, environmental risks and provide economic support to various industrial sectors. One of the support institutions for the supply of subsidies to this industry, developing methodologies, producing knowledge are Research Laboratories, Academics and Development and Innovation. These have unique experiments that contribute to the growth of the research in the country. However, academic laboratories are characterized by high turnover of people, many of whom are unaware of the physical and environmental risks inherent in their activities. In this context, the present thesis developed an integrated management tool based on Poka-Yoke principles, to obtain a reliable low cost experiment with the minimum of physical and environmental risks. For the integration, methods of identification and risk analysis, such as PFMEA for safety risks, HAZOP for environmental risks and Poka-Yoke methods for quality of results in the experiments were used. This integration was possible with the use of a built-in checklist and spreadsheets that use a quantification algorithm, thus obtaining an acceptable level of risk associated with the experiments. Thus, by determining risk levels according to the type of experiment and the context of the research, one can guarantee reliability and safety to the system without waste. The tool was validated through a case study of naphthenic corrosion monitoring carried out at the Laboratory of Electrochemistry of Surfaces and Corrosion (LESC) of the Federal University of Paraná.

Key-words: Petroleum Industry. Risk Management. HAZOP. PFMEA. Poka-Yoke.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PESQUISA SOBRE ATITUDES E PRÁTICAS NO LOCAL DE TRABALHO DE PESQUISA.....	25
FIGURA 2 – MANCHETES DIVULGADAS NA MIDIA DOS ESTADOS UNIDOS SOBRE ACIDENTES EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA DE UNIVERSIDADES.....	26
FIGURA 3 – FONTES DE ENERGIA NO MUNDO SEGUNDO <i>UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION</i>	30
FIGURA 4 – EM VERMELHO, AS ÁREAS MAIS EXPOSTAS À CORROSÃO NAFTÊNICA CONSIDERANDO PLANTA TÍPICA - Baker Hughes 2010	31
FIGURA 5 – EXEMPLO DE CORROSÃO NAFTÊNICA ACELERADA POR VELOCIDADE EM COLUNA DE DESTILAÇÃO A VÁCUO . LINHA DE TRANSFERÊNCIA SOB EFEITO DE ALTA VELOCIDADE DE FLUXO, 380 °C.....	35
FIGURA 6 – HISTÓRICO DA ATENÇÃO DA INDÚSTRIA PARA REDUZIR A TAXA DE INCIDENTE	44
FIGURA 7 – INDICADORES VISUAIS.....	90
FIGURA 8 – EXEMPLOS DE DISPOSITIVOS VISUAIS UTILIZADOS PARA SINAL, CONTROLE E GARANTIA VISUAL.....	91
FIGURA 9 – GARANTIA VISUAL – ANTI-ERRO – SEGURANÇA DO RECEPTOR	91
FIGURA 10 – ARRANJO FÍSICO DE SISTEMA PARA ANÁLISE DE CORROSÃO NAFTÊNICA.....	132
FIGURA 11 – MONTAGEM DOS ELETRODOS NA SONDA DE MONITORAMENTO	134
FIGURA 12 – LOCAIS DE RISCOS NO EXPERIMENTO (1).....	136
FIGURA 13 – LOCAIS DE RISCOS NO EXPERIMENTO (2).....	137
FIGURA 14 – <i>POKA-YOKE</i> – MECANISMO DE DETECÇÃO – MÉTODO DE COMPARAÇÃO	138
FIGURA 15 – <i>POKA-YOKE</i> – FUNÇÃO REGULADORA – MÉTODO DE ADVERTÊNCIA.....	139

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE ACIDENTES EM PROCESSOS DE 1988 ATÉ 2012	55
GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCOS NAS ÚLTIMAS DUAS DÉCADAS.....	61

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PROCESSO DE GESTÃO DO RISCO	59
QUADRO 2 – METODOLOGIA DO PROCESSO DE ANÁLISE DE RISCOS DE SEGURANÇA.....	60
QUADRO 3 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS FREQUÊNCIA X SEVERIDADE	75
QUADRO 4 – SEQUÊNCIA DE PASSOS DURANTE A APLICAÇÃO DO MÉTODO 5 “S”	83
QUADRO 5 – ESTRUTURA PARA LOCAL DE TRABALHO VISUALMENTE ADEQUADO.....	89
QUADRO 6 – FUNÇÕES DOS DISPOSITIVOS <i>POKA-YOKE</i>	94
QUADRO 7 – MÉTODOS DE ATUAÇÃO DE DISPOSITIVOS <i>POKA-YOKE</i>	96
QUADRO 8 – PROPOSTA DE FERRAMENTA DE GESTÃO INTEGRADA PARA EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIOS DE PESQUISA	113
QUADRO 9 – CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS.....	122
QUADRO 10 – ESTRUTURA DA FERRAMENTA PARA EXPERIMENTO CONFIÁVEL DE LABORATÓRIO DE BAIXO CUSTO SEM RISCOS FÍSICOS E AMBIENTAIS	128
QUADRO 11 – INSERÇÃO DA FERRAMENTA NO CONTEXTO DA ATIVIDADE DE PESQUISA.....	130

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE DE REFINO SEGUNDO REFINARIAS 2006-2015	23
TABELA 2 – EFEITOS PARA A SAÚDE ASSOCIADOS AO SULFETO DE HIDROGÊNIO	34
TABELA 3 – EFEITOS FÍSICOS QUE LIDERAM ACIDENTES FATAIS EM LABORATÓRIOS DE UNIVERSIDADES DESDE O ANO DE 2000	40
TABELA 4 – QUANTIDADE DE ACIDENTES DE TRABALHO POR SITUAÇÃO DO REGISTRO E MOTIVO, SEGUNDO CLASSE 7210 – PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM CIÊNCIAS FÍSICAS E NATURAIS – CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DE ATIVIDADES ECONÔMICAS (CNAE) – 2013 A 2015	42
TABELA 5 – EXEMPLOS DE PALAVRAS-GUIA HAZOP POSSÍVEIS	68
TABELA 6 – CATEGORIAS DE FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIAS DOS CENÁRIOS	74
TABELA 7 – CATEGORIAS DE SEVERIDADE DOS PERIGOS IDENTIFICADOS ..	74
TABELA 8 – LEGENDA DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS – FREQUÊNCIA X SEVERIDADE	75
TABELA 9 – TÁTICAS DO ESTUDO DE CASO PARA QUATRO TESTES DE PROJETO	103
TABELA 10 – ATUAÇÃO DAS ÁREAS DE INFORMAÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ANALISADOS	108
TABELA 11 – REQUISITOS COMUNS DA GESTÃO DA QUALIDADE, GESTÃO AMBIENTAL, GESTÃO DA SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO SEGUNDO PAS 99:2006	111
TABELA 12 – PLANILHA CHECKLIST – CAPA DO ARQUIVO	126
TABELA 13 – PLANILHA CHECKLIST – FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO ...	127
TABELA 14 – RESULTADO APLICAÇÃO DE CHECKLIST NO EXPERIMENTO ..	141
TABELA 15 – EXEMPLO APLICAÇÃO DA PLANILHA CHECKLIST NO EXPERIMENTO	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	- <i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIChE	- <i>American Institute of Chemical Engineers</i>
AISI	- Norma Técnica da <i>American Iron and Steel Institute</i>
ANP	- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	- Norma Técnica da <i>American Society for Testing and Materials</i>
ATS	- <i>Activation-trigger-schemata systems</i>
BPR	- <i>Business Process Reengineering</i>
CBO	- Classificação Brasileira de Ocupações
CCA	- <i>Cause-consequence Analysis</i>
CCPR	- <i>Center for Chemical Process Safety</i>
CENPES	- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
HAZOP	- <i>Control Hazards and Operability Analysis</i>
CHP	- <i>Chemical Hygiene Plan</i>
CNAE	- Classificação Nacional de Atividades Economicas
COCOM	- <i>Contextual Control Model</i>
CREAM	- <i>Cognitive Reliability and Error Analysis Method</i>
CSB	- <i>Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
EIA	- <i>United State Energy Information Administration</i>
EPA	- <i>Enviromental Protection Agency</i>
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
ETA	- <i>Event Tree Analysis</i>
FACTS	- <i>Failure and Accident Technical Information System</i>
FISPQ	- Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
FMEA	- <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMECA	- <i>Failure Mode and Effects and Criticality Analysis</i>
FTA	- <i>Fault Tree Analysis</i>
GEA	- Grupo de Eletroquímica Aplicada da UFPR
GEMS	- <i>Generic Error-modeling System</i>
GV	- Gerenciamento Visual
HAZOP	- <i>Hazard and Operability Study</i>
HRA	- <i>Human Reliability Analysis</i>

HSE	- <i>United Kingdom Health and Safety Executive</i>
IBP	- <i>Intituto Brasileiro de Petróleo Gás e Biocombustíveis</i>
ICI	- <i>Imperial Chemical Industry</i>
IES	- <i>Instituições de Ensino Superior MEC</i>
IRPN	- <i>Improved Risk Priority Number</i>
JIT	- <i>Just-in-time</i>
LabHIRA	- <i>Hazard Identification and Risk Analysis for the Chemical Research Laboratory</i>
LARA	- <i>Laboratory Assessment and Risk Analysis</i>
LCI	- <i>Laboratory Criticality Index</i>
LESC	- <i>Laboratório de Eletroquímica de Superfície e Corrosão da UFPR</i>
MABAMABA	- <i>Men-are-better-at / Machine-are-better-at</i>
MARS	- <i>Major Accident Reporting System</i>
MHIDAS	- <i>Major Hazard Incident Data Service</i>
MOC	- <i>Management of Change</i>
MTO	- <i>Make-to-order</i>
OMS	- <i>Organização Mundial da Saúde</i>
OSHA	- <i>United States Occupational Safety and Health Administration</i>
PCD	- <i>Pessoa com Deficiência</i>
PHA	- <i>Preliminary Hazard Analysis</i>
P&DI	- <i>Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação</i>
P&ID	- <i>Pipe and Instrumentation Diagram</i>
PID	- <i>Controlador Proporcional Integral e Derivativo</i>
PMI	- <i>Project Management Institute</i>
PSIC	- <i>Process Safety Incident Database</i>
RPN	- <i>Risk Priority Number</i>
RBI	- <i>Risk Based Inspection</i>
SG	- <i>Sistema de Gestão</i>
SGSST	- <i>Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho</i>
SPC	- <i>Statistics Process Control</i>
SRA	- <i>Society for Risk Analysis</i>
SWIF	- <i>Struturate What-If</i>
TI	- <i>Tecnologia de Informação</i>
TORANAS	- <i>Tool for Risk Analysis and Assessment</i>

- TPM - *Total Productive Maintenance*
- TQM - *Total Quality Management*
- UCLA - *Universidade da California Los Angeles*
- WOAD - *World Offshore Accident Database*
- ZQC - *Zero Quality Control*

LISTA DE SÍMBOLOS

°API - Escala de medição de densidade de óleos.

NAT - Número de Acidez Total (mgKOH/g).

dBA - Nível de intensidade sonora do ouvido humano (decibéis audível).

ppm - Concentração indica a quantidade em gramas de soluto em 10^6 g de solução (parte por milhão).

ppb - Concentração indica a quantidade em gramas de soluto em 10^{12} g de solução (parte por bilhão).

pH - Grau de acidez e basicidade de soluções.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivo Geral.....	21
1.1.2	Objetivos Específicos	21
1.2	HIPÓTESE	22
1.3	JUSTIFICATIVA.....	22
1.4	METODOLOGIA.....	26
1.5	LIMITAÇÕES.....	27
1.6	ESTRUTURA DA TESE	28
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	29
2.1	O SETOR DO PETRÓLEO.....	29
2.1.1	Definições, importância e classificação	29
2.1.2	Corrosão Naftênica.....	31
2.1.3	Controle da Corrosão Naftênica	35
2.2	LABORATÓRIOS UNIVERSITÁRIOS DE PESQUISA E ENSINO FÍSICO- QUÍMICOS	36
2.2.1	Introdução.....	37
2.2.2	Acidentes em Laboratórios	39
2.2.3	Segurança em Laboratórios	43
2.2.4	Abordagens de Risco em Laboratórios de Pesquisa.....	46
2.3	GERENCIAMENTO DE RISCOS	53
2.3.1	Introdução e Conceitos.....	53
2.3.2	Gestão dos riscos	57
2.3.3	Técnicas para gerenciamento dos riscos	64
2.3.4	Avaliação e Classificação dos Riscos.....	71
2.4	SISTEMAS POKA-YOKE	76
2.4.1	Manufatura Enxuta	76
2.4.2	Variabilidades de Processos	78
2.4.2.1	Métodos para Redução da Variabilidade.....	79
2.4.211	Padronização.....	80
2.4.212	O 5S <i>housekeeping</i>	82
2.4.213	Lista de Verificação - checklist	85

2.4.3	Gerenciamento Visual e Aumento de Transparência dos Processos	87
2.4.4	A prova de erros (<i>mistake-proofing</i>)	92
2.4.4.1	Classificação e tipologia de <i>Poka-Yokes</i>	93
2.4.4.2	Princípios de <i>Poka-Yoke (mistake-proofing)</i>	97
3	MÉTODO DE PESQUISA	101
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	101
3.2	SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA	101
3.3	DELIMITAÇÃO DO ESCOPO.....	102
3.4	UNIDADE DE ANÁLISE	103
3.5	VALIDAÇÃO INTERNA EXTERNA E DO CONSTRUCTO.....	103
3.6	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	104
3.6.1	Critério para Seleção do Processo	104
3.6.2	Coleta de Evidências	104
3.6.2.1	Levantamento dos Riscos e Falhas do Experimento	104
3.6.2.2	Coleta de Documentos	105
3.6.2.3	Registros	106
3.6.2.4	Entrevistas.....	106
3.6.2.5	Artefatos Físicos.....	107
3.6.2.6	Observação Direta.....	107
3.7	ESTRATÉGIA DE ANÁLISE.....	107
4	FERRAMENTA PARA EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO.....	109
4.1	MODELO INTEGRADO DE GESTÃO PROPOSTO.....	109
4.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA DA FERRAMENTA.....	113
4.2.1	Requisitos do Experimento.....	113
4.2.2	Procedimentos Operacionais.....	115
4.2.3	Aplicação de Métodos de Identificação e Análise de Riscos	116
4.2.3.1	Estudo de Perigo e Operabilidade – HAZOP	117
4.2.3.2	Análise dos Modos de Falha e Efeitos de Processo – PFMEA	118
4.2.3.3	Avaliação e Classificação dos Riscos.....	120
4.2.3.4	Métodos <i>Poka-Yoke</i>	122
4.2.4	Ferramenta <i>Checklist</i>	123
4.2.5	Planilhas Eletrônicas	125

4.3	ABRANGÊNCIA DA FERRAMENTA.....	128
5	ESTUDO DE CASO	131
5.1	DESCRIÇÃO	150
5.2	SELEÇÃO DO PROCESSO	131
5.3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA - EXPERIMENTO	131
5.4	COLETA DE EVIDÊNCIAS.....	133
5.4.1	Caracterização do Sistema.....	133
5.4.2	Caracterização dos Riscos e Falhas do Sistema	135
5.4.3	Analises e Proposições	139
5.4.4	Aplicação da Ferramenta.....	139
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	143
6.1	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS.....	143
6.2	MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS.....	144
6.2.1	HAZOP – <i>Hazards and Operability Study</i>	144
6.2.2	PFMEA – <i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>	144
6.3	O <i>CHECKLIST</i> - LISTA DE VERIFICAÇÃO	145
6.4	PLANILHAS ELETRÔNICAS – ALGORITMO	145
6.5	DISCUSSÃO E SÍNTESE.....	146
7	CONCLUSÕES	148
7.1	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O PROBLEMA, OBJETIVO E HIPÓTESES.	148
7.2	CONCLUSÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA	149
7.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
7.4	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	151
	REFERÊNCIAS.....	152
	APÊNDICE E1 – ROTEIRO DE CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO ...	172
	APÊNDICE E2 – ROTEIRO DE CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO ...	173
	APÊNDICE E3 – ROTEIRO DE PROCEDIMENTOS PARA OBSERVAÇÃO DIRETA	174

1 INTRODUÇÃO

O setor do petróleo no Brasil é um campo que está em amplo crescimento. A indústria do petróleo é fomento de energia e matéria-prima para vários setores industriais e promove o crescimento da economia. Para tal, exige desafios a serem superados, dentre eles, pode-se citar: o desenvolvimento de novas tecnologias para prospecção e refino de óleos ácidos e do pré-sal; construção de plataformas; condições de perfurações submarinas em altas pressões e baixas temperaturas; corrosão de equipamentos; entre outras. Este setor demanda forte pesquisa científica, com grandes diversidades de tópicos, impulsionando o desenvolvimento tecnológico do País.

Nos laboratórios de pesquisa e ensaios com petróleo existem necessidades específicas em cada experimento com relação ao consumo de reagentes utilizados, ambiente de trabalho, grandezas a serem monitoradas e riscos inerentes que essa atividade gera para as pessoas e meio ambiente. Tais necessidades exigem controle efetivo de cada etapa de trabalho. No caso dos Laboratórios de Universidades, onde cada tipo de pesquisa é único, a necessidade de gerenciamento dos riscos envolvidos com a pesquisa é maior, pelas próprias características do ambiente, seus impactos em segurança das pessoas, do meio ambiente e na qualidade do resultado da pesquisa.

O aumento do número de acidentes (UCSB, 2018); (CSB, 2011); (BBC, 2012); (CHANNEL FOUR TVC, 2011) relacionados às pesquisas em laboratórios acadêmicos gerando perdas materiais, ferimentos, e ceifando vidas identifica um ambiente perigoso o qual necessita de monitoramento. Outro agravante é a grande rotatividade de pessoas nos laboratórios e a existência de poucas abordagens direcionadas para gerenciamento e controle de riscos e segurança. As abordagens não são proativas, pois somente após a ocorrência do acidente é que ações são tomadas.

Existem vários métodos e abordagens utilizados na indústria para a melhoria da qualidade e segurança no gerenciamento de operações e processos. Uma dessas abordagens, originada da Manufatura Enxuta, são os sistemas *Poka-Yoke* (*mistake-proofing*). Estes sistemas, utilizados para aprimorar a qualidade, podem ser desde dispositivos físicos a prova de falha até uma sub-rotina de programa que controla a execução de tarefa do programa base. Em uma visão mais ampla, o uso do processo ou características de projeto são importantes para evitar a criação de não conformidades. Seus princípios são simples, intuitivos e de fácil entendimento. Os *Poka-Yokes*

têm a característica de parar o processo caso surjam anormalidades até que o defeito ou sua causa sejam detectados e ações corretivas tomadas.

Outra abordagem da indústria com ênfase em instalações, é o *HAZOP* (*Hazard and Operability Study*), Estudo de Perigo e Operabilidade, que monitora produtos, processos ou sistemas e colabora para o gerenciamento dos riscos. O *HAZOP* é uma técnica que visa identificar os problemas de operabilidade de instalações de processos, identificando riscos para as pessoas, equipamentos e o meio ambiente. Também, a abordagem *FMEA* (*Failure Mode and Effects Analysis*) Análise dos Efeitos e Modos de Falhas, utilizada em gerenciamento de manutenção; é uma técnica utilizada para identificar formas de falha de componentes, sistemas ou processos a fim de atender o intuito do projeto ou processo. Esta técnica é utilizada em vários campos, na indústria, nos serviços, em desenvolvimento de software entre outros.

Desta forma, o presente projeto de pesquisa tem como desafio: “Como desenvolver uma ferramenta para se obter um experimento confiável de laboratório de baixo custo com redução de riscos físicos e ambientais baseada em princípios *Poka-Yoke*?”. O processo de desenvolvimento da ferramenta segue a abordagem de um processo *Poka-Yoke*, onde todos os passos são alcançados conforme o objetivo traçado anteriormente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é desenvolver uma ferramenta para obter um experimento confiável de baixo custo com redução de riscos físicos, ambientais e de qualidade de resultados experimentais, em laboratório de pesquisa e ensaios utilizando princípios de sistemas *Poka-Yoke*. O desenvolvimento da metodologia acompanha um experimento de monitoramento e análise de corrosão naftênica.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que contribuem para o objetivo geral do trabalho são os seguintes:

- a) Identificar e integrar fatores geradores de riscos físicos, ambientais e de confiabilidade de resultados para compor uma ferramenta de gestão integrada;
- b) Elaborar um algoritmo incorporado a ferramenta para quantificação dos diversos riscos envolvidos;
- c) Aplicação da ferramenta em um estudo de caso de desenvolvimento de pesquisa para análise de corrosão naftênica.

1.2 HIPÓTESE

Segundo Gil (2008), o papel fundamental da hipótese na pesquisa é sugerir explicações para os fatos, tais sugestões podem ser verdadeiras ou falsas, mas se bem elaboradas, conduzem à verificação empírica, que é o propósito da pesquisa científica.

Como hipótese tem-se que a aplicação de uma metodologia baseada nos princípios de sistemas *Poka-Yoke* poderá contribuir para redução de riscos físicos, ambientais e aumento na confiabilidade dos resultados de experimentos em projetos de pesquisa.

Os resultados poderão ser quantificados através da confecção de planilhas, as quais consideram os aspectos críticos nas questões físicas, ambientais e de qualidade de resultados do experimento. Para análise destes resultados será elaborada uma ferramenta de gestão integrada para determinação quantitativa do grau dos riscos e confiabilidade dos resultados.

A comprovação dessa metodologia baseada nos princípios de sistemas *Poka-Yoke* poderá ser avaliada em sua eficácia, através de sua aplicação para um caso em um experimento de monitoramento e análise de corrosão naftênica em laboratório de ensaios e testes com petróleo.

1.3 JUSTIFICATIVA

O petróleo encontrado no Brasil apresenta alta densidade e acidez, com grau API em torno de 19º API, são mais densos que os petróleos de origem Árabe, para os quais as refinarias do Brasil foram projetadas. Eles geram maiores proporções de frações pesadas de derivados e menores proporções de derivados leves e médios. Existe a necessidade de aperfeiçoar tecnologias apropriadas à conversão de frações

pesadas de petróleo cru em derivados leves. Em função disso, novas tecnologias para transformar as frações pesadas geradas na destilação em gasolina e diesel foram inseridas nas plantas de craqueamento catalítico fluido (FCC). Todas as refinarias da Petrobras possuem este processo (FCC). Porém, estes setores são os mais suscetíveis à corrosão ácida dos equipamentos (MORAES, 2013).

De acordo com Moraes (2013), em função de grande parte dos petróleos brasileiros serem constituídos de óleos pesados e ácidos, as atividades de P&D do CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras) buscam a realização de inovações ou de adaptações nos processos produtivos das refinarias com o objetivo de adequar o aproveitamento dos tipos disponíveis de petróleo às características de qualidade exigidas pelo mercado consumidor de derivados. Além de ajustes em áreas específicas das refinarias, o processo produtivo de derivados envolve o aumento da capacidade de produção, devido à demanda ser crescente. A Tabela 1 a seguir, ilustra a evolução da capacidade de refino das refinarias do Brasil em barril/dia, segundo Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016).

TABELA 1: EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE DE REFINO SEGUNDO REFINARIAS 2006-2015

REFINARIAS (UNIDADE DA FEDERAÇÃO)	CAPACIDADE DE REFINO (BARRIL/DIA)									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL¹	2.044.217	2.063.716	2.076.767	2.092.806	2.092.806	2.116.022	2.105.958	2.203.451	2.352.425	2.397.712
Riograndense (RS)	16.983	16.983	16.983	16.983	16.983	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014
Lubnor (CE)	6.919	6.919	8.177	8.177	8.177	8.177	8.177	8.177	8.177	9.435
Manguinhos (RJ)	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001	14.001
Recap (SP)	53.463	53.463	53.463	53.463	53.463	53.463	53.463	53.463	53.463	62.898
Reduc (RJ)	242.158	242.158	242.158	242.158	242.158	242.158	242.158	242.158	242.158	251.593
Refap (RS)	188.695	188.695	188.695	188.695	188.695	201.274	201.274	201.274	201.274	220.144
Regap (MG)	150.956	150.956	150.956	150.956	150.956	150.956	150.956	150.956	166.051	166.051
Reman (AM)	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916
Repar (PR)	188.695	201.274	220.144	220.144	220.144	220.144	207.564	207.564	207.564	213.854
Replan (SP)	364.810	364.810	383.679	415.128	415.128	415.128	415.128	415.128	433.998	433.998
Revap (SP)	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593	251.593
RLAM (BA) ²	322.982	322.982	295.307	279.897	279.897	279.897	279.897	377.389	377.389	377.389
RPBC (SP)	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825
RPCC (RN)	27.222	27.222	27.222	27.222	27.222	35.223	37.739	37.739	37.739	37.739
Rnest (PE) ³	-	-	-	-	-	-	-	-	115.009	115.009
Univen (SP)	-	6.919	6.919	6.919	6.919	9.158	9.158	9.158	9.158	9.158
Dax Oil (BA)	-	-	1.730	1.730	1.730	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095
Total⁴ (barril/dia-calendário)	1.942.007	1.960.530	1.972.929	1.988.166	1.988.166	2.010.221	2.000.660	2.093.278	2.234.804	2.277.826
Fator de Utilização⁵ (%)	90,3	91,1	89,9	91,1	91,2	92,8	96,3	98,2	94,3	87,1

FONTE: Anuário Estatístico Brasileiro ANP (2016)

Uma das formas de simular a realidade da atividade de refino para estudo são os laboratórios de pesquisa. Nesses locais se consegue reproduzir as condições reais e até mais severas para o desenvolvimento da pesquisa. São os laboratórios de pesquisa que promovem as descobertas científicas.

Uma pesquisa internacional realizada sobre atitudes e práticas nos locais de trabalho de pesquisadores em 2011, mostrou em seu resultado preliminar, uma falsa sensação de segurança por parte dos respondentes sobre a segurança em seus laboratórios de pesquisa. Essa pesquisa foi uma iniciativa criada em março de 2011 pelo Centro de Segurança de Laboratório (*Center for Safety Laboratory*), da Universidade da Califórnia, Los Angeles (UCLA). De acordo com Noorden (2013), a pesquisa da Figura 2 a seguir, foi elaborada em quatro perguntas para avaliação de segurança:

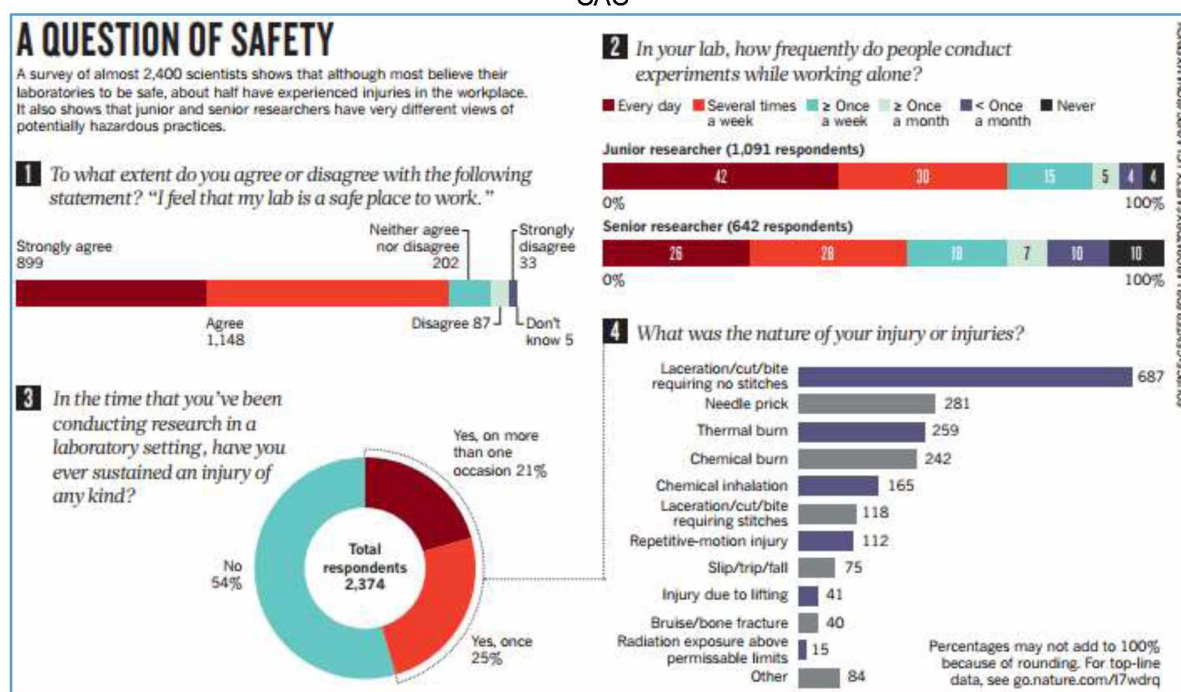
- 1) Se o pesquisador concorda ou não com a declaração: “Eu sinto que o meu laboratório é um local seguro para se trabalhar”?
- 2) Em seu laboratório, qual a frequência com que as pessoas executam experimentos trabalhando sozinhas?
- 3) No tempo em que você tem conduzido pesquisas no seu laboratório, você já teve algum tipo de ferimento?
- 4) Qual foi a natureza do seu ferimento?

Esse estudo fez parte de uma onda de esforços liderados pelos EUA para examinar a cultura de segurança após a morte chocante de uma assistente de pesquisa de 23 anos, Sheharbano Sangji. Ela recebeu queimaduras em um incêndio laboratorial da UCLA em 2009, e seu supervisor, o químico orgânico Patrick Harran, enfrentou um julgamento criminal por causa da morte (NOORDEN, 2013).

Segundo Noorden (2013), aproximadamente cerca de 86% dos 2.400 cientistas que responderam à pesquisa disseram que acreditam que seus laboratórios são lugares seguros para trabalhar. No entanto, pouco menos da metade sofreram lesões que variavam de mordidas de animais até inalação química, e uma grande parte dos pesquisadores declararam a existência de trabalho solitário frequente, lesões não relatadas e treinamento de segurança insuficiente em perigos específicos. Os participantes anônimos da pesquisa dos Estados Unidos, Reino Unido, Europa, China e Japão consideraram que qualquer lesão que eles sofreram era apenas parte do trabalho. Respostas estranhas à pesquisa apareceram como: um pesquisador foi arranhado por um macaco, outro que foi mordido ao extrair veneno de cascavéis, e outro com rosto

e mãos pulverizados por ácido sulfúrico, gastando U\$3.000,00 com tratamento dermatológico. As respostas mais comuns foram lesões menores, cortes, lacerações, ferimento com agulhas, mas 30% dos entrevistados disseram que testemunharam que em pelo menos um laboratório, uma lesão maior ocorreu que necessitava de atenção de um profissional médico. Mais de ¼ dos pesquisadores juniores disseram que tinham experimentado uma lesão e não relataram ao seu Supervisor (NOORDEN, 2013). A Figura 1, ilustra o resultado da pesquisa realizada pelo *UC Center for Safety Laboratory* - Centro para Segurança de Laboratórios.

FIGURA 1: PESQUISA SOBRE ATITUDES E PRÁTICAS NO LOCAL DE TRABALHO DE PESQUISAS



Laboratórios Universitários são locais perigosos, infelizmente acidentes relacionados com lesões e mortes em laboratórios de pesquisa acontecem e frequentemente são publicados na mídia americana para conscientização do risco envolvendo a segurança das pessoas que trabalham nesses locais. Pode-se enumerar alguns desses acidentes: uma explosão no Laboratório de Química da Universidade Tecnológica do Texas, em 2010, devido a um incidente reativo, provocou severos ferimentos em um estudante de graduação; na Universidade de Yale em New Haven, Connecticut, em 2011, uma estudante morreu devido seu cabelo ficar preso no torno mecânico.

Acidentes mais recentes envolvendo laboratórios, os quais infelizmente não são divulgados aqui no Brasil, foram publicados na mídia dos Estados Unidos, conforme ilustrado na Figura 2 a seguir: um empregado do Laboratório Magnético da Universidade do Estado da Florida morreu no seu local de trabalho enquanto trabalhava em um projeto de construção magnética (2015); e uma pesquisadora da Universidade do Havaí-Manoa que perdeu um braço durante explosão no laboratório da Universidade (2016).

FIGURA 2: MANCHETES DIVULGADAS NA MIDIA DOS ESTADOS UNIDOS SOBRE ACIDENTES EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA DE UNIVERSIDADES



Fonte: Eighmy (2016)

Todos esses eventos, desencadearam uma força tarefa em 2015 de reitores e diretores de Universidades do Estados Unidos, para prevenção e mitigação de acidentes em laboratórios. Dessa força tarefa surgiu uma publicação, “*A Guide to Implementing a Safety Culture in Our Universities*” do Conselho de Força Tarefa em Pesquisa em Segurança de Laboratório, a qual contém 20 recomendações para cultura de segurança, e engloba também ferramentas e recursos para implementação. (APLU COUNCIL ON RESEARCH TASK FORCE ON LABORATORY SAFETY, 2016).

Dentro desse contexto, a presente Tese tem como propósito contribuir com os Laboratórios de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação (P&D&I) e os Laboratórios Acadêmicos de ensaio e pesquisa com petróleo, utilizados por alunos graduandos e pós-graduandos, com uma ferramenta que possa garantir resultados corretos de pesquisa, sem ou com o mínimo de riscos físicos e ambientais. A validação desse estudo se dará no Laboratório de Eletroquímica de Superfícies e Corrosão (LESC), na Usina Piloto B da UFPR, através de um estudo de caso no experimento de monitoramento e análise de corrosão naftênica.

1.4 METODOLOGIA

Como método de pesquisa foi escolhido o “estudo de caso”. Segundo Yin (2005), o estudo de caso trata de uma investigação empírica sobre fenômenos contemporâneos da vida real, onde não são claramente definidos os limites entre o fenômeno e o contexto. Ele abrange o todo, possui uma lógica de planejamento que incorpora abordagens específicas à coleta e análise de dados e explica os vínculos causais em intervenções da vida real (YIN, 2005).

Segundo Dresch; Lacerda e Antunes Júnior (2015), os estudos de caso são adequados para investigar problemas complexos, e são constituídos de uma combinação de métodos de coleta de dados, como entrevistas, questionários, observações, etc., sendo que, essas evidências podem ser tanto quantitativas quanto qualitativas. Eles se fundamentam na comparação dos dados coletados, buscando identificar o surgimento de categorias teóricas, que possam servir de base para a proposição de novas teorias. Os principais objetivos do estudo de caso são descrever um fenômeno, testar uma teoria e criar uma teoria (DRESCH; LACERDA e ANTUNES JÚNIOR, 2015).

No estudo de caso serão confrontados os dados de campo com o referencial teórico. A validação interna das soluções propostas será analisada através da análise de replicação literal ou teórica (YIN, 2005). A análise deverá buscar identificar as diretrizes e recomendações para o projeto de soluções e construir uma teoria para garantir qualidade nos resultados dos experimentos com intuito de reduzir ou eliminar riscos físico e ambientais através dos princípios dos sistemas *Poka-Yoke*. A unidade de análise do estudo é o nível de riscos físico, ambiental e de qualidade do experimento e conseqüentemente a determinação do seu bloqueio.

1.5 LIMITAÇÕES

A presente tese tem como âmbito, Laboratórios de Pesquisas Desenvolvimento e Inovação (P&D&I) e Laboratórios Acadêmicos físico-químicos, de testes e ensaios com petróleo no momento atual. Não serão considerados os laboratórios de análises clínicas ou patológicas (biológicos) ou de ensaios mecânicos. E não serão estudadas as interfaces do *Poka-Yoke* com outras práticas da Produção Enxuta.

1.6 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese é dividida em sete capítulos, conforme descrição a seguir:

Capítulo 1: neste capítulo é apresentado o problema de pesquisa e o correspondente objetivo e hipótese. São apresentados, os argumentos que justificam a realização do trabalho, assim como as limitações da pesquisa e o método adotado para sua realização. Também é apresentada a estrutura da tese.

Capítulo 2: neste capítulo é apresentado a revisão da literatura do trabalho envolvendo a contextualização sobre o petróleo, suas características para refino e a corrosão no processo; como também os laboratórios universitários de testes e ensaios com petróleo, suas particularidades, acidentes devido a atividade, riscos inerentes e abordagens para controle. Em seguida, o gerenciamento dos riscos com suas abordagens e técnicas usadas para análise e gestão; os sistemas *Poka-Yoke* com sua origem na Manufatura Enxuta; estrutura da produção; inspeções; o contexto da variabilidade de processos, envolvendo métodos para sua redução, gerenciamento visual e erros humanos; e finalmente são apresentados os princípios de sistemas *Poka-Yoke*, origens, aplicação e expansão dos seus conceitos.

Capítulo 3: neste capítulo é apresentado o método de pesquisa usada no trabalho com a categorização do problema, seleção do método de pesquisa, protocolo de coleta de dados, a estratégia de análise e de validação.

Capítulo 4: neste capítulo é apresentado o desenvolvimento da ferramenta de gestão integrada para uso no experimento com descrição e contribuição de cada técnica, método ou conceito utilizado, envolvendo um processo *mistake-proofing* com vistas ao alcance dos objetivos da pesquisa.

Capítulo 5: neste capítulo é realizado o estudo de caso único englobando a emprego da ferramenta, análises e soluções caracterizadas em campo.

Capítulo 6: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos das etapas do desenvolvimento da ferramenta, abrangendo todo o processo a prova de erros (*mistake-proofing*).

Capítulo 7: são apresentadas as conclusões acerca do trabalho, conclusões sobre o problema, objetivos e hipótese, contribuição da Tese e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente tópico tem a finalidade de proporcionar base teórica ao projeto de pesquisa iniciando com uma explanação do cenário principal relacionado ao tema, o Setor do Petróleo. Aspectos relacionados com o experimento, riscos associados e segurança nos processos de refino. A seguir, será abordado outra fonte de riscos, que são os Laboratórios das Universidades para ensaio e testes com petróleo. Eles simulam as condições da indústria para estudo e pesquisa. Em seguida, será abordado o tema do Gerenciamento dos riscos como uma forma de gestão para prevenção e controle. Por fim, os Sistemas *Poka-Yoke* com seus princípios e métodos para sustentar a abordagem a ser desenvolvida no ambiente.

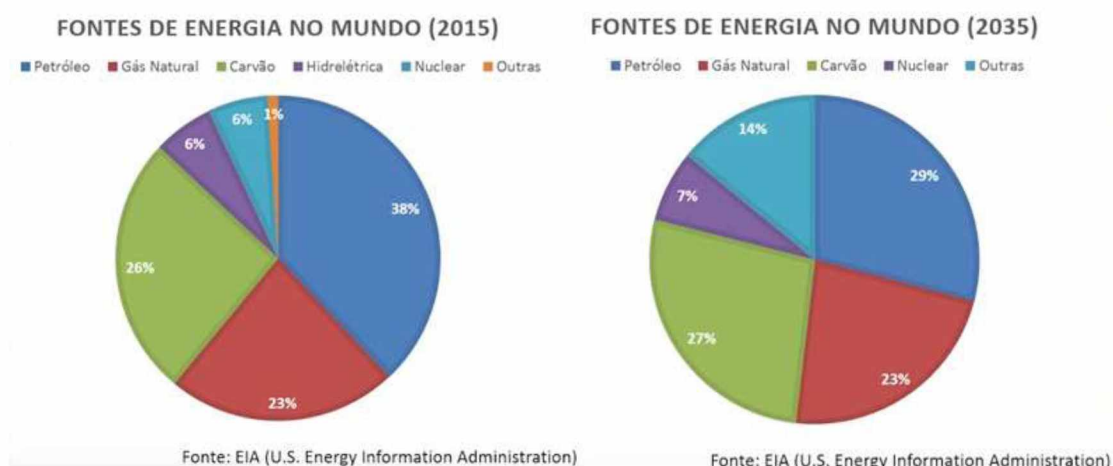
2.1 O SETOR DO PETRÓLEO

2.1.1 Definições, importância e classificação

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos resultante da decomposição de matéria orgânica como restos de animais e plantas junto com rochas sedimentares, que durante anos sofreu ação bacteriana e química devido ao aumento de pressão e temperatura (CARDOSO, 2005).

Sua importância estratégica a nível mundial caracteriza poder e gera conflitos entre países no mundo onde os recursos naturais são devastados progressivamente devido a interesses econômicos, pois mesmo com o apelo de se atingir um desenvolvimento sustentável a matriz energética mundial é baseada no controle de recursos minerais. Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo Gás e Biocombustíveis (IBP), o petróleo é o principal elemento da matriz energética no Brasil e no mundo, e já representou 12% do PIB nacional. De acordo com a Agência Americana de Administração de Informação e Energia, *United States Energy Information Administration (EIA)*, atualmente, o petróleo e gás são responsáveis por 63% da energia consumida no mundo e a projeção, de acordo com o mesmo órgão, para 2035 é que o petróleo e gás ainda serão responsáveis por 52% dessa energia. A Figura 3 a seguir, ilustra as divisões das fontes de energia no mundo em 2015 e em 2035 conforme a *EIA*.

FIGURA 3: FONTES DE ENERGIA NO MUNDO



FONTE: US Energy Information Administration (EIA) (2016)

Sendo composto por mistura de hidrocarbonetos, os petróleos são classificados pelos constituintes que os caracterizam em função de aspectos geológicos, tipos de produtos que possam produzir, etc. Uma das classificações mais conhecidas é fornecida pela *American Petroleum Institute (API)* com referência a uma escala usada para medir a densidade relativa de líquidos que é o grau API ($^{\circ}$ API). Quanto maior a densidade relativa, menor o grau API. Como referência de qualidade, cotado oficialmente no mercado, utiliza-se o petróleo tipo BRENT, petróleo do Mar do Norte, que tem em torno de $37,8^{\circ}$ API. Já o petróleo encontrado no Brasil, mais denso na faixa de 19° API, exige para seu refino, uma mistura com outros tipos mais leves, sendo que o parque de refino nacional não é apto a refinar esse tipo de petróleo (CARDOSO, 2005).

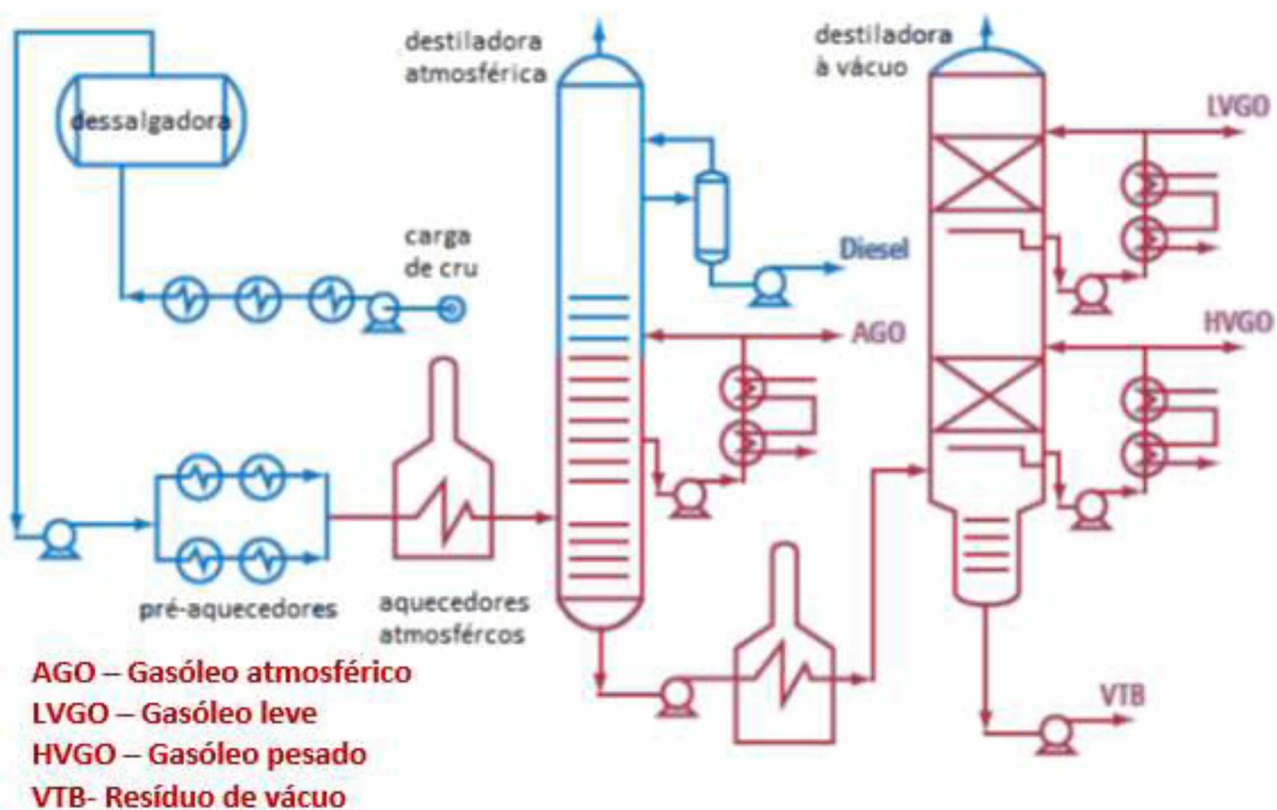
Segundo Qing (2010), as últimas reservas encontradas de petróleo incluindo as do Brasil são de óleo pesado de baixo API (10° - 26° API). Esses petróleos são de alta viscosidade e densidade (normalmente $> 930 \text{ kg/m}^3$), com contaminantes, como metais, enxofre, ácidos naftênicos e asfalto em gel. São conhecidos como óleos oportunos devido ao seu baixo valor de mercado, valendo 80% do valor do petróleo convencional e sua produção tem aumentado consideravelmente de 1995 até hoje. A indústria do refino se depara com esse grande desafio, uma vez que esse tipo de óleo, acarreta danos aos equipamentos pela corrosão naftênica.

2.1.2 Corrosão Naftênica

No Brasil, a maior parte das refinarias foi projetada e construída para o processamento de petróleos com baixos níveis de ácidos naftênicos e atualmente processa o petróleo oportuno devido a sua viabilidade econômica. Outro agravante é que com o aumento da temperatura para o processo de refino ocorre também um aumento da corrosão naftênica (ABRANTES, 2015).

Dentro de uma refinaria a parte mais susceptível à corrosão naftênica é a destilação a vácuo, sendo os pontos críticos fornos, curvas, linhas de transferência, casco e pratos da coluna de destilação a vácuo (ALVISI e LINS, 2011). A Figura 4, mostra em vermelho as áreas expostas à corrosão naftênica, considerando uma planta típica de refino (SMARTGUARD - BAKER HUGHES, 2010).

FIGURA 4: EM VERMELHO ÁREAS EXPOSTAS À CORROSÃO NAFTÊNICA CONSIDERANDO UMA PLANTA TÍPICA



FONTE: Smartguard - Baker Hughes (2010)

As características dos processos envolvidos expõem esses equipamentos a corrosão naftênica em função da ativação do ácido naftênico em altas temperaturas durante o refino do petróleo (SILVA, 2010).

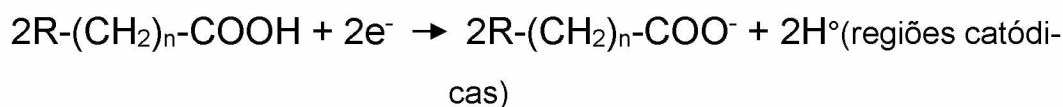
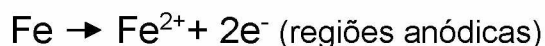
O processo de separação do petróleo em frações mais leves nas torres de destilação ocorre de acordo com os diferentes pontos de ebulição de cada fração. De acordo com Gutzeit (2006), o processo eletroquímico de corrosão naftênica aparece devido à faixa de temperatura e ocorre nas áreas anódicas do metal com a geração de hidrogênio nas áreas catódicas. Na faixa de temperaturas entre 200 °C a 400 °C a corrosão ocorre em aços carbono, aços de baixa liga, aços inoxidáveis austeníticos AISI 316 e AISI 410, a mesma faixa de temperatura para a ebulição dos ácidos naftênicos. Esse processo é mais severo na interface vapor/líquido nas regiões onde a condensação ocorre na superfície do metal em temperaturas abaixo da ebulição ou condensação do ácido (SLAVCHEVA; SHONE; TURNBULL, 1999).

A corrosão naftênica é um conjunto de reações químicas que ocorrem com o metal exposto ao meio ambiente circundante. Em uma refinaria a planta de destilação a vácuo é a mais vulnerável à corrosão naftênica. A massa molar das frações de hidrocarbonetos com pontos de ebulição presentes, frações de diesel e gasóleo, coincide com a faixa da massa molar dos ácidos naftênicos. Este fato é evidenciado na fração do gasóleo de vácuo pesado por apresentar o maior número de acidez total (NAT) (ALVISI e LINS, 2011). O NAT corresponde à quantidade de hidróxido de potássio (KOH) necessária para neutralizar todo e qualquer tipo de ácido presente em 1g de amostra (ASTM-D664).

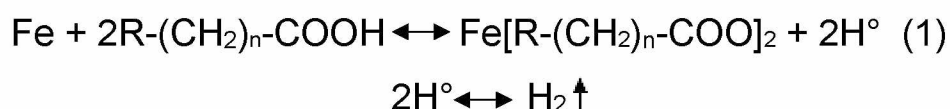
Segundo Qing (2011), o mecanismo da corrosão naftênica em altas temperaturas engloba quatro etapas:

- 1- Transferência das moléculas dos ácidos naftênicos para superfície do metal;
- 2- Absorção dessas moléculas na superfície do metal;
- 3- Reação com os centros ativos nessa superfície;
- 4- Dessorção dos produtos da corrosão.

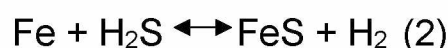
As reações parciais são representadas a seguir, de acordo com Gutzeit (2006), onde o radical R é o radical naftênico (um ou mais anéis de ciclopentano ou ciclohexano saturados):



A reação final resultando conforme Gutzeit (2006); Alvisi e Lins (2011):



O resultado da reação de corrosão do ácido naftênico com o ferro é o naftanato de ferro, conforme a reação (1). Este é solúvel nos hidrocarbonetos deixando a superfície sem um filme protetor. Durante o processo, uma dada fração do hidrocarboneto sempre contém componentes sulfurosos que possuem diferentes afinidades químicas para com o ferro. O sulfeto de hidrogênio, originado do querogênio com alto teor de enxofre é naturalmente encontrado no petróleo (UNITED STATE EPA, 1993). Esse sulfeto de hidrogênio reage com o ferro formando sulfetos de ferro, o qual pode gerar um filme protetor, em função da concentração do ácido, conforme reação (2) (SLAVCHEVA; SHONE; TURNBULL, 1999).



Outra reação que pode ocorrer é a reação (3), onde os naftanatos formados pelo ataque corrosivo reagem com o sulfeto de hidrogênio, provocando a regeneração do ácido naftênico deixando-o livre para novo ataque (ABADI, BADIA e HASSAN, 2015).

Os efeitos para a saúde humana da exposição ao sulfeto de hidrogênio são irritação e asfixia, dependendo da concentração e do tempo de exposição ao gás (SKRTIC, 2006). Um cheiro de ovo podre caracteriza o sulfeto de hidrogênio em baixas concentrações e a maioria das pessoas conseguem detectá-lo em níveis de 0,5 a 50 ppb (NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH, 2005). Entretanto, ele não possui odor em concentrações acima de 150ppb, porque danifica rapidamente o senso olfativo (KNIGHT; PRESNELL; 2005). Segundo Skrtic (2006), a Tabela 2 a seguir, lista alguns dos efeitos associados com a exposição ao sulfeto de hidrogênio em

durações variadas. Ela reporta efeitos para a saúde que estudos toxicológicos e epidemiológicos têm atribuídos a concentrações específicas ou gama de concentrações de sulfeto de hidrogênio:

TABELA 2 – EFEITOS PARA A SAÚDE ASSOCIADOS AO SULFETO DE HIDROGÊNIO

Concentração (ppm)	Tempo de exposição	Efeitos	Fonte
0,003 – 0,02	Imediato	Odor detectável	United State EPA, 1993, p. III-5.
0,01	Pública/ crônica	Anormalidades neurofisiológicas	Legator, p. 124.
0,2	Não reportado	Odor detectável	Fuller, p. 940.
0,25 – 0,30	Prolongado	Incômodo devido odor de exposição prolongada	Milby, p. 194.
2 - 8	Pública	Mal-estar, irritabilidade, dor de cabeça, insônia, náuseas, irritação na garganta, irritação nos olhos, dificuldade de respirar, diarreia e perda de peso.	United State EPA, 1993, p. III-32.
10	10 minutos	Irritação nos olhos, mudanças químicas no sangue e tecido muscular após 10min.	New York State Department of Health.
>30	Prolongado	Cansaço, paralisia do olfato devido exposição prolongada.	Snyder, p. 200.
50 - 100	Prolongado	Exposição prolongada lidera irritação dos olhos (sensibilidade a luz, olhos avermelhados, visão turva) e séria lesão ocular (cicatrização da córnea).	Milby p. 194; United State EPA Report 1993, p. III-6.
150 - 200	Não reportado	Paralisia do nervo olfativo	United State EPA Report 1993, p. III-5.
250	Prolongado	Possível edema pulmonar da exposição prolongada.	Milby p. 193.
500 - 1000	Imediato	Estimulação do sistema respiratório, aumento batimento cardíaco, seguido de apnéia (parada respiratória)	United State EPA Report 1993, p. III-5.
750	Imediato	Inconsciência e morte	Fuller, p.940.
750 - 1000	Imediato	Colapso físico abrupto, com possibilidade de recuperação se cessada exposição, se não parada respiratória fatal.	Milby, p. 192.
1000 - 2000	Não reportado	Colapso imediato com parada respiratória.	Kilburn (1999), p. 212.
5000	Imediato	Morte	Fuller, p.940.

FONTE: Skrtic (2006)

O processo de corrosão por ácidos naftênicos é maior em regiões com altas velocidades e fluxo bifásico. Isso é devido à acelerada transferência de massa do material resultante da corrosão e seu rápido afastamento da superfície metálica. Ocorre nos tubos dos fornos, linhas de transferência e saídas de topo de coluna de

destilação durante o processo de refino (ALVISI e LINS, 2011). Sua severidade dependerá do número de acidez total do resíduo e condensação de vapores ácidos (SPEIGHT, 2014).

A superfície do metal após longo período de corrosão induzida por fluxo de ácidos naftênicos tende a ficar lisa e limpa, podendo apresentar traços ou sulcos. Estes sulcos tendem a assumir a direção do fluxo, sendo que o regime do fluxo afeta a corrosividade do fluido conforme a ilustrado na Figura 5 a seguir:

FIGURA 5: EXEMPLO DE CORROSÃO NAFTÊNICA ACELERADA POR VELOCIDADE EM COLUNA DE DESTILAÇÃO A VÁCUO. LINHA DE TRANSFERÊNCIA SOB EFEITO DE ALTA VELOCIDADE DE FLUXO, 380 °C, ASTM A335 P5.



FONTE: Alvisi e Lins (2011)

A confiabilidade das plantas é fortemente dependente da metalurgia de seus equipamentos. O desempenho da refinaria e o processo de refino são afetados se não forem aplicadas ações de controle. Existem também altos custos envolvidos devido ao lucro cessante da refinaria e riscos de segurança e ao meio ambiente.

2.1.3 Controle da Corrosão Naftênica

De acordo com Rechten (2006), existem estratégias de controle de corrosão por ácidos naftênicos envolvendo: análise preliminar (caracterização do petróleo – acidez, composição); mitigação (mistura de petróleos com acidez diferentes - acidez final dentro de limites aceitáveis) e monitoramento do processo corrosivo (medida da composição de corrente, cupons de perda de massa, sondas de resistências, medição de espessura por ultrassom, radiografia e outros).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos em busca de parâmetros operacionais críticos, mas existem poucos que propiciem controle *online* da atividade do processo corrosivo de forma preditiva e proativa (BABAIAN-KIBALA, 1999).

Uma técnica recente que envolve transferência de carga com flutuações de corrente e potencial, para monitoramento instantâneo do processo corrosivo é a técnica do ruído eletroquímico. Ela é uma técnica não destrutiva, em tempo real a qual independe de influências do meio externo (SILVA, 2010); (ABRANTES, 2015).

Estudos sobre essa técnica demonstram a capacidade de distinguir os processos corrosivos, corrosão generalizada e corrosão localizada. Cada tipo de corrosão tem um comportamento característico do sinal de ruído. Através desse comportamento é possível prever o tipo do processo corrosivo que o metal está sujeito (COTTIS, 2006); (SÁNCHEZ-AMAYA *et.all*, 2005); (COTTIS *et.all*, 2001); (AL-MAZEEDI; COTTIS, 2004); (HASS *et.all*, 2014).

De acordo com Cox (2014), existe um progresso constante de desenvolvimento de aplicações do ruído eletroquímico, frequentemente direcionado para o melhor entendimento do complexo fenômeno da corrosão, que não é passível de avaliação usando a instrumentação de corrosão convencional.

Infelizmente a carência na qualidade da instrumentação de ruído eletroquímico e a eficácia de suas aplicações tem resultado em uma perda de confiança na funcionalidade. No seu devido curso, a tecnologia baseada em sensor de ruído eletroquímico se tornará a chave para um avançado gerenciamento amplo de condições da planta (COX, 2014).

Existe um campo promissor para pesquisas utilizando a técnica de ruído eletroquímico para monitoramento do processo corrosivo por ácidos naftênicos. O Grupo de Eletroquímica Aplicada (GEA) do Laboratório de Eletroquímica de Superfícies e Corrosão (LESC) da Universidade Federal do Paraná desenvolve pesquisas inovadoras aplicadas utilizando essa técnica, para controle e monitoramento da corrosão naftênica. O grupo utiliza os mesmos materiais aplicados na indústria, em temperaturas e concentrações de ácidos naftênicos que reproduzem as condições reais dos equipamentos submetidos ao processo.

2.2 LABORATÓRIOS DE PESQUISA FÍSICO-QUÍMICOS

Dentre os laboratórios de pesquisa, os das Universidades desempenham um papel crucial para o desenvolvimento científico do país. Para Cruz (2000), a capaci-

dade de gerar conhecimento e converter em benefício e desenvolvimento social depende de agentes institucionais geradores e aplicadores desse conhecimento: a Empresa, a Universidade e o Governo. Os laboratórios de pesquisa acadêmicos, como produtores de conhecimento, são a expressão da atividade científica moderna. E, no caso das Universidades Federais, é necessário considerar fatores da atividade científica como: a infraestrutura física, o perfil dos pesquisadores (carreira), o perfil das pessoas (estudantes), material de pesquisa, equipamentos, formas de financiamento, organização, entre outros (CRUZ, 2000).

Cada experimento realizado em pesquisa é único, gera ou não riscos, tem custos e um objetivo a ser atingido, por isso deve possuir uma boa gestão que englobe requisitos para seu sucesso. Em função da abrangência das linhas de pesquisa, esses locais apresentam vários tipos de equipamentos e ferramentas específicos de cada atividade, e em algumas vezes sendo necessário seu próprio desenvolvimento. No caso dos laboratórios universitários, que não possuem profissionais habilitados, trabalham com produtos químicos inflamáveis e tóxicos e possuem alta rotatividade de pessoas, os riscos aumentam.

No Brasil, muitos acidentes em laboratórios de pesquisa não são relatados. Conforme o Anuário Estatístico da Previdência Social do Ministério da Fazenda/Instituto Nacional do Seguro Social (2015), no ano de 2015, o número de acidentes em laboratórios foi de 0,1% de todos os acidentes de trabalho ocorridos no ano. E se mantém nessa mesma média nos anos anteriores. Então, laboratórios de pesquisa também se caracterizam por serem ambientes perigosos e exigem um controle para a mitigação de acidentes. Em seguida, serão abordados os diferentes aspectos relacionados com segurança em laboratórios, técnicas para verificação de riscos e desafios associados.

2.2.1 Introdução

Segundo Olewski *et al.* (2016), várias agências regulatórias como o Departamento Executivo de Saúde e Segurança do Reino Unido, *UK Health and Safety Executive (HSE)*, Administração da Saúde e Segurança Ocupacional dos Estados Unidos *US Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, e a Agência Proteção Ambiental, *Environmental Protection Agency (EPA)*, têm reconhecido e encorajado com-

panhias a cultivar uma forte cultura de segurança para redução de acidentes. Melhores práticas, guias, notas, boletins são divulgados pelas autoridades para melhorar a qualidade da cultura de segurança. O Conselho de Investigação de Perigos e Segurança Química dos Estados Unidos, *Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)*, tem reiterado a importância de uma cultura de segurança frequente nas suas investigações envolvendo os maiores acidentes ocorridos nas últimas décadas. Como no caso das refinarias da *British Petroleum (BP)* na cidade do Texas (Conselho de Segurança Química, 2007) e Tesoro na cidade de Anacortes, Washington, (Conselho de Segurança Química, 2014). Segundo os autores, pesquisadores desenvolvem trabalhos focados em cultura de segurança, e algumas das mais importantes direções, desta ampla área de pesquisa, estão relacionadas a uma definição de: cultura de segurança, cultura organizacional e atitudes para a segurança, diagnosticando e medindo desempenho da segurança. Apesar de muito reconhecida a importância da cultura de segurança na indústria, existe uma necessidade urgente em melhoramentos no meio acadêmico, instigando e cultivando uma cultura de segurança forte nos estudantes de graduação e pós-graduação (OLEWSKI *et al.*, 2016).

Para Schröder *et al.* (2016), nos Estados Unidos, políticas severas em segurança presentes no governo, indicam prioridade na segurança dos empregados, conforme o Conselho de Pesquisa Nacional Americano *National Research Council* (2011). Entretanto, quase acidentes com potencialidade de consequências perigosas em instalações do governo têm questionado práticas de segurança nesses laboratórios (CDC, 2014). Estudos demonstram impacto do clima e da cultura de segurança organizacional nos resultados de segurança, porém, pouco se sabe como pesquisadores de laboratórios acadêmicos, do governo e da indústria comparam as suas percepções e práticas de segurança (SCHRÖDER *et al.*, 2016).

Hill (2016) enfatiza que em 1990, a Administração de Segurança Ocupacional e Saúde *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* introduziu o Procedimento de Laboratório *Laboratory Standard* nas instituições acadêmicas, com o propósito de proteger empregados que trabalham em laboratórios. Este documento ocasionou mudanças positivas, envolvendo a contratação de profissionais aptos a suportar os programas de segurança e meio ambiente da instituição. Para adequarem-se a esse procedimento, instituições adotaram requisitos como: plano de higiene química; funcionários de higiene química, treinamento no plano de higiene química, folhas de dados de segurança, símbolos e etiquetas de informação. E esse treinamento também

foi adotado para os estudantes, como um “Programa de Segurança”. Porém, sua implantação, em substituição aos padrões de laboratório, não gerou uma educação de segurança para os estudantes. Estudantes de graduação não possuem educação e ética de segurança que lhes proporcionariam habilidades de criticar coisas sobre segurança em suas carreiras futuras – como pós-graduandos, professores, profissionais – ao contrário, eles ficam mais expostos ao risco (HILL, 2016).

De acordo com Shariff e Norazahar (2012), as pessoas veem os laboratórios acadêmicos como lugares seguros para estudantes desenvolverem seus estudos. Entretanto, laboratórios acadêmicos são sérios locais de trabalho onde a segurança deve ser prioridade. A afirmação da norma OSHA ISO 18001 (2014) que somente estipula limites de exposição à produtos perigosos, e a visão de que pequenas quantidades de material não deveriam significar impacto perigoso para as pessoas e o meio ambiente, proporcionam uma falsa prioridade com a segurança nos laboratórios acadêmicos. Por essa razão, estima-se uma taxa de oportunidade de acidentes em laboratórios nas escolas e faculdades de 100 a 1000 vezes maior que em laboratórios industriais como da Dow ou Dupont, segundo James Kaufmann, presidente do Instituto de Segurança de Laboratório *Laboratory Safety Institute* de Massachusetts USA (BENDERLY, 2009).

Implementar um sistema de gerenciamento de riscos dentro das Universidades é um conceito bastante raro, pois riscos associados com pesquisas acadêmicas são percebidos como sendo muito baixo em relação a riscos operacionais de processos industriais de larga escala. A concepção errada de que processos perigosos não existem dentro de pequenas instalações e laboratórios tem ocasionado perdas financeiras, danos ao patrimônio, desastres ambientais, lesões e fatalidades dentro de Universidades e laboratórios de pesquisa, bem como em pequenas companhias de operação (OLEWSKI e SNAKARD, 2017). Por isso, é imperativo ter um programa de segurança em laboratório robusto a fim de suportar as necessidades de segurança das pesquisas em seus mais variados campos (TUMIDAJSKI, 2016).

2.2.2 Acidentes em Laboratórios

Recentes acidentes em laboratórios acadêmicos aumentaram a questão sobre a existência de segurança adequada para estudantes, pós-graduandos e funcionários de laboratórios de pesquisa em Faculdades e Universidades (MULCAHY *et al.*,

2013). O Conselho de Investigação de Perigos e Segurança Química dos Estados Unidos *Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)* identificou 120 incidentes em laboratórios de Universidades entre 2001 e 2011 (CSB, 2011). O mural do Memorial de Segurança de Laboratório - *Laboratory Safety Memorial Wall*, uma coleção do Instituto de Segurança de Laboratório - *Laboratory Safety Institute (LSI)*, situado em Natick, estado de Massachusetts nos Estados Unidos, sumariza alguns dos acidentes fatais relatados em laboratórios de todo o Mundo. O *LSI* é uma instituição educacional sem fins lucrativos que promove cursos de segurança e consultoria para laboratórios químicos do mundo todo. Estatísticas relatadas a esse Órgão, relacionadas a eventos perigosos, que lideraram acidentes fatais em laboratórios de Universidades do Mundo, desde o ano de 2000 são apresentadas na Tabela 3 a seguir:

TABELA 3 – EFEITOS FÍSICOS QUE LIDERAM ACIDENTES FATAIS EM LABORATÓRIOS DE UNIVERSIDADES DESDE O ANO DE 2000

Efeitos físicos	Fatalidades	Número de acidentes fatais
Explosões	20	12
Exposição Biológica	12	5
Exposição tóxica	3	3
Asfixia	3	3
Eletrocussão	2	2
Fogo	2	2
Acidente veicular	2	2
Radiação ionizante	1	1
Outros	4	4
TOTAL	49	34

FONTE: Instituto de Segurança de Laboratório *Laboratory Safety Institute* (2015).

A partir de 2000, 49 fatalidades foram reportadas como o resultado de 34 acidentes em laboratórios universitários, dos quais 23 acidentes ocorreram nos Estados Unidos e destes, 11 ocorreram dentro das Universidades (Instituto de Segurança de Laboratórios, 2015). Enquanto pode ser verdade que, o número de perigos e quantidade de materiais mantidos e manuseados é pequena nas Universidades, o número de acidentes em laboratórios de Universidades relatados no Mundo tem resultado em fatalidades, lesões severas em pessoas e perdas financeiras. Isto não suporta a crença de que o risco é baixo. Essas estatísticas demonstram a necessidade por melhoramentos urgentes nos laboratórios de pesquisa acadêmicos. Administradores de

Universidades, chefes de departamento, pesquisadores, funcionários e estudantes, todos devem ir além de práticas de gerenciamento de risco tradicionais, as quais focam em exposição química, erros, tropeços e risco de quedas. Deve-se estabelecer e aplicar um gerenciamento de segurança de processos, identificação de perigos, gerenciamento de riscos a fim de se promover rotinas de trabalho seguras nos laboratórios Universitários (OLEWSKI; SNAKARD, 2017).

O acidente no laboratório de química da Universidade da Califórnia em 2008, que provocou a morte do funcionário pesquisador Sheharbano Sangji, por lesões provocada devido ao fogo, obrigou a Universidade da Califórnia a responder rapidamente e efetivamente a essa crise inesperada. O evento teve um profundo impacto em todo campus, especialmente no envolvimento com pesquisas de segurança de laboratórios, como o Departamento de Meio ambiente, Saúde e Segurança, *Office of Environment, Health & Safety (EH&S)*, cuja missão é proteger a saúde e segurança da comunidade acadêmica. Foram endereçadas várias ações para diagnóstico da situação de segurança do campus e políticas de segurança nos laboratórios. Como ações de resposta ao acidente, foram criados: comitês para inspeção e segurança; comunicação de segurança nos laboratórios; implantação de protocolos de segurança em laboratórios; intercâmbio educacional com laboratórios de instituições públicas e privadas; entre outras. O desafio lançado pelo Reitor da Universidade da Califórnia, de que o programa de Segurança de Laboratório da Universidade da Califórnia, se tornaria “*Best in class*” em Segurança de Laboratórios dentre as instituições de pesquisa, foi conseguido com a reestruturação das inspeções, o processo de treinamento junto com a melhoria da responsabilização do inspetor de segurança. Isto resultou em claras expectativas de segurança, construindo a fundação de um programa de segurança de laboratórios de sucesso (GIBSON *et al.*, 2014).

Em 2010, após o incidente fatal ocorrido no laboratório de química da Universidade Tecnológica do Texas (CSB, 2011), o presidente do Conselho de Investigação de Perigos e Segurança Química dos Estados Unidos *Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)*, John Bresland propôs um exame desses acidentes para ver se eles poderiam ser prevenidos com gerenciamento rigoroso de sistemas de segurança, de acordo como a CSB propõe em ambientes industriais. Ele argumentou que a CSB iria coletar informações em outros acidentes em laboratórios para determinar se um estudo mais detalhado de segurança em laboratórios acadêmicos é necessário (JOHNSON, 2010).

No Brasil, segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social do Ministério da Fazenda/Instituto Nacional do Seguro Social (2015), que engloba dados relativos aos anos de 2013, 2014 e 2015, o número de acidentes de trabalho registrados no INSS em 2015 foi de 612.632 acidentes do trabalho, sendo 502.942 com Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), 109.690 sem CAT e 383.663 acidentes típicos decorrente da atividade profissional desempenhada pelo acidentado, ficando de fora acidentes relacionados ao trajeto e doenças ocupacionais relativas à atividade. Comparado com 2014, o número de acidentes de trabalho teve um decréscimo de 13,99%. Em 2014, conforme os subgrupos da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), a quantidade de acidentes do trabalho por situação do registro e motivo, no subgrupo Pesquisadores e Profissionais Polí científicos foi de 99 no total, sendo todos com CAT e 59 deles típicos, relacionados com a atividade desempenhada. Neste subgrupo, dados de atividades relacionadas com laboratórios estão inclusos. Outro dado do Anuário, é com relação à Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), a quantidade de acidentes do trabalho por situação do registro e motivo, na classe 7210 - Pesquisa e Desenvolvimento Experimental em Ciências Físicas e Naturais é apresentado na Tabela 4:

TABELA 4 – QUANTIDADE DE ACIDENTES DE TRABALHO POR SITUAÇÃO DO REGISTRO E MOTIVO, SEGUNDO CLASSE 7210 – PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM CIÊNCIAS FÍSICAS E NATURAIS – CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DE ATIVIDADES ECONÔMICAS (CNAE) – 2013 a 2015

Total			Com CAT			Com CAT típico			Sem CAT		
2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
697	647	563	658	613	542	518	472	413	39	34	21

FONTE: Anuário Estatístico da Previdência Social Ministério da Fazenda/ INSS (2015).

A classificação da tabela 4 está relacionada com setor de atividade econômica de serviços prestados principalmente a empresas. Dentro dessas duas especialidades, CBO e CNAE, os acidentes em laboratórios reportados estão contemplados. A quantidade de acidentes é significativa, porém, também existem os quase acidentes (incidentes) ou os acidentes em laboratórios que não são relatados.

É escassa a informação e divulgação de acidentes ocorridos em laboratórios brasileiros seja de Universidades, de empresas ou do próprio governo. Não existe um órgão fiscalizador, a segurança nos laboratórios é de responsabilidade das institui-

ções. Outro fator é a diversidade de pesquisa realizada no laboratório e, consequentemente, o tipo de risco associado. Em função disso, abordagens envolvendo gerenciamento de riscos em laboratórios devem contribuir para a diminuição dessas estatísticas. Elas devem ser direcionadas a graduandos, pós-graduandos e profissionais que trabalham para uma correta e permanente cultura de segurança, a fim de se ter confiabilidade dos ensaios e dar suporte às pesquisas.

2.2.3 Segurança em Laboratórios

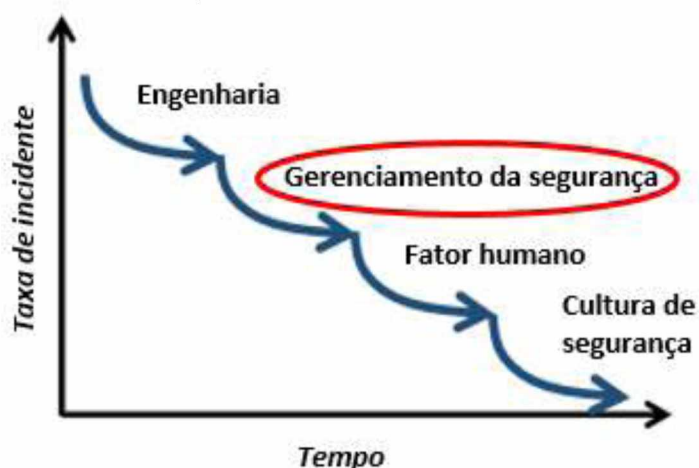
De acordo com Olewski e Snakard (2017), a academia e a indústria estão frequentemente em competição para demonstrar quem é mais inteligente. A academia desenvolve novas tecnologias e conceitos do qual a indústria tem aprendido e inovado. Agora é a hora das instituições acadêmicas aprenderem com a indústria e incorporarem os elementos do processo de gerenciamento de segurança dentro de suas práticas diárias de laboratório de pesquisa e ensino. Os laboratórios acadêmicos e as Universidades deveriam desenvolver e implantar práticas internacionais da indústria em segurança, como o Programa de Gerenciamento de Segurança de Processo ou, o Sistema de Gerenciamento de Saúde Ocupacional e Segurança. Esses programas a tempos são reconhecidos pela indústria como melhores práticas para introduzir uma cultura de segurança (OLEWSKI e SNAKARD, 2017).

O termo “cultura de segurança” foi usado pela primeira vez no relatório da Agencia Internacional de Energia Atômica em referência ao acidente de Chernobyl em 1986. Atualmente esse termo, que é um conceito chave utilizado por profissionais de segurança, refere-se a uma generalizada descrição de decisão pessoal engajada em atividades que impactam em segurança (SORENSEN, 2002).

A designação “cultura de segurança” tem chamado atenção e sendo considerado um elemento chave e necessário para eliminar acidentes relacionados, reduzir riscos e baixar taxas de incidentes (EDWARDS et al., 2015) (ECKELAERT et al., 2011). O gráfico da figura 6 é uma ilustração típica para demonstrar este conceito. Em parte, o mesmo foco pode ser observado depois dos recentes acidentes em laboratórios universitários americanos, onde existe uma cultura de segurança pobre, ou perda dessa, sendo reconhecida como a sua principal causa (OLEWSKI e SNAKARD, 2017).

A Figura 6 a seguir, ilustra esse conceito de acordo com a indústria.

FIGURA 6 – HISTÓRICO DA ATENÇÃO DA INDÚSTRIA PARA REDUZIR A TAXA DE INCIDENTE



FONTE: Olewski & Snakard (2017).

Para Olewski e Snakard (2017), uma forte cultura de segurança somente pode ser efetiva em baixar taxas de incidentes, se os elementos precedentes: tecnologia e engenharia de controle, gerenciamento de segurança, fatores humanos estejam interagindo e devidamente trabalhando no local. O estabelecimento que os laboratórios acadêmicos devem seguir os mesmos processos usados pela indústria, e sua adoção a conceitos como os do Programa de Gerenciamento de Segurança proporcionam a identificação e redução dos perigos e seus riscos associados. Esta premissa, se torna a mais alta prioridade do laboratório (OLEWSKI; SNAKARD, 2017).

Para Schröder *et al.* (2016), a segurança em laboratórios é regulamentada pela Administração de Segurança Ocupacional e Saúde - *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA). Este órgão utiliza políticas que definem limites de exposição às substâncias perigosas, e também políticas regulatórias adicionais para radiações ionizante e perigos biológicos. Muitos estados americanos, como a Califórnia desenvolveram seus próprios Programas de Saúde e Segurança, os quais são aprovados e monitorados pela OSHA. Entretanto, práticas de segurança diferem extensivamente entre instituições e cada uma desenvolve suas próprias políticas de segurança, as quais são baseadas em requisitos regulatórios estaduais e federais e endereçamento de melhores práticas de níveis de riscos e perigos específicos para seus locais de trabalho. De acordo com Thorp *et al.* (2014), essas políticas específicas variam entre as instituições de pesquisas universitárias, governamentais e da indústria e ainda entre laboratórios do mesmo órgão. Apesar da fiscalização regulatória, às vezes, acidentes catastróficos acontecem. Em função disso, o Conselho Nacional de

Pesquisa *National Research Council* da Academia Nacional Americana publicou recomendações para aumentar a cultura de segurança em Faculdades e Universidades (THORP *et al.*, 2014).

Conforme Schröder *et al.* (2016), em uma pesquisa conduzida entre laboratórios de Universidades, do Governo e da Indústria nos Estado Unidos sobre segurança em laboratórios verificou-se que o treinamento em segurança nas três instituições era similar. Entretanto, 25% de todos os pesquisadores não foram treinados nos perigos específicos com os quais eles trabalham. A percepção do risco também foi similar, sendo que todos acreditavam que o seu risco pessoal era menor do que o previsto pela instituição. A maior diferença notada entre as instituições foi com relação ao uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Os laboratórios industriais são mais adequados quanto à observância na utilização dos EPIs que os das universidades e do governo. Os laboratórios acadêmicos foram influenciados positivamente quando seus comportamentos de segurança foram monitorados. Houve um envolvimento maior em segurança ativa do Investigador Principal/Supervisor do Laboratório que impactou positivamente na segurança dos laboratórios acadêmicos. Como resultado, foram sugeridas recomendações para o aumento da segurança nos laboratórios acadêmicos: aumento da conscientização do papel do Investigador Principal/Supervisor do Laboratório nas instituições acadêmicas; ênfase do papel e importância do Investigador Principal/Supervisor do Laboratório na segurança do laboratório nas reuniões com os departamentos do setor pelos responsáveis pela Saúde e Segurança do Campus; e uma abordagem de educação para chefes de departamento sobre o papel fundamental em motivar o comportamento de segurança nos pesquisadores (SCHRÖDER *et al.*, 2016).

No Brasil, a Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (2017) estabelece requisitos gerais para laboratórios de ensaio e calibração que desejam demonstrar competência técnica para suas atividades. Com relação a segurança, ela especifica que, antes de qualquer trabalho laboratorial, o operador deve estar informado sobre os riscos dos produtos químicos e dos equipamentos, bem como conhecer as precauções de segurança e os procedimentos de emergência, para se proteger dos possíveis riscos. O operador deve ter por hábito planejar o trabalho, para poder executá-lo com segurança. Todos os usuários devem seguir cuidadosamente as regras e normas de segurança vigentes, as instruções de segurança referentes à manipulação de reagentes

e de equipamentos, bem como, conhecer perfeitamente a localização e funcionamento de todo o equipamento de emergência: extintores, bocas-de-incêndio, fontes lava-olhos, chuveiros de emergência, entre outros (ABNT NBR ISO/IEC 17025, 2017). Segundo a ABNT/CB-25 (2017), laboratórios que estejam em conformidade com este documento também operarão, de modo geral, de acordo com os princípios da ABNT NBR ISO 9001.

Como visto, vários atributos são necessários para um bom desempenho de trabalho em um laboratório. Entretanto, existem particularidades em ambientes de trabalho de laboratórios acadêmicos em função dos seus objetivos, que são voltados para o ensino, pesquisa e extensão e seus usuários. No Brasil, um enorme contingente de Instituições de Ensino Superior (IES), fornecem cursos de Engenharia, e de acordo com a legislação educacional vigente no País são obrigadas a ministrar aulas práticas. Em função disso, é necessário garantir qualidade nos resultados das atividades realizadas proporcionando aos alunos desenvolvimento prático e aplicando normas e procedimentos de segurança que garantam a qualidade de vida e meio ambiente (RANGEL *et al*, 2014).

Sendo as atividades nos laboratórios de extrema importância para o ensino da Engenharia, e pela própria características de suas tarefas, esses locais apresentam um ambiente de risco considerável e significativo. Existe uma preocupação por parte das instituições que possuem laboratórios de pesquisa com relação à segurança e os riscos envolvidos pelas atividades dos alunos (RANGEL *et al.*, 2014).

Abordagens para avaliação e redução de riscos relacionados com pesquisas em laboratórios contribuem para o aumento da segurança e diminuição de incidentes e acidentes.

2.2.4 Abordagens de Risco em Laboratórios de Pesquisa

De acordo com Ouédraogo, Groso e Meyer (2011a), riscos na pesquisa acadêmica aumentam simultaneamente com seu desenvolvimento. As atividades de pesquisa se tornam mais complexas e interconectadas, novas tecnologias estão introduzindo novos riscos. De fato, experimentos em pesquisa não são sempre conduzidos sem acidentes. Além disso, quantas Universidades ou Colégios têm integrado em sua matriz curricular um programa de aprendizado de risco ou cultura de segurança? As

Universidades não são poupadas de problemas relacionados com gerenciamento de riscos (OUÉDRAOGO; GROSO; MEYER, 2011a).

As técnicas de gerenciamento de riscos ajudam a guiar esforços na direção necessária e alocar medidas de acordo com a importância dos riscos. Por exemplo, *Hazard and Operability studies (HAZOP)* para a indústria química. Grande parte dos métodos originam-se de um campo específico de aplicação e são adaptadas para as necessidades desses próprios campos (BLUVBAND; GRABOV e NAKAR, 2004).

A combinação de avaliação de perigos e análise de riscos é um esforço organizado para identificar fraquezas no projeto e operações de instalações, as quais poderiam guiar a um acidental ou não intencional vazamento químico, fogo ou explosão. Esses estudos suportam organizações a melhorar segurança e gerenciar o risco de operações. Entretanto, dados reportados de incidentes em laboratórios acadêmicos de química indicam que a taxa de acidentes é 10 a 50 vezes maior que em laboratórios industriais. Esses dados sugerem que esforços para a redução de riscos em laboratórios acadêmicos apresentam menos sucesso que aqueles praticados na indústria química (LEGGETT, 2012b).

Segundo Pluess; Groso e Meyer (2013) nos laboratórios de pesquisa acadêmicos não existe uma técnica específica desenvolvida de análise de riscos como no caso da indústria. Existem métodos que muitas vezes trabalham para uma aplicação definida e não podem ser usados para realizar uma análise de risco em diferentes campos. Soluções para pesquisas em ambientes acadêmicos na literatura científica concentram-se em gerenciamento de riscos. Porém, apresentam peculiaridades voltadas para segurança ocupacional ou características ainda muito especializadas para servir como métodos universais de análise de riscos em laboratórios de ensino e pesquisa acadêmicos (PLUESS; GROSO; MEYER, 2013).

Langerman (2008) propôs o uso do *Management of Change (MOC)*, Gerenciamento da Mudança em laboratórios. Sendo o MOC uma parte do padrão de laboratório da norma *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*. Ele examina e discute os benefícios de aplicações do gerenciamento da mudança do padrão da norma para esses locais.

Hill (2004) discute como buscar caminhos para instigar uma forte ética de segurança para profissionais de química. Segundo ele, a segurança química deveria ser um valor inerente em todo o trabalho químico; e isso requer mudanças na visão de

segurança do local em nosso mundo. O futuro de novos profissionais de química depende de nossa habilidade de conduzir essas mudanças.

Hill Jr e Nelson (2005) propõem um fortalecimento no curriculum de graduação de Química, para que todo novo graduando tenha uma competência mínima de segurança no fim do seu quarto ano de graduação. Tópicos são sugeridos para cada ano, a fim de proporcionar ao graduando reconhecer perigos, riscos associados e implantar um plano para gerenciar e controlá-los no laboratório.

Hill Jr (2007) discute que segurança em laboratório deve se tornar uma subdisciplina de Química e uma parte crítica importante de educação de Química. Deve ser uma ciência baseada em investigação de laboratórios. Esses autores abordam e recomendam a criação de programas de segurança em laboratórios de pesquisa acadêmicos, como por exemplo um Plano de Higiene Química - *Chemical Hygiene Plan* (CHP), envolvendo, planejamento e inspeções no laboratório, montagens de políticas de segurança e treinamento para estudantes e empregados (OUÉDRAOGO; GROSSO; MEYER, 2013).

Abordagens de gerenciamento de riscos são baseadas em índices ou indicadores e utilizam métodos estruturados de identificação de perigos, verificação de riscos associados para priorização de tomada de decisões.

Kremer, Switzer e Ryan (2009) apresentam uma ferramenta desenvolvida para ajudar novos pesquisadores a identificar e verificar perigos eficientemente. Essa ferramenta foi desenvolvida na forma de um algoritmo atualizável, baseada inicialmente em prévias verificações de riscos para situações similares; e também em *checklists* e diretrizes disponíveis de textos, como da *Occupational Safety and Health Assessment Series* (OSHA) e indústria. O algoritmo possui categorias de risco como: a) - Ergonômica e Mecânica, b) - Química, c) - Física (incluindo, perigos elétricos, segurança de fogo, perigos de ruído e perigos de radiação), d) - Psicológica e Organizacional, e) - Biológica. O algoritmo foi testado para identificar riscos em dois projetos do Centros de Pesquisa em Carvão de Ohio, célula de combustível de óxido sólido e teste de precipitador eletroestático. Os resultados foram comparados com uma lista de riscos gerados por grupo de pesquisadores *experts* sem o algoritmo.

Langerman (2009) apresenta uma abordagem chamada *Lab PSM Approach* para verificar e reconhecer perigos; desenvolver procedimentos de operações padrão e gerenciar a mudança em laboratórios de ensino e pesquisa e plantas piloto. Esta abordagem originou-se da instrução CPL 2-2.45A CH-1 de 13 de setembro de 1994,

da norma americana OSHA, a qual tem como tema: 29 CFR 1910.119 (*“PSM standard”*), *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals -- Compliance Guidelines and Enforcement Procedures* Gerenciamento de Segurança de Processo de Químicos Altamente Perigosos – Instruções de Adequação e Procedimento de Execução. Esta instrução é aplicada para grandes indústrias químicas que trabalham com produtos químicos altamente perigosos. Ela reconhece e controla perigos para o plano de fiscalização regulatório na indústria. Segundo o autor, o *Lab PSM Approach* com específica atenção para o gerenciamento da mudança dentro do ambiente de pesquisa, usando limites estabelecidos, controlará os perigos associados e permitirá a redução dos riscos.

Leggett (2012a) apresenta o *Lab-HIRA Hazard identification and Risk Analysis for the chemical research laboratory* um método para identificação e avaliação de perigos e análise de risco em ambientes de laboratórios químicos. O método é apresentado em um artigo com duas partes, sendo que a primeira descreve uma técnica projetada para identificar e verificar perigos na condução de um procedimento de síntese química em laboratório. A abordagem realça situações potencialmente perigosas que poderiam surgir do manuseio de químicos empregados durante a síntese. Trinta e três parâmetros indicativos de perigos, propriedades das moléculas e condições operacionais pertencentes à síntese, são usados para caracterizar o seu risco potencial. O *Lab-HIRA* atribui um nível de severidade do perigo para cada reagente usado nos passos da síntese, a síntese global e as condições de reação. O julgamento baseado em risco feito pelo sistema de ponderação do *Lab-HIRA* é conservativo, oferecendo uma visão cautelosa do perigo potencial. O objetivo é identificar os perigos e riscos da síntese proposta. Na parte II, o autor discute o relacionamento entre os perigos e consequências de um evento perturbador; a probabilidade dessa perturbação aparecer; e o risco resultante para as pessoas, patrimônio e ambiente. Algumas técnicas de identificação e análise de risco como, *Checklist Estruturado*, *brainstorm* estruturado *What-If (SWIF)*, *HAZOP* são utilizadas com adaptações para identificação de perigos e verificação de riscos em laboratórios químicos de pesquisa. Os riscos estudados têm procedência do livro *Chemical Hazard Review*, que serve para identificação dos aspectos de uma síntese química, a qual poderia ter um resultado perigoso se existir uma perturbação ou desvio do procedimento desejado da síntese. As vantagens da abordagem *Lab-HIRA* é que ela estimula o grupo de pesquisa a considerar formas

menos óbvias que um desvio pode ocorrer, apesar deles poderem aparecer infelizmente na primeira consideração. O resultado é que existe uma boa chance de identificar falhas potenciais e problemas que não tinham sido encontrados previamente com essa atividade (LEGGETT, 2012b).

Ouédraogo, Groso e Meyer (2011a) propõem em dois artigos, outra metodologia para ambientes complexos de pesquisa, nos quais os riscos são difíceis de verificar com as técnicas de análise de risco disponíveis. Eles apresentam a metodologia do *LARA Laboratory Assessment and Risk Analysis*. Na Parte I é realizada a descrição do *Lab Criticality Index (LCI)*, índice de criticidade. Quando múltiplos perigos são analisados, o resultado da verificação é um ranking de risco calculado usando o *Lab Criticality Index*, fornecendo identificação de áreas críticas e priorização de ações de segurança. O *LCI* é baseado no *Improved Risk Priority Number (IRPN)*, a transformação do Número Prioritário de Risco (*IRP*) em uma soma de funções de base de logaritmos dos seus três índices: severidade, ocorrência e detecção e a *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, uma ferramenta de análise de multicritérios para tomada de decisão. A vantagem da metodologia é que ela objetiva os laboratórios de pesquisa e sistemas complexos através da associação de suas especificidades. Apresenta a detectabilidade do perigo, especifica como o perigo é detectado e monitorado e quais variáveis da função detecção são envolvidas. O modelo é semi-quantitativo, desafiando algumas técnicas clássicas de análise de riscos e suporta soluções para verificação de riscos em sistemas complexos como ambientes de pesquisa. Contribui com gerentes e líderes na verificação de riscos e tomada de decisão de seus tratamentos. Na Parte II é discutido o problema do *LCI* com relação a integração de inconsistências matemáticas induzindo propriedades de subjetividade e linearidade explicadas pela igual importância dada aos seus fatores/parâmetros. A fim de resolver esta questão, o artigo examina soluções para melhorar o *LCI* usando *Analytic Hierarchy Process (AHP)* uma ferramenta de análise de multicritérios para tomada de decisão. O *AHP* é utilizado em desenvolvimento, aplicações de planejamento de sucesso, seleção da melhor alternativa e alocação de recursos. O *AHP* melhora a acuracidade do *LCI* maximizando suas propriedades e lógica inerentes. A metodologia do *LARA* tem demonstrado boa aplicabilidade na academia. O *LARA* é fácil para especialistas em segurança e também para não especialistas incluindo estudantes e assistentes de laboratório com um mínimo treinamento em segurança e análise de risco. É uma metodologia sistemática

e sistêmica que pode ser utilizada para ensino e aprendizagem de risco. (OUÉDRAOGO; GROSSO; MEYER; 2011b).

Shariff e Norazahar (2012) apresentam o *Lab-ARBAIS* (*Laboratory at-risk behaviour and improvement system*), um programa para monitorar e controlar comportamento de risco de estudantes no laboratório. Ele origina-se do conceito do *e-ARBAIS* (*on-line at-risk behavior analysis and improvement system*) com modificações para se ajustar com o ambiente laboratorial acadêmico. O *Lab-ARBAIS* usa uma base de dados computadorizada para receber dados e analisar comportamento de risco de estudantes observados. Questões pré-programadas de comportamento de risco de estudantes que frequentemente violam normas de segurança são utilizados por observadores para dar *feedback* das observações. A coletânea de *feedbacks* é analisada e os resultados postados no portal do aluno para possibilitar que todos pudessem reconhecer seus hábitos e práticas de segurança. A rotina de observações e a postagem dos resultados são para incutir um efeito psicológico nas práticas de segurança habituais dos estudantes e lembrá-los de suas frequentes violações das normas de segurança. Segundo os autores, o *Lab-ARBAIS* pode ser facilmente adotado em qualquer laboratório acadêmico para gerenciar comportamentos de risco de estudantes e assegurar um ambiente de trabalho seguro.

Pluess *et al.* (2016) propõem testar o método *LARA Laboratory Assessment and Risk Analysis* desenvolvido por Ouédraogo, Grosso e Meyer (2011a) (2011b), para descobrir se este método pode ser aplicado como uma técnica de gerenciamento de risco holística, em diferentes ambientes, e quais suas diferenças da comparação dos resultados com outras técnicas de análise de risco existentes. Segundo os autores, o uso do *LARA* em outras Universidades pode ajudar a encontrar potenciais melhoramentos e habilitar pessoal não treinado em diferentes contextos de segurança ocupacional serem beneficiados por esse método de análise de riscos. Foram conduzidos testes em conjunto no Instituto de Materiais Energéticos da Universidade de Pardubice na República Tcheca e no Instituto de Engenharia e Ciências Químicas da Escola Politécnica Federal de Lausanne na Suíça. Diferentes procedimentos experimentais de laboratório foram realizados usando o *LARA*, *FMECA* (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*), *HAZOP* e *PreHA*. O resultado mostrou que o *LARA* tem a capacidade de ser usado como uma abordagem holística, em vários campos de pesquisa e para vários tipos de tarefas. Sua principal limitação é que ele depende de base de

dados e da exatidão desses dados, isso deve ser levado em consideração em todo caso particular.

Outras abordagens relacionadas com ambiente de pesquisa focam a aplicação de gerenciamento da cultura de segurança de processos em laboratórios de pesquisa de Universidades.

Olewski e Snakard (2017) apresentam uma abordagem testada de aplicação dos princípios de gerenciamento de segurança de processo, utilizada na indústria de processo, como o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional, para ensinar e discutir determinadas mudanças, sugestões de soluções dentro do ambiente acadêmico dos laboratórios de pesquisa.

Hill Jr (2016) discute o impacto da norma *OSHAS' Laboratory Standard* na educação de segurança para alunos de graduação das Universidades. Ele defende mudanças e esforços na criação de cultura e ética de segurança, aplicação de educação de segurança para alunos de graduação e pós-graduação das Universidades. Inclusão de educação de segurança de laboratório no curriculum de Química e a promoção dessas mudanças entre os membros da academia.

Schröder *et. al* (2016) estabelecem uma comparação na percepção de segurança e clima de segurança examinando uma pesquisa em segurança de laboratório realizada em 2012 com foco na similaridade, diferenças e comportamento de adequação de segurança relatado pelos próprios pesquisadores de laboratórios acadêmicos, do governo e da indústria. Como resultado, os pesquisadores sugerem mudanças em treinamento de segurança, percepção de risco e cultura de segurança em laboratórios, envolvimento e comprometimento ativo dos Técnicos e Supervisor do Laboratório com adequação de equipamentos de proteção individual e redução do número de acidentes no laboratório.

Steward, Wilson e Wang (2015) estimaram e avaliaram o clima de segurança também utilizando uma pesquisa realizada por pessoal de laboratório, para desenvolvimento de um Plano de Redução de Perigos na Universidade Estadual de Louisiana; uma das maiores universidades públicas dos Estado Unidos. O clima de segurança é considerado a manifestação ampla da definição de cultura de segurança, e a cultura de segurança é uma coleção de ideias, atitudes e medidas quantitativas de difícil determinação. Para os autores, aspectos comportamentais e situacionais de cultura de

segurança não são profundamente considerados na academia. Métodos para endereçar essas questões em uma configuração acadêmica precisam ser promovidos, desenvolvidos e validados.

Olewski *et al.* (2016) apresentam um estudo de caso na construção de cultura de segurança de processo no ambiente de pesquisa com aplicação de diferentes aspectos essenciais de princípios de segurança de processos. O estudo foi conduzido no Centro de Segurança de Processo Mary Kay O'Connor, uma extensão do Texas A&M Universidade do Qatar. Vários experimentos foram analisados para mostrar que princípios de segurança de processo como, um projeto inerentemente seguro e um programa de gerenciamento podem ser aprendidos realizando pesquisa experimental. Diferentes tipos de falhas como fatores humanos, projeto de processo inerentemente seguro e procedimentos de operação padrão foram discutidos pelo estudo de caso. Questões importantes de segurança de processo foram identificadas durante o trabalho experimental, o que ajudou a melhorar o processo de cultura de segurança nos laboratórios de pesquisa, o entendimento desses princípios fundamentais e suas aplicações em todo o ciclo de vida de um estudo experimental.

Do exposto, em função de características das atividades de pesquisa em laboratórios; perigos e condições de riscos inerentes; sua importância e os vários acidentes ocorridos; existe um campo para desenvolvimento de abordagens que integrem práticas de laboratório e diminuição dos riscos associados. Melhoramentos em gestão de riscos físicos, ambientais, qualidade e repetibilidade de processos de experimentação estão ganhando mais atenção nas Universidades. Segundo a *American Chemical Society* (2015), existe uma necessidade por técnicas de gerenciamento de riscos específica para laboratórios de pesquisa acadêmicos. Estes argumentos motivaram o desenvolvimento da ferramenta associada com o presente projeto de pesquisa.

2.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS

2.3.1 Introdução e conceitos

O atual desenvolvimento tecnológico e social criou enormes demandas por energia, produtos químicos, produtos agrícolas e alimentos, aumentando o tamanho e complexidade das indústrias de processamento. Este contexto, tem inevitavelmente

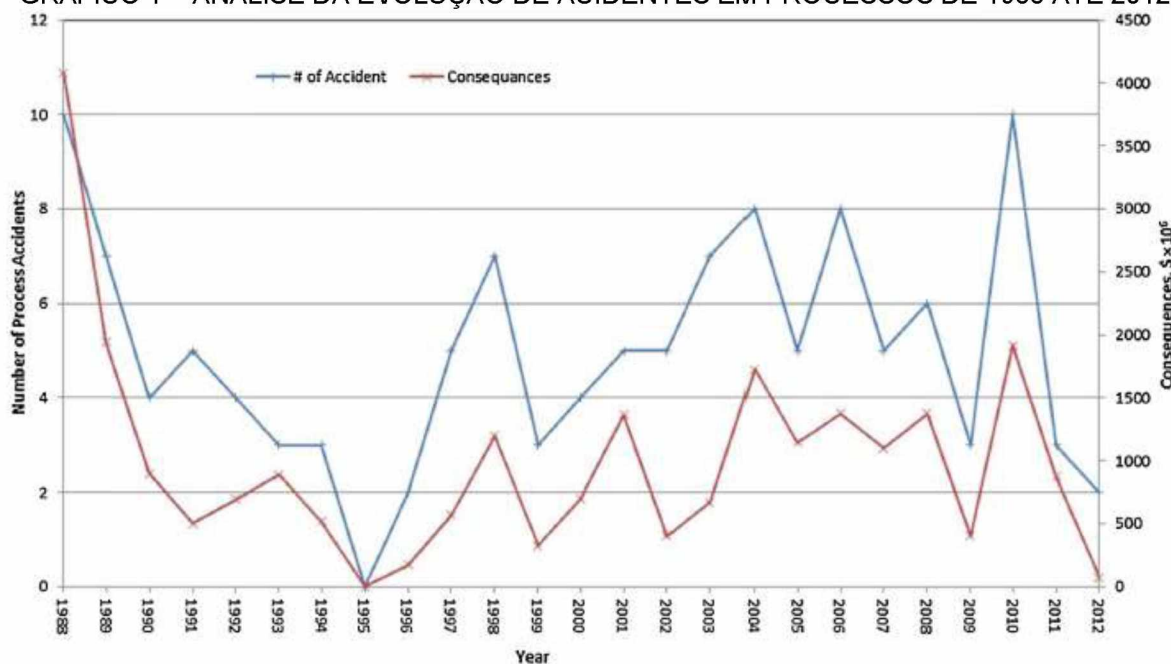
criado novos perigos e aumento de riscos que não podem ser acordados com meros benefícios econômicos; ao invés disso, eles devem ser evitados e mitigados. Infelizmente, não é o caso em acidentes que continuam ocorrendo com diferentes níveis de severidade (KHAN; RATHNAYAKA; AHMED, 2015).

Segundo Perrow (1999), vive-se em um mundo de tecnologias de alto risco que estão se multiplicando em função dos sistemas que são criados. A expansão da tecnologia, multiplicação de guerras e a invasão da natureza são consequências da criação desses sistemas que aumentam os riscos para operadores, passageiros, espectadores inocentes e para as futuras gerações. A caracterização de sistemas tais como: centrais nucleares, indústrias químicas, aeronaves/controlado de tráfego aéreo, navegação, barragens, missões espaciais e engenharia genética; chama a atenção para o potencial catastrófico gerado por elas e suas próprias características. A maioria dos sistemas de alto risco possuem características especiais, complexidade interativa e estreito acoplamento. Estes sistemas, além de seus perigos tóxicos, explosivo ou genético, fazem com que o aparecimento de acidentes neles mesmo seja inevitável; devido ao caminho da falha e o do sistema estão estreitamente juntos (PERROW, 1999).

A existência de riscos são a fonte dos acidentes, principalmente em sistemas sócio-técnicos, onde não se identifica uma única causa raiz para sua eliminação. Programas para aumento de segurança física, ambiental em indústrias tem como objetivo reduzir a frequência e severidade das consequências de acidentes.

Segundo Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), existem na literatura diversas bases de dados mantendo registros de acidentes, que ocorrem em processos industriais e suas respectivas consequências. Dentre elas, *Major Hazard Incident Data Service (MHIDAS)*, *Major Accident Reporting System (MARS)*, *Process Safety Incident Database (PSIC)*, *Failure and Accident Technical Information System (FACTS)* and *World Offshore Accident Database (WOAD)* são as bases de dados mais conhecidas e mundialmente usadas. Os autores realizaram uma análise do processo de acidentes ocorridos nos últimos 20 anos usando informações de bases de dados da literatura aberta e compilaram no Gráfico 1 a seguir:

GRÁFICO 1 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE ACIDENTES EM PROCESSOS DE 1988 ATÉ 2012



FONTE: Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015)

Pode-se observar que ambos, números de acidentes e suas consequências mostram uma flutuação não uniforme. Esta evolução não uniforme, confirma a incerteza e o comportamento imprevisível do acidente e suas consequências, e reforça a necessidade eficiente e efetiva de segurança de processo e gerenciamento de riscos (KHAN; RATHNAYAKA; AHMED, 2015).

Jonsson e Lunding (2002) argumentam que, como os riscos na sociedade mudam, existe uma demanda que estes sejam gerenciados por indústrias, autoridades e organizações. O desenvolvimento tecnológico impõe novas demandas e cria novos riscos. Novos tipos de sistemas de produção e estrutura organizacional, dirigem a humanidade e a natureza, bem como as organizações e indivíduos, para um mundo de “produzir incertezas e irresponsabilidade organizada”. Para se combater é necessário que novos métodos e técnicas de análise e gerenciamento de riscos sejam desenvolvidas (JONSSON; LUNDING, 2002).

Para Aven (2016), o campo científico de análise de riscos e seu gerenciamento é ainda jovem, com início a 30 – 40 anos atrás. Novos e sofisticados métodos e técnicas de análise foram desenvolvidos e aplicados nos vários setores sociais. Como exemplo, observa-se a gama de grupos especiais (especificidade) da Sociedade para Análise de Riscos (2018) *Society for Risk Analysis (SRA)* que abrange os campos de: Resposta de Dose; Avaliação de Risco Ecológico; Materiais Emergentes em Nano

escala; Engenharia e Infraestrutura; Avaliação de Exposição; Análise de Risco Microbiano; Saúde e Segurança do Trabalho; Política de Risco e Direito; Segurança e Defesa; entre outros. Avanços em questões fundamentais foram realizados nos últimos anos, influenciando um amplo conjunto de aplicações (AVEN, 2016).

Para Calil (2009) abordagens relacionadas ao risco e seu gerenciamento apresentam dois enfoques: o primeiro relacionado aos possíveis danos ao homem, ao meio ambiente e ao sistema técnico resultantes de um incidente, e o segundo ao risco do negócio ser interrompido pela ocorrência de um evento indesejado. Os danos provenientes ao homem e ao meio ambiente têm seu tratamento pelo gerenciamento de segurança, e os relacionados às interrupções na operação do negócio pelo gerenciamento da continuidade – que é um conceito ampliado do planejamento de contingências. Em grande parte da literatura e na prática nas empresas, esses dois sistemas de gerenciamento de risco são tratados de maneira separada. Vale salientar que a diferença dos dois enfoques de gestão está na consequência do incidente (CALIL, 2009). Para Tsigas, Emes e Smith (2017), o gerenciamento do risco é muito aplicado também em desenvolvimento de projeto. Um Gerenciamento proativo de riscos em projetos ajuda a aumentar a taxa de sucesso do projeto e a redução dos custos potenciais. Para *Project Management Institute* (PMI) (2013) risco: “É um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto”.

Para a norma ABNT NBR ISO 31000 (2009) “risco” é o efeito das incertezas sobre os objetivos da organização. A norma especifica que as organizações devem gerenciar o risco, identificar, analisar, e avaliar se este deve ser modificado através do seu tratamento, a fim de atender a níveis de riscos e critérios definidos no contexto. Ela estabelece princípios que precisam ser seguidos para tornar a gestão de riscos eficaz.

As definições, termos utilizados e conceitos seguem a norma ABNT NBR ISO 31000 Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes e ABNT ISO Guia 73, Gestão de riscos – Vocabulário.

- NOTA 1 Um efeito é um desvio em relação ao esperado – positivo e/ou negativo.
- NOTA 2 Os objetivos podem ter diferentes aspectos (tais como metas financeiras, de saúde e segurança e ambientais) e podem aplicar-se

em diferentes níveis (tais como estratégico, em toda a organização, de projeto, de produto e de processo).

- **NOTA 3** O risco é muitas vezes caracterizado pela referência aos **eventos** (2.17) potenciais e às **consequências** (2.18), ou uma combinação destes.
- **NOTA 4** O risco é muitas vezes expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento (incluindo mudanças nas circunstâncias) e a **probabilidade** (2.19) de ocorrência associada.
- **NOTA 5** A incerteza é o estado, mesmo que parcial, da deficiência das informações relacionadas a um evento, sua compreensão, seu conhecimento, sua consequência ou sua probabilidade (ABNT ISO Guia 73, 2009).

Dentro do enfoque do gerenciamento da segurança, dois conceitos devem ser considerados: a segurança do processo e o gerenciamento do risco. Sistemas pequenos ou grandes podem desencadear consequências irreparáveis para as pessoas e meio ambiente. Para Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), segurança de processo é uma linguagem global comum usada para comunicar estratégias de análise e identificação de perigos, verificação e avaliação de riscos, medidas de segurança e tomada de decisão crítica segura. Ela foca em evitar e mitigar acidentes maiores de processo como: incêndios, explosões e vazamento tóxico; e diferente de segurança ocupacional que foca em perigos no local de trabalho, como: trajetos, deslizamentos e quebras. O gerenciamento de riscos/segurança combina esforços para gerenciar riscos através de estimativa de riscos, avaliação de riscos, melhoramento de projeto e tomada de decisão baseada em riscos.

2.3.2 Gestão dos riscos

A fim de se ter segurança de resultado em qualquer empreendimento é necessário ter um bom sistema de gestão. De acordo com Souza; Silva e Genente (2012), os sistemas de gestão são um conjunto de elementos dinamicamente relacionados (pessoas, recursos, máquinas, procedimentos etc.) que interagem entre si para funcionamento como um todo, tendo como função dirigir e controlar um propósito determinado, específico ou global, em uma organização. No caso dos sistemas de gestão normalizados, estes elementos referem-se aos requisitos e o objetivo macro à função

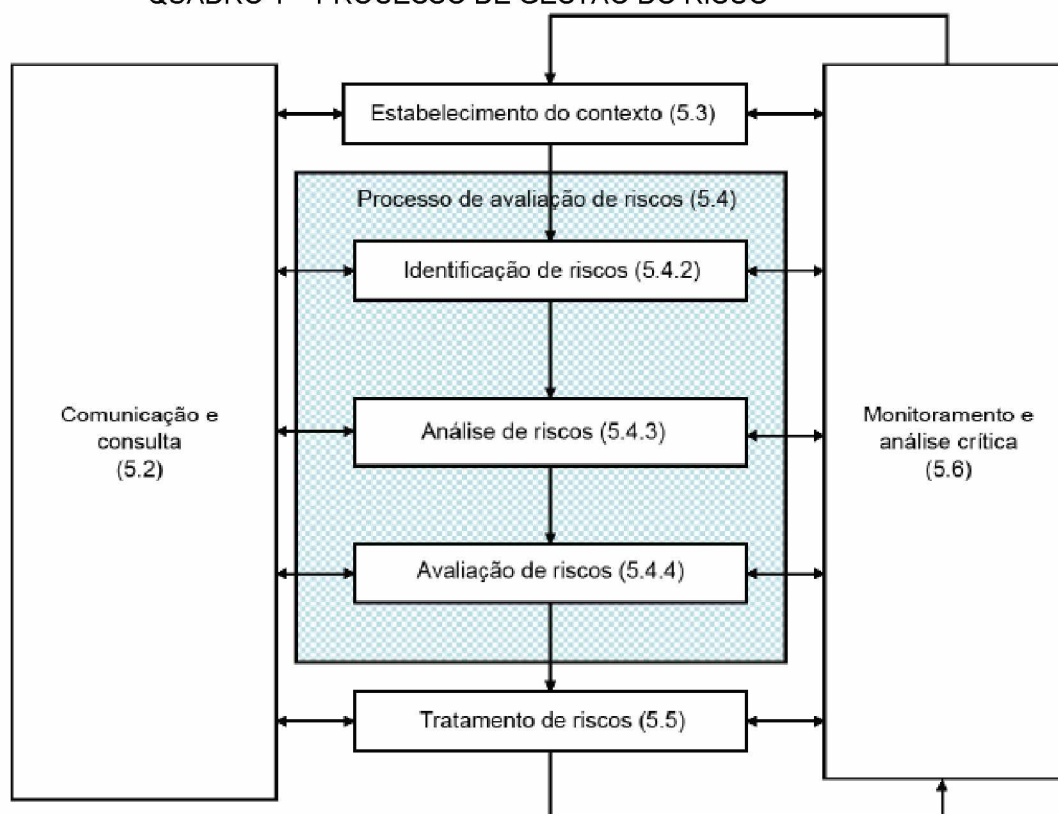
ao qual o sistema de gestão está relacionado (qualidade, meio ambiente, saúde e segurança, gerenciamento de riscos, etc.) (VITORELLI; CARPINETTI; GEROLAMO, 2010).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), todas as atividades de uma organização que envolvem riscos devem ser gerenciadas. O processo de gestão de riscos auxilia a tomada de decisão, considerando as incertezas e a possibilidade de circunstâncias ou eventos futuros (intencionais/não intencionais) e seus efeitos sobre os objetivos acordados. A gestão de riscos inclui a aplicação de métodos lógicos e sistemáticos para:

- ✓ Comunicação e consulta ao longo de todo processo;
- ✓ Estabelecimento do contexto para identificar, analisar, avaliar e tratar o risco associado a qualquer atividade, processo, função ou produto;
- ✓ Monitoramento e análise crítica de riscos;
- ✓ Reporte e registro dos resultados de forma apropriada (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012).

O processo sistemático de gestão dos riscos em organizações é cíclico, pois, inicia-se com o estabelecimento do contexto, levantamento dos perigos e riscos no local analisado. Em seguida, passa para o processo de avaliação do risco, que engloba: identificação de riscos; análise de riscos e avaliação de riscos – faz-se a utilização das técnicas de identificação e análise como: *HAZOP*, *FMEA*, *FTA*, *PRA*, entre outras. Na sequência, conforme as classificações/valorações dos riscos são realizadas ações para os tratamentos. Após essa etapa, começa o processo de monitoramento e análise crítica, onde é realizada a identificação no contexto de fatores que possam variar ao longo do tempo e que poderiam alterar ou invalidar o processo de avaliação do risco. É necessário, que estes fatores sejam especificamente identificados, para o contínuo monitoramento e análise crítica, de modo que o processo de avaliação de riscos possa ser atualizado quando necessário. Outros dois pontos do monitoramento e análise crítica devem ser observados, primeiro a coleta e identificação dos dados para refinamento do processo de avaliação de riscos, e segundo o monitoramento e documentação da eficácia dos controles, para fornecer dados para uso na análise de riscos. Então, reinicia-se o ciclo novamente. O processo é mostrado no Quadro 1 a seguir:

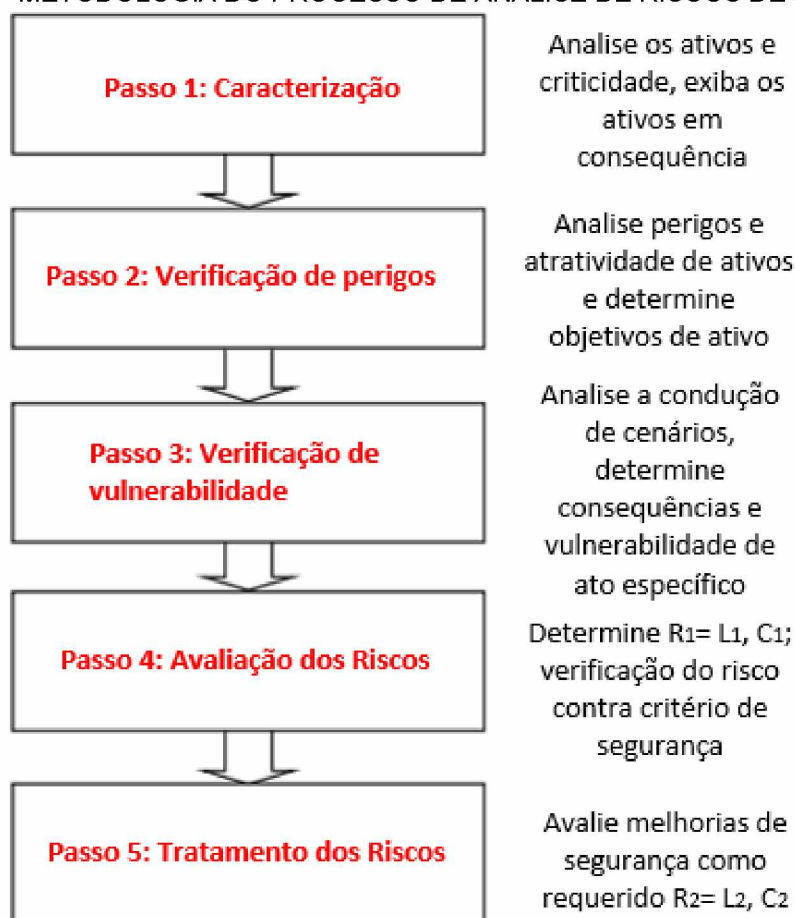
QUADRO 1 – PROCESSO DE GESTÃO DO RISCO



FONTE: ABNT NBR ISO 31000 (2009)

Outra abordagem relacionada com o gerenciamento de riscos é apresentada pelo *American Petroleum Institute* (2013). É uma metodologia de gerenciamento de riscos de segurança para indústrias de petróleo e petroquímicas. Este padrão foi elaborado pelo comitê da API para auxiliar essas indústrias no entendimento e condução de um processo de análise de riscos de segurança *security risk assessment* (SRA). A metodologia API SRA é uma abordagem padronizada baseada em equipe que combina as múltiplas habilidades e conhecimentos dos vários participantes para fornecer uma SRA mais completa da instalação ou operação. O padrão é amplamente aplicável aos tipos de instalações operadas pela indústria e aos problemas de segurança que esse tipo de indústria enfrenta. O padrão do processo de análise de risco de segurança da API é duplo, engloba metodologia baseada em risco e em desempenho. A metodologia considera toda a linguagem normativa do padrão e o resultado final cumpre com o mesmo objetivo. O Quadro 2 a seguir, mostra o modelo conceitual do processo (API, 2013):

QUADRO 2 – METODOLOGIA DO PROCESSO DE ANÁLISE DE RISCOS DE SEGURANÇA

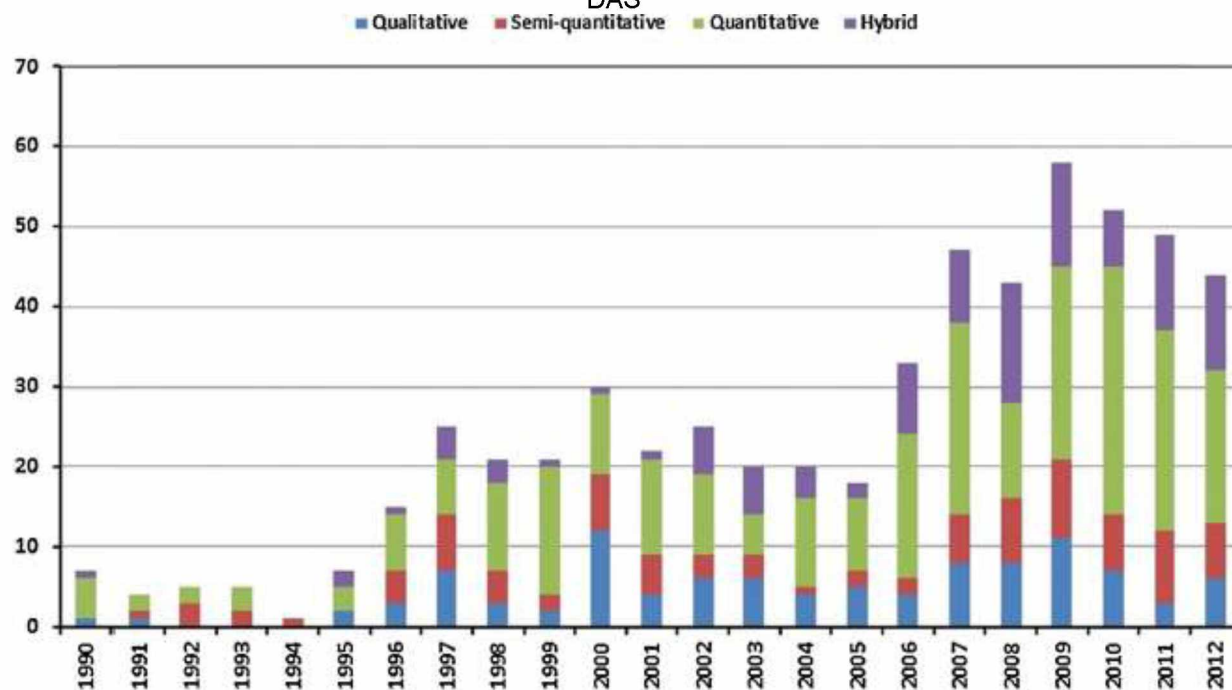


FONTE: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API (2013)

Além das normas, a literatura apresenta outros métodos para condução do processo de gerenciamento de riscos. Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015) relatam que os métodos descrevem procedimentos ou diretrizes sistemáticas para realizar ou abordar um desenvolvimento relacionado à segurança do processo e gerenciamento de riscos. Os modelos abrangem: modelos matemáticos, analíticos, empíricos, probabilísticos e computacionais. Os autores classificam o método e o modelo em quatro tipos diferentes: (1) qualitativo, (2) semi-quantitativo, (3) quantitativo e (4) híbrido. Eles também os classificam em três subcategorias: identificação e análise de perigos, avaliação de riscos e gerenciamento de segurança. Os autores discutem os métodos e modelos desenvolvidos para identificar e analisar os perigos e falhas na subcategoria de identificação e análise de perigos; a avaliação de riscos é demonstrada na estimativa e verificação da probabilidade de ocorrência de acidentes e consequências. E, por fim, o gerenciamento de segurança discute a avaliação de risco, a tomada de decisão baseada em risco, e a aplicação de medidas de segurança para gerenciar adequadamente a segurança do sistema (KHAN; RATHNAYAKA; AHMED, 2015). O

Gráfico 2 a seguir, mostra a evolução da distribuição das técnicas de análise nos últimos 20 anos.

GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO NAS ÚLTIMAS DUAS DÉCADAS



FONTE: Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015)

De acordo com o gráfico 2, observa-se que as pesquisas relacionadas com o desenvolvimento de técnicas quantitativas e híbridas está aumentando mais que técnicas qualitativas ou semi-quantitativas. Elas estão se tornando mais significativas no processo de segurança e gerenciamento do risco. Conforme Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), a classificação das técnicas de análise de gerenciamento de riscos são:

1- Análise qualitativa – refere-se a uma representação não numérica e explanação baseada em atributos de gráficos, diagramas de fluxo, diagramas e fontes de dados.

2- Análise semi-quantitativa – situa-se entre análise quantitativa e qualitativa e produz resultados aproximados em vez de resultados exatos. Este método é útil quando a medida direta do processo de segurança e risco não é possível, desde que a inferência é aceitável.

3- Análise quantitativa – o desenvolvimento quantitativo é o mais utilizado de acordo com a literatura. O principal benefício da análise quantitativa é que ela fornece uma estimativa numérica realista para melhor entendimento e tomada de decisão informada.

4- Análise híbrida – é a combinação de ambas análises qualitativa e quantitativa. Ela difere da análise semi-quantitativa, porque fornece resultado quantitativo mais preciso e realista através de sua análise quantitativa. Entretanto, é notado que toda a análise semi-quantitativa pode não incluir uma parte qualitativa; em vez disso ela poderia usar uma simples quantificação. Mais, a análise híbrida fornece uma compreensiva análise de segurança do processo e avaliação do risco (KHAN; RATHNAYAKA; AHMED, 2015).

Segundo ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), a análise de riscos é o entendimento do risco, isto fornece uma entrada para o processo de avaliação de riscos e sobre as decisões de tratamento dos riscos, bem como a escolha de estratégias e métodos apropriados para esse fim. Ela determina consequências e probabilidades de eventos identificados de risco, levando em consideração a presença e eficácia de controles existentes. As consequências e suas probabilidades são combinadas para obtenção de um nível de risco. Conforme a norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), os métodos utilizados na análise de riscos podem ser:

- 1- Avaliação qualitativa – define consequência, probabilidade e nível de risco por níveis de significância, como “alto”, “médio”, “baixo”, combina consequência e probabilidade, e avalia o nível de risco resultante em comparação com critérios qualitativos.
- 2- Métodos semi-quantitativo – utilizam escalas de classificação numérica para consequência e probabilidade e as combinam para produzir um nível de risco utilizando uma fórmula.
- 3- Análise quantitativa – estima valores práticos para consequências e suas probabilidades, e produz valores do nível de risco em unidades específicas definidas quando se desenvolveu o contexto. Essa análise pode não ser completa, devido a informações insuficientes sobre o sistema, falta de dados, influência de fatores humanos, etc.

Outras metodologias para gerenciamento de riscos aparecem em vários setores e áreas de conhecimento, as vezes genéricas ou com características específicas.

Behún; Kleinová e Kamaryt (2014) apresentam uma abordagem para definição do tamanho do lote de produção, em produção não repetitiva, como *MTO* (*make-to-order*) conforme pedido pelo cliente, baseada em análise de confiabilidade. Processos de produção não confiáveis são a principal razão para o aumento do tamanho do lote de produção. Os autores utilizam uma variação da metodologia do *FMEA* (Análise de

Modos de Falha e Efeito), somente severidade X ocorrência, junto com cálculos de custos de *set-up* e unitários, para determinar o tamanho do lote econômico para a produção.

Mechhuod; Rouainia e Rodriguez (2016) demonstram uma ferramenta automatizada dedicada à análise e avaliação de riscos em plantas petroquímicas, com base em uma combinação de dois métodos de análise: *HAZOP* (Análise de Perigos e Operabilidade) e *FMEA* (Análise de Modos de Falha e Efeito). A avaliação dos cenários de acidentes também é considerada. A principal vantagem dos dois métodos de análise é acelerar a identificação dos perigos, a avaliação dos riscos e prever a natureza do impacto de tais acidentes. Os autores apresentam a ferramenta *TORANAS* (*Tool for Risk Analysis and Assessment*), um *software* desenvolvido para permitir uma análise de risco global, simulação de acidentes e estimativa potencial de danos nas indústrias petroquímicas. O *software* foi desenvolvido em uma interface gráfica usando Matlab como ferramenta de codificação, e possui quatro elementos principais: descrição e definição do sistema, identificação de perigos, avaliação de risco e tomada de decisão (MECHHUOD; ROUAINIA; RODRIGUEZ, 2016).

Segundo Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), ocorreu uma evolução nas tendências da linha de pesquisa em conceitos de segurança de processos e riscos nas indústrias. Pesquisadores tendem a se concentrar na avaliação e gerenciamento do risco dinâmico, em vez da avaliação de riscos estáticos ou tradicional. As trocas dinâmicas de condições perigosas de sistemas sócio-técnicos de alta complexidade podem ser modeladas por vários métodos. Além disso, quantificações de incertezas melhoram a precisão da mensuração do risco. A atualização em tempo real do risco aprimora a avaliação e gerenciamento do risco. Isto, ajuda a prever uma situação anormal e promove uma melhor informação para tomada de decisões para ações preliminares. Para Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), pesquisas modernas focam também na tomada de decisões baseadas em risco e não na tomada de decisões baseadas em perigo. Eventos anormais podem ser prevenidos antes que ocorram, pois, o gerenciamento do risco dinâmico reforça o aspecto da segurança inerente (existência de atributos de segurança no processo) da operação de processo. A integração da detecção e diagnóstico de falhas dinâmicas com avaliação de risco melhorou significativamente a segurança nas instalações de processo. Um número de técnicas matemáticas e analíticas foram desenvolvidas para lidar com a incerteza da quantificação pro-

tabilística. O uso de método de simulação para modelagem de fogo, explosão e vazamento também foi identificado como uma nova tendência de análise de consequências. Outros desafios enfrentados são relacionados como a incerteza de dados, a escassez de informações e a complexidade dos sistemas de processo. Para os autores a tendência atual é o desenvolvimento de novos métodos e modelos para avaliação de risco e tomada de decisão em tempo real, os quais melhoram os recursos de segurança inerentes às operações perigosas.

2.3.3 Técnicas de gerenciamento dos riscos

De acordo com a seção anterior o processo de gestão dos riscos é um campo de pesquisa em pleno desenvolvimento. Staveren (2006) declara que gerenciamento de riscos envolve implicações de eventos e alterações do ambiente de trabalho e de organizações.

Parafraçando Setiawan; Adryfan e Putra (2017), atividades de gerenciamento de risco são projetadas para ajudar profissionais e indústrias a observar os tipos de riscos e determinar a melhor solução para eles. Elas identificam a fonte do risco, preveem seus impactos e encontram ferramentas para mitigar ou eliminar o risco.

Conforme o Centro para Segurança de Processos Químicos (2000) - *Center for Chemical Process Safety (CCPS)*, a análise de risco, como parte fundamental do Gerenciamento do Risco, define o risco como uma medida de lesão humana, danos ambientais ou perda econômica em termos tanto da chance incidente quanto da magnitude da lesão ou danos. A análise de risco atua como um tipo de plataforma, em torno do qual muitos outros aspectos práticos do Gerenciamento do Risco circulam. A análise de risco envolve o desenvolvimento de uma estimativa geral de risco, reunindo e integrando informações sobre cenários, frequências e consequências (MOKHTARI *et al.*, 2011).

Segundo Mokhtari *et al.* (2011), existem uma variedade de técnicas sendo usadas para avaliação de riscos incluindo:

- ✓ Inspeções Físicas, *Physical Inspections*;
- ✓ Cartas Organizacionais, *Organizational Charts*;
- ✓ Cartas de Fluxo, *Flow Charts*;
- ✓ Revisão de Segurança, *Safety Review*;
- ✓ Análise de Carta de Critérios, *Checklist Analysis*;

- ✓ Hierarquia Relative, *Relative Ranking*;
- ✓ Análise de “o quê-se”, *“What-if” Analysis*;
- ✓ Análise Preliminar de Perigos, *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*;
- ✓ Estudos de Perigos e Operabilidade, *Hazard and Operability Study (HAZOP)*;
- ✓ Análise de Modos e Efeitos de Falha, *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*;
- ✓ Análise de Árvore de Falhas, *Fault Tree Analysis (FTA)*;
- ✓ Análise de Árvore de Eventos, *Event Tree Analysis (ETA)*;
- ✓ Análise de Causa e Consequência, *Cause-Consequence Analysis (CCA)* e
- ✓ Análise de Confiabilidade Humana, *Human Reliability Analysis (HRA)*.

Essas técnicas todas foram desenvolvidas no conjunto industrial, normalmente em resposta a algum problema prático ou do negócio (MOKHTARI *et al.*, 2011).

A norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) especifica em seu anexo B várias técnicas para análise de riscos, sendo que em aplicações complexas, mais de uma técnica pode ser necessária.

Dentre as várias técnicas existentes para gerenciamento dos riscos, foram utilizadas duas das técnicas de identificação qualitativas no desenvolvimento da ferramenta desse trabalho. Seus conceitos e aplicações serão abordados nesta tese.

Estudos de Perigos e Operabilidade - HAZOP HAZards and OPerability

Segundo Rossing *et al.* (2010), estudos de perigos fornecem uma metodologia sistemática para identificação, avaliação e mitigação de potenciais perigos do processo que podem causar perdas graves humanas, ambientais e econômicas.

Na década de 1970, vários artigos de funcionários da *Imperial Chemical Industry (ICI)* descreveram o que chamavam de estudos de operabilidade. Segundo *Chemical Industry Association* (1977), estes estudos basearam-se no pressuposto de que um problema só pode surgir quando há um desvio do que é normalmente esperado e o desejo de desenvolver uma ferramenta orientada para o processo a fim de complementar as normas orientativas do equipamento, como nos códigos dos recipientes sob pressão. Desses desvios, as causas foram qualitativamente identificadas indutivamente e suas consequências dedutivamente. Os estudos de operabilidade na *ICI* exa-

minaram cada seção de linha para todos os desvios concebíveis, que foram construídos a partir de um conjunto de palavras-guia. O estudo de operabilidade pode basear-se em um diagrama de fluxo de processo simples ou em diagrama de instrumentação e tubulação *Pipe and Instrumentation Diagrams (P & ID)* (CHEMICAL INDUSTRY ASSOCIATION, 1977).

Para Swann e Preston (1995), estudos com base em *P & IDs* são o que hoje é conhecido como *HAZard e OPERability (HAZOP)*. O *HAZOP* tornou-se um fundamento em estudos de risco de plantas de processo (CRAWLEY; TYLER, 2003).

Para Khan; Rathnayaka e Ahmed (2015), o *HAZOP* é um método qualitativo de identificação de perigos bem conhecido e amplamente usado em empresas. Ele é usado para identificar e avaliar perigos no processo, e identificar problemas de operabilidade (CROWL; LOUVAR, 2011).

A técnica de *HAZOP* é um procedimento sistemático para identificar causas anormais de desvios de processo do seu comportamento normal e suas consequências adversas, para eliminar ou mitigar perigos (SRINIVASAN e VENKATASUBRAMANIAN, 1998). Este tipo de análise é comumente realizado por um time multidisciplinar de *experts* durante sessões de *brainstorming* (GUO e KANG, 2015). O objetivo do estudo *HAZOP* é descobrir as causas e consequências de uma resposta da instalação para os desvios da intenção do projeto ou da operação normal, ou seja, revelar se a planta possui recursos de controle e segurança suficientes para garantir que ela pode lidar com os desvios esperados normalmente encontrados durante a operação, incluindo inicialização, desligamento e manutenção (ROSSING *et al.*, 2010).

De acordo com Tweeddale (2003), o *HAZOP* é um estudo sistemático baseado no uso de palavras-guia as quais questionam como a intenção do projeto ou as condições de operação podem não ser atingidas a cada etapa do projeto, processo, procedimento ou sistema. Ele enfoca tantos problemas de segurança, buscando identificar os perigos que possam colocar em risco os operadores e equipamentos da instalação, como também problemas de operabilidade, que embora não sejam perigosos, possam ocasionar perda de produção ou afetar qualidade do produto ou eficiência do processo. O *HAZOP* é conduzido por um time de profissionais com especialidades e responsabilidades sobre o projeto ou operação. Sua utilização inclui áreas de processos químicos, sistemas mecânicos e eletrônicos, procedimentos, sistemas de software, alterações organizacionais e até em análise crítica de contratos legais. Ele pode tratar todas as formas de desvio da intenção do projeto, devido às deficiências no

projeto, componentes, procedimentos planejados e ações humanas. O estudo *HAZOP* é realizado no início do projeto, quando um diagrama do processo pretendido está disponível e alterações ainda sejam praticáveis (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012).

O método *HAZOP* verifica criticamente o projeto, procedimento ou sistema. Ele analisa cada causa potencial e sua consequência de desvios de desempenho em cada elemento do projeto ou operação; examina sistematicamente como eles responderão às alterações nos parâmetros-chave, utilizando palavras-guia adequadas (TWEEDDALE, 2003). Identificam-se os nós-de-estudo (pontos do processo- entrada de um grande equipamento e na saída de um equipamento que acumule produto, ex: vasos, tanques, e antes e depois de linhas que se cruzam). As palavras-guia podem ser personalizadas para um sistema, processo ou procedimento específico ou palavras genéricas que englobam todos os tipos de desvios. As etapas normais de um estudo *HAZOP* são:

- ✓ Nomear pessoa responsável com autoridade para conduzir o estudo e acompanhar ações concluídas;
- ✓ Definição dos objetivos e escopo do estudo;
- ✓ Estabelecimento de conjunto de palavras-guia para o estudo;
- ✓ Definição de equipe multidisciplinar com pessoas com conhecimento técnico especializado e pessoas fora do projeto ou sistema;
- ✓ Coleta de documentação requerida e preenchimento do formulário durante as oficinas de trabalho (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012).

Dentre as limitações do método *HAZOP* tem-se: a análise ser demorada; necessitar de alto nível de documentação; custo e complexidade. Essa técnica teve um progresso ao longo dos anos na extensão do escopo, aplicações e automação. Existem esforços de pesquisa para ampliar o escopo do estudo *HAZOP* modificando características para evitar a limitação de aplicabilidade a sistemas de processos altamente complexos (KHAN; RATHNAYAKA; AHMED, 2015).

A Tabela 5 a seguir, fornece exemplos de palavras-guia utilizadas para sistemas técnicos.

TABELA 5 – EXEMPLOS DE PALAVRAS-GUIA HAZOP POSSÍVEIS

Termos	Definições
Nenhum (a) ou não	Nenhuma parte do resultado pretendido é atingida ou a condição pretendida está ausente
Mais (maior)	Aumento quantitativo na saída ou na condição operacional
Menos (menor)	Diminuição quantitativa
Bem como	Aumento quantitativo (por exemplo, material adicional)
Parte de	Diminuição quantitativa (por exemplo, somente um ou dois componentes em uma mistura)
Reverso/oposto	Oposto (por exemplo, retorno de fluxo)
Exceto	Nenhuma parte da intenção é atingida, algo completamente diferente acontece (por exemplo, fluxo ou material errado)
Compatibilidade	Material; ambiente
	As palavras-guia são aplicadas a parâmetros tais como: Propriedades físicas de um material ou processo; Condições físicas tais como, temperatura, velocidade; Uma intenção especificada de um componente de um sistema ou projeto (por exemplo, transferência de informações); Aspectos operacionais.

FONTE – Adaptado de ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012)

Análise de Modo de Falha e Efeito *FMEA Failure Mode and Effects Analysis*

A fim de assegurar a segurança e a confiabilidade de um sistema, engenheiros identificam todas as falhas independentes que podem ocorrer durante uma determinada etapa do ciclo de vida do sistema e preparam ações para reduzir suas ocorrências ou mitigar a gravidade de suas consequências (KIM e ZUO, 2018).

Análise dos Modos de Falhas e Efeitos - *Failure mode and effects analysis (FMEA)* é um método de análise de projetos (de produtos ou processos, industriais ou administrativos) usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo (HELMAN e ANDERY, 1995).

Para Stamatis (1995), *FMEA* é um método sistemático para identificar o potencial da falha com intenção de antecipar a falha e minimizar sua probabilidade. Segundo o autor o *FMEA* identificará ações corretivas necessárias para prevenir que falhas alcancem o consumidor, por isso assegurando alta durabilidade, qualidade e confiabilidade possível ao produto ou serviço.

Para Kim e Zuo (2018), *FMEA* é um método estruturado usado para entender completamente os modos de falha e suas consequências em uma determinada etapa do ciclo de vida do sistema. Um modo de falha é definido pela maneira como um sistema ou processo pode falhar, enquanto que a consequência da ocorrência do modo de falha é chamada de efeito de falha (CARLSON, 2012). Uma vez identificados todos os modos prováveis de falha e suas consequências, o risco de cada modo de falha é avaliado de modo a selecionar modos de falha mais críticos, bem como identificar ações apropriadas para reduzir esses riscos (KIM e ZUO, 2018). Para este fim, os padrões *FMEA* adotam o número de prioridade de risco *risk priority number* (RPN), no qual três fatores - a ocorrência, detecção e gravidade - são multiplicados (CARLSON, 2012). Cada fator é avaliado por um especialista usando uma escala de valor numérico de dez pontos.

O *FMEA* foi desenvolvido pela primeira vez na década de 1960 pela indústria aeroespacial (US ARMY, 2006), e tem sido amplamente utilizado em várias indústrias, como automotivas, processamento de semicondutores e indústrias biomédicas (FAIELLA *et al.*, 2018). De acordo com suas aplicações, os vários tipos de *FMEA* podem ser:

- I. O *CFMEA* que pode ser usado para projeto ou produto, utilizado para componentes;
- II. O *DFMEA* para produto;
- III. O *FMEA* de sistema;
- IV. O *PFMEA* de processo, utilizado para processos de manufatura e montagem;
- V. O *FMEA* de serviço;
- VI. O *FMEA* de software.

Todos podem ser aplicados durante o projeto ou operação do sistema físico adequado (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012).

O *FMEA* tem um método irmão chamado *FMECA Failure mode, effects and criticality analysis* (Análise de modo, efeito e criticidade da falha) o qual analisa também a criticidade do modo de falha. O *FMECA* calcula o índice de criticidade do modo de falha, o resultado da multiplicação: da possibilidade do efeito de falha, pela taxa do modo de falha, pelo tempo de operação do sistema. É frequentemente utilizado para identificar falhas de componentes de equipamentos, onde cada um desses termos pode ser definido quantitativamente e todos têm a mesma consequência. Outro índice

que pode ser calculado é o nível de risco que é o resultado da multiplicação da consequência da ocorrência do modo de falha pela probabilidade (frequência) dessa falha. O nível de risco pode ser expresso qualitativamente, sem quantitativamente e quantitativamente (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012). De acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) o processo do *FMEA* engloba:

- 1- Definir o escopo e objetivos do estudo;
- 2- Montar a equipe, multidisciplinar dos setores envolvidos;
- 3- Entender o sistema/processo a ser submetido ao *FMECA*;
- 4- Desdobrar o sistema em componentes ou etapas;
- 5- Definir a função de cada etapa ou componente;
- 6- Para cada componente ou etapa listado, identificar:
 - Como pode ser concebível cada parte falhar?
 - Quais mecanismos podem produzir esses modos de falha?
 - Quais podem ser os efeitos se as falhas ocorrerem?
 - A falha é inofensiva ou prejudicial?
 - Como a falha é detectada?
- 7- Identificar as medidas inerentes ao projeto para compensar a falha.

O *FMEA* é um método dinâmico, com várias reavaliações em função de mudanças no sistema ou projeto, é documentado em um formulário com lista de modos de falha, mecanismos de falha e efeitos de cada componente ou etapa do sistema ou processo; e informações sobre as causas da falha e suas consequências para o sistema como um todo (PALADY, 1997).

O *FMEA* apresenta limitações em função do tempo e custo dos estudos, complexidade de sistemas e confusão na interpretação dos fatores (ocorrência, severidade e detecção) (PUVANASVARAN; JAMIBOLLAH e NORAZLIN, 2014). Em função disso, o *FMEA* deve fazer parte de um sistema de gerenciamento estratégico da organização, com outras ferramentas complementares, como por exemplo do *Lean Production: Poka-Yoke, Kanban, TPM, SMED Single minute exchange of die, 5 "S"* e outras. (BANDUKA; VEZA e BILIC, 2016). Cada caso deve ser avaliado para uma correta aplicação do método.

2.3.4 Avaliação e Classificação dos Riscos

Dentro do gerenciamento dos riscos a avaliação de riscos é um processo que serve de guia para a tomada de decisão. Ela consiste em comparar os níveis estimados de risco com critérios de risco definidos quando o contexto foi estabelecido, a fim de determinar a significância do nível e do tipo de risco (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012). Como visto, o nível de risco ou a estimativa do risco para caracterização do risco (valoração do risco) é expressa em termos de probabilidade ou frequência de ocorrência da falha multiplicada pela severidade ou gravidade das consequências da mesma falha. Esse índice serve como referência para a tomada de decisão baseada em risco para ações futuras. A norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) acrescenta que considerações éticas, legais, financeiras e outras, incluindo as percepções do risco, são dados de entradas para a decisão.

Para Gadd *et al.* (2003), a Avaliação de Risco é um componente essencial para a construção das etapas de planejamento e implantação, previstas nos programas de Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho (SGSST). Ela deve ser realizada periodicamente, para que qualquer alteração, no produto ou no processo, não de origem a novas situações de perigo, possibilitando um acompanhamento frequente e adequado dos riscos (CARVALHO, 2007). Roxo (2003) afirma que é na Avaliação de Risco que se pretende conhecer em que medida uma dada situação de trabalho é segura, ou pretende-se objetivar se o nível de risco é aceitável ou se medidas devem ser tomadas para controlar e reduzir o risco.

A avaliação do risco preocupa-se com a significância do risco e está relacionada com a estrutura para definição dos critérios de risco. Segundo a norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), a estrutura mais simples é de um nível único, que divide os riscos em aqueles que precisam de tratamento daqueles que não. Fornece resultados simples, mas não reflete as incertezas envolvidas na estimativa de riscos e na definição da fronteira entre aqueles que necessitam dos que não necessitam de tratamento.

Segundo Carvalho (2007), uma das metodologias amplamente usada para se promover a valoração, magnitude, bem como prioridade de intervenção do risco é a matriz de risco. Grande parte dos métodos utilizados é de origem empírica somente para satisfazer a obrigação legal da Avaliação de Riscos, ou desenvolvidas por insti-

tuições/organizações/empresas do setor público e privado. Segundo o autor além desses métodos a literatura apresenta outros, independente da natureza científica ou empírica que os identifica.

Empresas como Petrobras (2015), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB (2011), *American Institute of Chemical Engineers AIChE* (2000), dentre outras, possuem normas e manuais para orientação e elaboração de estudos de análise de riscos. Elas utilizam técnicas de: Análise Preliminar de Perigos (APP), HAZOP- HAZard and OPerability, Árvores de Falhas- *Fault Tree Analysis* (FTA) e outras e possuem seus próprios critérios e métodos para classificação dos riscos usando gráficos com limites de classes e/ou matrizes de risco.

Carvalho (2007) apresenta uma estimativa de valoração dos riscos em função da *Probabilidade* ou *Frequência* de ocorrência; *Gravidade* ou *Severidade* das consequências; tempo de exposição; número de trabalhadores expostos; procedimentos e condições de segurança; número de pessoas afetadas e quantificação da magnitude do risco; utilizando métodos matriciais. Dentre eles, o método mais usado é o da matriz simples 5X4. É o que se enquadra nas escalas de frequência e severidade usadas nas empresas. São eles:

- ✓ Método de matriz simples Somerville;
- ✓ Método de matriz simples (3X3);
- ✓ Método de matriz simples CRAM (3X3);
- ✓ Método de matriz simples (4X4);
- ✓ Método de matriz simples (5X4);
- ✓ Método de matriz composta P;
- ✓ Método de matriz composta CM;
- ✓ Método de matriz composta NTP330;
- ✓ Método de matriz composta DGEMN;
- ✓ Método de William T. Fine (WTF).

Outra técnica usada para identificar e quantificar os riscos associados, que usa métodos matriciais para sua classificação é a Análise Preliminar de Perigos (APP). A APP é uma metodologia indutiva estruturada para identificar potenciais perigos decorrentes da instalação de novas unidades e sistemas em plantas químicas que operam com materiais perigosos (ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012). Segundo Rausand (2004), o processo de desenvolvimento da Análise Preliminar de Perigos engloba 4 etapas:

1- Pré-requisitos para APP – estabelecer equipe multidisciplinar, definir e descrever o sistema a ser analisado e coletar informações de risco do sistema e de outros sistemas parecidos;

2- Identificação de perigos;

3- Estimativa de frequência e consequência;

4- Classificar os riscos e seguimentos de ações.

A metodologia da APP foi desenvolvida e aplicada pela primeira vez pelo Exército Americano e incluída na norma MIL-STD-882C (1993) *Military Standard - SYSTEM SAFETY PROGRAM REQUIREMENTS* do Departamento de Defesa Americano. Na etapa da classificação do risco é necessário a estimativa das categorias de frequências dos cenários dos acidentes. Eles também devem ser classificados em categorias de severidade, que fornecem indicação qualitativa da severidade esperada de ocorrência para cada um dos cenários identificados (TWEEDDALE, 2003). Segundo MIL-STD-882C (1993), as categorias de severidade de perigo fornecem orientação para uma grande variedade de programas. No entanto, a adaptação a um programa específico é geralmente necessária para fornecer um entendimento mútuo entre os condutores da análise, quanto ao significado dos termos usados nas definições da categoria envolvendo características das instalações, avaliação da saúde e segurança ocupacional dos empregados e outras. A adaptação deve definir o que constitui perda do sistema maior ou menor ou danos ambientais, lesões graves ou menores e doenças ocupacionais (MIL-STD-882C, 1993).

A Tabela 6 a seguir, mostra as categorias de frequências de ocorrências conforme a norma MIL-STD-882C (1993) em uso atualmente na confecção da APP de instalações de refinarias e plantas de processos. Esta avaliação de frequência poderá ser determinada em função da experiência dos componentes do grupo ou de banco de dados de acidentes – histórico de acidentes ocorridos (RAUSAND, 2004).

A Tabela 7 a seguir, ilustra as categorias de severidades em função dos perigos identificados, também segue a recomendação da norma MIL-STD-882C (1993) delimitando perdas no sistema, maior ou menor; danos ambientais e seus impactos; e tipos de lesões e aos trabalhadores.

Essas tabelas servem para a montagem da matriz de classificação de riscos qualitativa e quantitativa do tipo 5X4, de acordo com a norma MIL-STD-882C (1993). As tabelas de categorias e a matriz de riscos podem variar conforme métodos de identificação e avaliação de riscos das empresas e seus respectivos campos de atuação.

TABELA 6 – CATEGORIAS DE FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIAS DOS CENÁRIOS

Categoria	Denominação	Faixa de Frequência (anual)	Descrição
A	EXTREMAMENTE REMOTA	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
B	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
C	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação.
D	PROVÁVEL	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/ instalação.
E	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/ instalação.

FONTE: norma MIL-STD-882C (1993)

TABELA 7 – CATEGORIAS DE SEVERIDADE DOS PERIGOS IDENTIFICADOS

Categoria	Denominação	Descrição/ Características
I	DESPREZÍVEL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente; ▪ Não ocorrem lesões/ mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ ou pessoas (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor;
II	MARGINAL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ ou de baixo custo de reparo); ▪ Lesões leves em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade;
III	CRÍTICA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente; ▪ Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte); ▪ Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe;
IV	CATASTRÓFICA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível); ▪ Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviços ou em membros da comunidade).

FONTE: norma MIL-STD-882C (1993)

Utilizando a matriz de risco conforme a norma MIL-STD-882C (1993) seguindo suas recomendações, respeitando a critérios do contexto da instituição/indústria/organização, na qual está sendo feita a análise; pode-se observar os níveis de risco. É uma matriz simples (5x4) onde a escala de índice de risco é expressa em uma escala numérica ordinal para cada uma das variáveis, integrando 5 níveis de prioridade de intervenção. O Quadro 3 a seguir, apresenta a Classificação de Risco – Frequência X Severidade:

QUADRO 3 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS – FREQUÊNCIA X SEVERIDADE

		FREQUÊNCIA				
		A	B	C	D	E
SEVERIDADE	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

FONTE: norma MIL-STD-882C (1993)

Na tabela 8 a seguir, observa-se a legenda da matriz de classificação de riscos. Ela apresenta uma escala numérica do risco e severidade e alfabética para frequência. Assim, possibilitando obter a valoração do risco.

TABELA 8 – LEGENDA DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS – FREQUÊNCIA X SEVERIDADE

Severidade		Frequência		Risco	
I	Desprezível	A	Extremamente Remota	1	Desprezível
II	Marginal	B	Remota	2	Menor
III	Crítica	C	Improvável	3	Moderado
IV	catastrófica	D	Provável	4	Sério
		E	Frequente	5	Crítico

FONTE: norma MIL-STD-882C (1993)

A aplicação da metodologia do desenvolvimento da ferramenta da presente pesquisa utiliza o *HAZOP* e *PFMEA* para a identificação e análise dos riscos envolvidos no reator de monitoramento de corrosão naftênica (experimento). Para a valoração/magnitude do risco foi utilizada a matriz de risco (5X4) conforme apresentada no quadro 3; os critérios de priorização de intervenção foram unificados para a mesma legenda da matriz (5X4) usada no *HAZOP*; e também no *PFMEA* com valorações numéricas de acordo com o RPN (nível prioritário de risco), composto por (severidade X ocorrência X detecção), encontrado para cada modo de falha potencial, abrangendo os cinco níveis de risco.

Este estudo de avaliação e classificação de riscos serviu de fundamento para a montagem do algoritmo em planilha eletrônica de quantificação do nível de risco do experimento. Na próxima seção, serão abordados os sistemas *Poka-Yoke*, suas origens e ferramentas para implantação, bem como os princípios desse método para garantia de qualidade.

2.4 SISTEMAS POKA-YOKE

2.4.1 Manufatura Enxuta

O século XXI é caracterizado por produtos customizados forçando organizações a terem complexos planejamentos de produção e sistemas de controle, os quais tornam a produção de bens e serviços desafiadora. Para Bhamu e Sangwan (2014), várias organizações, particularmente às automobilísticas, estão empenhando-se na orientação para o novo cliente em um mercado competitivo global. Esses fatores direcionam a procura por novas ferramentas e métodos para continuar na liderança dentro das alterações de cenário de mercado. A fim de superar esta situação e tornar-se lucrativo, muitos fabricantes mudaram para o *lean manufacturing* (BHAMU; SANGWAN, 2014).

O conceito *lean* teve origem no Japão após a Segunda Guerra Mundial. Ele surgiu de inovações no chão-de-fábrica da *Toyota Motor Corporation* proveniente da falta de investimentos requeridos para reconstruir instalações devastadas e a acentuada competição do mercado automobilístico japonês (BHAMU e SANGWAN, 2014). Produção ou Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) é uma filosofia para projetar e fabricar produtos na busca de eliminação de desperdícios, aumento o valor agregado

e redução de custos. Esses desperdícios incluem superprodução, defeitos, transporte desnecessário, inventário excessivo, espera (interrupção da linha de produção) movimentos não essenciais, retrabalho, sobre processamento e informações desconectadas (ABOLHASSANI; LAYFIELD; GOPALAKRISHNAN, 2016). A meta do *lean manufacturing* é ser altamente ágil para a demanda do cliente reduzindo perdas. Objetiva produzir produtos e serviços no mais baixo custo e tão rápido como exigido pelo cliente (BHAMU; SANGWAN, 2014).

Segundo Hines; Holweg e Rich (2004), o gerenciamento enxuto é determinado pelo sistema de produção *just-in-time* (JIT); a ferramenta *kanban* de controle; respeito ao alto nível de problemas resolvidos pelos empregados; e trabalho automático a prova de erro. Caracteriza-se por um modelo alternativo para os atuais sistemas de capital e produção em massa com seus grandes tamanhos de lotes e perdas escondidas. De acordo com Shingo (1986), sistemas de produção dito enxutos, produzem itens no tempo certo, na quantidade e no momento necessário sem geração de estoques.

A manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) recebe muita atenção por parte dos pesquisadores em função de fatores de desempenho como: qualidade, custo, prazo e melhoria contínua. Suas técnicas e ferramentas aumentam a produtividade e eliminam perdas (BEHROUSI e WONG, 2011). O sistema interligado de instrumentos facilita a melhoria contínua no tempo de aumento da volatilidade do mercado. Além das aplicações técnicas desse método, o fator humano é significativo para o desenvolvimento e uso dos conhecimentos dos empregados (GLASS; SEIFERMANN; METTERNICH, 2016).

Muitos consideram *lean* não é somente um sistema de produção, mas um conceito/pensamento que engloba quase tudo em uma cadeia de manufatura. A produção enxuta é frequentemente confundida com técnicas utilizadas por ela, entretanto esta abordagem provém de uma má compreensão dos seus princípios básicos. Muitas empresas utilizam técnicas da Produção Enxuta em seus sistemas de produção, mas não dominam totalmente seus princípios, pensamentos e filosofia *lean* em suas organizações (BHASIN, 2012).

De acordo com Grout e Toussaint (2010), a Toyota desenvolveu seu sistema de produção durante anos envolvendo um contínuo processo de melhoramento buscando a redução de perdas. O modelo de produção baseado no valor da Toyota faz com que a empresa esteja apta a prover seus clientes com produtos e serviços de alta

qualidade, com menor demanda de trabalho, espaço e capital de investimento. Assim tornou-se um dos maiores fabricantes de sucesso no Mundo.

Existe um grande interesse nos resultados da aplicação dos princípios da Manufatura Enxuta, mas é necessário conhecer e entender os seus conceitos e implicações, antes de implantá-la nas organizações (CONSUL, 2015). Ela possui várias ferramentas como: *kanban*, *just-in-time*, *autonomação*, *Poka-Yoke*, Gerenciamento visual, *Kaizen*, troca rápida de ferramentas, entre outras. Cada uma dessas ferramentas apresenta um tempo para a implantação. Somente quando estão interligadas e interagem juntas é que se alcançam os resultados. Além disso, a Manufatura Enxuta tem sua cultura associada com essas ferramentas, o que exige mudança de comportamento, disciplina e persistência. Talvez essa seja uma das razões no fracasso da implantação do *lean production* em muitas organizações.

2.4.2 Variabilidades de Processos

A qualidade é um fator chave para sucesso das organizações. Porém, nenhum processo é isento de variação e falhas, então existe uma busca constante de meios e ferramentas para seu controle. Ultimamente várias metodologias em pesquisa de qualidade têm chamado atenção de profissionais liberais e pesquisadores para essa realidade. A crescente notoriedade de metodologias como o Controle de Qualidade Estatístico *Statistical Quality Control* (SQC), Gerenciamento da Qualidade Total *Total Quality Management* (TQM), e Seis Sigma demonstram a importância do fator qualidade (KIM e GERSHWIN, 2005).

Segundo Colledani e Tolio (2011), o desenvolvimento de modelos integrados que incluem parâmetros de controle de qualidade e produção juntos supera a solução obtida via aplicação individual de cada método. Eles utilizam uma abordagem analítica conjunta, a qual demonstra seu desempenho, do controle de produção *kanban* e cartas de controle de qualidade estatísticas.

A variabilidade engloba riscos (variáveis conhecidas) e incertezas (variáveis que não podem ser medidas), e são importantes condições para tomada de decisão. De acordo com Mahesh e Prabhuswamy (2010), a variação na qualidade do produto em qualquer processo de manufatura resulta de dois tipos de falhas denominadas: causas ocasionais (variações a esmo ou aleatória) e causas atribuíveis (variações

determináveis ou não usuais). Segundo os autores, as causas ocasionais resultam em menor variação no processo, enquanto que o objetivo principal do Controle Estatístico de Processo *Statistical Process Control* (SPC) é detectar rapidamente causas atribuíveis na investigação do processo e tomar ações corretivas antes que muitas unidades não conforme sejam produzidas. De fato, a variabilidade existe em tudo que é fabricado, por isso, para obter sucesso em mercados competitivos é necessário ter um bom projeto do sistema de manufatura e controle do processo. Ações no processo refletem automaticamente na qualidade do produto (SHINGO, 1986).

A seguir, são apresentadas algumas fontes e abordagens para a redução da variabilidade dos processos. Essas fontes servem de embasamento para o desenvolvido da ferramenta do presente projeto de pesquisa. Atuar para mitigar condições de riscos e aumento de qualidade e confiabilidade proporcionam um gerenciamento eficaz com o mínimo de perdas.

2.4.2.1 Métodos para Redução da Variabilidade

Várias organizações estão procurando reduzir a variabilidade dos seus processos, mas o grande desafio é reduzir a variabilidade em todos os níveis. Para Santos; Formoso e Tookey (2002), sempre que um processo está submetido a variabilidade, a qualidade, o tempo de entrega e o custo desse processo também variarão. Ligeiras variações na qualidade podem influenciar a percepção do cliente no desempenho do produto ou serviço. As crescentes aplicações dos conceitos de Gerenciamento pela Qualidade Total *Total Quality Management* (TQM), e a procura por certificações ISO contribuem para o aumento de esforços na redução da variabilidade dentro dos seus setores (SANTOS; FORMOSO; TOOKEY, 2002).

2.4.2.1.1 Padronização

Segundo Míkva *et al.* (2016), a qualidade se tornou um aspecto chave em um mercado competitivo e orientado para o cliente. Segundo os autores, um dos caminhos para garantir qualidade de produtos e serviços é introduzir o melhoramento contínuo e certificações ISO 9000. A padronização é uma das ferramentas que pode ser aplicada na melhoria contínua das organizações. O trabalho padronizado é uma das mais poderosas, mas menos usada ferramenta *lean* e também a linha base para a melhoria contínua (*Kaizen*). (MÍKVA *et al.*, 2016).

Conforme Ohno (1997), a principal fonte de informações da manufatura é o próprio processo (chão-de-fábrica). Essas informações são diretas, atualizadas, estimulantes, fontes para escrita de um procedimento de trabalho e auxiliam na eficácia do gerenciamento. De acordo com o autor, o padrão deve ser escrito observando a operação, e também, ser testado e revisado várias vezes na planta de produção. Além disso, qualquer pessoa que leia o procedimento deve poder compreendê-lo de imediato (OHNO, 1997).

De acordo com Imai (2000), os padrões de trabalho não são apenas a melhor forma de garantir a qualidade, mas a forma mais eficaz de executar o trabalho em termos de custos para a empresa e facilidade para o operário.

Parafraseando Míkva *et al.* (2016), a padronização caracteriza-se pela soma de ações inter-condicionais e medidas, as quais direcionam para uma racional unificação de soluções recorrentes. Ela é o caminho para a empresa reduzir seus custos (seja financeiro ou de tempo) e assegurar um claro, visual e seguro ambiente de trabalho. O padrão operacional define a melhor prática para o trabalho; o objetivo é fazer corretamente o trabalho, na primeira vez sem erros, sem efeitos negativos de humanos e ambiente (MÍKVA *et al.*, 2016).

Segundo Kosturiak *et al.*¹ (2010 *apud* MÍKVA *et al.*, 2016), os padrões são usados para:

- Redução da variação e correção do erro;
- Aumentar a segurança;
- Facilitar a comunicação;
- Visibilidade de problemas;
- Ajuda no treinamento e educação;
- Aumento da disciplina do trabalho;
- Facilidade de resposta para os desafios;
- Clarificação dos procedimentos de trabalho.¹

Para Santos; Formoso e Tookey (2002), padronização envolve o desenvolvimento de procedimentos pré-determinados e referencial material para a realização de um processo particular ou operação. Geralmente são escritos, porém, figuras, esboços e fotografias facilitam seu entendimento. O uso de padrões reduz a probabilidade

¹ KOSTURIAK, J.; BOLEDOVIC, L'; KRIT'AK,J.; MAREK, M. **KAIZEN, The proven of practice Czech and Slovak companies**. Computer Press. 2010.

aleatória da variabilidade de processo (chamada de “ruído” do processo) e, por isso, facilita a identificação da rota de causa dos problemas de produção. Uma vez identificado o problema, ações corretivas podem rapidamente ser implantadas e os padrões reescritos para eliminar o problema. Com a modificação do padrão não existe recorrência do problema (SANTOS; FORMOSO; TOOKEY, 2002).

Imai (2000) estabelece as seguintes características para os padrões:

1. Eles representam o melhor, mais fácil e seguro caminho para confecção de uma atividade;
2. Eles oferecem a melhor forma para preservar o conhecimento e a perícia: quando o conhecimento é padronizado e institucionalizado, ele permanece na companhia independente da rotatividade de funcionários;
3. Fornecem a avaliação do desempenho do trabalho e mostram a relação entre causa e efeito – não ter e não cumprir padrões levará a anormalidades, variabilidade e perdas;
4. Os padrões são a base de ambos, manutenção e atividades de melhoramentos;
5. Formam a base para o treinamento, auditoria e diagnósticos;
6. Um meio de impedir a recorrência e minimizar as variações.

Sem padrões, não se sabe se uma atividade é realizada corretamente. A padronização é parte integrante da garantia de qualidade. Nesse sentido, a manutenção dos padrões é uma das tarefas primárias do gerenciamento (IMAI, 2000).

A padronização é uma ferramenta poderosa para garantia que a realização de uma tarefa seja executada de forma correta, com o menor tempo e de forma segura, independente do operador que a executa. Manter e revisar os padrões contribui para a melhoria da qualidade e diminuição das variabilidades do processo. Ela é um dos pilares da ferramenta desenvolvida no presente projeto de pesquisa.

2.4.2.1.2 O 5S (*housekeeping*)

Nos dias atuais, a prática do 5”S” é comumente usada entre as empresas japonesas para melhorar competência humana e produtividade. O 5 “S” foi apresentado por Takashi Osada no início dos anos de 1980, e com sua aplicação pode-se aumentar consideravelmente o desempenho ambiental na produção, incluindo o serviço doméstico (*housekeeping*), saúde e segurança (SHARMA; SINGH, 2015).

Tsuchiya (1998) afirma que o 5" S" é um método útil para fundar uma organização e disseminar um projeto. Ele pode melhorar a comunicação, ajudar os empregados a desenvolver suas características, diminuir tempo ocioso, tempo de ciclo, estoques, defeitos, danos e custos associados.

De acordo com Imai (2000), o 5" S" é uma das três principais atividades da melhoria contínua (*Kaizen*). Para que o chão-de-fábrica (*gemba*) atinja qualidade, custo e prazo é fundamental colocar em prática as cinco palavras japonesas que compõem o 5" S". Fabricar produtos e prestar serviços com preços razoáveis, entregar no prazo, satisfaz os clientes e os mantém leais. Instalações com alto índice de 5" S" eliminam perdas e são performances, uma simples visita ao chão-de-fábrica demonstra a evidência. Já, a ausência de 5" S" reflete ineficiência; perdas; falta de autodisciplina; baixo moral e qualidade; altos custos e incapacidade de cumprir prazos de entrega (IMAI, 2000).

Para Míkva *et al.* (2016,) o método 5" S" é baseado na aceitação que: organização, ordem, limpeza, padronização e disciplina no local de trabalho são condições essenciais para produção de produtos e serviços de alta qualidade. Isto é caracterizado por um mínimo ou nenhum desperdício e alta produtividade.

De acordo com Synay *et.al.*² (2007 *apud* Míkva *et al.*, 2016), a metodologia 5" S" mantém seus princípios básicos:

- ✓ Em um local de trabalho limpo é onde se pode identificar os problemas mais cedo;
- ✓ Um local de trabalho limpo é mais seguro;
- ✓ Um ambiente frequentemente bem organizado é mais estável;
- ✓ Padronização e organização do local de trabalho permitem respostas mais rápidas;
- ✓ Comunicação sobre o estado da fabricação é mais fácil.²

O método 5" S", o qual é um acrônimo das palavras japonesas iniciando com a letra "S" possui termos correspondentes em Inglês também, e é composto por cinco passos seguindo um ao outro (MÍKVA *et al.*, 2016):

1- **Seiri (Sort)**: Distinguir os itens necessários e desnecessários no local de trabalho e descartar os desnecessários;

² Sinay, J *et al.* **Quality Improvement Tools**. Presov: ManaCon; 2007.

2- **Seiton (Stabilize)**: Arranjar todos os itens restantes no local de trabalho após o primeiro passo de maneira transparente;

3- **Seiso (Shine)**: Manter um ambiente de trabalho limpo;

4- **Seiketsu (Standardize)**: Implementação de padrões e prática contínua dos três passos anteriores;

5- **Shitsuke (Sustain)**: Construir a auto-disciplina e habituar-se a praticar os 5”S”.

Para Míkva *et al.* (2016), a introdução do método 5”S” deve sempre iniciar pelo passo 1. Recapitulando, o primeiro passo define os itens necessários no local de trabalho e remove os outros; o segundo passo define exatamente a localização dos itens deixados no local de trabalho. O terceiro passo inclui ações para manter tudo arrumado e limpo; sendo o objetivo chave manter todos os equipamentos no estado no qual eles sempre estão prontos para uso. O objetivo do quarto passo um local de trabalho é criar uma arrumação padronizada do local de trabalho. O último passo é usar o método 5”S” e enraizar o conceito na cultura de trabalho.

O Quadro 4 a seguir demonstra a sequência de passos durante a aplicação do método 5”S” de acordo com Míkva *et al.* (2016):



FONTE: Míkva *et al.* (2016).

Recentemente, o método foi estendido com outro “S” – **Safety (Segurança)**. Onde o objetivo básico desse passo é alcançar zero acidentes no local de trabalho cumprindo com todos os princípios de segurança (MÍKVA *et al.*, 2016).

Para que se tenha sucesso na implantação de programas 5”S” o fator mais importante é a ativa cooperação dos funcionários. A responsabilidade do pessoal de chão-de-fábrica e o seu compromisso de aplicar o 5”S” na fábrica é o segredo do sucesso do sistema. A fim de encorajar o senso de compromisso entre as equipes da organização, os Gerentes devem reafirmar sua dedicação ao 5”S” e melhoria contínua a frente dos outros funcionários. Além disso, para garantir a sobrevivência deste sistema, o pessoal deve ser treinado para entender corretamente o 5”S” e sua importância, avaliar regularmente e sistematicamente sua implementação (MORADI; ABDOLLAHZADEH; VAKILI, 2011).

Do exposto, a metodologia 5”S” é uma ferramenta precursora de outras técnicas como, a melhoria contínua (*Kaizen*), a manutenção produtiva total TPM (*Total Productive Maintenance*) e contribui para uma boa gestão visual do chão-de-fábrica. O seu monitoramento organizado do ambiente de trabalho ou de qualquer ambiente ajuda a organizar o local para a eficiência, diminuição de desperdícios e melhoria da qualidade e produtividade. Esse método também é um dos pilares para o desenvolvimento da ferramenta desse projeto de pesquisa.

2.4.2.1.3 Lista de Verificação (*Checklist*)

A afirmação de que “errar é humano” é correta, mas, às vezes, serve de desculpa para sua não conscientização. O erro humano é inevitável, particularmente sobre condições extremamente estressantes. (SEXTON; THOMAS e HELMREICH, 2000). Psicólogos vêm demonstrando que em certas situações, níveis de funções cognitivas são frequentemente comprometidos com o aumento do nível de estresse e fadiga (BOURNE e YAROSH, 2003). Isto é frequente e normal em determinados campos de trabalho complexos e de alta intensidade; podendo liderar aumento de erros de julgamento, diminuição de cumprimento de procedimentos padrões e decréscimo de competência. Áreas como Aviação, Aeronáutica, Medicina e Manufatura de produtos, na qual segurança e precisão são fundamentais na correta prestação de serviço, precisam de ferramentas para ajudar na redução do erro humano. Uma importante ferramenta para gerenciar o erro humano em todos esses campos é a lista

de verificação (*checklist*), um instrumento chave na redução do risco de erros onerosos e melhoramento do resultado global (HALES; PRONOVOST, 2006).

Para Kapur *et al.* (2015), a necessidade de listas de verificação (*checklists*) baseia-se na premissa de que, na execução de procedimentos, o cérebro humano pode estar sujeito a três limitações cognitivas principais:

- ✓ Pode-se esquecer de recuperar uma das várias etapas em um procedimento;
- ✓ Pode-se recuperar um passo, mas por uma razão ou outra (por exemplo, distração, fadiga) podemos não lembrar de realizá-lo;
- ✓ Ou pode-se recuperar o passo, lembrar-se de realizá-lo, mas executar a ação incorretamente (KAPUR *et al.*, 2015).

De acordo com Hales e Pronovost (2006), um *checklist* é tipicamente uma lista de itens ou critérios de ação agrupados de uma maneira sistemática, permitindo ao usuário registrar a presença/ausência de um item individual listado assegurando que todos são considerados ou preenchidos. Para os autores, um *checklist* adequado destaca-se como um critério essencial a ser considerado em uma área particular. Eles podem diferir de outras ajudas cognitivas ou protocolos, na medida em que se encontram em algum lugar entre uma ajuda cognitiva informal, como uma nota *Post-It* ou uma corda em torno de seu dedo, e um protocolo, que tipicamente envolve itens obrigatórios para a realização a fim de guiar o usuário a um resultado predeterminado. *Checklists* proporcionam orientação ao usuário e atuam em verificação (*check*) após a conclusão da tarefa, sem necessariamente guiar usuários para uma específica conclusão.

Para Reijers; Leopold e Recker (2017), *checklists* são abrangentes. Eles vão desde uma simples lista de compras diária a completos *checklists* de pré-vôo na Aviação. As pessoas usam esses dispositivos para guiar e verificar suas ações e eles tem mostrado serem altamente benéficos. Um exemplo bem conhecido foi a adoção do *checklist* cirúrgico confeccionado seguindo diretrizes gerais da Organização Mundial da Saúde (OMS), o qual reduziu pela metade a mortalidade de pacientes em hospitais que adotaram sua aplicação (HAYNES *et al.*, 2009). E em função do seu sucesso para reduzir a probabilidade do erro humano, o *checklist* se tornou uma prática mandatória na aviação.

Na Área da Saúde, *checklists* e planilhas de objetivos diários podem reduzir erros evitando a dependência da memória e transformar o diagnóstico complexo e decisões terapêuticas em uma simples série de tarefas sim ou não (GAWANDE, 2007).

Conforme Halm (2008), evidências disponíveis apontam que planilhas de objetivos diários e *checklists* resultam em fornecimento padronizado de cuidados através de maior aderência com orientações de prática baseadas em evidências e promoção de culturas de trabalho em equipe que melhoraram a comunicação efetiva. Para o autor os auxílios à memória são reconhecidos não como sinais de incompetência, mas como ferramentas úteis para preservar a segurança em ambientes de alta complexidade - ambientes de UTIs com alta tecnologia, onde exames, diagnósticos e tratamentos invasivos são o nome do jogo.

De acordo com Reijers; Leopold e Recker (2017), a definição do dicionário Merriam-Webster de lista de verificação (*checklist*), como uma “lista de coisas a serem checadas ou feitas”, captura a natureza de apoio de um *checklist* para “assinalar” o trabalho realizado e servir de lembrança do que ainda é necessário fazer. Note, como o conceito de “fazer uma lista” identifica especificamente o último aspecto de um *checklist*. A postulação chave é que *checklist* é um tipo de artefato informativo que conceitua atividades e decisões em rotinas de trabalho. Para os autores os artefatos informativos encapsulam, abstraem e representam todas as informações relevantes sobre alguns fenômenos do mundo real em uma única abstração. Esta suposição sugere que o objetivo essencial do *checklist* é duplo:

- Descrever rotinas de trabalho (chamado de aspecto da representação);
- Orientar decisões e tarefas dentro dessas rotinas (aspecto da receita médica).

Em sua natureza os *checklists* são um tipo de modelo conceitual que fornece uma representação proposital e relevante de um domínio particular do mundo real (o aspecto da abstração) (REIJERS; LEOPOLD; RECKER, 2017).

Os *Checklists* têm como objetivos dentre eles: lembrar a memória; padronização e regulação de processos ou metodologias; prover estrutura para avaliações; ou como ferramenta de diagnóstico (SCRIVEN, 2005). Entretanto, com relação a sua natureza, o propósito de sua implantação é redução de erros habituais ou aderência às melhores práticas (HALES; PRONOVOST, 2006).

Atualmente, *checklists* são utilizados em vários campos, porém existem três áreas onde eles são sempre mais usados consistentemente, com suas específicas contribuições: na indústria com seu foco principal, na Aeronáutica e Aviação, no controle de qualidade da Manufatura e em extensão para área da Saúde. (HALES; PRO-NOVOST, 2006).

No desenvolvimento de um *checklist*, deve-se sempre, incluir o usuário, quem vai fazer a operação, e, ao final da sua confecção, um teste de avaliação deve ser conduzido antes da implantação, a fim de determinar sua utilidade e impacto (HEIT-MILLER, 2009). Outro campo de acordo com Reijers; Leopold e Recker (2017), que pode englobar o uso de *checklists* e melhorar ainda mais sua utilização é a área de Sistemas de Tecnologia de Informação (TI). Um *checklist* como parte de um sistema de TI poderia:

- Ajustar-se ele mesmo, dependendo do contexto onde ele é usado ou no caso onde ele é usado para;
- Predizer quais itens poderiam se tornar relevantes ou críticos (banco de dados de aplicações prévias e monitorar novas instâncias para pontos comuns);
- Adaptar o nível de leniência em aceitar desvios de sua execução idealizada ou alterar seu conteúdo em tempo real de execução se o usuário sinalizar uma situação excepcional.

Checklists digitalizados tem o potencial de envolver máquinas espertas (*smart machines*) englobando atividades não só de informação, mas também automatizar o trabalho como em empresas modernas que utilizam sistemas de TI (REIJERS; LEOPOLD; RECKER, 2017).

Como visto, a ferramenta *checklist* é usada em vários campos para redução de erros, adequação às melhores práticas e aumento de resultados. Ela engloba uma função de *Poka-Yoke (mistake-proofing)* para direcionar o usuário a fazer corretamente a ação, adequando segurança e aumentando a qualidade. Na ferramenta desse projeto de pesquisa, o uso do *checklist* é mais uma garantia de que padrões sejam cumpridos e que os objetivos de mitigação ou eliminação de riscos sejam alcançados com qualidade de resultados do experimento, contribuindo para um processo *mistake-proofing*.

2.4.3 Gerenciamento Visual e Aumento de Transparência dos Processos

Atualmente a forma como somos bombardeados pela quantidade de informações passadas através da visão, disseminadas através de fotos, vídeos, televisão, dispositivos móveis, páginas da internet, sinais, quadros eletrônicos e muitos outros, influenciam nossa vida diária. Entre os cinco sentidos, a visão é o órgão sensorial mais usado pelo corpo humano, reconhecido como poderoso em cognição e memória quando comparados com textos ou linguagem verbal (BELL; DAVISON, 2013). A transmissão de informações a longas distancias já é alcançado através do desenvolvimento tecnológico, um dos desafios atuais das organizações é como melhorar a entrega ineficaz de informação aos seus trabalhadores na comunicação de perto (BILALIS *et al.*, 2002). O desempenho operacional é fortemente influenciado por instruções de trabalho complexas e textuais, ou informações de segurança localizadas fora da vista, em uma gaveta. Algumas organizações adotam condições economicamente acessíveis e sistemas ou ferramentas de informação sensoriais cognitivamente eficazes, integrados ao local de trabalho, para aumentar a disponibilidade de informações generalizadas nas suas configurações de trabalho (GREIF, 1991) (GOODSON, 2002) (ACHANGA *et al.*, 2006). Em tais sistemas, a informação é apresentada de forma altamente sensorial, ajustando-se bem às exigências cognitivas dos seres humanos, atraída diretamente para os sentidos humanos e localizada próximo de onde existe sua necessidade. Essa estratégia de aumentar a disponibilidade de informação, proporcionar às pessoas ajuda ao trabalho sensorial, remover conscientemente bloqueios nos fluxos de informação em uma configuração de trabalho é chamada de Gerenciamento Visual (TEZEL; KOSKELA; TZORTZOULOPOULOS, 2016).

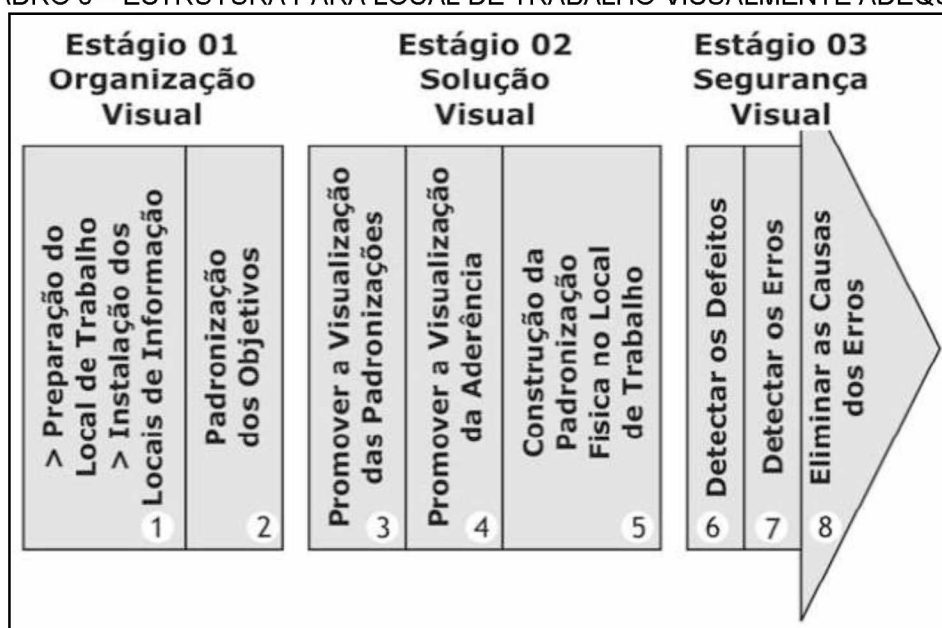
Uma das metodologias de gerenciamento de processos mais utilizadas nas organizações é o *lean production*. Um de seus princípios é o do aumento da transparência, ou seja, a capacidade de se identificar o estado de um processo, sem demandas adicionais ou a habilidade de atividades produtivas se comunicarem com as pessoas (SANTOS, 1999). Como a base da filosofia da Manufatura Enxuta é a busca incessante na eliminação de perdas e aumento do valor agregado, os trabalhadores não podem perder tempo e recurso em atividades como procurar informações. Então, a forma como a informação é organizada para ser acessada é uma característica que proporciona a distinção de transparência como descrito na literatura moderna. Para Greif (1991), na comunicação convencional, a informação é transmitida de maneira “empurrada” e o usuário tem pouco ou nenhum controle sobre a quantidade e tipo de informação que é transmitido ou recebido. Já com o aumento da transparência nada

é transmitido; as informações úteis são dispostas quando necessárias e no formato e quantidades requeridas pelos trabalhadores (STOCCO-SILVA, 2010). Um campo de informação pode ser criado e puxado por qualquer pessoa em qualquer momento (GREIF, 1991).

Segundo Monden (2012), o Gerenciamento Visual abrange métodos de trabalho que levam à implantação da transparência no Sistema de Produção (*visual workplace*). O Gerenciamento Visual é direcionado a grupos abertos, a mensagem visual é abertamente exposta para todos os trabalhadores e visível ao maior número de pessoas na fábrica (GREIF, 1991). Ele inclui mensagens comunicadas por meio de todos os sentidos: paladar, tato, olfato, audição e visão. Apesar do termo levar a entender que somente que a visão deva ser considerada, ele integra soluções voltadas a todos os sentidos humanos (GALSWORTH, 1997).

A fim de se ter um Gerenciamento Visual eficaz, utilizam-se os dispositivos visuais ou ferramentas visuais; os quais seguem uma hierarquia na sua implantação. Eles são arranjados de forma progressiva iniciando com a padronização, aderência e segurança visual do local de trabalho. Isto proporciona um ambiente de trabalho autoexplicativo, auto ordenável, auto regulável e auto aperfeiçoável – onde o que é suposto acontecer, acontece, no tempo, todo o tempo, dia e noite. O Quadro 5 a seguir, ilustra as três etapas de implantação com oito níveis de maturidade no processo de implantação de um local de trabalho visualmente adequado. (GALSWORTH, 1997).

QUADRO 5 – ESTRUTURA PARA LOCAL DE TRABALHO VISUALMENTE ADEQUADO



FONTE: Adaptado de Galsworth (1997).

Os dispositivos visuais são classificados de acordo com o grau de controle sobre o receptor (*power index*), esse controle depende do tipo de mensagem enviada e o grau de risco potencial da não obediência à informação (GALSWORTH, 1997):

1- INDICADOR VISUAL – dispositivo visual passivo, a informação é simplesmente apresentada em placas, bordas ou instruções de trabalho. A Figura 7 a seguir, ilustra exemplos de indicadores visuais, uma placa indicando retorno, escova dental com cor para indicador de uso (cerdas azuis perdem a cor – trocar a escova) e um indicador de nível de líquido em tanque:

FIGURA 7 – INDICADORES VISUAIS



FONTE: Silva (2010).

2- SINAL VISUAL – dispositivo visual que chama a atenção para mensagem que está transmitindo, luzes piscando ou sirenes de advertência.

3- CONTROLE VISUAL – restringe fisicamente a escolha comportamental, colocando limites;

4- GARANTIA VISUAL – mais alto grau de controle no processo, é projetado para que somente as coisas certas aconteçam, como sensores eletrônicos que monitoram a abertura de portas.

A Figura 8 ilustra, sinal visual, controle visual e garantia visual. Na primeira imagem um semáforo veicular como exemplo de sinal visual, chama a atenção do motorista para obediência das regulamentações de trânsito; na segunda como controle visual, um dispositivo de limitação máxima do volume das malas para bagagem de mão a ser utilizada por passageiros em vôos; e a terceira, uma imagem de garantia visual, porta automática para acesso de entrada e saída de pessoas, pisando na área monitorada pelo sensor a porta abre, garantia da realização da ação.

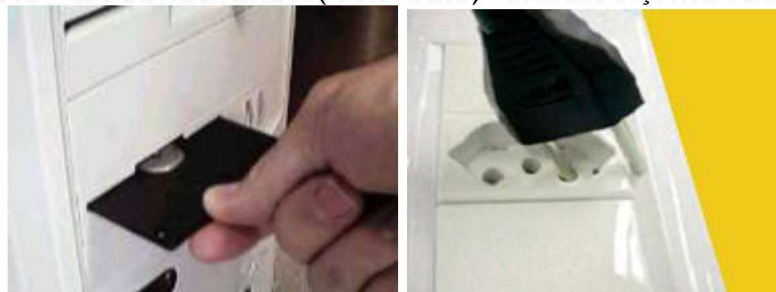
FIGURA 8 – EXEMPLOS DISPOSITIVOS VISUAIS UTILIZADOS PARA SINAL, CONTROLE E GARANTIA VISUAL



FONTE: O autor.

De acordo com Moraes e Alessandri (2002), os avisos e advertências são considerados uma categoria especial de dispositivos visuais; são controles visuais que alertam o receptor sobre a possibilidade de ocorrências danosas, o que os diferenciam das instruções. Eles transmitem, por meios de sinais, riscos potenciais, reduzindo comportamento inseguro, mas não eliminam o risco. Este, só pode ser extinto através de um bom projeto do equipamento, treinamento, garantias visuais (dispositivos anti-erros), ou não exposição ao perigo. Para os autores, avisos e advertências devem ser apontados como suplemento para os procedimentos de segurança. A figura 9 a seguir, ilustra dois exemplos de garantias visuais (anti-erro) relacionados com a segurança do receptor, a forma do disquete impede que seja inserido de forma errada no compartimento, e o novo padrão de *plug* para tomada de equipamentos elétricos normalizado no Brasil.

FIGURA 9 – GARANTIA VISUAL (ANTI-ERRO) - SEGURANÇA DO RECEPTOR



FONTE: O autor.

O Gerenciamento Visual contribui para diminuir a variabilidade de processos, exposição aos riscos e garante que a informação seja simples, explícita, atrativa e entendida de imediato. No desenvolvimento dessa ferramenta, o Gerenciamento Visual auxilia que informações dos dispositivos visuais (indicadores, sinais, controle e

garantia visual) aprimorem os procedimentos e a lista de verificação (*checklist*) do experimento. O Gerenciamento Visual incorpora também a função *Poka-Yoke* (anti-erro) promovendo ajuda sensorial ao trabalho e garantindo um processo à prova de erros.

2.4.4 À prova de erros (*mistake-proofing*)

A origem do *Poka-Yoke* vem do chão-de-fábrica das empresas japonesas, em especial, a *Toyota*. Foi idealizado pelo engenheiro Shigeo Shingo como meio de se atingir zero defeito e eventualmente eliminar as inspeções para o controle de características da qualidade (NIKKAN SHIMBUN-FACTORY MAGAZINE, 1988).

De acordo com Grout e Toussaint (2010), o termo *Poka-Yoke* tem sua origem na língua japonesa e é frequentemente traduzido como “*mistake-proofing*”. *Poka* significa erro inadvertido e *Yoke* é a forma do verbo *yokeru*, que significa evitar. Também é conhecido por uma variedade de outros nomes: *idiot-proofing* (*baka-yoke*), *fail-saving*, *error-proofing*, *forcing functions*, e *barriers*. Cada termo tem diferentes conotações mas existe sobreposição no respectivo significado.

Desde a expansão do Sistema Toyota de Produção no Ocidente, o *Poka-Yoke* tem sido um tópico de interesse, principalmente entre profissionais, devido sua aparente simplicidade de funcionamento e suas características de projeto intuitivas (STEWART; GROUT, 2001). Ele pode ser incorporado ao produto ou processo e tem sido usado em vários contextos, como: construção civil, logística, design, saúde e tecnologia de informação, mas não necessariamente associado com implantação de *Lean Production* (GROUT, 2007). Além disso, o *Poka-Yoke* aparece na literatura em associação com outros métodos e campos de conhecimento, como: Seis Sigma, *Failure Mode and Effects Analysis* (*FMEA*), Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Psicologia³, entre outros.

³ Engenharia de Psicologia está relacionada com adaptação de equipamentos e o ambiente para humanos, baseado em suas capacidades psicológicas e limitações (TREURNICHT; BLANCKENBERG e VAN NIEKERK, 2011).

2.4.4.1 Classificação e tipologia de *Poka-Yoke*

Para Vidor e Saurin (2011), na literatura a interpretação do conceito de *Poka-Yoke* relaciona que 63% das referências retratam que o mesmo é um dispositivo, outros 21% como procedimento, método ou técnicas e 16% concluiu que são sistemas de prevenção.

Para Hollnagel (2003), um *Poka-Yoke* pode ser considerado como três tipos de dispositivos:

- A. Físico, se ele bloqueia o fluxo de massa, energia ou informação, e não depende que o usuário o interprete. Ex: uma parede;
- B. Funcional, se ele pode ser ligado ou desligado devido a um evento. Ex: uma chave ou uma senha;
- C. Simbólico, se ele requer interpretação, estar fisicamente presente no momento que são necessários. Ex: um sinal de segurança.

Dispositivos imateriais não constituem um *Poka-Yoke*, apesar de sua demanda necessitar de interpretação, eles não estão fisicamente presentes, no momento que são necessários (por exemplo: regulamentos e cultura organizacional) (HOLLNAGEL, 2003). Para Saurin; Ribeiro e Vidor (2012), o mérito enfatizado nessa definição apresenta duas implicações:

1- *Poka-Yoke* pode demandar interpretação de operadores se eles compreendem dispositivos simbólicos;

2- *Poka-Yoke* podem ser ambos proativos, se eles prevêm anormalidades, ou reativos, se eles detectam anormalidades.

De uma perspectiva da segurança, *Poka-Yoke* proativos são aqueles que evitam uma interação homem-máquina que pode causar um acidente, enquanto que *Poka-Yoke* reativos são aqueles que contêm a energia liberada dessa interação após ter ocorrido (SAURIN; RIBEIRO e VIDOR, 2012).

Tsuda (1993) lista quatro abordagens para a prova de erros:

1- *Mistake detection* - Detecção de erros, envolve a descoberta de defeitos – este conceito corresponde a inspeção sucessiva e auto inspeção de Shingo (1986);

2- *Mistake prevention* – Prevenção de erros, é a eliminação da possibilidade de fazer erros – corresponde a inspeção na fonte de Shingo (1986);

3- *Mistake prevention in the environment* – Prevenção de erros no ambiente, redução da complexidade evitando ambiguidade no ambiente. Poderia incluir simplificação de produtos e processos, bom 5 “S” e treinamento em qualidade e segurança;

4- *Preventing the influence of mistakes* – Prevenindo a influência dos erros, isto pode ser feito permitindo a ocorrência do erro, mas limitando suas consequências. Um exemplo é o Sistema de Frenagem com Antibloqueio (ABS) (TSUDA, 1993).

Um *Poka-Yoke* pode ser aplicado para qualidade, segurança, ergonomia, custos, prestação de serviços e em inúmeras outras aplicações. Eles podem ser de um simples pino guia para garantir correta montagem de duas peças em uma fixação, ou dispositivos complexos como uma rede neural lógica *fuzzy*, usada para detectar a quebra de uma ferramenta automaticamente e imediatamente parar a máquina (GROUT, 1997).

Um dispositivo *Poka-Yoke* dentro da manufatura tem como função básica a paralisação do sistema produtivo (máquina, linha, equipamento etc.); o controle de características pré-estabelecidas do produto e/ou processo e a sinalização quando da detecção de anormalidades. Tais funções básicas são utilizadas para prevenir um defeito, impedindo a sua ocorrência ou detectando-o após o seu evento, podendo, assim, serem classificados como Função Reguladora ou Mecanismos de Detecção. (MOURA; BANZATO, 1996). O Quadro 6 a seguir, ilustra essa classificação:

QUADRO 6 – FUNÇÕES DOS DISPOSITIVOS POKA-YOKE



FONTE: Adaptado de Moura e Banzato (1996)

Conforme Shingo (1986), os sistemas *Poka-Yoke* podem ser classificados conforme seus objetivos e técnicas utilizadas. Os *Poka-Yoke* quando associados ao objetivo, relacionam-se à função de regulação, e quando associados as técnicas, relacionam-se à função de detecção. De acordo com o autor, essas funções são definidas:

1- Sistemas *Poka-Yoke* com função reguladora: são ajustados para inspeções por amostragem, não permitem que o erro avance na linha de produção, apresentam dois tipos:

- a) Método de controle: quando da ocorrência de anormalidades, paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando, assim, a ocorrência ou reincidência de defeitos, criam senso de urgência para a implementação da ação corretiva;
- b) Método de advertência: na ocorrência de anormalidades, ativam sinais luminosos ou sonoros de alerta, indicando a necessidade de providências sem, contudo, paralisar o equipamento ou interromper a operação;

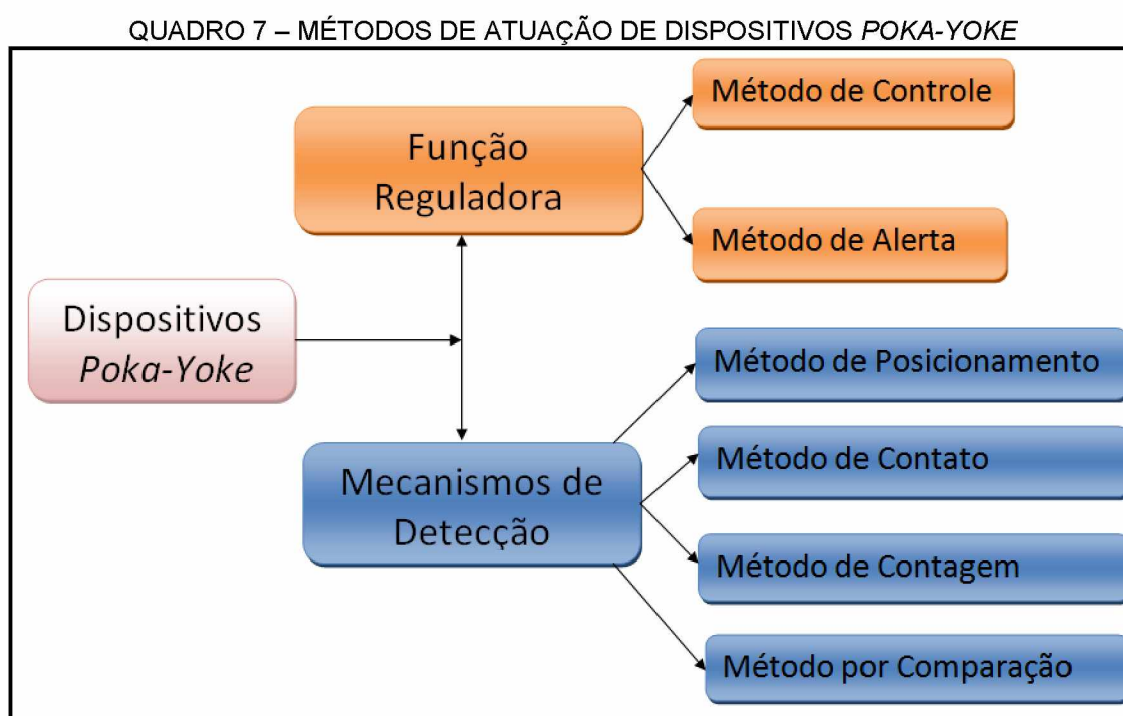
2- Sistemas *Poka-Yoke* com função detecção: são ajustados para inspeções informativas que ajudam o trabalhador na confirmação da condição necessária para execução do trabalho. Detecção imediata, correção imediata do erro antes de se transformar em defeito. Dividem-se em três métodos segundo Shingo (1986), método do contato, do posicionamento/movimento e das etapas. Porém pesquisadores recentes e profissionais liberais incorporaram nessa classificação um quarto método chamado de comparação, o qual segue o mesmo princípio aplicado a grandezas físicas (temperatura, pressão, nível e outras) ligadas ao processo, ajudando na detecção. Dentro dessa função eles podem ser:

- c) Métodos de posicionamento ou método movimento-passo: permitem a condução da operação somente quando do posicionamento correto do conjunto de elementos nela envolvidos, impedindo fisicamente que o conjunto seja montado de forma inadequada; ou detecção de erros em movimentos padrões, no caso de operações que devem ser realizadas com pré-determinados movimentos;
- d) Métodos de contato: estão baseados na liberação da condução de uma operação a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação;

- e) Métodos de contagem ou valor fixo: por meio da contagem de elementos, verificam as características de conformidade do conjunto, alertando no caso de detecção de anormalidades e impedindo a continuidade da operação;
- f) Métodos de comparação: utilizando dispositivos que possibilitem comparação de grandezas físicas (temperatura, pressão, torque etc.), impedem a continuidade da operação quando da detecção de anormalidades.

Esta classificação de sistemas *Poka-Yoke* é utilizada na Manufatura, mas ela também pode ser incorporada ao produto com mesmo grau de atuação; evitando erros na interação com o usuário, comprometendo a confiabilidade e funcionamento de produtos ou sistemas. *Poka-Yoke* podem prevenir erros inadvertidos como lapsos e deslizes, durante a utilização de um produto ou de um serviço, porém, a maioria dos *Poka-Yoke* não impede violações (LEPRE, 2008). Na área do Design o *Poka-Yoke* também é conhecido como design restritivo (NORMAN, 2006).

O Quadro 7 a seguir, apresenta os métodos de atuação dos dispositivos *Poka-Yoke* conforme os três métodos de Shingo (1986) com o acréscimo de mais um adaptado segundo (MOURA & BANZATO, 1996).



FONTE: Adaptado de Moura e Banzato (1996)

2.4.4.2 Princípios de *Poka-Yoke* (*mistake-proofing*)

Os princípios e práticas do *lean production* estão sendo utilizados por várias indústrias no Mundo (LIKER, 2004). Os sistemas *Poka-Yoke* são ferramentas da Produção Enxuta (*lean production*) então, seus princípios seguem as mesmas orientações da filosofia *lean*: redução de perdas ao máximo; simplificação de processos; aumento de transparência do processo; direcionar fluxo de valor; redução de custos; melhoria contínua; redução da variabilidade; aumento da flexibilidade; foco no processo e outros. O *Poka-Yoke* contribui para o conjunto e princípios chamado Manufatura Enxuta; porém, ele apresenta seus próprios princípios em função de sua simplicidade de funcionamento e características de concepção intuitivas (STEWART e GROUT, 2001). Dentre as tipologias de Tsuda (1993), a chamada prevenção de erros no trabalho (*mistake prevention in the work*), significa redução de desordem, confusão e ambiguidades no local de trabalho. Esta abordagem está intimamente ligada com métodos enxutos de Sistemas Visuais ou 5 “S” (GALSWORTH, 1997). Entretanto, o *Poka-Yoke* foi inventado com um propósito, garantir um processo a prova de falhas, através de métodos que satisfizessem a inspeção para se ter alta qualidade, com o menor custo. Esses dispositivos simples e baratos fizeram e fazem com que fábricas trabalhem durante meses sem que nenhum defeito chegue a seus clientes (SHINGO, 1986).

Kostina *et al.* (2012) compararam *Poka-Yoke* com vários outros métodos de prevenção de falha em um teste experimental, o qual mostrou que ele é o mais efetivo entre todos os métodos testados.

Para Stewart e Grout (2001), a maior parte da literatura relativa a *Poka-Yoke* nasceu do trabalho de Shingo (1986). É em seu trabalho original que se encontra a ideia de que sistemas *Poka-Yoke* são um substituto para o Controle Estatístico de Processos *Statics Process Control* (SPC). A crença de que existe um melhor meio alternativo de controlar a qualidade do que o SPC permeia o resto do seu trabalho e se tornou um pressuposto subjacente de grande parte da pesquisa a seguir nesta área. Segundo os autores, Shingo (1986) categorizou os três tipos de inspeções de processo em fábricas: inspeção de julgamento; informativa (*check* sucessivo e *auto-check*); e na fonte. Ele estabeleceu na base dessas inspeções uma abordagem *mistake-proofing* chamada de Controle de Qualidade - Zero Zero Quality Control (ZQC).

A adoção generalizada do *Poka-Yoke* na Manufatura, bem como em serviços, liderou a ampliação de métodos e dispositivos frequentemente aplicados somente no contexto específico de origem (ANTONELLI; STADNICKA, 2016). Devido sua praticidade, o termo *Poka-Yoke* vem sendo utilizado como um dispositivo que serve para tudo, um “coringa” na área industrial, justificando ganhos em custos, ergonomia de postos de trabalho, aumento de produção, etc. Não se deve generalizar a aplicação da ferramenta, mas sim incluí-la em um sistema de gerenciamento focado conforme os princípios que ela foi inventada (STOCCO-SILVA, 2010).

Segundo Shingo (1986), sistemas *Poka-Yoke* realizam 100% de inspeção e fornecem *feedback* a ação quando erros ou defeitos ocorrerem. O resultado final depende do sistema de inspeção com o qual o método *Poka-Yoke* está combinado. Então, a inspeção é o objetivo, e sistemas *Poka-Yoke* são os meios. Este é um post-chave e um princípio, muitas vezes esquecido, que deve ser seguido em qualquer implantação desses sistemas.

Conforme visto na literatura por Saurin; Ribeiro e Vidor (2012), os conceitos do *Poka-Yoke* são confundidos com os tipos de mecanismos (sensores e calibres) usados para realizar a função de *mistake-proofing*. O *Poka-Yoke* é definido em uma variedade de caminhos por vários autores que escrevem sobre ele. Essas variedades de definições vão desde estreitas definições de *mistake-proofing* físico, até definições mais amplas de *mistake-proofing* processual (GROUT; TOUSSAINT, 2010). Esta expansão de definições e maior clarificação do conceito é devido a incorporação de *mistake-proofing* nas mais variadas áreas do conhecimento. Um campo em desenvolvimento na utilização desse método é a área da Saúde, criando processos corretos que garantem segurança dos pacientes. Segundo Grout (2007), *mistake-proofing* processual é o uso do processo ou características de concepção para prevenir erros e seus impactos negativos.

Para Grou e Toussaint (2010), *mistake-proofing* processual envolve a criação de um procedimento ou hábito concebido para um resultado consistente de um comportamento desejado. Um exemplo é quando se deixa o carro no estacionamento do Aeroporto, sempre deve-se colocar o ticket do estacionamento na carteira, pois assegura que o condutor não o esqueça no carro, e o ticket está disponível para apresentação no estacionamento para retirada do veículo, quando do retorno de sua viagem aérea. Estes dispositivos funcionam bem uma vez que o hábito está enraizado dentro

do comportamento da rotina, entretanto, criar esses hábitos requer atenção e recordação para concretizar a ação adequada (GROUT; TOUSSAINT, 2010).

Conforme Grout (2006), processos ocorrem em ambientes físicos com equipamentos, suprimentos, dispositivos e tecnologias. Para o autor “*Mistake-proofing*” é como mudanças de concepções de ambientes físicos podem construir processos, executados por humanos, mais confiáveis e efetivos. Isto diz respeito de como mudando a concepção do processo pode-se prevenir a performance de uma ação proibida, assegurar que ações requeridas sejam realizadas, assegurar que informações requeridas para uma ação correta estejam disponíveis no tempo correto e local, além de se destacar sobre as demais.

Magdoiu e Oprean (2014) expandem sistemas *Poka-Yoke* também para outros domínios na indústria contemporânea. Os autores analisam sua existência em outros campos e na vida diária, onde numerosos exemplos de sistemas *Poka-Yoke* foram identificados, entretanto eles não têm sido tratados como tal na literatura. Os mais significantes e relevantes exemplos são classificados de acordo com a área na qual eles podem ser aplicados como: gerenciamento, logística, atividades diárias e serviços.

Stewart e Melnyk (2000) definem o processo *Poka-Yoke* como sendo o processo para o qual o resultado desejado, como definido pelo cliente, é inevitável; ou seja, seguindo o processo como projetado, a pessoa envolvida nele estaria apta a alcançar o resultado desejado.

Como visto o conceito e as formas de aplicação de sistemas *Poka-Yoke* (*mistake-proofing*) é amplo e continua se expandindo para novos domínios do conhecimento. O importante é não esquecer ou confundir suas funções e princípios, a fim de obter o pleno potencial de aplicação do método.

A ferramenta desenvolvida neste projeto de pesquisa utiliza os princípios expandidos de sistemas *Poka-Yoke* como utilizado na área de Saúde, a fim de obter um processo de desenvolvimento a prova de falhas (*mistake-proofing*). A abordagem metodológica utiliza métodos de análise de riscos e métodos *Poka-Yoke* no desenvolvimento da ferramenta. Esses métodos foram integrados de forma que em função de suas características de trabalho, e sequência de aplicação de cada etapa do processo de desenvolvimento, fossem direcionadas para o resultado desejado (experimento confiável e sem riscos). A concepção da abordagem do processo de desenvolvimento da ferramenta acompanha o conceito de *mistake-proofing* de Grout e Toussaint (2010)

o qual utiliza o processo ou características de concepção do ambiente para prever não-conformidades; e de Stewart e Melnyk (2000) conhecido por processo *Poka-Yoke*, onde se alcança o resultado desejado de acordo com o que foi previsto, uma garantia de resultado inerente no processo. Esses princípios, de baixo custo e natureza intuitiva motivaram o trabalho, de forma que todos os artefatos utilizados: métodos; técnicas; normas; e softwares; resultassem em uma ferramenta simples que garante qualidade nos resultados do experimento e reduz riscos físicos e ambientais em ambientes de laboratórios de pesquisa.

A próxima seção apresenta o método de pesquisa utilizado no trabalho.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O presente projeto de pesquisa trata do desenvolvimento de uma ferramenta para uso em laboratórios universitários de pesquisa, testes e ensaios com petróleo, utilizando princípios de sistemas *Poka-Yoke*. O objetivo é se ter um experimento confiável de baixo custo sem ou com o mínimo de riscos físicos e ambientais. Esses locais caracterizam-se por serem perigosos em função de manipulação de produtos químicos e dependendo do experimento, geração de produtos tóxicos. Nesses ambientes ocorrem também, a produção de conhecimento científico, e sendo a pesquisa de caráter original, existe a necessidade de qualidade de resultados para criação de dados de comparação. Os laboratórios apresentam riscos para as pessoas e meio ambiente, é importante a existência de um gerenciamento de riscos que suporte suas necessidades. As abordagens existentes em laboratórios universitários geralmente são reativas e específicas para determinadas situações, frequentemente são implantadas após a ocorrência de acidentes ou incidentes. Portanto, o estudo tem caráter “exploratório”. Conforme Gil (2008), pesquisas exploratórias visam desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores, especialmente quando o tema é pouco explorado.

O desenvolvimento da ferramenta acompanhou um experimento no Laboratório de Eletroquímica de Superfície e Corrosão - LESC, da UFPR desenvolvido para monitoramento de processo corrosivo, utilizando a técnica de ruído eletroquímico. A precisão da medição, bem como o controle dos fatores do experimento estão relacionados com a qualidade dos resultados da experimentação.

3.2 SELEÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa tem como questão: “ Como desenvolver uma ferramenta para se obter um experimento confiável de laboratório de baixo custo com redução de riscos físicos e ambientais baseada em princípios *Poka-Yoke*? ”. Como este tipo de problema de pesquisa trata de acontecimentos contemporâneos, onde se têm pouco ou nenhum controle sobre os eventos, ele segue os critérios de seleção de método de pesquisa

proposto por Yin (2005), o qual resulta na escolha do Estudo de Caso como estratégia de pesquisa para esta tese.

Conforme Yin (2005), o Estudo de Caso é uma investigação empírica sobre fenômenos contemporâneos dentro do seu contexto na vida real, contribuindo para compreensão dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos, principalmente quando o limite entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos. O enfoque é holístico, possui uma lógica de planejamento que aborda especificamente a coleta e análise de dados, explicando os vínculos causais em intervenções na vida real. Neste método de pesquisa existe a necessidade de se descrever a intervenção e o contexto na vida real onde ela ocorreu, explorando situações que não apresentam um conjunto simples e claro de resultados (YIN, 2005).

No caso da presente pesquisa, o estudo de caso utilizado será único, pois, apresenta um teste de uma teoria existente (teste de aplicação da ferramenta no experimento em laboratório); é representativo, pois, captura as circunstâncias e condições da situação e do lugar (laboratório). É revelador, o pesquisador pode observar o fenômeno previamente inacessível à investigação científica e é longitudinal, onde se pode estudar o mesmo caso único, em dois ou mais pontos diferentes (YIN, 2005).

3.3 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO

Conforme apresentado no Capítulo 1, a ferramenta aplica-se em laboratórios de pesquisa acadêmicos ou de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&DI) físico-químicos e de testes e ensaios com petróleo no momento atual. Não contempla laboratórios de análises clínicas ou patológicas (biológicos) ou de ensaios mecânicos.

A ferramenta tratará com processos *Poka-Yokes* (*mistake-proofing*) orientados para o resultado, a utilização dos métodos, técnicas e conceitos focam estabelecer subsídios para quantificação dos riscos e o estabelecimento de níveis aceitáveis para realização do experimento. A heurística de cada etapa da ferramenta é ampla e possui suas características, porém, ela será direcionada para o objetivo da pesquisa.

A ferramenta não foca somente em erros humanos, ou erros provenientes de máquinas ou do projeto da instalação.

3.4 UNIDADE DE ANÁLISE

A presente pesquisa preocupa-se com a eliminação ou mitigação dos riscos físicos, ambientais dos experimentos em laboratórios universitários de ensino e testes com petróleo, bem como garantir a qualidade dos resultados obtidos. Portanto a unidade de análise se caracteriza pelo nível de quantidade de riscos físicos, ambientais e de qualidade do experimento. A eficácia desse entendimento caracteriza os riscos como a métrica principal.

3.5 VALIDAÇÃO INTERNA, EXTERNA E DO CONSTRUCTO

A validação interna do constructo será efetuada por meio da utilização de múltiplas fontes de evidências: documentação e registros; artefatos físicos; observação direta; e entrevistas.

Segundo Yin (2005), para manter a qualidade dos vínculos causais do Estudo de Caso deve-se maximizar: a validade interna, validade externa, validade do constructo, e a confiabilidade. A Tabela 9 a seguir, ilustra os aspectos de qualidade e táticas para teste lógico de projeto de acordo com Yin (2005):

TABELA 9 – TÁTICAS DO ESTUDO DE CASO PARA QUATRO TESTES DE PROJETO

Testes de caso	Tática do Estudo de Caso	Fase da Pesquisa na qual a tática deve ser aplicada
Validade do Constructo	> Utiliza fontes múltiplas de evidências	> coleta de dados
	> Estabelece encadeamento de evidências	> coleta de dados
	> O rascunho do relatório Estudo de Caso é revisado por informantes-chave	> composição
Validade Interna	> Faz adequação ao padrão	> análise de dados
	> Faz construção da explanação	> análise de dados
	> Estuda explicações concorrentes	> análise de dados
Validade Externa	> Utiliza modelos lógicos	> análise de dados
	> Utiliza teoria em estudos de caso único.	> projeto de pesquisa
	> Utiliza lógica de replicação em estudos de casos múltiplos	> projeto de pesquisa
Confiabilidade	> Utiliza protocolo de Estudo de Caso	> coleta de dados
	> Desenvolve banco de dados para Estudo de Caso	> coleta de dados

Fonte: Yin (2005)

No caso desse estudo a validação externa ocorre pela própria característica do estudo de caso, que é realizado em circunstâncias reais no laboratório. A fim de aumentar a confiabilidade do estudo é utilizado o desenvolvimento e aprimoramento do protocolo de coleta de dados.

3.6 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

3.6.1 Critério para Seleção do Processo

De acordo com Shingo (1986), para a melhoria na eficiência da produção deve-se dar atenção aos fenômenos relacionados ao processo, fluxo de materiais e informações. No caso dessa pesquisa, qualidade e confiabilidade dos resultados do experimento com a mitigação dos riscos físicos e ambientais. Como o estudo de caso acompanha o experimento de análise de corrosão naftênica, a caracterização do sistema será o mapeamento dos riscos que terão “maior impacto na segurança física e ambiental” e desse mapeamento, os que apresentam “falhas ou defeitos que afetam a qualidade do resultado do experimento”. Esta verificação é realizada através da coleta de evidências.

3.6.2 Coleta de Evidências

3.6.2.1 Levantamento dos Riscos e Falhas do Experimento

Nesta etapa utiliza-se a abordagem de Shingo (1986) dando prioridade aos fenômenos relacionados com o processo. Ele caracterizou o processo como fluxo de materiais e informações e a operação como o fluxo dos equipamentos e operadores.

Dentro dessa visão verifica-se no experimento, o fluxo de materiais e informações. Verificam-se os riscos envolvidos no experimento: físicos, ambientais e de qualidade e onde eles se manifestam no processo. Também, quais os requisitos para o processo de realização do experimento. Observa-se onde estão disponíveis as informações para o experimento, como é feita a visualização dos controles no local da experimentação, bem como a necessidade de conhecimento prévio do condutor do experimento para tomada de decisão.

Inspecionam-se também, a disposição do arranjo no local do experimento (*layout*), localização da solução (insumos) conforme planejamento experimental definido.

Deve-se verificar ainda, em caso de alguma alteração ou erro no processo, qual procedimento de alerta, se algo não está correto e como se dá a identificação dessa falha ou problema pelo condutor do experimento. Terminada esta etapa, para que se tenha um experimento confiável, é necessário direcionar a atenção para as operações. O roteiro proposto para levantamento dos riscos e falhas do processo encontra-se no apêndice E1.

Na etapa de verificação das operações executadas no experimento, analisa-se o fluxo de equipamentos e operadores, como localização dos equipamentos, ferramentas e pessoas. Observa-se a pessoa realizando a condução do experimento, a execução conforme procedimento e suas competências para condução. Também são verificados os riscos físicos e/ou ambientais associados à operação.

Outro ponto de inspeção é a situação dos elementos que compõem a operação, equipamentos, ferramentas, instrumentos. O roteiro da operação proposto encontra-se no apêndice E2.

O período de coleta de evidências de levantamento dos riscos e falhas do experimento foi realizado na semana final da coleta de dados, junto com a observação direta e as entrevistas.

3.6.2.2 Coleta de Documentos

Como o estudo de caso acompanha um experimento em andamento pelo Grupo de Eletroquímica Aplicada (GEA), no laboratório, os argumentos para sua realização vieram das informações: de como garantir qualidade no resultado do monitoramento da corrosão; quais variáveis influenciam na medição e tipos de riscos (categorias) para o condutor do experimento; a disposição dos equipamentos; de onde e como instalar o *Poka-Yoke* para controle; que tipo de *Poka-Yoke* será utilizado (de alerta ou interdição); como podem falhar as etapas para condução do experimento e quais riscos ligados a essas etapas; grandezas físicas mais influentes no resultado e riscos provenientes. O objetivo da coleta é encontrar nos documentos evidências do processo e da operação. Outra busca seria pelas falhas que ocorrem, suas frequências de aparição e impactos nos riscos e no experimento.

3.6.2.3 Registros

Durante a fase da coleta de registros devem ser coletados os dados oficiais que apresentam relação com o processo como: dados de controle do processo do experimento, resultados já alcançados com as etapas de experimentação, planejamento experimental programado. O objetivo é indicar os problemas encontrados, tipos de falhas e riscos, durante a condução do experimento. Com relação a qualidade e segurança pretende-se definir se há garantias de que o *Poka-Yoke* contribui e evita a possibilidade de ocorrência de acidente no experimento.

Estes documentos são: agendas, avisos, minutas de reuniões, relatórios de eventos, estudos de avaliações, inspeções de segurança, mapas, acompanhamento de calibrações de instrumentos, tabelas e levantamentos. Eles devem informar problemas encontrados, características do experimento, variações de medições, entre outros.

3.6.2.4 Entrevistas

Yin (2005), destaca que uma das mais importantes fontes de informações para um estudo de caso são as entrevistas. Elas não são conversas guiadas, mas investigações estruturadas de forma espontânea, onde se pode indagar aos respondentes, fatos relacionados ao assunto quanto pedir opiniões deles sobre determinados eventos. Para o autor, durante o processo de entrevistas é necessário seguir uma linha de investigação própria como reflexo do protocolo de estudo de caso; e elaborar questões reais (durante a conversação) de forma não tendenciosa e que atendam às necessidades da linha de investigação

As entrevistas foram realizadas com a Engenheira que conduziu o experimento, com o professor responsável pelo Laboratório e com alunos de iniciação científica relacionados com a experimentação.

O foco da entrevista é na coleta de informações sobre o nível de competência do condutor do experimento e dos alunos envolvidos no experimento, e se apresentam alguma dificuldade em realizar suas tarefas de responsabilidade. Verificou-se quais informações chegam para o condutor do experimento; seu nível de treinamento no procedimento, falhas que ocorreram durante o processo de experimentação, perigos

identificados, riscos levantados por especificidade e o que precisa melhorar para execução do experimento. O comportamento dos respondentes foi observado (com relação a segurança, motivação e interesse).

3.6.2.5 Artefatos Físicos

Outra fonte de dados para análise e condução do Estudo de Caso são os artefatos físico. Eles se caracterizam por: placas, painéis informativos, organogramas/fluxogramas, lâmpadas de advertência, faixas, bordas, cartazes, fichas e cartões. Os equipamentos, arranjo físico, o processo e operação podem comunicar seus estados. Os artefatos são observados e fotografados para análise do *design* do processo para localização de pontos de detecção e controle (localização do *Poka-Yoke*) e seu método de atuação para garantia da qualidade. Outro ponto verificado é a existência de dispositivos visuais que contribuem para mitigar os riscos e conduzir o experimento corretamente.

3.6.2.6 Observação Direta

Nesta etapa é realizada a leitura e análise dos artigos publicados do grupo de pesquisa referente ao experimento, e também a observação de aspectos relacionados com condições do experimento. Preparação e montagem, dinâmica do experimento, parâmetros do processo do experimento que garantem confiabilidade e geram riscos de segurança e ambientais. Como os controles dos parâmetros são comunicados ao condutor do experimento e a relação física dele com os elementos de execução e arranjo físico da operação. O roteiro da observação direta para essa caracterização está no apêndice E3.

A observação direta e o levantamento dos artefatos físicos são executados juntos.

3.7 ESTRATÉGIA DE ANÁLISE

As informações coletadas na seção 3.6, são utilizadas para caracterizar os elementos analisados. A Tabela 10 a seguir, apresenta a relação e ênfase de ação das áreas de informação para caracterização destes elementos.

TABELA 10 – ATUAÇÃO DAS ÁREAS DE INFORMAÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ANALISADOS

INFORMAÇÕES	CARACTERIZAÇÃO					
	Processo	Operações	Resultado experimento	Riscos físicos	Riscos ambientais	Poka-Yoke
Verificação das Falhas						
Informações de Qualidade						
Entrevistas						
Observação Direta						
Observação Participante						
Fatores de Transparência						

FONTE: o autor (2017)

Com base nos dados coletados, o *Poka-Yoke* pode ser avaliado quanto à sua eficácia e influência no experimento, porém, com relação aos riscos físicos e ambientais, a utilização de técnicas de identificação e análise de riscos, como o *HAZOP* e *PFMEA*, contribuem para um melhor entendimento do risco. A análise de riscos considera causas e fontes de riscos, consequências e probabilidade dessas consequências ocorrerem. Um evento pode ter múltiplas consequências e afetar múltiplos objetivos. As técnicas *HAZOP* e *PFMEA* em função de terem suas próprias características, complementam a abordagem proposta preenchendo lacunas da tabela 10, que eventualmente a coleta de informações não consegue caracterizar no experimento.

A integração entre as técnicas de *HAZOP*, controlando parâmetros de processo (temperatura, pressão, vazão, entre outras) e *PFMEA*, analisando modos de falhas de componentes, proposta na ferramenta desse trabalho, abrange a maioria dos riscos envolvidos, e da maior confiabilidade na realização do experimento. Correlações entre as duas ferramentas, não são encontradas na literatura, por isso a integração proposta pela ferramenta caracteriza-se como uma inovação no contexto do campo de aplicação da mesma. Ela é mais uma abordagem que contribui para a segurança nos laboratórios de pesquisa.

4 FERRAMENTA PARA EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIOS DE PESQUISA

De acordo com os objetivos apresentados no presente trabalho, necessidades percebidas no campo da gestão dos riscos em laboratórios de pesquisa com mudança frequente de pessoas, propôs-se o desenvolvimento da ferramenta. Ela caracteriza-se por ser uma abordagem simples, prática, intuitiva, de fácil compreensão e acessível a qualquer estudante que necessite utilizar o laboratório para desenvolvimento de sua pesquisa. Essas características originam-se dos princípios *Poka-Yoke* de serem fáceis de explicar e entender. Exemplos da literatura com características similares, porém com maior complexidade, necessitam de um prévio conhecimento para seu emprego, como no caso da ferramenta apresentada por Kremer, Switzer e Ryan (2009). A mesma exige um mínimo de conhecimento do ambiente de laboratório, e de categorias de riscos disponíveis em textos, como de normas de segurança, ou da indústria, para sua aplicação.

Nesta seção será apresentado a abordagem metodológica da ferramenta com as etapas e sequência de desenvolvimento, a qual segue um caso de monitoramento corrosivo no laboratório LESC, conforme um processo *Poka-Yoke*. O próprio processo controla, conforme o critério associado ao risco inerente na etapa executada do experimento, se o desenvolvimento vai alcançar o resultado esperado. Se o critério não é atendido e envolve um nível de risco não aceitável no contexto, um índice de risco quantitativo não tolerável, para-se o experimento, até que o evento ou situação tenha sido resolvida. Também serão apresentados os artefatos (elementos) envolvidos para o desenvolvimento da ferramenta de quantificação de riscos físicos, ambientais e de qualidade do experimento embasados pela revisão da literatura. Utilizando a ferramenta pode-se obter um índice de risco, alertando o condutor do experimento que, a não observação da sequência correta do *checklist* ocasiona danos pessoais, ao ambiente e principalmente ao resultado do experimento, comprometendo a pesquisa científica.

4.1 MODELO DE FERRAMENTA DE GESTÃO INTEGRADA PROPOSTO

Dentre os vários Sistemas de Gestão (SG) das organizações, os Sistemas de Gestão normatizados são os que mais se desenvolveram nas últimas décadas, impulsionados pela ampliação da visão da qualidade, meio ambiente, saúde e segurança

ocupacional. Os sistemas integrados de gestão são uma associação entre sistemas normatizados em um sistema de gestão único, de forma a adequar qualquer processo para uma abordagem sistêmica, com foco na tomada de decisão rápida e eficiente na condução do negócio. (SIMON; KARAPETROVIC; CASADESUS, 2012).

Para a aplicação em experimentos de laboratórios de pesquisa é proposta uma ferramenta que utiliza a integração das técnicas semelhante com as utilizadas em sistemas de gestão normatizados, pois são os requisitos similares e compatíveis das técnicas que vão proporcionar um controle correto e seguro do experimento. Cada experimento realizado em laboratórios de pesquisa é único, gera riscos, tem um custo e objetivo a ser atingido.

A base para o desenvolvimento da abordagem é a integração das técnicas de identificação e análise de riscos, *HAZOP* para riscos ambientais, *PFMEA* para riscos físicos e os sistemas *Poka-Yoke* para a qualidade. Cada um desses componentes tem características para monitorar e controlar os riscos como um todo, pois suas concepções são abrangentes. Esta sinergia é válida em função do foco dado para cada técnica dentro do modelo de gestão global da organização, por exemplo o ciclo PDCA. No caso do PDCA, ciclo de melhoria contínua baseado na eficiência do processo, utilizado pelas normas integradas de gestão, cada uma das abordagens atende requisitos do ciclo. Elas são usadas para identificar, analisar e direcionar ao resultado esperado. Para uma boa identificação, avaliação dos riscos e qualidade de resultado de experimentos em laboratórios de pesquisa é necessário que tais levantamentos estejam baseados em normas regulamentadoras. As técnicas *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke* satisfazem a requisitos comuns das normas de Sistemas de Gestão Integrada (SGI) conforme ISO (2008) englobando atributos das normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001. Respectivamente, gestão da qualidade, gestão do meio ambiente e gestão da saúde e segurança no trabalho. Os requisitos das três normas são agrupados na integração, conforme suas concepções no ciclo PDCA, tendo nos requisitos gerais a melhoria contínua.

Na ferramenta de gestão integrada proposta, cada técnica apresentada estabelece relação de causa e efeito entre: aspectos e impactos ambientais e suas consequências; identificação de perigos, riscos e seus efeitos na segurança; e inspeção dos requisitos para a qualidade e confiabilidade dos dados do experimento. Ela se mostra compatível com a integração dos três Sistemas de Gestão, principalmente nos

requisitos relacionados à identificação e avaliação de aspectos, impactos e riscos mostrado na da tabela 9.

Para a integração dos requisitos comuns de todas as normas e especificações de um SGI foi desenvolvido pelo BSI (*British Standards Institution*) o PAS99:2006 (*Publicly Available Specification*). Ele apresenta um modelo integrado de gestão com uma estrutura transparente, unificada e consistente a qual proporciona ganhos para as organizações (VASCONCELOS *et al.*, 2010).

Segundo o PAS 99 (2006), os principais requisitos de cada norma/especificação de SG ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, são integrados e rebatizados com outra titulação de requisito. A Tabela 11 a seguir, ilustra os requisitos comuns relacionados aos impactos e riscos para as três normas:

TABELA 11 - REQUISITOS COMUNS DA QUALIDADE, GESTÃO AMBIENTAL E GESTÃO DA SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO SEGUNDO PAS 99:2006

Requisitos da PAS 99	ISO 9001 Qualidade	ISO 14001 Gestão Ambiental	OHSAS 18001 Segurança e Saúde
4.1 Requisitos gerais	4.1	4.1	4.1
4.2 Política do sistema de gestão	5.1, 5.3	4.2	4.2
4.3 Planejamento		4.3	4.3
4.3.1 Identificação e avaliação de aspectos, impactos e riscos	5.2, 5.4.2, 7.2.1, 7.2.2	4.3.1	4.3.1
4.3.2 Identificação de requisitos legais e outros requisitos	5.3(b), 7.2.1(c)	4.3.2	4.3.2
4.3.3 Planejamento de contingências	8.3	4.4.7	4.4.7
4.3.4 Objetivos	5.4.1	4.3.3	4.3.3
4.3.5 Estrutura organizacional, funções, responsabilidades e	5.5	4.4.1	4.4.1
4.4 Implementação e operação			
4.4.1 Controle operacional	7	4.4.6	4.4.6
4.4.2 Gestão de recursos	6	4.4.1, 4.4.2	4.4.1, 4.4.2
4.4.3 Requisitos de documentação	4.2	4.4.4, 4.4.5, 4.5.4	4.4.4, 4.4.5, 4.5.3
4.4.4 Comunicação	5.5.3, 7.2.3, 5.3(d), 5.5.1	4.4.3	4.4.3
4.5 Avaliação de desempenho			
4.5.1 Medição e monitoramento	8.1	4.5.1	4.5.1
4.5.2 Avaliação de conformidade	8.2.4	4.5.2	4.5.1
4.5.3 Auditoria interna	8.2.2	4.5.5	4.5.4
4.5.4 Tratamento de não conformidades	8.3	4.5.3	4.5.2
4.6 Melhoria			
4.6.1 Generalidades	8.5.1	4.5.3	4.5.2
4.6.2 Ação corretiva, preventiva e de melhoria	8.5.2, 8.5.3	4.5.3	4.5.2
4.7 Análise crítica pela direção			
4.7.1 Generalidades	5.6.1	4.6	4.6
4.7.2 Entrada	5.6.2		
4.7.3 Saída	5.6.3		

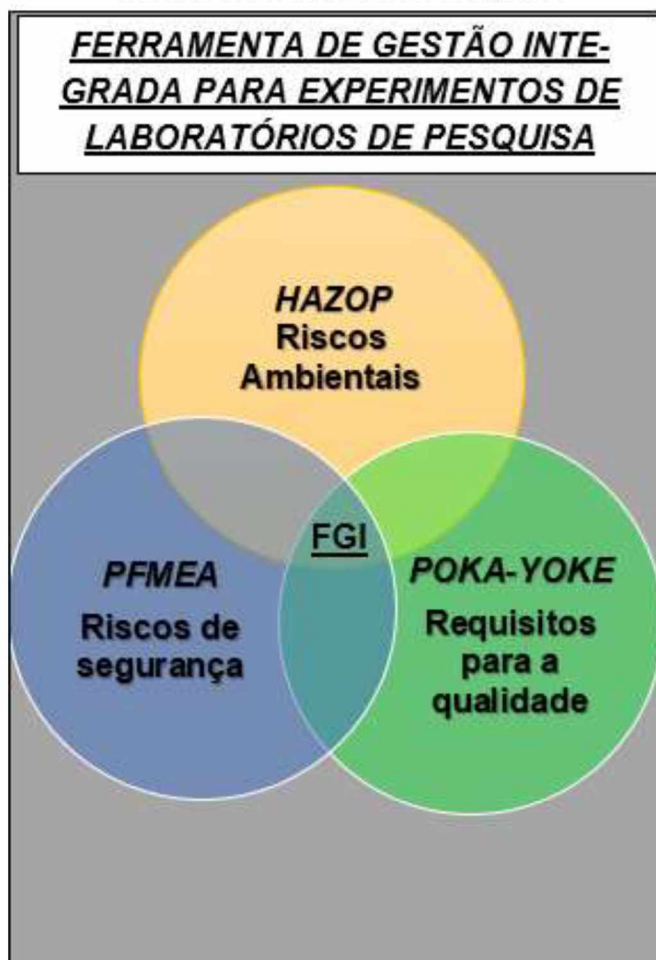
Fonte: BSI (2006)

Atualmente, versões novas das três normas foram implantadas, sendo que a gestão de riscos foi incorporada a todas, obrigando às organizações realizarem suas respectivas gestões de risco para atendimento aos requisitos solicitados.

Existem abordagens na literatura com integração entre métodos *Poka-Yoke* e *PFMEA* para eliminação de erros humanos e mecânicos em projeto de processos e produtos. Segundo os autores, ambas as metodologias resultam em zero defeitos para o cliente seguinte ou o final (PUVANASVARAN; JAMIBOLLAH; NORAZLIN, 2014). Outra abordagem que trata de métodos preventivos em Logística, também associa o *Poka-Yoke* e *PFMEA* para a redução de custos logísticos e para assegurar um correto e eficiente trabalho de um centro de distribuição logística (SCHMIDT, 2013). Porém, abordagens relacionadas com integração de *HAZOP* e *PFMEA*, e *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke* juntas são inovadoras. A ferramenta proposta utiliza a sinergia e características de cada método para garantia de confiabilidade de resultados em laboratórios de pesquisa sem riscos, ou com um mínimo de risco aceitável.

As técnicas de análise de riscos *HAZOP* e *PFMEA* possuem suas planilhas de análise e acompanhamento dos riscos conforme seus respectivos métodos e o *Poka-Yoke* controla a adequação dos requisitos de qualidade através dos métodos de advertência e o método de comparação. O artefato que faz a integração das três técnicas é o *checklist*, pois ele controla os riscos, a qualidade do experimento, e também o erro humano, através do seu preenchimento correto. Esse controle é sequencial de acordo com as etapas envolvidas e os procedimentos descritos para o experimento, proporcionando sua execução correta. Como resultado do preenchimento do *checklist* chega-se a um índice de tipos de riscos. Este pode ser comparado com outros índices de séries de experimentação do mesmo experimento ou níveis estimados de riscos com critérios definidos no contexto. Essa dinâmica é realizada através de um algoritmo de quantificação associado a funções de planilhas eletrônicas. Dessa forma, obtém-se um nível de risco global do experimento e por especificidade de riscos. Para cada tipo de experimento se estabelece uma classificação em função das consequências e suas probabilidades dos eventos identificados de risco, considerando a existência e eficácia de controles existentes. O objetivo é ter um nível de risco aceitável para cada experimento. O Quadro 8 a seguir ilustra a ferramenta de gestão integrada proposta:

QUADRO 8 – PROPOSTA DE FERRAMENTA DE GESTÃO INTEGRADA PARA EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIOS DE PESQUISA



FONTE: o autor (2017)

4.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA DA FERRAMENTA

O início da metodologia para o desenvolvimento de ferramenta de gestão integrada para experimentos de laboratórios de pesquisa, envolve a coleta de requisitos relacionados com o tipo do experimento e a sua inserção na pesquisa.

4.2.1 Requisitos do Experimento

Para o levantamento dos requisitos necessários à realização do experimento faz-se uso da observação direta, através de uma visita ao laboratório onde ele está inserido. Observam-se as condições ambientais do local: arranjo físico; acessos ao experimento; controles utilizados no experimento (alimentação elétrica, hidráulica e de gases) se tiver; os componentes utilizados no experimento; as pessoas encarregadas de preparar os itens necessários ao experimento e seus comportamentos. Se for

possível mudar de observação direta para observação participante é interessante, pois pode-se ter uma noção mais profunda dos perigos e riscos envolvidos no processo do experimento.

A proposta do método é seguir todas as etapas do processo de montagem/desmontagem, carregamento/descarregamento do equipamento que está sendo utilizado no experimento bem como sua operação. Entender as reações ocorridas possibilitando e avaliando parâmetros significativos para se obter confiabilidade dos dados, menor custo e controle dos riscos envolvidos. Parâmetros analisados podem ser ou estarem relacionados com grandezas físicas, químicas ou outras que envolvam a pesquisa. A seguir, lista não extensiva, com alguns exemplos de parâmetros que podem aparecer em experimentos de pesquisa:

- 1-Toxicidade (manipulação de insumos – resíduos gerados do experimento);
- 2- Reatividade a combustão (controle de quantidade de O₂), controle de temperatura, pressão, pH, ponto de inflamação de combustíveis, entre outros;
- 3- Degradação por temperatura (limitações relacionadas aos reativos e materiais utilizados na confecção de equipamentos);
- 4- Regulagens e aferições dos equipamentos utilizados no experimento, bem como seus instrumentos.

Todos esses parâmetros contribuem para geração de riscos físicos, ambientais e qualidade de resultado no experimento. Por isso, necessitam de identificação e avaliação para controle. Deve-se estabelecer uma valoração dos riscos para cada contexto do laboratório. Para a caracterização das ações de preparação, condução e descarte dos insumos utilizados no experimento, onde riscos são admissíveis ou não, realiza-se o acompanhamento das etapas de experimentação. Desde a limpeza do equipamento do experimento, preparação dos componentes, aquisição de dados, alimentação da solução e retirada dos resíduos (armazenamento para descarte).

Outro requisito importante relacionado com experimentos de laboratórios de pesquisa são o levantamento de informações através de reuniões e entrevistas com as pessoas envolvidas no experimento em questão. É necessário analisar a visão que as pessoas têm sobre o experimento, seus depoimentos de como atuam em relação a operação: preparação, condução e descarte de insumos utilizados. Também, sequência de condução do experimento, atributos necessários à operação, controle de grandezas físicas ou químicas do experimento, planejamento experimental envolvido e a demonstração, análise e validação dos resultados. Realização de entrevista com

o professor orientador, ou responsável pelo laboratório, para compreender o contexto da linha de pesquisa, as reações envolvidas, projeto dos equipamentos, forma de medição dos dados, parâmetros utilizados no experimento e o destino da pesquisa. Condução de reuniões com o grupo de pesquisa para análise e comparações dos resultados do experimento, e com outros estudos desenvolvidos em outros laboratórios sobre o mesmo tema.

Na sequência da investigação, a abordagem propõe o levantamento das informações escritas: documentos e registros. Se existem padrões de trabalho relacionados com o experimento, planilhas com etapas da experimentação, planejamento experimental, manuais do fabricante do equipamento, fichas de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), registros de treinamentos realizados (matriz de competências por operador), entre outros.

De posse dessas informações e requisitos necessários do experimento, pode-se elaborar os procedimentos operacionais para preparação e condução do mesmo; e também, ter uma estimativa das suas condições e riscos associados.

4.2.2 Procedimentos Operacionais

Acompanhando a sequência do desenvolvimento da ferramenta, confeccionam-se os procedimentos operacionais para o experimento. Existem vários modelos para elaboração dos padrões, sendo os seguindo pela indústria (folha padrão operacional - FPO), os mais completos em termos de descrição das atividades. Os procedimentos operacionais demonstram toda a operação que apresenta o mesmo resultado sem especificar os detalhes dos movimentos e é realizada em um tempo relativamente longo, mais que 30min. No caso do exemplo adotado ao experimento em questão, as folhas padrão operacionais, contemplam: o nome do processo; equipamentos de segurança/vestimentas; ferramentas utilizadas; materiais envolvidos. Também apresentam a etapa principal da operação, seu tempo, ponto-chave e razão do ponto-chave. O ponto-chave é um elemento essencial da etapa que se não for respeitado, haverá consequências negativas na qualidade, segurança ou realização da operação. E a razão do ponto-chave é a explicação da importância do ponto-chave. Os procedimentos operacionais contemplam: desenhos; croquis; fotos; denominações de peças; os quais servem como esclarecimento dos aspectos necessários para a correta realização da operação.

Segundo Imai (2000), os padrões de trabalho são a garantia de que a operação vai executar a tarefa da forma mais fácil, no menor tempo, segura, sem agredir o meio ambiente, preservando a qualidade. Mantê-los e revisá-los é uma função básica de gerenciamento para melhoria da qualidade e diminuição da variabilidade dos processos. Também são utilizados para formar e treinar os operadores e dar instruções de trabalho detalhadas, precisas e sem falha.

É importante ter um procedimento global para a condução do experimento. Este pode ser composto por outros procedimentos preparatórios ou secundários, que cooperem com seu resultado. Razão pela qual, ressalta-se sua necessidade.

Como exemplos de procedimentos destacam-se os confeccionados para o experimento do LESC. Eles encontram-se *on line* nos apêndices A1, A2, A3 e A4, anexos dessa tese:

- FPO 01/17 - Preparação, colocação e retirada da solução no reator, apêndice A1;
- FPO 02/17 - Verificação do alinhamento da vazão da rede de nitrogênio para o reator, apêndice A2;
- FPO 03/17 - Preparação dos eletrodos para o experimento, apêndice A3;
- FPO 04/17 - Condução do experimento de monitoramento de corrosão naftênica, apêndice A4.

Este último é o procedimento principal, ele utiliza as informações dos procedimentos anteriores e engloba todo o processo do experimento.

Através da elaboração dos procedimentos operacionais, pode-se:

- 1- Baixar índices de riscos e alertar para possíveis perigos identificados relacionados com segurança, meio ambiente e qualidade de resultado do experimento;
- 2- Evitar ocorrência de anormalidades;
- 3- Aumento de confiabilidade na condução das etapas de experimentação.

4.2.3 Aplicação de Métodos de Identificação e Análise de Riscos

Seguindo a abordagem metodológica, após verificação dos riscos associados com os requisitos do experimento, foram empregadas duas técnicas para identificação e análise dos riscos, o *HAZOP* e o *PFMEA*. Cada qual possui suas características

próprias de utilização buscando aumentar a abrangência na detecção dos riscos no experimento.

4.2.3.1 Estudo de Perigos e Operabilidade – HAZOP

Segundo Crawley e Tyler (2015), o *Hazop (Hazard and Operability Studies)* é um estudo estruturado e sistemático de um processo/operação planejado ou existente. É composto por um time de participantes com experiências e expertises na área relacionada e conhecimento do processo. Segundo o autor, o HAZOP necessita de uma clara definição do escopo e objetivos, a fim de se ter as responsabilidades e autoridades atribuídas ao time de condução do método.

O estudo *Hazop* possui seu próprio formulário para confecção e registro das informações relacionadas com a metodologia empregada. Dessa forma, consegue-se identificar os riscos associados aos desvios operacionais com a aplicação sistemática das palavras-guias aos nós, suas consequências, existência de modos de detecção e/ou prevenção e quais medidas mitigadoras devem ser providenciadas para cada causa do desvio. Os nós de estudo são os pontos do processo que serão analisados nos casos em que ocorram os desvios. Normalmente na entrada de um grande equipamento e na saída de um equipamento que acumule produtos e antes e depois de linhas que se cruzam. Fazer as perguntas no nó de estudo, começar sempre a busca as falhas no início do sistema analisado. Com a utilização de “palavras-guias” verificam-se as possíveis causas dos desvios nos parâmetros de processo (vazão, pressão, temperatura, nível, viscosidade, reação e concentração) em cada nó durante a operação normal do experimento. Durante a realização do estudo *Hazop*, preenche-se no formulário, a coluna de Frequência conforme as categorias de frequência de ocorrência dos cenários (A- Extremamente remota, B- Remota, C- Improvável, D- Provável, E- Frequente); e a coluna de Severidade com a categoria de severidade dos perigos identificados (I- Desprezível, II- Marginal, III- Crítica, IV- Catastrófica). Ambas, da classificação de riscos do próprio formulário Hazop. No caso do exemplo do experimento do LESC, o formulário encontra-se no apêndice B no pen drive. Então, de acordo com os parâmetros de cada item do formulário associado ao nó de estudo e utilizando a matriz de Classificação de Risco (5X4) (frequência X severidade) ilustrada no quadro 9 a seguir, chega-se a legenda de classificação de risco o nível de risco [(1-

Desprezível, 2- Menor) = Tolerável; 3- Moderado, (4- Sério, 5- Crítico) = Não Tolerável].

No caso do experimento do LESC, o estudo *Hazop* realizado no sistema reator de monitoramento de corrosão naftênica utilizou-se uma planilha eletrônica conforme a da norma ABNT NBR ISO/IEC 31010. A equipe que realizou o estudo foi composta por três Engenheiros, sendo um deles o que já estava envolvido com o experimento e o sistema do reator. Após a realização do estudo *Hazop*, este foi validado pelo professor orientador.

Seguindo a metodologia de execução do *Hazop* foram considerados quatro nós de estudo (locais do processo a ser analisado) no sistema:

- ⇒ Entrada do eletrólito no Reator;
- ⇒ Entrada de Nitrogênio no Reator;
- ⇒ Saída do eletrólito do Reator;
- ⇒ Saída de gases do Reator.

A planilha eletrônica com o *HAZOP* realizado no experimento de laboratório do LESC encontra-se *on line* no apêndice B1, anexo dessa tese.

4.2.3.2 Análise dos Modos de Falha e Efeitos de Processo - *PFMEA*

A fim de aumentar a qualidade e confiabilidade na identificação e avaliação dos riscos nos experimentos de laboratório, a abordagem conduz a utilização do método *PFMEA*. Nesse método, originado da técnica de Manutenção Centrada na Confiabilidade, se pode analisar os modos de falhas e obter o Número Prioritário de Risco *Risk Priority Number (RPN)*.

Conforme Tweeddale (2003), o *FMEA* é uma análise não quantitativa que objetiva identificar a natureza de falhas que podem ocorrer em um sistema, máquina ou peça de equipamento através do exame de subsistemas ou componentes conectados considerando para cada, a total variedade de tipos de falhas e o seu efeito no sistema. Segundo o autor, o *FMEA* é um registro de acompanhamento do sistema analisado e deve ser conduzido por uma equipe de pessoas multidisciplinares com especificidades sobre o objeto em estudo. Existem dois tipos de *FMEA*, o de projeto *DFMEA* e o de processo *PFMEA*. Para experimentos em laboratórios de pesquisa as duas abordagens podem ser utilizadas, dependendo do tipo e objetivo da pesquisa conduzida.

Os formulários de registro do *PFMEA* podem ser provenientes de várias fontes e devem contemplar: a descrição do processo, os membros da equipe multidisciplinar que o conduziu, os documentos afetados por ele e as aprovações.

A aplicação do método de avaliação e análise dos riscos do *FMEA* é conduzida através da divisão do processo ou produto em funções, onde se estabelecem todos os modos de falha para cada função. Para cada uma dessas funções são levantados os prováveis modos de falhas utilizando a abordagem funcional de modo a responder à pergunta: “ Esse modo de falha pode ocorrer? ” Ou com a pergunta de negação a ação: “O que acontece se não executar a ação? ”. Em seguida são realizadas as descrições das consequências de cada modo de falha, a fim de satisfazer a necessidade de segurança e da sequência do processo. Se esse modo de falha acontecer que efeitos surgirão no ambiente do experimento? Então, através da escala de 1 até 10 de severidade pôde-se obter uma classificação do fator Severidade para o experimento. Em seguida, para cada modo de falha potencial, são levantadas as causas ou razões possíveis que resultariam nesses modos de falhas. Quais seriam as condições para provocar a falha e as razões que possibilitassem sua ocorrência. A escala de ocorrência (frequência), também com escala de 1 até 10 é utilizada para estabelecer o nível com que frequência o modo de falha ocorrerá, obtendo-se o fator Ocorrência (frequência). Prosseguindo, são levantadas a existência de formas de detecção e controle para cada modo de falha potencial e suas causas. Cada forma de detecção foi classificada também na escala de 1 até 10 de detecção, obtendo-se o fator Detecção. Por fim, de posse desses três fatores, multiplicando-os entre si, chega-se ao Número Prioritário de Risco (RPN). Pode-se ter uma classificação qualitativa ou quantitativa dos riscos para cada modo de falha identificado no sistema.

No caso do experimento do LESC foi utilizado o formulário padrão do *PFMEA* (Análise de Efeitos e Modos de Falha de Processo) conforme Palady (1997). A mesma equipe que aplicou o *HAZOP* anteriormente foi envolvida na aplicação dessa ferramenta. Ao final o professor orientador validou a abordagem. Os documentos associados e que podem ser afetados pelo processo do *PFMEA* foram as Folhas de Padrão Operacional FPO 01/17, FPO 02/17, FPO 03/17 e FPO 04/17. Elas podem ser atualizadas, em função do método *PFMEA* ser dinâmico, com mudanças de características de controle inseridas para diminuição do risco e aumento da confiabilidade do experimento.

Na aplicação do *PFMEA*, o experimento foi dividido em duas partes:

A- Elemento do processo 1: entrada do eletrólito (solução) e nitrogênio;

B- Elemento do processo 2: saída do eletrólito (solução) e gases.

Cada um desses elementos foi dividido em funções do sistema do experimento, de forma que sua descrição satisfizesse todas as condições necessárias para o resultado final. No elemento do processo 1 foram atribuídas as ações para:

- Abastecer o reator com 2 litros de solução (vaselina+ácido naftênico+butanotiol) na concentração correta;
- Borbulhar nitrogênio na solução (desaerar);
- Aquecer a solução nas faixas de temperaturas para o experimento;
- Agitar centrifugamente a solução para aquisição de dados com faixas de velocidades conforme o planejamento do experimento;
- Medir o potencial com sonda e eletrodos.

O elemento do processo 2 foi dividido em:

- Retirar os gases volatilizados do reator;
- Neutralizar os gases volatilizados do reator;
- Retirar solução usada do reator.

Na continuação da confecção do *PFMEA* foram atribuídas ações recomendadas para cada modo de falha. Pergunta: “O que poderia ser feito para prevenir o modo de falha, reduzir sua severidade e melhorar sua detecção?”. Essas ações estão relacionadas com os procedimentos operacionais do experimento e servem para priorizar a investigação dos modos de falha com maiores graus de Severidade e Ocorrência.

A planilha eletrônica com o *PFMEA* realizado no experimento de laboratório do LESC encontra-se *on line* no apêndice B2, anexo dessa tese.

Esta junção das duas técnicas contribui para o aumento na priorização das medidas preventivas e mitigadoras para riscos ambientais – *Hazop* e riscos físicos *PFMEA* do experimento. Sendo que cada uma delas possui condições de identificar e analisar qualquer tipo de risco. Dessa forma, pode-se obter um nível global dos riscos relativos aos experimentos de laboratórios de pesquisa.

4.2.3.3 Avaliação e Classificação dos Riscos

A avaliação do risco tem haver com a significância do risco e está relacionada com a estrutura da definição dos critérios de risco. Para cada contexto de experimento

conduzido no laboratório de pesquisa, deve-se observar e valorar os riscos envolvidos de acordo com a pesquisa realizada, bem como, definir níveis toleráveis e não toleráveis de riscos.

De acordo com Palady (1997), existem duas formas de abordagem na interpretação do *FMEA*. A abordagem tradicional, a qual é baseada no Número Prioritário de Risco (Severidade X Ocorrência X Detecção), e a abordagem proativa, que utiliza o gráfico de áreas, baseada na Severidade e Ocorrência, onde se estabelece regiões do gráfico das áreas de baixa, média e alta prioridade. Esta classificação é ilustrada no quadro 9 a seguir.

Como a abordagem proativa é a mais significativa em termos de riscos e a técnica *Hazop* também utiliza a mesma matriz de classificação de riscos conforme a norma MIL-STD-882C (1993), o índice de risco pode ser unificado na mesma classificação. Este índice apresenta como base os números equivalentes às suas classificações em nível:

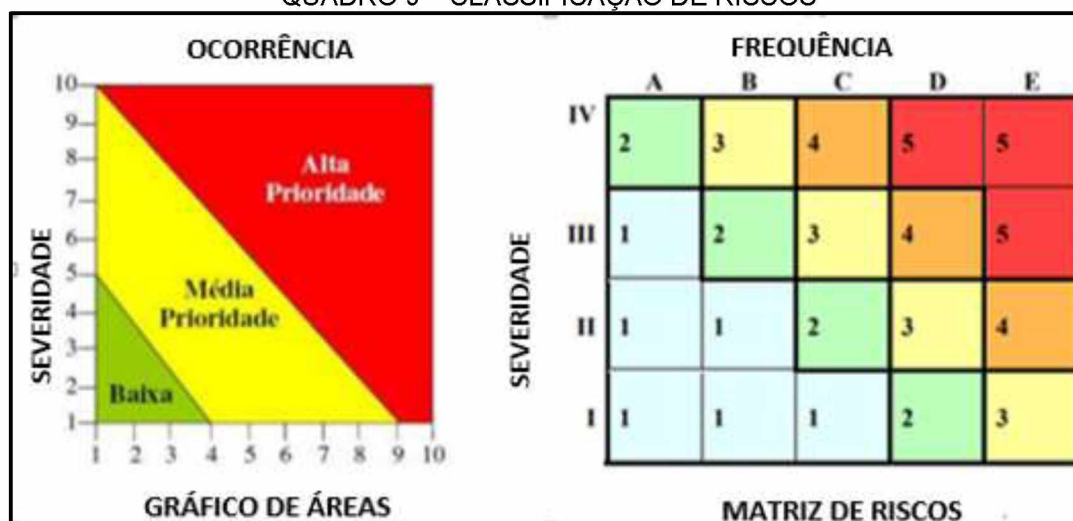
- ⇒ (1- Desprezível, 2- Menor) = Tolerável;
- ⇒ 3 = Moderado;
- ⇒ (4- Sério, 5- Crítico) = Não Tolerável.

Para o *FMEA* foi utilizado para o número prioritário de risco RPN:

- ⇒ 0 até 180 = Tolerável (baixa);
- ⇒ 181 até 252 = Moderado (média prioridade);
- ⇒ Acima de 252 = Não Tolerável (alta prioridade).

Dessa forma, utilizando os mesmos critérios de classificação de riscos para as duas técnicas, definem-se regiões no gráfico das áreas com prioridade de intervenção. De acordo com a local de classificação do risco, tolerável, moderado ou não tolerável, têm-se uma hierarquia para tomada de decisão e mitigação ou eliminação do mesmo. Esta forma de unificar a valoração do risco possibilita uma maneira de transformar a avaliação qualitativa em quantitativa e vice-versa. No caso da ferramenta é necessária a unificação a fim de se ter a mesma avaliação e para a elaboração do algoritmo de quantificação dos riscos. O Quadro 9 a seguir ilustra a matriz de classificação de risco utilizada.

QUADRO 9 – CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS



FONTE: Adaptado de Palady (1997) / MIL-STD-882C (1993)

A classificação de risco qualitativa utiliza para a valoração/magnitude do risco a matriz de risco (5X4) conforme apresentada no item 2.3.4 do capítulo 2 da Revisão da Literatura. Os critérios de priorização de intervenção foram unificados para a mesma matriz (5X4) usada no HAZOP e no caso do PFMEA para equidade na montagem do algoritmo de quantificação de nível de risco para o experimento.

4.2.3.4 Métodos Poka-Yoke

Conforme Grout e Toussaint (2010), existem diferentes abordagens de Poka-Yoke como “inspeções de contenção”, as quais somente classificam defeitos de quantidades aceitáveis de produtos e retém o item defeituoso de seguir no processo; ou a utilização de dados de saída do processo para indicar o melhor gerenciamento dele. Porém, a mais efetiva abordagem envolve inspecionar o processo antes da ação, para assegurar todas as condições necessárias de existência de alta qualidade. Para isso duas funções são requeridas: o defeito ou sua causa devem ser detectados; e imediatamente ações corretivas devem ser tomadas (GROUT e TOUSSAINT, 2010). Essa tomada de ação é feita de duas maneiras: utilizando o método de alerta (avisa ao trabalhador) ou o método de controle (para o processo).

Segundo Puvanasvaran; Jamibollah e Norazlin (2014), a integração do Poka-Yoke dentro do processo do FMEA é uma abordagem inovadora que guia o usuário mais eficazmente. De acordo com os autores, dois conceitos do Poka-Yoke podem

ser integrados conceitualmente no processo do *FMEA* que abrange Ocorrência e Detecção.

A avaliação e classificação dos riscos relativos a inspeção dos requisitos da qualidade pelo *Poka-Yoke* segue a mesma valoração da matriz de riscos usada pelas técnicas *HAZOP* e *PFMEA*. Os riscos classificados pelos modos de falha do *PFMEA* e pelas palavras-guia do *HAZOP* afetam também a qualidade do resultado. Utilizam-se métodos *Poka-Yoke* para diminuir ou eliminar os riscos e tornar confiáveis os resultados da pesquisa. A unificação da valoração do risco prioriza a tomada de decisão e aumenta o controle sobre os desvios do procedimento de condução do experimento.

Os requisitos do experimento, observações, entrevistas, registros e artefatos fornecem uma ideia de locais onde existe a necessidade de controles de parâmetros críticos para o resultado. Nesses locais deve-se analisar a possibilidade de instalação de métodos *Poka-Yoke*, para bloqueio ou detecção de anomalias durante a execução do experimento. Condições de qualidade do resultado do experimento, geralmente englobam os riscos físicos e ambientais.

No experimento do LESC foram identificados pontos que exigiam atenção com relação a garantia da qualidade do resultado, existe a necessidade de controle de grandezas físicas perigosas e impactantes: temperatura; pressão; teor de oxigênio e H₂S na saída dos gases do reator. Para a temperatura e pressão utilizaram-se os controladores eletrônicos proporcional, integral e derivativo (PID), os quais comparam os valores do parâmetro monitorado no reator com o valor ajustado, ligando/desligando o aquecimento do reator e também acionam um alarme sonoro. Atuam como método *Poka-Yoke* de comparação. E para controle dos gases de saída um detector de explosividade também sonorizado como método de advertência. Ambos são *Poka-Yoke* de alerta, não sendo usados como ferramenta de interdição. O *Poka-Yoke* controla a qualidade através do monitoramento e inspeção das grandezas físicas relacionadas com o experimento, temperatura, pressão e composição dos gases.

4.2.4 Ferramenta *Checklist*

Como forma de integração das técnicas utilizadas foi confeccionada uma lista de verificação (*checklist*) para controle. A ferramenta *checklist* incorpora a abordagem de *Poka-Yoke*. Ele é uma barreira contra incidentes e acidentes padronizando as tarefas e diminuindo a possibilidade de erro humano. O *checklist* foi considerado por

muito tempo um item de padronização dos procedimentos, porém, sua importância cresceu no âmbito da segurança das operações e seu conceito se renovou como uma interface entre homem e a máquina.

Na sequência do desenvolvimento da ferramenta a utilização do *checklist* unifica as três técnicas *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke* direcionando para o resultado correto do experimento. Ele deve ser incorporado ao procedimento geral de condução do experimento, pois simplifica o preenchimento e direciona o condutor a fazer as atividades corretamente. O condutor executa o experimento preenchendo o *checklist* ao mesmo tempo. O *checklist* deve possuir fotos, esquemas, figuras de artefatos físicos que ajudem a correta interpretação e preenchimento por parte do condutor do experimento.

O *checklist* desenvolvido segue o procedimento de condução do experimento do LESC, fazendo o controle de todas as etapas do procedimento global. Ele foi confeccionado na mesma planilha do procedimento de condução do experimento, a fim de facilitar a interpretação do usuário, agilizar a execução e englobar junto o procedimento com o *checklist*. Está dividido em etapas, sendo cada uma relacionada com o procedimento associado do experimento; pode ser o FPO 01/17, colocar solução pronta no reator ou FPO 04/17, conduzir o experimento. O *checklist* incorpora fotos e esquemas dos procedimentos envolvidos para chamar atenção aos pontos-chave de cada tarefa a ser executada. Ele apresenta na última folha uma seção de histórico de modificações/observações sobre a sua realização. O *checklist* é a ferramenta de integração dos métodos aplicados ao experimento para controle dos tipos de riscos associados e valoração quantitativa deles.

A planilha eletrônica com o *Checklist* realizado no experimento de laboratório do LESC encontra-se *on line* no apêndice C1, anexo dessa tese. Sumarizando, as etapas: requisitos do experimento; confecção dos procedimentos operacionais em função das atividades do experimento; as planilhas de resultado da aplicação dos métodos de identificação e avaliação de riscos *HAZOP* e *PFMEA*; controle das grandezas físicas pelo *Poka-Yoke*; uniformização da classificação/valoração dos riscos; e confecção do *checklist* baseado no procedimento de condução do experimento; pôde-se montar em planilha eletrônica o algoritmo para quantificação dos riscos relacionados ao experimento.

4.2.5 Planilhas Eletrônicas

A fim de se ter uma ferramenta de quantificação de riscos para uso em laboratórios de pesquisa é necessário ter um bom mapeamento de todos os riscos envolvidos no experimento e seus impactos. Esta análise direciona a tomada de decisão para ações de bloqueio ou mitigação dos riscos, preservando a segurança pessoal e ambiental e a qualidade de resultado do experimento. Cada fase de experimentação realizada na pesquisa é única e precisa ser validada por outra na mesma linha de execução. Essa confiabilidade de dados é importante para a continuidade da pesquisa.

Utilizando planilhas eletrônicas foi montado um arquivo composto por planilhas associadas localizadas nas abas na parte de baixo: planilha do *checklist*; planilha do *HAZOP*; planilha do *PFMEA*; planilha de categorização dos riscos e a planilha de controle. Também foram criadas três planilhas de resultado para cada um dos tipos de riscos: físico, ambiental e de qualidade. Utilizando a função condicional SE que realiza ações de associações das planilhas requeridas na montagem do algoritmo, pôde-se chegar em índices de riscos baseados no resultado do preenchimento do *checklist* pelo usuário. A planilha do *checklist*, capa do arquivo, engloba todas as etapas do formulário de *checklist* e também possui *link* que acessa o item nas planilhas *HAZOP* e *PFMEA* através das duas colunas, uma do *HAZOP* e a outra do *PFMEA*. Cada item do *checklist* está associado com o item correspondente do *PFMEA* e *HAZOP*. Essas colunas apresentam as cores verde (risco tolerável), amarela (risco moderado) e vermelho (risco não tolerável), conforme resultado da aplicação das respectivas técnicas, para cada item do *checklist* associado ao modo de falha do *PFMEA* e nó de estudo do *HAZOP*. Também, na capa do arquivo, situam-se as células com o índice de risco geral, e as células com os índices dos três tipos de riscos: físico, ambiental e de qualidade. Cada vez que um item do *checklist* é preenchido errado, esse risco é associado aos riscos obtidos do *HAZOP* e *PFMEA* do respectivo item, e se for risco vermelho (não tolerável) ou amarelo (moderado) é incrementado na célula do índice geral do experimento. Também ocorre um incremento nas células dos tipos de riscos, se físico, ambiental ou de qualidade de acordo com a associação com a planilha de categorização dos riscos. Células situadas na segunda linha abaixo das respectivas células nominadas da primeira linha da planilha conforme a Tabela 12 a seguir.

TABELA 12 – PLANILHA CHECKLIST- CAPA DO ARQUIVO

CHECKLIST CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO DE CORROSÃO NAFTÊNICA		PFMEA			HAZOP			RISCO TOTAL	Risco Físico	Risco Ambiental	Risco Qualidade
TAREFA		Item	Qualit.	5	Item	Qualit.	6	11	11	11	11
ENTRADA DE NITROGÊNIO NO REATOR		SIM NÃO	ITEM PFMEA		ITEM HAZOP			0	0	0	0
13- Abrir a válvula de saída do cilindro de N2 etapa 1 FPO 02/17.	X	5	N	1	4a	NT	2	3	3	3	3
14- A pressão no manômetro 1 da válvula reguladora é 5 bar? Etapa FPO 02/17?	X	5.6	R	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	4	4	4
14.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	5.6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2 Se NÃO. Existe cilindro de reserva cheio?	X	5.6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2a Se SIM. OK. Continuar check-list.	X	5.6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2b Se NÃO. PARAR O EXPERIMENTO!! Avisar o Professor.	X	5.6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
15- Ajustar a válvula reguladora de pressão para 2bar no manômetro 2 FPO 02/17.	X	5.6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
16- Verificar vazamento na linha de N2 desde a casa de gases até a sala do LTA.	X	5.6.7	NT	2	4a, 4b, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0
17- Abrir a válvula do rotâmetro.	X	5.6.7.8	R	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NT	2	4	4	4	4
17.1 A esfera do rotâmetro moveu-se para cima?	X	5.6.7.8	NT	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0
17.1a Se SIM. Continuar check-list.	X	5.6.7.8	NT	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0

FONTE: o autor (2017)

FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO

A ferramenta desenvolvida para laboratório de pesquisa resulta em um algoritmo de quantificação de índices de riscos por categorias em função do resultado do preenchimento do *checklist*, policiando o condutor quanto ao seguimento do procedimento de condução do experimento corretamente (de acordo com o *checklist*). O algoritmo apresenta índices de quantificação, sendo que para cor verde (risco tolerável) o índice é 0, para cor amarela (risco moderado) índice 1; e para cor vermelha (risco não tolerável) o índice é 2. No caso de soma de índices de risco, se for risco tolerável + risco moderado ($0+1=1$) resultado tolerável. Se for risco moderado + risco não tolerável ($1+2=2$) resultado não tolerável, e o resultado do nível será igual a 2, e se for risco não tolerável + risco não tolerável ($2+2=2$), resultado também será não tolerável. Acessando a planilha capa do arquivo nomeada de "checklist", inicialmente todo o *checklist* está verde, pois as respostas estão condizentes com a condução correta do experimento no laboratório. Ao lado de cada célula está o índice de quantificação (0, 1, 2) correspondente ao risco da célula da planilha. Então, inicia-se o preenchimento. Uma vez que um item é preenchido de forma errada, automaticamente aparece na coluna do HAZOP e PFMEA o índice de risco na cor relativo ao item. Se for vermelho para HAZOP (2) e amarelo para PFMEA (1), o índice geral somado resulta em 2, se forem dois vermelhos também será 2, se for verde para HAZOP (0) e amarelo para PFMEA (1) o índice geral somado será de 1 (círculos vermelhos); conforme apresentado anteriormente. Na coluna risco total ocorre a soma dos índices de HAZOP e PFMEA. Nas células dos índices por especificidades de risco, ocorre também o incre-

mento, conforme a associação da célula do item do *checklist* com a planilha de categorização dos riscos, aparecendo o incremento no índice de tipo de risco correspondente.

Dessa maneira pode-se obter um nível de risco global do experimento e também índices específicos de riscos, sejam físicos, ambientais e de qualidade do experimento; em função da criticidade e consequência do seu impacto atribuídas pelas técnicas *HAZOP* e *PFMEA*. A Tabela 13 a seguir ilustra na planilha capa do arquivo o funcionamento do algoritmo.

TABELA 13 – PLANILHA *CHECKLIST*- FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO

CHECKLIST CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO DE CORROSÃO NAFTÊNICA				PFMEA			HAZOP		RISCO TOTAL	Risco Físico	Risco Ambiental	Risco Qualidade
TAREFA		Item	Qualit.	3	Item	Qualit.	2	5	4	4	5	
9.2 Se NÃO. Limpar eletrodos em solução para montar na sonda. Item 4 FPO 03/17?	X	24	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
10- Os eletrodos estão montados na sonda FPO 03/17?	X	21	T	0	Não Aplicado		0	0	0	0	0	
10.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	21	T	0	Não Aplicado		0	0	0	0	0	
10.2 Se NÃO. Montar eletrodos na sonda. Item 5 FPO 03/17.	X	21	T	0	Não Aplicado		0	0	0	0	0	
11- A posição dos eletrodos está de conforme marcação na sonda. Item 5 FPO 03/17?	X	22	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	1	
11.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	22	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
11.2 Se NÃO. Montar eletrodos conforme item 5 FPO 03/17.	X	22	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
12- As conexões elétricas dos cabos do Gamry estão ligados corretamente na sonda	X	25	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
12.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	25	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
12.2 Se NÃO. Ligar conexões do cabo conforme marcação. Item 7 FOP 03/17.	X	25	M	1	Não Aplicado		0	1	0	0	0	
ENTRADA DE NITROGÊNIO NO REATOR					ITEM HAZOP			0	0	0	0	
13- Abrir a válvula de saída do cilindro de N2 etapa 1 FPO 02/17.	X	5	M	1	4a	NT	2	3	0	0	0	
14- A pressão no manômetro 1 da válvula reguladora é 5 bar? Etapa FPO 02/17?	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0	
14.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	4	4	4	
14.2 Se NÃO. Existe cilindro de reserva cheio?	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0	
14.2a Se SIM. OK. Continuar check-list.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0	
14.2b Se NÃO. PARAR O EXPERIMENTO!! Avisar o Professor.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0	
15- Ajustar a válvula reguladora de pressão para 2bar no manômetro 2 FPO 02/17.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0	
16- Verificar vazamento na linha de N2 desde a casa de gases até a								4	0	0	0	

FONTE: o autor (2017)

A planilha eletrônica com o Algoritmo e *checklist* que foi aplicada no experimento de laboratório do LESC encontra-se na pasta arquivo do *pendrive* no anexo D1.

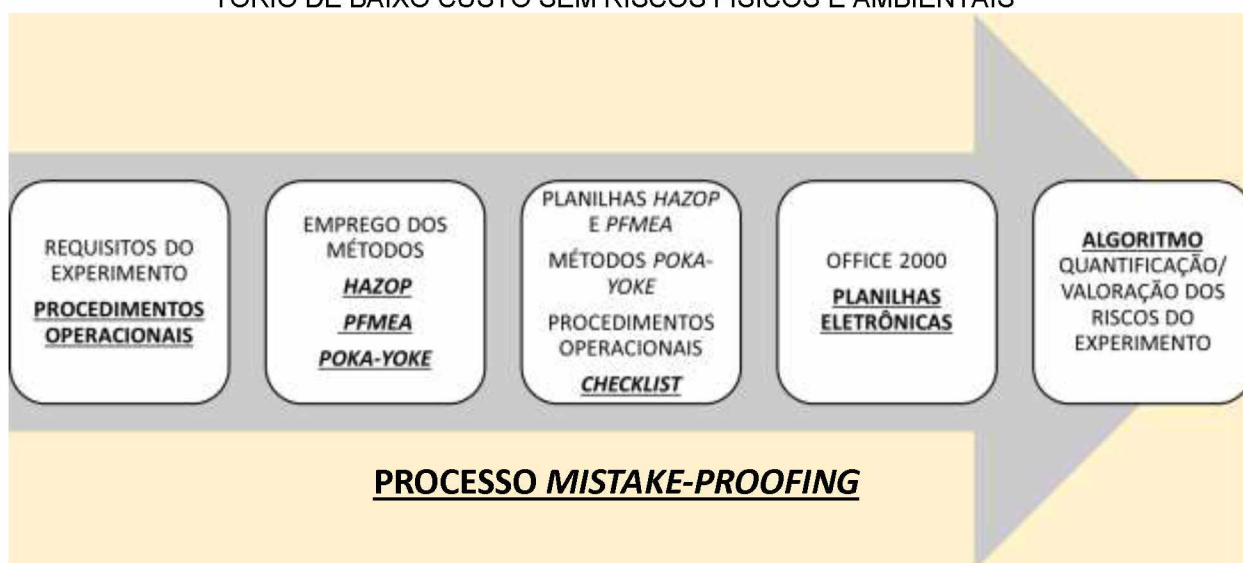
É necessário definir a classificação de cada risco em termos de seus impactos na segurança, meio ambiente e resultado do experimento. É fato que qualquer preenchimento errado do *checklist* vai influenciar no resultado do experimento, ou não funciona o experimento. Porém, se a ação envolver perigo para o condutor ou meio ambiente, este risco será classificado e quantificado como não tolerável (NT). Nas planilhas do *PFMEA* e *HAZOP* associadas ao *checklist*, para cada item preenchido errado, existem as ações recomendadas correlacionada com o modo de falha, e medidas mitigadoras correlacionada com o item do nó de estudo, respectivamente.

Todo o processo de desenvolvimento da ferramenta para aplicação em laboratórios de pesquisa foi baseado em princípios dos sistemas *Poka-Yoke*, onde cada etapa, enfatiza a eliminação da causa ou ocorrência de uma anormalidade ou falha. O próprio *checklist* age como o artefato de alerta se alguma condição não seja atendida para a qualidade de resultado do experimento.

O Quadro 10 a seguir, ilustra a estrutura da ferramenta desenvolvida para experimento confiável de laboratório de baixo custo sem riscos físicos e ambientais, conforme objetivos dessa pesquisa. Ela segue as etapas descritas nos itens desse capítulo:

- 4.2.1 – Requisitos do Experimento;
- 4.2.2 – Procedimentos Operacionais;
- 4.2.3 – Métodos de Identificação e Análise de Riscos *HAZOP* e *PFMEA*;
- 4.2.4 – Ferramenta *Checklist*;
- 4.2.5 – Planilhas Eletrônicas – Algoritmo.

QUADRO 10 – ESTRUTURA DA FERRAMENTA PARA EXPERIMENTO CONFIÁVEL DE LABORATÓRIO DE BAIXO CUSTO SEM RISCOS FÍSICOS E AMBIENTAIS



FONTE: o autor (2017)

4.3 ABRANGÊNCIA DA FERRAMENTA

Do exposto no capítulo, a ferramenta enquadra-se para aplicações em laboratórios de pesquisa acadêmicos físico-químicos de ensaios e testes com petróleo. Como já visto, os ambientes de laboratórios são lugares perigosos, onde acidentes ocorrem, gerando perdas, tanto materiais como de vidas e agredindo o meio ambiente.

No caso dos laboratórios acadêmicos, onde existe uma rotatividade de alunos e muitos nunca tiveram qualquer contato com esse ambiente, os riscos aumentam. Não existe tempo para implantar um programa de gestão de segurança para o aluno do laboratório, envolvendo treinamento em padrões e educação para segurança. O que se faz é observar e seguir protocolos de segurança do laboratório. Outro agravante, é que no Brasil se faz pesquisa com pouco investimento, aumentando também os riscos. A ferramenta desenvolvida visa ajudar a preencher essas deficiências e colaborar com o bem-estar e avanço da pesquisa científica.

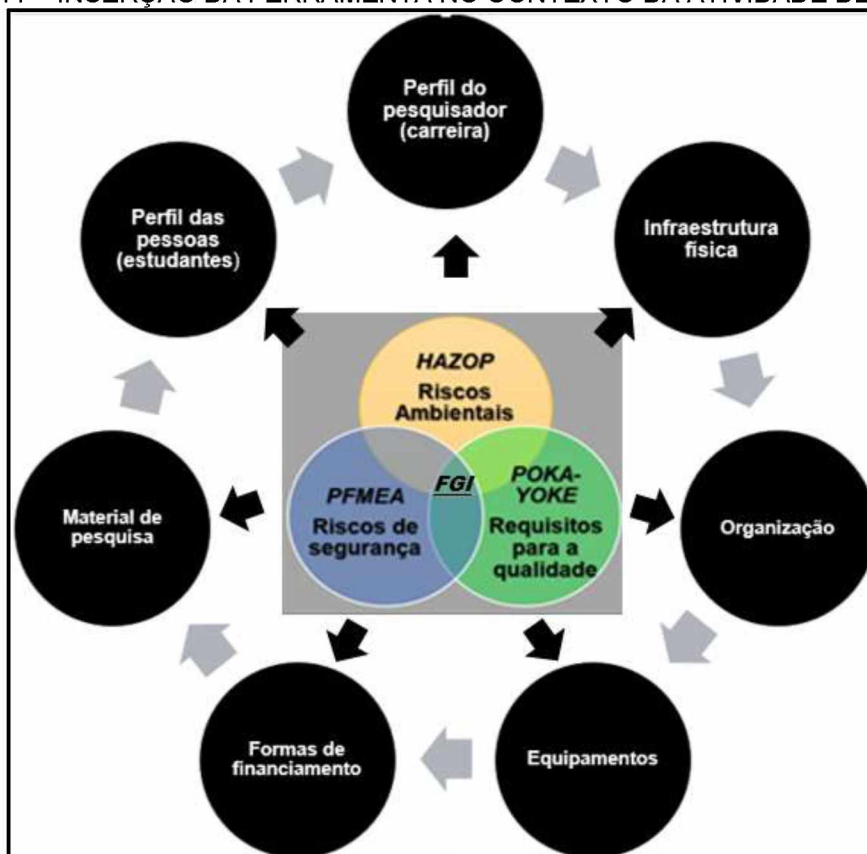
A abrangência da ferramenta não se limita a apenas laboratórios de pesquisa acadêmicos, podendo servir também de apoio a laboratórios particulares certificados pelas normas atuais vigentes. Ela pode ser inserida no Sistema de Gestão de Riscos e de Gestão da Qualidade do Laboratório sem alteração de seu sistema existente. Pois, é baseada em padrões operacionais, controle do erro humano, métodos lógicos e sistemáticos para gestão de riscos e melhoria da qualidade. A ferramenta desenvolvida é de fácil aprendizado, utilização e objetiva ampliar garantias de segurança física e ambiental para todas as pessoas que utilizam esses ambientes, bem como a confiabilidade nos resultados dos experimentos.

A abordagem metodológica da ferramenta proporciona uma aplicação sistemática de controles, onde o critério associado ao risco na etapa de execução do experimento (preenchimento do *checklist*) é controlada pelo próprio processo. Isto, comprova se a sequência na execução vai alcançar o resultado proposto. A planilha *checklist* do algoritmo contempla níveis de risco para os experimentos. Esses níveis devem ser estipulados conforme o tipo da pesquisa, as consequências envolvidas e formas de detecção encontradas no laboratório. Sabe-se que os laboratórios possuem suas próprias formas de controlar os riscos, como mapas de riscos por ambientes, protocolos de segurança, controle do uso de EPIs, mas não se tem um pleno controle específico dos riscos associados com condução de experimentos. A gestão dos riscos é apoiada em normas de segurança, que as vezes não contemplam todas as condições em que o experimento está envolvido.

O contexto da pesquisa científica depende de vários fatores que interagem entre si para se atingir o resultado. Dentre esses fatores podemos enumerar: perfil do pesquisador; perfil das pessoas; infraestrutura física; organização; equipamentos; material de pesquisa e formas de financiamento. Todos possuem uma correlação e apresentam um impacto maior ou menor no resultado da pesquisa conforme o seu tipo.

Existem muitas linhas de pesquisa científica e dos mais variados tipos, porém elas são únicas, inovadoras e para a existência de uma investigação científica correta, há a necessidade de confiabilidade dos resultados e também o controle dos riscos inerentes em cada tipo de experimento para seu avanço. O Quadro 11 a seguir mostra a inserção da ferramenta no contexto da atividade de pesquisa.

QUADRO 11 – INSERÇÃO DA FERRAMENTA NO CONTEXTO DA ATIVIDADE DE PESQUISA



FONTE: o autor (2017)

A ferramenta de gestão integrada atua como facilitadora do processo de identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos no contexto da pesquisa científica. Ela pode se mostrar promissora para aplicações rápidas e precisas, e ajudar pesquisadores iniciantes a trabalhar com segurança e qualidade.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 DESCRIÇÃO

Atendendo ao critério de seleção do estudo de caso, conforme apresentado no Capítulo 3, subseção 3.1, o estudo foi realizado no Laboratório de Eletroquímica de Superfícies e Corrosão (LESC), no Centro Politécnico da UFPR.

O experimento se insere em pesquisas do Grupo de Eletroquímica Aplicada (GEA), do qual este estudo faz parte. Ele contribui para linha de pesquisa de Engenharia de Superfícies e Corrosão do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PGMEC) e também para o Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo (ANP). Dentre as pesquisas realizadas pelo Laboratório, a área de corrosão por ácidos naftênicos é uma delas.

5.2 SELEÇÃO DO PROCESSO

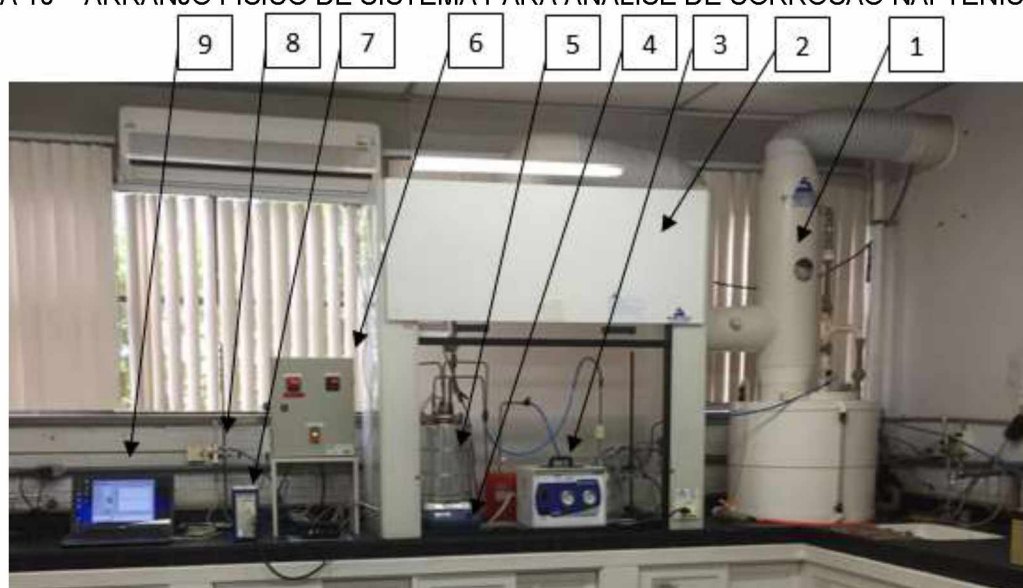
O experimento selecionado faz parte da linha de pesquisa em monitoramento e análise de corrosão naftênica com foco no processo de refino do petróleo, onde se reproduz as condições desse processo em laboratório. A ferramenta foi desenvolvida acompanhando esse experimento, pelo motivo do mesmo apresentar riscos de segurança física e ambiental e também, a existência de rotatividade de alunos de graduação e pós-graduação na sua condução no laboratório.

5.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA - EXPERIMENTO

O sistema envolve um reator eletroquímico que opera sob pressão máxima de 2 bar a uma temperatura de até 250 °C num meio que apresenta potencial de combustão em temperaturas acima de 120 °C. Neste caso, há necessidade de controle do teor de oxigênio (O₂) feito pela injeção contínua de nitrogênio (N₂). O eletrólito é composto de vaselina líquida (óleo mineral) e ácido naftênico nas várias concentrações, e também butanotiol (butilmercaptana) composto de enxofre, simulando condições similares e até piores que a realidade. O reator está montado em uma capela e foi confeccionado em alumínio 6351 com dimensões internas de 31 cm de altura e 12 cm de

diâmetro, totalizando volume interno de aproximadamente três litros. Seu aquecimento é realizado através de uma camisa com resistência elétrica instalada e isolamento térmico do lado externo ao reator. O controle de temperatura é obtido por um controlador tipo PID acoplado a um termopar tipo J instalado internamente. O reator está equipado com medidor de pressão, medidor de temperatura, válvula de segurança e analisador de oxigênio e explosividade. A Figura 10 a seguir mostra o arranjo físico do sistema para análise de corrosão naftênica no laboratório LESC com suas respectivas legendas:

FIGURA 10 – ARRANJO FÍSICO DE SISTEMA PARA ANÁLISE DE CORROSÃO NAFTÊNICA



FONTE: o autor (2017)

LEGENDAS

- 1- Lavador de gases;
- 2- Capela Scientech;
- 3- Bomba de vácuo Technical TE-058;
- 4- Agitador magnético Gostirrer;
- 5- Reator eletroquímico;
- 6- Painel controladores PID Novus;
- 7- Potenciostato e Galvanostato Gamry REFERENCE 600;
- 8- Rotâmetro entrada de nitrogênio;
- 9- Computador com software Gamry ESA 410 Data Acquisition.

A célula eletroquímica montada no reator é composta pelo eletrólito (vaselina líquida + ácido naftênico + butanotiol) em várias concentrações, e uma sonda com três eletrodos, dois de trabalho e o outro de referência. Os eletrodos de trabalho são de aço liga ASTM A335 P5, o aço mais utilizado na confecção dos equipamentos das áreas afetadas pela corrosão naftênica nas refinarias. O eletrodo de referência é de aço inoxidável ASTM A276 GR316 (AISI 316). A técnica utilizada para o monitoramento da corrosão é a do ruído eletroquímico.

Três trabalhos desenvolvidos e publicados pelo grupo do GEA, duas dissertações de mestrado (SILVA, 2010), (HASS, 2013) e uma tese de doutorado (ABRANTES, 2015), utilizaram a mesma técnica para monitoramento da corrosão, o ruído eletroquímico. O ruído eletroquímico é uma técnica recente e importante para identificar e analisar os diversos tipos de corrosão. Esses trabalhos seguem a mesma linha de pesquisa e empregaram um sistema de experimento parecido com o descrito nessa seção.

5.4 COLETA DE EVIDÊNCIAS

5.4.1 Caracterização do Sistema

Conforme critério utilizado no Capítulo 4, subseção 4.6.2.1, utilizou-se o formulário no apêndice E1 para caracterização do processo do experimento em estudo. O experimento é conduzido de acordo com o planejamento experimental inicialmente proposto a fim de se ter a continuidade da pesquisa. Como já mencionado, o experimento reproduz uma situação real, e é uma simulação do fenômeno corrosivo identificado durante o processo do refino, nos equipamentos e nas torres de destilação atmosférica e à vácuo. O processo envolve a preparação da solução em um kitassato conforme a concentração requerida pelo planejamento experimental, Número de Acidez Total - NAT 2,5 por exemplo. Em seguida a solução é colocada no reator através de uma bomba de vácuo. O eletrodo de trabalho de aço P5 e o eletrodo de referência de aço inox 316, são polidos com lixa P400, e depois com lixa P600, desengraxados e montados na sonda. Não existe procedimento para preparação e montagem dos eletrodos para o experimento. A Figura 11 a seguir, ilustra a montagem dos eletrodos na sonda de monitoramento de corrosão:

FIGURA 11 – MONTAGEM DOS ELETRODOS NA SONDA DE MONITORAMENTO



FONTE: o autor (2017)

A seguir a sonda é parafusada na tampa do reator e em seguida, a tampa montada com junta no flange do reator. Uma vez o reator abastecido e fechado, são feitas as ligações dos cabos da sonda com os do aparelho Gamry, dois eletrodos de trabalho, um de referência e o terra flutuante. Em seguida, injeta-se nitrogênio na solução para retirada do oxigênio, abrindo a válvula do rotâmetro e escutando o borbulhar do gás dentro do reator. Faz-se a desaeração por no mínimo 60 min e, então, energiza-se o painel elétrico de aquecimento do reator. É ajustado o valor da temperatura desejada no controlador e inicia-se a rampa de aquecimento conforme planejamento. Quando a temperatura alcançar o valor ajustado no controlador, realiza-se a primeira medição. Em sequência: liga-se a célula do potenciostato Gamry; liga-se o computador e acessa-se o software Gamry ESA 410. Ajustam-se, no software, os parâmetros do aparelho (frequência, faixa de potencial, faixa de corrente e faixa IE) e o tempo de aquisição. Nomeia-se um arquivo para armazenamento e inicia-se a aquisição dos dados pelo tempo estipulado no planejamento. Em seguida repetem-se essas etapas para outras faixas de temperatura e rotação (ajustando o agitador magnético na velocidade de rotação desejada). Durante todo o tempo de experimentação é obrigatório estar borbulhando nitrogênio dentro do reator para que não entre oxigênio na solução. Os gases que saem de dentro do reator passam por um lavador de gases, o qual possui um medidor de pH, que controla a neutralização, através de circulação de solução alcalina proveniente do tanque do lavador.

Com relação ao levantamento de riscos físicos e ambientais, foi encontrada uma fonte de risco no abastecimento do eletrólito no reator. Não existe procedimento para preparação e abastecimento do eletrólito no reator. Em caso de falha no processo do experimento não foi encontrada uma forma de comunicação do processo para com o condutor.

Com o enfoque na condução do experimento, utilizou-se o formulário do apêndice E2 para caracterizar o fluxo da operação. A operação de conduzir o experimento é praticamente automática. Uma vez iniciado o processo experimental, a operação faz os ajustes no controlador de temperatura, no agitador magnético para controle de rotação e ajustes de parâmetros de aquisição de dados. A cada tempo de experimentação repete-se a operação até o final do planejamento.

Com relação aos riscos físicos e ambientais, na operação existem fontes de riscos relacionados com a falta de procedimentos, esquecimentos quanto a sequência de condução, não ligar exaustor de gases, não acompanhar a entrada de nitrogênio no reator, entre outros. Os vários equipamentos envolvidos na operação, que precisam de atenção, estão próximos do condutor evitando deslocamentos. Somente duas pessoas possuem conhecimento para realizar o experimento, foram treinados pelo professor. O condutor do experimento trabalha sozinho. Os EPIs utilizados são: guarda-pó, luva de látex e óculos de segurança. O ambiente do laboratório apresenta controle de temperatura através de ar condicionado. Não foram encontrados procedimentos de trabalho para a operação. Durante a fase de acompanhamento 02 estudantes de pós-graduação operaram o sistema.

5.4.2. Caracterização dos Riscos e Falhas do Sistema

Durante o levantamento dos riscos do sistema foram mapeados os riscos relacionados com a segurança, meio ambiente e qualidade para o resultado do experimento. O sistema apresenta vários pontos de riscos em função da característica do processo e da operação. Os parâmetros relativos à toxicidade, reatividade à combustão e degradação pela temperatura são influentes na consequência dos riscos associados a eles. Através da observação direta e participante, entrevistas e artefatos físicos, pode-se identificar alguns desses riscos na condução do experimento.

- 1- Falta de nitrogênio no interior do reator;
- 2- Falta ou excesso de solução dentro do reator;
- 3- Não ligar exaustor de gases;
- 4- Não neutralizar os gases;
- 5- Não ajustar ou ajustar errado os parâmetros para aquisição de dados;
- 6- Trabalhar com temperatura acima da especificada;
- 7- Não retirar oxigênio da solução;

- 8- Não ligar a bomba do lavador de gases;
- 9- Não controlar a neutralização dos gases;
- 10- Não colocar solução neutralizadora no tanque do lavador de gases;
- 11- Não ter cilindro de nitrogênio reserva para condução do experimento;
- 12- Falta de procedimento operacional para o sistema; entre outros.

A utilização do apêndice E3 para o roteiro da observação direta permitiu a identificação dos locais onde esses riscos estão relacionados aos parâmetros. A falta de procedimento operacional para a operação intensifica os riscos, pois a operação só pode contar com informações dos artefatos físicos ou da própria competência do condutor.

A Figura 12 a seguir, mostra os locais de riscos na condução do experimento, segundo as observações diretas realizadas. O rotâmetro com marcação da vazão de nitrogênio, a válvula de entrada de nitrogênio no reator e a marcação das conexões na tampa do reator.

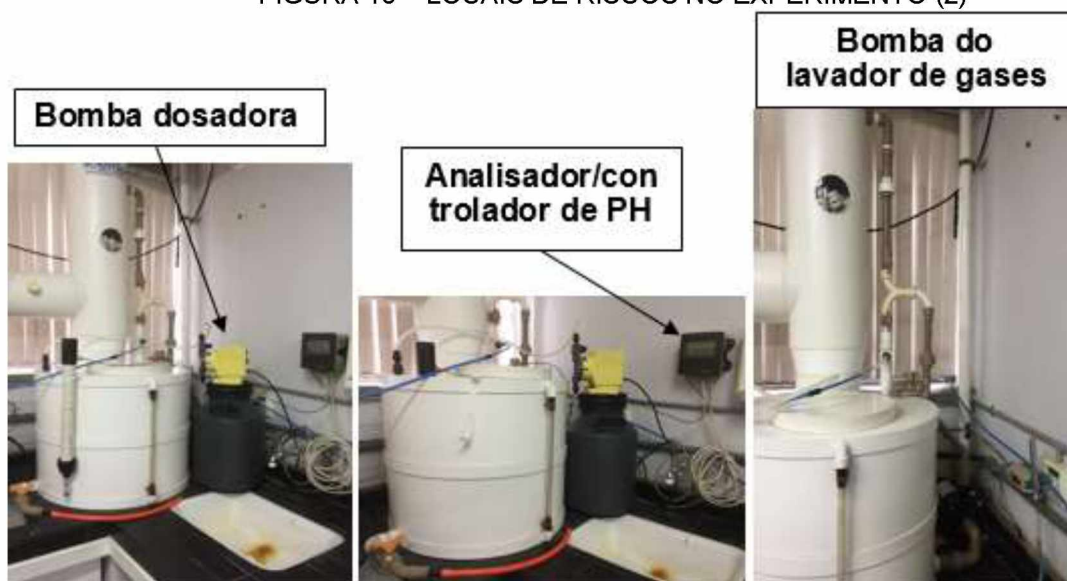
FIGURA 12 – LOCAIS DE RISCOS NO EXPERIMENTO (1)



FONTE: o autor (2017)

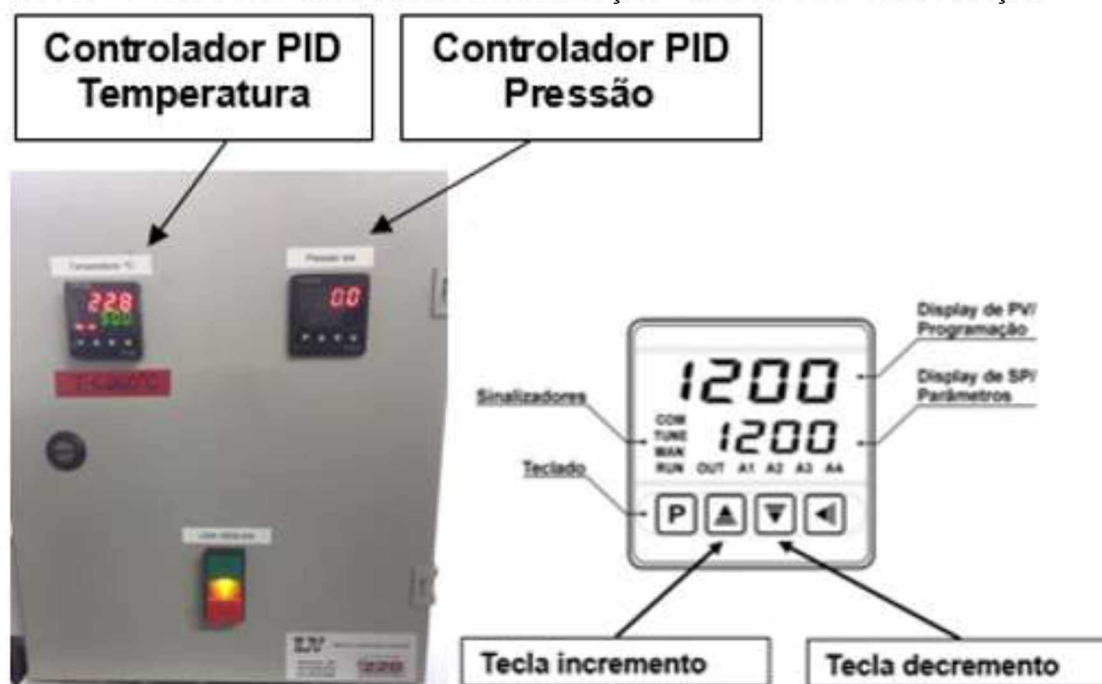
A existência de artefatos físicos e o arranjo físico dos equipamentos no laboratório colaboram com a operação do experimento. A existência do lavador de gases acoplado com a capela proporciona um maior controle de riscos ambientais provenientes de gases resultantes do experimento. Outras fontes de riscos físicos e ambientais podem ser ilustradas na Figura 13 a seguir, medidor de pH com sonda que é colocada no interior do tanque do lavador de gases, bomba dosadora da solução neutralizadora para injetar no tanque do lavador a quantidade necessária à neutralização do pH, e bomba de recirculação da solução do lavador de gases:

FIGURA 13 – LOCAIS DE RISCOS NO EXPERIMENTO (2)



FONTE: o autor (2017)

Com relação à qualidade no resultado do experimento existe um espaço de tempo, pois a única forma de saber se o experimento foi conduzido corretamente é após sua realização, quando se analisa o resultado. O resultado é comparado com resultados de experimentos anteriores e validado. Através da observação direta, das entrevistas com o condutor e analisando o experimento, pôde-se cruzar informações e identificou-se uma oportunidade de instalar um dispositivo *Poka-Yoke*. As grandezas temperatura e pressão são importantes para a qualidade dos resultados do experimento, e também, um parâmetro de risco relativo às degradações do eletrólito e materiais. Na aplicação utilizaram-se dois controladores PID de temperatura e pressão, como *Poka-Yoke* com o método de atuação por comparação. O controlador opera como mecanismo de detecção e comunica qualquer anomalia proveniente do controle das grandezas pressão e temperatura, garantindo a qualidade no resultado do experimento. O valor da temperatura e pressão são ajustados nos controladores, e os mesmos ligam ou desligam o aquecimento do eletrólito com uma variação de mais ou menos 1 °C. Os controladores possuem saída digital USB, onde se pode obter gráficos da atuação do controlador em função do tempo, e também, possuem saída para ligação de alarme sonoro. A Figura 14 a seguir, mostra o *Poka-Yoke* no painel elétrico com os controladores de temperatura e pressão.

FIGURA 14 – *POKA-YOKE*- MECANISMO DE DETECÇÃO - MÉTODO DE COMPARAÇÃO

FONTE: o autor (2017)

Outro ponto identificado no experimento que proporciona garantia na qualidade do resultado e também bloqueio de riscos físicos e ambientais é com relação ao controle dos gases que saem do reator. Nesse ponto o *Poka-Yoke* é o analisador de gases instalado na saída de gases do reator para fazer a leitura da porcentagem de oxigênio. O analisador de gases GasAlertMax XT II possui uma faixa de detecção para quatro tipos de gases: H₂S (0 até 200 ppm – incremento de 1 ppm); CO (0 até 1000 ppm – incremento de 1 ppm); oxigênio (0 até 30,0% de volume – incremento de 0,1% de volume); e gás combustível – LEL (Limite Inferior de Explosividade) (0 até 100% vol. – 0,1% de incremento de volume) ou para o metano de 0 até 5,0% V/V. O sensor de oxigênio é do tipo célula eletroquímica encaixável única e seu princípio de medição é sensor de concentração capilar controlado. No caso do experimento foi utilizado o analisador com sensor de oxigênio ajustado no aparelho para porcentagem de no máximo 8,0% vol. nos gases. O analisador trabalha como *Poka-Yoke* método de advertência, quando o nível de oxigênio chegar a 8,0% vol., dispara um alarme sonoro de 95 dBA de intensidade. Também atua como função reguladora, indicando que a porcentagem de oxigênio ou quantidade de H₂S (ppm) está acima do valor ajustado no aparelho detector. Dessa forma, permite a tomada de ação pelo condutor como ligar o lavador de gases e injetar nitrogênio na solução, eliminando risco físico, ambiental

e garantindo qualidade nos dados experimentais. A Figura 15 a seguir, ilustra o *Poka-Yoke* no analisador de gases.

FIGURA 15 – *POKA-YOKE*- FUNÇÃO REGULADORA - MÉTODO DE ADVERTÊNCIA



FONTE: o autor (2017)

5.4.3 Análises e Proposições

Do exposto, percebe-se que para que o experimento seja conduzido corretamente existem condições que devem ser observadas: riscos na condução do experimento, existe rotatividade das pessoas que executam o trabalho, essas pessoas não são laboratoristas, são acadêmicos, os parâmetros associados a variáveis críticas do processo, entre outros. É necessário ter uma ferramenta que possa agrupar princípios e métodos para quantificar riscos e estabelecer um nível seguro, e de confiabilidade para um controle preciso do experimento. A ferramenta origina-se de uma metodologia simples, onde sua execução garante o resultado correto. Cada etapa caracteriza um passo executado exato por vez, de forma que o resultado final seja alcançado em conformidade com o que foi previsto. Ela controla todas as variáveis envolvidas com o resultado, os riscos físicos e ambientais, e contribui para o sucesso da pesquisa científica.

5.4.4 Aplicação da Ferramenta

Conforme descrito no Capítulo 3, subseção 3.3, foram confeccionados os procedimentos operacionais para as etapas de preparação e execução do experimento. Nos Apêndices A1, A2, A3 e A4, *on line* anexos dessa tese, constam os respectivos procedimentos. Esses documentos foram elaborados e validados junto ao professor e

os alunos de pós-graduação que conduziram o experimento. Sua forma acompanha os procedimentos utilizados na indústria. Através da elaboração dos procedimentos os números de riscos associados com o experimento diminuíram.

De acordo com a subseção 3.4 foram aplicadas as técnicas de identificação e análise de riscos *HAZOP*, *PFMEA* e para o controle dos resultados os dispositivos *Poka-Yoke*, conforme descrito acima. As planilhas geradas com as técnicas estão nos apêndices B1 e B2 *on line* anexos dessa tese.

Como ferramenta de integração dos métodos utilizados e sendo uma ferramenta *mistake-proofing*, foi confeccionado o *checklist* para condução do experimento; conforme descrito na subseção 3.5. Como forma de simplificação o *checklist* foi incorporado ao procedimento geral de condução do experimento. A planilha com o *Checklist* consta no apêndice C1 *on line* anexo dessa tese. O *checklist* foi aplicado junto a um Engenheiro do grupo de pesquisa, aluno de pós-graduação para preenchimento durante a condução da experimentação. Ele foi preenchido conforme a data da condução do experimento, e na seção de histórico/observações do *checklist*, foram apontados alguns eventos que ocorreram no dia da sua execução.

Dentre as observações relatadas e apontadas pelo condutor:

1- Quando da preparação do experimento, como já havia passado determinado tempo do último experimento realizado, o condutor ficou com dúvida se havia solução ou não dentro do reator. Então, realizou a verificação e não havia;

2- Ele constatou a vazão de N₂ do cilindro, pois como já estava utilizando o mesmo cilindro de N₂ em outros experimentos passados, precisava saber se existia gás no cilindro;

3- O condutor certificou-se da operação de desaeração da solução. Pois, caso contrário, pode prejudicar o resultado do experimento;

4- Ele observou também, o funcionamento do software e do computador durante o experimento. O computador quando entra em modo de descanso, trava a execução do software ESA 410, tendo que reiniciar a aquisição de dados a partir de onde parou.

Após o preenchimento da folha do *checklist*, os dados marcados foram digitados, na planilha do algoritmo. Através da planilha e conforme o algoritmo de classificação dos riscos, pôde-se obter um nível global e outro por especificidade de risco. A planilha foi salva com a data da realização do experimento e nome do condutor. A planilha do algoritmo e *checklist* encontra-se no apêndice D1 *on line* anexo dessa tese.

Após a realização do experimento fez-se o tratamento dos dados coletados e foram obtidas as curvas de corrente e potencial para análise da corrosão. Em comparação com experimentos anteriores o resultado foi validado. A Tabela 14 a seguir, mostra o resultado da aplicação do *checklist* no experimento.

TABELA 14 – RESULTADO APLICAÇÃO DE CHECKLIST NO EXPERIMENTO

CHECKLIST CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO DE CORROSÃO NAFTÊNICA	SIM	NÃO	PFMEA			HAZOP			RISCO TOTAL	Risco Físico	Risco Ambiental	Risco Qualidade
			Item	Qualit.	1	Item	Qualit.	1	2	0	0	2
TAREFA												
COLOCAÇÃO DE ELETRÓLITO NA CONCENTRAÇÃO CORRETA DENTRO DO REATOR	SIM	NÃO										
1- Os reagentes (vaselina+ácido naftênico+ butanotiol) do eletrólito são do mesmo fabricante?	X		Não Aplicado		0	2a, 2b	M	1	1	0	0	0
1.1 Se SIM. Continuar checklist.	X		Não Aplicado		0	2a, 2b	M	1	1	0	0	0
1.2 Se NÃO. Registrar propriedades dos reagentes em planilha/ comparação dos resultados.		X	Não Aplicado		0	2a, 2b	M	1	1	0	0	0
2- A concentração da solução está conforme a necessidade do	X		4	N1	2	3a, 3b, 3c	M	1	3	0	0	0
2.1 Se SIM. Continuar checklist.	X		4	N1	2	3a, 3b, 3c	M	1	3	0	0	0
2.2 Se NÃO. Corrigir concentração.		X	4	N1	2	3a, 3b, 3c	M	1	3	0	0	0
3- Existe solução dentro do reator?		X	1	M	1	3a	M	1	2	0	0	2
3.1 Se SIM. Continuar checklist.	X		1	M	1	3a	M	1	2	0	0	0
3.2 Se NÃO. Colocar solução no reator.		X	1	M	1	3a	M	1	2	0	0	0
4- O volume de solução colocada dentro do reator é menor que 21?		X	2	N1	2	3b	M	1	0	0	0	0
4.1 Se SIM. Parar checklist. Medir volume.		X	2	N1	2	3b	M	1	0	0	0	0

FONTE: o autor (2017)

De posse da planilha do *checklist* preenchida e o resultado do experimento confirmado, observou-se que a aplicação da metodologia atingiu o objetivo para este experimento.

Pela própria característica do estudo de caso, realizado na condição real no laboratório, a aplicação da metodologia comprova as hipóteses levantadas no início do projeto.

Realizando a triangulação a partir das múltiplas fontes de evidência como: documentos, entrevistas, análise crítica do processo e operação do experimento, levantamento dos riscos físicos, ambientais e de qualidade de resultado; chegou-se a uma convergência que a ferramenta garantiu o resultado correto do experimento com mínimo ou quase nenhum risco físico e ambiental.

Em função da análise dos resultados obtidos pôde-se concluir que a ferramenta soluciona o problema de pesquisa garantindo confiabilidade ao experimento e minimizando os riscos físicos e ambientais para os usuários do laboratório de pesquisa com corrosão. Assim através do estudo de caso, foi possível testar a hipótese inicial da pesquisa de que a aplicação de ferramenta baseada nos princípios *Poka-Yoke* contri-

bui para redução dos riscos e aumenta a confiabilidade dos resultados de experimentos em projetos de pesquisa. Então, como conclusão, a ferramenta é promissora para experimentos em projeto de pesquisa de laboratórios de testes e ensaio com petróleo.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A ferramenta desenvolvida para a obtenção de um experimento confiável de baixo custo com redução de riscos físicos, ambientais e com qualidade de resultados experimentais, em laboratórios de pesquisa e ensaios com petróleo, utilizando princípios *Poka-Yoke* foi apresentada no Capítulo 3. Sua aplicação e validação através de um estudo de caso foi descrita no Capítulo 4 da presente tese. Nesta seção serão apresentados os resultados da pesquisa. Como descrito, a ferramenta é simples, didática e de fácil aplicação contemplando uma das premissas do contexto em estudo, os laboratórios acadêmicos. Ela foi desenvolvida em etapas envolvendo métodos, técnicas e conceitos relacionados com gerenciamento de riscos, que foram integrados e originaram, planilhas e arquivos. Como resultado final chegou-se à planilha eletrônica *checklist*, que estabelece os níveis quantitativos de riscos para o experimento.

6.1 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

No caso do experimento usado pelo grupo na pesquisa não haviam procedimentos operacionais. As informações para condução vinham das explicações do professor e da competência do condutor. Então, para contribuir com o grupo de pesquisa e facilitar a condução do experimento, foram elaborados os padrões, a padronização organiza o trabalho. Os procedimentos foram confeccionados nos moldes dos utilizados na indústria. Eles expressam a sequência de realização da operação que apresentam o mesmo resultado, sem especificar detalhes de movimentos. Os procedimentos relacionados com o experimento estão descritos nas Folhas de Processo e Operação (FPO) a seguir, e se encontram nos apêndices A1, A2, A3 e A4, *on line* anexos dessa tese:

- A - FPO 01/17 - Preparação, colocação e retirada da solução no reator, apêndice A1;
- B - FPO 02/17 - Verificação do alinhamento da vazão da rede de nitrogênio para o reator, apêndice A2;
- C - FPO 03/17 - Preparação dos eletrodos para o experimento, apêndice A3;
- D - FPO 04/17 – Condução do experimento, apêndice A4.

O procedimento FPO 04/17 de condução do experimento engloba os outros três para sua realização.

6.2 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS

Os métodos utilizados para identificação e análise dos riscos relacionados com o experimento, foram o *HAZOP* e o *PFMEA*. Métodos muito utilizados na indústria e com características que atendem os requisitos do experimento. Cada um possui sua respectiva planilha para registro.

6.2.1 *HAZOP - Hazards and Operability Study*

Como resultado da aplicação do *HAZOP* foi confeccionada a planilha de seguimento e registro das ações realizadas. Ela é um registro do método, que contempla as causas possíveis, consequências, modos de detecção dos riscos, nos respectivos nós do circuito do experimento. O *HAZOP* foi conduzido pela equipe do GEA com responsabilidade sobre o processo a ser estudado. Com esse método pode-se mapear no circuito do experimento os locais críticos com relação aos riscos físicos e ambientais, sendo que, como o método é aplicado em instalações, o risco ambiental foi caracterizado. No apêndice B1 *on line* anexo dessa tese está ilustrado a planilha *HAZOP* do sistema para o experimento de análise de corrosão naftênica utilizando o reator eletroquímico.

6.2.2 *PFMEA – Process Failure Mode and Effect Analysis*

O resultado do segundo método de análise de riscos utilizado, *PFMEA*, também gerou o documento *PFMEA*. Essa planilha registra e identifica os modos de falha, seus efeitos, causas e detecção existente, proveniente da divisão do experimento em funções. Também foi conduzida pela equipe do GEA com responsabilidade sobre o processo. A utilização do *PFMEA* proporcionou a identificação e análise dos riscos, sendo categorizados os riscos físicos. O apêndice B2 *on line* anexo dessa mostra a planilha utilizada na execução do *PFMEA* para o experimento de corrosão naftênica o qual utiliza o reator eletroquímico.

Os dois métodos utilizados são abrangentes com relação à análise e avaliações dos riscos, sua utilização é vasta em vários setores, como em indústrias de processamento contínuo, gerenciamento de projetos, engenharia de software, entre outras. Cada um deles, por si só, proporcionam, em função de suas próprias características e aplicações, garantias no processo de gestão dos riscos. Foi utilizado também o *Poka-Yoke* para eliminar os riscos relativos à qualidade do experimento. O emprego desses métodos e a sequência como foram utilizados formam um processo *mistake-proofing*. Nesse processo, existe a garantia de que o que foi planejado aconteça de forma simples e correta.

6.3 O CHECKLIST- LISTA DE VERIFICAÇÃO

Outro resultado da pesquisa, foi a confecção da lista de verificação (*checklist*). Para acelerar e controlar o experimento o *checklist* foi montado junto com o procedimento de condução do experimento. Esse procedimento engloba todas as tarefas para execução do experimento, e o *checklist* controla toda a sequência, etapa por etapa na condução do experimento. Junto com sequência de execução do *checklist*, se faz também a execução do procedimento. O registro do *checklist* contempla as etapas do procedimento FPO 04/17 de condução do experimento, e é usado a mesma planilha. Nessa planilha eletrônica é que se faz o preenchimento e o controle da execução. Ela está contemplada no apêndice C1 *on line* anexo dessa tese.

A ferramenta *checklist* faz a integração dos métodos *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke* para controlar a dinâmica do experimento. Ela também exerce a função de *mistake-proofing*, evitando erros humanos, pois incorpora a função de controle.

6.4 PLANILHAS ELETRÔNICAS – ALGORITMO

Como resultado final da pesquisa obteve-se a elaboração em forma de associação de planilhas de um algoritmo para quantificação do nível de risco, em função do preenchimento correto do *checklist*. O algoritmo funciona com três padrões qualitativos de riscos que passarão a ser quantitativos: no caso de o risco ser tolerável (verde), o algoritmo interpreta como 0, se o risco for moderado (amarelo), o algoritmo interpreta como 1, e se no caso o risco for não tolerável (vermelho), o algoritmo interpreta como 2. Quando ocorrerem associações de riscos tem-se: $0+1=1$ moderado;

1+1=2 não tolerável, e 2 por si só já é não tolerável. Além disso, a planilha do algoritmo, também faz a quantificação por especificidade do risco, se risco físico, risco ambiental ou risco de qualidade do experimento, obedecendo uma planilha de categorização dos riscos. O arquivo tem associação com as planilhas do *HAZOP* e *PFMEA*, com links que ao preencher um item, se clicar no link desse item ele puxa o item do *HAZOP* e do *PFMEA* associado. Ao final do preenchimento pode-se chegar a um índice global do risco do experimento e um índice por especificidade de risco, seja ele de qualidade, ambiental ou físico.

De posse de uma classificação quantitativa de riscos pode-se comparar ou limitar a quantidade possível e aceitável de riscos durante a condução e parar o experimento caso chegue a um valor que afete a segurança física, ambiental ou o resultado dos dados coletados no experimento. O apêndice D1 *on line* anexo dessa tese, ilustra a planilha do algoritmo e controle do preenchimento do *checklist*.

A Tabela 15 a seguir, mostra um exemplo da planilha do *checklist* com suas características e níveis de risco.

TABELA 15 – EXEMPLO APLICAÇÃO DA PLANILHA DE *CHECKLIST* NO EXPERIMENTO

CHECKLIST CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO DE CORROSÃO NAFTÊNICA		PFMEA			HAZOP			RISCO TOTAL	Risco Físico	Risco Ambiental	Risco Qualidade
TAREFA		Item	Qualit.	5	Item	Qualit.	6	11	11	11	11
ENTRADA DE NITROGÊNIO NO REATOR		SIM	NÃO	ITEM PFMEA		ITEM HAZOP		0	0	0	0
13- Abrir a válvula de saída do cilindro de N2 etapa 1 FPO 02/17.	X	5	N	1	4a	NP	2	3	3	3	3
14- A pressão no manômetro 1 da válvula reguladora é 5 bar? Etapa FPO 02/17?	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	4	4	4
14.1 Se SIM. Continuar check-list.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2 Se NÃO. Existe cilindro de reserva cheio?	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2a Se SIM. OK. Continuar check-list.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
14.2b Se NÃO. PARAR O EXPERIMENTO!! Avisar o Professor.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
15- Ajustar a válvula reguladora de pressão para 2bar no manômetro 2 FPO 02/17.	X	5,6	NT	2	4a, 4b, 5a	NT	2	4	0	0	0
16- Verificar vazamento na linha de N2 desde a casa de gases até a sala do LTA.	X	5,6,7	NT	2	4a, 4b, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0
17- Abrir a válvula do rotâmetro.	X	5,6,7,8	NP	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NP	2	4	4	4	4
17.1 A esfera do rotâmetro moveu-se para cima?	X	5,6,7,8	NT	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0
17.1a Se SIM. Continuar check-list.	X	5,6,7,8	NT	2	4a, 4b, 4c, 5a, 5b	NT	2	4	0	0	0

FONTE: o autor (2017)

6.5 DISCUSSÃO E SÍNTESE

As técnicas modernas de gestão de riscos estão evoluindo para uma gestão dos riscos dinâmica (monitoramentos on-line dos riscos) e simulações. Alguns sistemas sócio-técnicos complexos e perigosos não admitem um tempo para fazer a gestão do risco, a tomada de ação tem que ser rápida e precisa. A ferramenta, pela sua

característica construtiva, de baixo custo, de fácil aprendizado contribui para uma gestão dos riscos segura e com qualidade de resultados na pesquisa. Com relação aos laboratórios acadêmicos de pesquisa, ensaios e testes com petróleo, onde se tem manipulação de produtos perigosos e mudança frequente de alunos, a ferramenta controla os riscos garante confiabilidade às linhas de pesquisas. Existe a necessidade de atuar nesses locais com o objetivo de minimizar acidentes e proporcionar um ambiente de trabalho seguro. O número de acidentes registrados nesses locais é elevado, com perdas de vidas e danos ao patrimônio, tanto no exterior como aqui no Brasil.

Nos Estados Unidos e Europa existe uma maior preocupação com segurança em laboratórios universitários de pesquisa, razão pela qual, após a ocorrência de acidentes com perdas de vida, muitas abordagens surgiram para mitigar e eliminar essas possibilidades. Agências regulamentadoras do governo passaram a fiscalizar e aplicar medidas para aumento da segurança nesses locais, houve a inclusão de disciplinas sobre gerenciamento de segurança na grade curricular dos Cursos de Engenharias e outros que utilizam laboratórios para seu desenvolvimento. A literatura contempla várias abordagens para esse fim, porém cada uma com suas características específicas e grau de complexidade de acordo com o procedimento executado no laboratório ou textos de normas de segurança como os da OHSAS 18001. Essas abordagens, exigem que o aluno conheça temas relacionados com a segurança para aplicação.

No Brasil, infelizmente não se dá a devida atenção ao tema. Primeiro, porque não se divulgam a ocorrência de acidentes em laboratórios acadêmicos. Registros no Ministério do Trabalho de acidentes de trabalho relacionados no CNAE (Classe Nacional de Atividade Econômica) com a pesquisa são altos. A grande maioria dos laboratórios universitários possuem somente protocolos de segurança indicando locais de equipamentos de segurança, como extintores, lava-olhos, locais perigosos e uso de EPIs. Entretanto, alunos não seguem esses protocolos e muitas vezes nunca estiveram dentro desses ambientes na vida. Existe uma carência nesses ambientes acadêmicos de abordagens de gerenciamento de segurança. A contribuição dessa tese é fornecer uma ferramenta prática, simples, intuitiva e acessível para um desempenho seguro e eficaz de pesquisas em laboratórios.

7 CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O PROBLEMA, OBJETIVO E HIPÓTESE

Esta tese buscou responder à pergunta de pesquisa: “Como desenvolver uma ferramenta para se obter um experimento confiável de laboratório de baixo custo sem riscos físicos e ambientais baseada em princípios *Poka-Yoke*?”.

O objetivo principal da tese examinou o desenvolvimento de uma ferramenta para obter um experimento confiável de baixo custo com redução de riscos físicos, ambientais e de qualidade de resultados experimentais, em laboratórios de pesquisa e ensaios utilizando princípios *Poka-Yoke*. A abordagem metodológica utilizada para a confecção da ferramenta de gestão integrada foi a identificação e integração de princípios, conceitos, métodos e ferramentas da gestão de riscos e de *mistake-proofing* oriundos da Produção Enxuta, Qualidade Total e Engenharia da Confiabilidade. Isto proporcionou segurança e qualidade nos laboratórios de pesquisa e ensino, devido a ferramenta de gestão integrada quantificar os riscos envolvidos, gerando uma métrica, base para a tomada de decisão. Ela foi aplicada e validada através de um estudo de caso desenvolvido no laboratório de pesquisa do LESC da UFPR, para análise de corrosão naftênica.

Entende-se que, a base conceitual apresentada associada ao protocolo de coletas de dados apresentado no Capítulo 3, permitem um diagnóstico adequado dos experimentos nos laboratórios, quanto à eficiência da ferramenta para garantir segurança e qualidade para as linhas de pesquisa.

Como hipóteses tem-se que, a ferramenta, devido à integração das técnicas *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke*, poderá contribuir para redução de riscos físicos, ambientais e aumentar a confiabilidade do resultado do experimento. Também, que os resultados poderão ser quantificados através da ferramenta de gestão integrada (planilhas e algoritmo), considerando questões físicas, ambientais e de qualidade de resultado, para classificação e valoração dos graus de riscos e confiabilidade de dados. E, que a avaliação da metodologia seguiria um estudo de caso em experimento de análise de corrosão naftênica no laboratório de pesquisa.

Estas hipóteses foram confirmadas, visto que a ferramenta, abrange aspectos relacionados com a eficiência dos dados do experimento, mitigação dos riscos físicos

e ambientais, facilidade de compreensão para o condutor e uma sequência de implantação lógica garantindo um processo controlado e resultados na pesquisa científica.

7.2 CONCLUSÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA

A escolha do Estudo de Caso como estratégia de pesquisa, se mostrou acertada, uma vez que cada experimento apresenta peculiaridades e enfoques conforme a linha pesquisa, sendo necessária, observação e análise sobre os riscos impactados e confiabilidade de dados, permitindo uma visão global da ferramenta. A formatação de formulários para coleta de evidências, levantamento de riscos e falhas, mapeamento do processo do experimento e sua operação, auxiliaram a verificação de itens importantes, na análise da eficiência da ferramenta no laboratório.

O Estudo de Caso efetuado contribuiu para o teste das etapas da ferramenta promovendo uma aplicação prática em um caso real. Com a triangulação de informações captadas, foi possível simular quantidades de riscos, análise e sequência da ferramenta. Ele comprovou a eficácia da ferramenta, através da integração das técnicas *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke*, para o experimento em questão garantindo sua segurança e qualidade de operação. O Estudo de Caso também serviu como validação externa da ferramenta de gestão integrada, uma vez que, com a aplicação da abordagem metodológica da mesma, os objetivos propostos no início da tese foram comprovados.

7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente projeto de pesquisa apresenta como contribuição, proporcionar uma discussão de como a integração de métodos, conceito e técnicas podem colaborar para diminuir os riscos físicos, ambientais e garantir resultados confiáveis em experimentos de laboratórios de pesquisa, principalmente nos acadêmicos.

A ferramenta de gestão integrada desenvolvida nessa tese, sendo proveniente da integração das técnicas *HAZOP*, *PFMEA* e *Poka-Yoke*, não se limita a apenas laboratórios de pesquisa acadêmicos. Ela pode ser aplicada também em laboratórios de pesquisa, desenvolvimento e inovação certificados pelas normas vigentes. Como ela é fundamentada em padrões operacionais, controle do erro humano, métodos lógicos e sistemáticos para gestão de riscos e melhoria da qualidade; pode ser inserida

em Sistemas de Gestão de Riscos e de Gestão da Qualidade de Laboratórios. A ferramenta é de fácil aprendizado, utilização e objetiva, ampliar garantias de segurança física e ambiental para todas as pessoas que utilizam esses ambientes, bem como a confiabilidade nos resultados dos experimentos.

A abordagem metodológica da ferramenta proporciona uma aplicação sistemática de controles, onde o critério associado ao risco na etapa de execução do experimento (preenchimento do *checklist*) é controlada pelo próprio processo. Isto, comprova se a sequência na execução vai alcançar o resultado proposto. A planilha *checklist* do algoritmo contempla níveis de risco para os experimentos. Esses níveis devem ser estipulados conforme o tipo da pesquisa, as consequências envolvidas e formas de detecção encontradas no laboratório. Sabe-se que os laboratórios possuem suas próprias formas de controlar os riscos, como mapas de riscos por ambientes, protocolos de segurança, controle do uso de EPIs, mas não se tem um pleno controle específico dos riscos associados com condução de experimentos. A gestão dos riscos é apoiada em normas de segurança abrangentes, que as vezes não contemplam todas as condições em que o experimento está envolvido.

O contexto da pesquisa científica depende de vários fatores que interagem entre si para se atingir o resultado. As pesquisas são únicas, inovadoras e para a existência de uma investigação científica correta, há a necessidade de confiabilidade dos controles dos riscos inerentes dos experimentos e dos resultados, para seu avanço. É fato que, os riscos aumentam com o desenvolvimento das pesquisas, então, existe a necessidade de se ter ferramentas fáceis de aplicar e rápidas na ação da gestão do risco e qualidade de resultados, principalmente em ambientes onde se tem rotatividade de pessoas e poucos recursos para a pesquisa.

O desenvolvimento da ferramenta de gestão integrada não apresentou custo, uma vez que a mesma, utiliza *softwares* disponíveis em qualquer computador. Ela é simples, e compõe um sistema amigável de caráter inovativo, onde se pode utilizar as técnicas desenvolvidas para se chegar ao correto resultado do experimento.

A ferramenta desenvolvida de gestão integrada atua como facilitadora do processo de identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos no contexto da pesquisa científica. Ela pode se mostrar promissora para aplicações rápidas e precisas, e ajudar pesquisadores iniciantes a trabalhar com segurança e qualidade.

7.4 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros a utilização da ferramenta em outros tipos de experimentos de laboratório, de outras linhas de pesquisa, com outro enfoque e riscos associados. Expansão da abrangência da ferramenta, não só laboratórios acadêmicos, mas também, laboratórios da iniciativa privada.

A execução de novos tipos de integrações entre métodos, conceitos, técnicas abrangendo outras áreas de conhecimento, como por exemplo, Cognição, Ergonomia, Confiabilidade Humana, Engenharia de Software, formam um amplo campo de estudos para aplicação em laboratórios.

Desenvolvimento de um aplicativo para telefone celular com a ferramenta incorporada para uso em laboratórios.

REFERÊNCIAS

- ABADI, G. A.; BADIA, H. A.; HASSAN, R. E. Corrosion Management Methods of High TAN Crude Case study: (Fula Crude Oil-Sudan). **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271839426_Corrosion_Management_Methods_of_High_TAN_Crude_Case_study_Fula_Crude_Oil-Sudan>. Acesso em: 22 jul. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO Guia 73: Gestão de riscos – vocabulário – elaboração** Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31.000 – Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes**. Rio de Janeiro: 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 31.010 – Gestão de Riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro: 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração**. Rio de Janeiro: 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB- 025 – Comitê Brasileiro de Qualidade – Rio de Janeiro: 2017**.
- ABOLHASSANI, A.; LAYFIELD, K.; GOPALAKRISHNAN, B. Lean and US manufacturing industry: popularity of practices and implementation barriers. **International Journal of Productivity and Performance Management**. Vol 65, nº7, p 875-897. 2016. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/IJPPM-10-2014-0157>>. Acesso em: 13 out 2017.
- ABRANTES, A.C.T.G. **Reavaliação de Parâmetros de Controle da Corrosão por Ácidos Naftênicos Através de Ruído Eletroquímico**. 2015. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/pipe/teses-de-doutorado>>. Acesso em 22 nov. 2015.
- ACHANGA, P.; SHEHAB, E.; ROY, R.; NELDER, G. Critical success factors for lean implementation within SMEs. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Vol.17, issue 4, p 460-471. Disponível em:<<http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/17410380610662889>>. Acesso em: 21 nov 2017.
- AL-MAZEEDI, H. A. A; COTTIS, R. A. A practical evaluation of electrochemical noise parameters as indicators of corrosion type. **Electrochimica Acta**, n. 49, p. 2787–2793, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468604002464>>. Acesso em 15 nov 2015.

ALVISI, P. P.; LINS, V. F. C. An overview of naphthenic acid corrosion in a vacuum distillation plant. **Engineering Failure Analysis**, n. 18, p. 1403–1406. Elsevier. 2011.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY- ACS. **Identifying and Evaluation Hazards in Research Laboratories**. Guidelines developed by the Hazard Identification and Evaluation Task Force of the American Chemical Society's Committee on Chemical Safety. ACS. 2015. Disponível em :< <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/identifying-and-evaluating-hazards-in-research-laboratories.pdf>>. Acesso em 10 dez 2017.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API) **ANSI/API STANDARD 780 1st Ed - Security Risk Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries – Washington DC**. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D664-17a: Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration**. West Conshohocken, PA, 2017.

ANTONELLI, D.; STADNICKA, D. Classification and efficiency estimation of mistake-proofing solutions by Fuzzy Inference. **International Federation of Automatic Control IFAC- Papers OnLine**. Vol 49, issue 12, p 1134-1139. 2016. Disponível em:< https://ac.els-cdn.com/S2405896316309247/1-s2.0-S2405896316309247-main.pdf?_tid=60fe1250-f8b1-11e7-bd75-00000aab0f27&acdnat=1515882818_1555e489d15b64903e39d7d86548fd4c>. Acesso em: 02 dez 2017.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIO-COMBUSTÍVEIS. ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis: Rio de Janeiro. 2016. Disponível em:< http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf>. Acesso em: 22 dez 2017.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. Ministério da Fazenda, Secretaria de Previdência, Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência. Vol 24. Seção IV, p 554. 2015. Brasília MF/DATAPREV. Disponível em: < <http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2015/08/AEPS-2015-FINAL.pdf>>. Acesso em 03 ago 2017.

APLU COUNCIL ON RESEARCH TASK FORCE ON LABORATORY SAFETY. **A Guide to Implementing Safety Culture in our Universities**. Association of Public e Land-Grant Universities. Washington DC. 2016. Disponível em:< <http://www.aplu.org/projects-and-initiatives/research-science-and-technology/task-force-laboratory-safety/index.html>>. Acesso em 11 jan 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para competências de laboratórios de ensaio e calibração – Rio de Janeiro, 2005**.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**. Vol. 253, p 1- 13.

2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715011479>>. Acesso em 03 dez 2017.

BABAIAN-KIBALA, E. Naphthenic acid corrosion literature survey. In: **Corrosion/99, Santo Antonio, Texas. Paper n. 378**. National Association of Corrosion Engineers (NACE). 1999. Disponível em: < <https://www.onepetro.org/conferences/NACE/CORR99>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

BANDUKA, N.; VEZA, I.; BILIC, B. An integrate lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): a case study from automotive industry. **Advances in Production Engineering & Management**. Vol 11, issue 4, p 355-365. 2016. Disponível em: < <https://search.proquest.com/openview/fba2980b795ad01e073ff0b830dde79b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1466335>>. Acesso em: 11 dez 2017.

BBC NEWS. **School lab explosion injures Wiltshire teenager**. Wiltshire. 2012. Disponível em: < <http://www.bbc.com/news/uk-england-wiltshire-20773740>>. Acesso em: 09 nov 2017.

BEHÚN, M.; KLEINOVÁ, J.; KAMARYT, T. Risk Assessment of Non-Repetitive Production Processes. **Procedia Engineering**. Vol. 69, p 1281-1285. 2014. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581400366X>>. Acesso em: 05 dez 2017.

BELL, E; DAVISON, J. Visual management studies: empirical and theoretical approaches. **International Journal of Management Reviews**. Vol.15, issue 2, p 167-184. 2013. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-2370.2012.00342.x/pdf>>. Acesso em: 21 nov 2017.

BENDERLY, B. L. Taken for Granted: The Burning Question of Laboratory Safety. **Science Magazine. American Association for the Advancement of Science**. 2009. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/careers/2009/05/burning-question-laboratory-safety>. Acesso em: 10 jul 2017.

BHAMU, J.; SANGWAN, S. K. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol 34, nº7, p 876-940. 2014. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>>. Acesso em 12 out 2017.

BILALIS, N.; SCROUBELOS, G.; ANTONIADIS, A.; EMIRIDIS, D.; KOULOURIOTIS, D. Visual factory: basic principles and the 'zoning' approach. **International Journal Of Production Research**. Vol.40, issue 15, p 3575 – 3580. 2002. Disponível em: < <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207540210140031?needAccess=true>>. Acesso em 21 nov 2017.

BLUVBAND, Z.; GRABOV, P.; NAKAR, O. Expanded FMEA (EFMEA). **Reliability and Maintainability. 2004 Annual Symposium – RAMS**, 26 a 29 Jan, p 31-36. Los Angeles CA. 2004. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/1285419/>>. Acesso em: 10 dez 2017.

BOURNE, E. L.; YAROUSH, A. R. Stress and cognition: a cognitive psychological perspective. **NASA Center for Aerospace Information. NASA/CR – 2003- 212282.** 2003. Disponível em: < <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20040034070.pdf>>. Acesso em: 19 nov 2017.

CALIL, P. F. L. **Metodologia para Gerenciamento de Risco: Foco Na Segurança e Na Continuidade.** 231f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. 2009.

CARDOZO, C.L. **Petróleo do Poço ao Posto.** 1ªEd. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2005.

CARLSON. S. C. **Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis.** John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012.

CARVALHO, M. P. S. V. C. F. **Avaliação de Risco: Estudo comparativo entre diferentes métodos de Avaliação de Risco, em situação real de trabalho.** 167f. Dissertação (Mestrado na Especialidade Ergonomia da Segurança do Trabalho) – Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2007. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Filipa_Carvalho8/publication/269696691_Estudo_comparativo_entre_diferentes_metodos_de_avaliacao_de_risco_em_situacao_real_de_trabalho/links/5492c1dc0cf225673b3e097a/Estudo-comparativo-entre-diferentes-metodos-de-avaliacao-de-risco-em-situacao-real-de-trabalho.pdf>. Acesso em: 17 abr 2017.

CDC. **CDC Laboratory Incident: Timeline of major events.** Centers for Disease Control and Prevention. Newsroom. 11 jul 2014. US departamento of Health and Human Service. USA Government. 2014 < <https://www.cdc.gov/media/releases/2014/p0711-lab-safety-infographic.html>>. Acesso em: 08 ago 2017.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY CCPS, **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis.** Centre for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2nd Ed. New York, 2000.

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Norma Técnica P4.261 **Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência.** 2ªEd. Dez/2011. São Paulo. Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4261-revisada.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2017.

CHANNEL FOUR TELEVISION CORPORATION. **Yale student dies in laboratory accident.** New Haven. Connecticut. 2011. Disponível em: < <https://www.channel4.com/news/yale-student-dies-in-laboratory-accident>>. Acesso em: 01 nov 2017.

CHEMICAL INDUSTRY ASSOCIATION. **Hazard and operability studies.** London: IChem. E. UK. 1977.

CIA, Chemical Industries Association. **A Guide to Hazard and Operability Studies** Ed. Chemical Industry Safety and Health Council of the Chemical Industries Association. 1992.

COLLEDANI, M; TOLIO, T. Joint design of quality and production control in manufacturing systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**. Vol.4, p 281-289. 2011. Disponível em: < https://ac.els-cdn.com/S1755581711000599/1-s2.0-S1755581711000599-main.pdf?_tid=e08bc82e-da83-11e7-82d5-00000aacb360&acdnat=1512564740_9c0fef8be5faef159d7eb74e9eba82dd>. Acesso em: 20 jun 2017.

CONSELHO DE INVESTIGAÇÃO DE PERIGOS E SEGURANÇA QUÍMICA. *US CHEMICAL SAFETY BOARD*, 2007. Investigation report on BP Texas City Refinery Explosion and Fire. CSB Report N° 2005-04-I-TX. Março 2007. Disponível em:< <http://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>>. Acesso em: 20 ago 2017.

CONSELHO DE INVESTIGAÇÃO DE PERIGOS E SEGURANÇA QUÍMICA. *US CHEMICAL SAFETY BOARD*, 2011. Investigation report on Texas Tech University Laboratory Explosion. CSB Report N° 2010-05-I-TX. Outubro 2011. Disponível em:< <http://www.csb.gov/texas-tech-university-chemistry-lab-explosion/>>. Acesso em: 20 ago 2017.

CONSELHO DE INVESTIGAÇÃO DE PERIGOS E SEGURANÇA QUÍMICA. *US CHEMICAL SAFETY BOARD*, 2014. Investigation report on Tesoro Anacordes Refinery incident – catastrophic rupture of heat exchanger. CSB Report N° 2010-08-I-WA. Maio 2014. Disponível em:< <http://www.csb.gov/tesoro-refinery-fatal-explosion-and-fire/>>. Acesso em: 20 ago 2017.

CONSUL, T. J. Aplicação de Poka-Yoke em Processos de Caldeiraria. **Production**. Vol.25, nº3. 2015. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Porto Alegre, Brasil. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/prod/2015nahead/0103-6513-prod-084012.pdf>>. Acesso em: 23 nov 2017.

COTTIS, A. R. Interpretation of Electrochemical Noise Data. **Corrosion**. Vol. 57, nº 3, p 265-285. 2001. Disponível em: < <http://www.corrosionjournal.org/doi/pdf/10.5006/1.3290350>>. Acesso em: 20 nov 2015.

COTTIS, R. A. An evaluation of electrochemical noise for the estimation of corrosion rate and type. **Corrosion 2006**, NACE ID 06432. NACE. 2006. Disponível em: < <https://www.onepetro.org/conference-paper/NACE-06432>>. Acesso em: 06 nov 2015.

COX, M.W. A Strategic Approach to Corrosion Monitoring and Corrosion Management. 1st International Conference on Structural Integrity ICONS-2014. **Procedia Engineering**, Vol 86, p 567-575. 2014. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814020414>>. Acesso em: 13 ago 2017.

CRAWLEY, F.; TYLER, B. **Hazard identification methods**. Rugby, UK: The Institution of Chemical Engineers. 2003.

CRAWLEY, F.; TYLER, B. **HAZOP: Guide to Best Practices Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries**. Amsterdam: Elsevier, 2015. 3th

Edition. Ebook. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323394604000013>>. Acesso em: 20 out 2017.

CROWL, A. D.; LOUVAR, F. J. **Chemical Process Safety: Fundamentals With Application**. Prentice Hall. 3rd ed. Pearson Education, Inc. USA. 2011.

CRUZ, B.H.C. **A Universidade, a empresa e a pesquisa que o país precisa**. Parcerias Estratégicas. Política e Organização da Inovação Tecnológica. Centro de Estudos Estratégicos. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). 2000. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/101/94>. Acesso em: 04 jun 2016.

DEPARTMENT OF DEFENSE. MIL-STD-882C **Military Standard. System Safety Program Requirements**. 1993.

DRESCH, A.; LACERDA, P. D.; ANTUNES JUNIOR, V. A. J. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman. 2015.

EDWARDS, D.; FOSTER, J.; LINWOOD, D.; MCBRIDE-WRIGHT, M.; RUSSELL, P. Inherent Safety: it's common sense, now for common practice! **IChemE. Advancing Chemical Engineering Worldwide. Safety & Loss Prevention. Hazards**. Vol 25, p 01-14. 2015. Disponível em: <<http://www.icheme.org/communities/special-interest-groups/safety%20and%20loss%20prevention/resources/hazards%20archive/hazards%2025.aspx>>. Acesso em: 11 jul 2017.

ECKELAERT, L.; STARREN, A.; VAN SCHEPPINGEN, A.; FOX, D.; BRÜCK, C.; AALTONEN, M. Occupational Safety and Health Culture Assessment – a Review of Main Approaches and Selected Tools. **European Agency for Safety and Health at Work**. 2011. Disponível em: <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/culture_assessment_soar_TEWE11005ENN>. Acesso em: 12 jul 2017.

EIGHMY, T. Laboratory Safety APLU Guidelines and Toolkit. In: Safety by Design. WORKSHOP ON IMPROVING SAFETY IN RESEARCH LABORATORIES, 10., 2016, **Presentation**. National Institutes of Health. Bethesda, Maryland. 2016. Disponível em: <<https://cls.ucla.edu/images/pictures/Workshop/Taylor%20Eighmy.pdf>>. Acesso em: 09 jan 2018.

EUROPÉIA, C. **Guia para Avaliação de Riscos no Local de Trabalho**. Bruxelas – Luxemburgo. Serviço de Publicações Oficiais da Comunidade Européia. 1997.

FAIELLA, F. G.; PARAND, A.; FRANKLIN, D. B.; CHANA, P.; CESARELLI, M.; STANTON, A. N.; SEVDALIS, N. Expanding healthcare failure mode and effect analysis: a composite proactive risk analysis approach. **Reliability Engineering & System Safety**. Vol. 169, p 117-126. 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183201630744X?via%3Dihub>>. Acesso em: 05 dez 2018.

FULLER, D. C.; SURUDA, A.J. Occupationally Related Hydrogen Sulfide Deaths in the United States From 1984 to 1994. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**. Vol 42, issue 9, p 939-942. 2000. Disponível em: < https://journals.lww.com/joem/Abstract/2000/09000/Occupationally_Related_Hydrogen_Sulfide_Deaths_in.19.aspx>. Acesso em: 10 jun 2018.

GADD, S.; DEBORAH, K.; BALMFORTH, H. Good practice and pitfalls in risk assessment. **Health and Safety Laboratory**. Research Report 151. Broad Lane Sheffield. UK. Health and Safety Executive HSE. 2003.

GALSWORTH, D. G. **Visual Systems: Harnessing the Power of Visual Workplace**. AMACOM. American Management Association. New York. NY. 1997.

GAWANDE, A. The checklist: reporting and essays. **Annals of Medicine. The New Yorker**. 2007 p 86-101. Disponível em: < <https://www.newyorker.com/magazine/2007/12/10/the-checklist>>. Acesso em: 04 nov 2017.

GIBSON, H. J.; SCHRÖDER, I.; WAYNE, L. N. A research university's rapid response to a fatal chemistry accident: Safety changes and outcomes. **Journal of Chemical Health & Safety**. Vol. 21, p 18 - 26. 2014. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553214000048>>. Acesso em: 05 jul 2017.

GIL, C. A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ªEd. São Paulo: Atlas. 2008.

GLASS, R.; SEIFERMANN, S.; METTERNICH, J. The Spread of Lean Production in the Assembly, Process and Machining Industry. **5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production**. Procedia CIRP 55 p 278-283. 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116309106>>. Acesso em 03 out 2017.

GOODSON, E. R. **Read a plant-fast**. Harvard Business Review. Vol. 80 issue 5, p 105-113. 2002. Disponível em: < <http://management.unk.edu/mgt314/Read%20a%20Plant%20-%20fast,%20Harvard%20Business%20Review.pdf>>. Acesso em: 20 nov 2017.

GREIFF, M. **The Visual Factory: Building Participation through Shared Information**. Productivity Press. Portland, Oregon. 1991.

GRIFFITH, D. C.; MAHADEVAN, S. Inclusion of fatigue effects in human reliability analysis. **Reliability Engineering and System Safety**. Vol.96, issue 11, p 1437-1447. 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832011001244>>. Acesso em 29 nov 2017.

GROUT, R. J. Mistake-Proofing Production. **Production and Inventory Management Journal**. Vol. 38, issue 3, p 33-37. 1997. Disponível em: < <https://search.proquest.com/openview/91942729c5cb5be01670eab0fa0eadc9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36911>>. Acesso em: 27 nov 2017.

GROUT, R.J. Mistake-proofing: changing designs to reduce error. **BMJ Quality & Safety Health Care**. Vol. 15, issue1, p 44-49. 2006. Disponível em: < http://qualitysafety.bmj.com/content/15/suppl_1/i44>. Acesso em: 03 dez 2017.

GROUT, R, J. **Mistake-Proofing the Design of Health Care Process**. Agency for Healthcare Research and Quality. AHRQ Publication N° 07-0020. Rockville MD. 2007.

GROUT, R. J.; TOUSSAINT, S. J., Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start. **Business Horizon**. Vol. 53, p 149-156. 2010. Disponível em :< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681309001554>>. Acesso em: 04 out 2017.

GUO, I.; KANG, J. An extended HAZOP analysis approach with dynamic fault tree. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol.38, p 224-232. 2015. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423015300450>>. Acesso em: 09 dez 2017.

GUTZEIT, J. **Crude Unit Corrosion Guide: A Complete How-To Manual**. 2nd edition, Process Corrosion Consultants, 2006, USA.

HALES, M. B.; PRONOVOST, J. P. The checklist – a tool for error management and performance improvement. **Journal of Critical Care**. Vol. 21, p 231-235. 2006. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883944106000815>>. Acesso em: 13 nov 2017.

HALM, A.M. Daily Goals Worksheets and Other Checklists: Are Our Critical Care Units Safer? **American Journal of Critical Care**. Vol. 17, nº6, p 577-580. 2008. Disponível em: < <http://ajcc.aacnjournals.org/content/17/6/577.full.pdf+html>>. Acesso em: 05 nov 2017.

HASS, F. **Avaliação da Influência do Número da Acidez Naftênica e da Temperatura no Comportamento Corrosivo em Aço AISI 316 Utilizando Técnica de Ruído Eletroquímico**. 2013. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível:< <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/247.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2018.

HASS, F.; ABRANTES, A.C.T.G.; DIÓGENES, A. N.; PONTE, H. A. Evaluation of naphthenic acidity number and temperature on the corrosion behavior of stainless steels by using Electrochemical Noise technique. **Electrochimica Acta**, n. 124, p. 206–210, 2014. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468613016204>>. Acesso em: 08 nov 2015.

HAYNES, B. A.; WEISSER, G.T.; BERRY, R.W.; LIPSITZ, R.S.; BREIZAT, S. A.; DELLINGER, P. E.; HERBOSA, T.; JOSEPH, F.; KIBATALA, L. P.; LAPITAN, M.C. M.; MERRY, F. A.; MOORTHY, K.; REZNICK, K. R.; TAYLOR, B.; GAWANDE, A. A. A Surgical Safety Checklist to Reduce Morbidity and Mortality in a Global Population. **The New England Journal of Medicine**. N°360, p 491-499. 2009. Disponível em:< <http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMs0810119>>. Acesso em: 09 nov 2017.

HEITMILLER, G. Checklists in Healthcare. **Anual Meeting of Society for Pediatric Anesthesia**. 2009. Disponível em: < <http://www2.pedsanesthesia.org/meetings/2009annual/syllabus/pdfs/submissions/Checklists%20-%20Eugenie%20S%20Heitmiller%20MD%20FAAP.pdf>>. Acesso em: 14 nov 2017.

HELMAN, H. ANDERY, P.R.P. **Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA)**. Belo Horizonte MG. Fundação Cristiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG. 1995.

HILL JR, H. R.; NELSON, A. D. Strengthening safety education of chemistry undergraduates. **Chemical Health and Safety**. Vol.12, issue 6, p 19-23. 2005. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1074909805001152>>. Acesso em: 30 nov 2017.

HILL JR, H.R. Changing the way chemists think about safety. **Chemical Health and Safety**. Vol. 11, p 5-8. 2004. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S107490980400022X>>. Acesso em: 28 dez 2017.

HILL JR, H. R. The Emergence of Laboratory safety. **Journal of Chemical Health and Safety**. Vol. 14, issue 3, p 14-19. 2007. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553206001095>>. Acesso em; 16 dez 2017.

HILL JR, H.R. The Impact of OSHA's Laboratory Standard on undergraduate safety educativo. **Journal of Chemical Health & Safety**. Vol. 23, p 12-27. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553215001206>>. Acesso em: 04 ago 2016.

HOLLNAGEL, E. **Barrier analysis and accident prevention**. Ashgate Publishing Limited. 2003.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo. Blücher. 2005.

IMAI, M. **GEMBA KAIZEN Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica**. 2ª Edição. São Paulo. IMAM. 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO. **The integrated use of management system standards**. Geneva. Switzerland. 2008. Disponível em: < <https://www.iso.org/news/2008/07/Ref1144.html>>. Acesso em: 10 nov 2017.

JOHNSON, J. University Lab Accident Under Investigation. **Chemical Engineering News**. Vol. 88. Issue 4, p 7. 2010. Disponível em: < <http://cen.acs.org/articles/88/i4/University-Lab-Accident-Under-Investigation.html>>. Acessado em: 18 jul 2017.

KAPUR, N.; PARAND, A.; SOUKUP, T.; READER, T.; SEVDALIS, N. Aviation and healthcare: a comparative review with implications for patient safety. **Journal of the Royal Society of Medicine Open**. Vol. 0. Nº0, p 1-9. Disponível em: < <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2054270415616548>>. Acesso em: 19 nov 2017.

KHAN, F.; RATHNAYAKA, S.; AHMED, S. Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. **Process Safety and Environmental Protection**. Vol. 98, p 116-147. 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582015001275>>. Acesso em 03 dez 2017.

KIM, O. K.; ZUO, J.M. General model for the risk priority number in failure mode and effects analysis. **Reliability Engineering and System Safety**. Vol.169, p 321-329. 2018. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832017302235>>. Acesso em: 03 jan 2018.

KIN, J.; GESHWIN, S.B. Integrated Quality and Quantity Modeling of a Production Line. **OR Spectrum**. Vol. 27. P 287-314. 2005. Disponível em:< <https://link-springer.com.ez22.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs00291-005-0202-1.pdf>>. Acesso em: 12 abr 2015.

KNIGHT, L. D.; PRESNELL, S. E. Death by sewer gas: case report of a double fatality and review of the literature. **The American Journal of Forensic Medicine and Pathology**. Vol 2, p. 183 - 185. 2005. Disponível em:< <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=15894856>>. Acesso em: 09 jun 2018.

KOSTINA, M.; KARAULOVA, T.; SAHNO, J.; MALEKI, M. Reliability estimation for manufacturing processes. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**. Vol. 51, issue 1, p 7-13. 2012. Disponível em:< https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39898426/Reliability_estimation_for_manufacturing20151111-31301-pmnhfn.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAI-WOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1515887338&Signature=ohXmgNCNQ4Ep%2FiK-KuQqKEodNGal%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFRAMEWORK_OF_RELIABILITY_ESTIMATION_FOR.pdf>. Acesso em: 03 dez 2017.

KREMER, G.G.; SWITZER, S.; RYAN, J. T, A Risk Assessment Method and Safety Plan for a University Research Lab. **The American Society of Mechanical Engineers**, p 263-268. 2009. Disponível em: < <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1645000>>. Acesso em: 17 dez 2017.

LABORATORY SAFETY INSTITUTE. **One Hundred Years of Progress** (publication). The Laboratory Safety Institute. 2015. Disponível em:< <http://www.labsafety.org/resource>>. Acesso em 25 nov 2017.

LANGERMAN, N. Management of change for laboratories and pilot plants. **Organic Process Research & Development**. Vol. 12, issue 6, p 1305-1306. 2008. Disponível em: < <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/op8001855>>. Acesso em: 17 dez 2017.

LANGERMAN, N. Labscale process safety management. **Journal of Chemical Health and Safety**. Vol.16, issue 4, p 22-28. 2009. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553208001096?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 dez 2017.

LEGATOR, M. S.; SINGLETON, C. R.; MORRIS, D. L.; PHILIPIS, D.L. Health Effects from Chronic Low-Level Exposure to Hydrogen Sulfide. **Archives of Environmental Health: An International Journal**. Vol 56, issue 2, p 123-131, 2001. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00039890109604063?journal-Code=vzeh20>>. Acesso em: 09 jun 2018.

LEGGETT, J. D. Lab- HIRA: Hazard identification and risk analysis for the chemical reserch laboratory. Part 1. Preliminar hazard evaluation. **Jornal of Chemical Health & Safety**. Vol. 19, issue 5, p 9–24. 2012a. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553212000138>>. Acesso em 07 jun 2017.

LEGGETT, J. D. Lab- HIRA: Hazard identification and risk analysis for the chemical reserch laboratory. Part 2. Risk analysis of laboratory operations. **Jornal of Chemical Health & Safety**. Vol. 19, issue 5, p 25-36. 2012. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187155321200014X>>. Acesso em 06 jun 2017.

LEPRE, P. **Diretrizes para Aplicação de Dispositivos Poka-Yoke no Design de Mobiliário: Uma Estratégia para o Design Sustentável**. 2008. 209f. Dissertação (Mestrado em Design – Programa de Pós-Graduação em Design) Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Aguinaldo_Santos/publication/26980469_Diretrizes_para_aplicacao_de_dispositivos_poka-yoke_no_design_de_moniliario/links/5640784608ae45b5d28d42ec/Diretrizes-para-aplicacao-de-dispositivos-poka-yoke-no-design-de-moniliario.pdf>. Acesso em: 22 jun 2016

LIKER, K. J. **The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer**. 1st Ed. MacGraw-Hill: 2004.

LUNDIN, J.; JONSSON, R. Master of science in risk management and safety engineering, at Lund University, Sweden. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol.15, issue 2, p 111-117. 2002. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423001000602>>. Acesso em: 03 dez 2017.

MÁGDOIU, A.; OPREAN, C. Broadening the Concept of Poka-Yoke Beyond Automotive Industry. **Acta Universitatis Cibiniensis – Technichal Series**. Vol. 65, issue 1, p 52-57. 2014. Disponível em: < <https://www.degruyter.com/download-pdf/j/aucts.2014.65.issue-1/aucts-2015-0009/aucts-2015-0009.pdf>>. Acesso em: 03 dez 2017.

MAHESH, P. B.; PRABHUSWAMY, S. M. Process Variability Reduction through Statistical Process Control for Quality Improvement. **International Journal for Quality Research**. Vol. 4, nº 3, p 193-203. 2010. Disponível em: < <https://doaj.org/article/92e19d21ec5b449b94e8906b3abde577>>. Acesso em: 05 set 2017.

MECHHUOD, E.; ROUAINIA, M.; RODRIGUEZ, M. A new tool for risk analysis and assessment in petrochemical plants. **Alexandria Engineering Journal**. Vol.55, p 2219-2951. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016816301272>>. Acesso em: 06 dez 2017.

MÍKVA, M.; PRAJOVÁ, V.; YAKIMOVICH, B.; KORSHUNOV, A.; TYURIN, I. Standardization – one of the tools of continuous improvement. **International Conference on Manufacturing Engineering and Materials ICMEM 2016**. Procedia Engineering. Vol. 149, p 329-332. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816311845>>. Acesso em: 13 out 2017.

MILBY, T. H. e RANDALL C. B. Hydrogen Sulfide Poisoning: Clarification of Some Controversial Issues. **American Journal of Industrial Medicine**. Vol 35, p 192-195. 1999. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291097-0274%28199902%2935%3A2%3C192%3A%3AAID-AJIM11%3E3.0.CO%3B2-C>>. Acesso em 09 jun 2018.

MODEN, Y. **Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time**. 4th. Ed. Institute of Industrial Engineers. Taylor & Francis Group. NW. Productivity Press Book. 2012.

MOKHTARI, K.; REN, J.; ROBERTS, C.; WANG, J. Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk management of sea ports and offshore terminals. **Journal of Hazardous Materials**. Vol. 192, p 465-475. 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411006741>>. Acesso em: 06 dez 2017.

MORAES, M. J. **Petróleo em Águas Profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada IPEA. Brasília. IPEA: Petrobras: 2013.

MORAES, A.; ALESSANDRI, G. M. Ergonomização de avisos e advertências: segurança de usuários. **Ergodesing. Informacional. In: Avisos, advertências e projeto de sinalização**. 2002. Rio de Janeiro. Disponível em: < http://www.diogo-maia.com.br/sinal/avisos_e_advertencias.pdf>. Acesso em 22 nov 2017.

MORADI, M.; ABDOLLAHZADEH, R. M.; VAKILI, A. Effects of Implementing 5S on Total Productive Maintenance: A case in Iran. **Proceedings of the 2011 IEEE ICQR International Conference on Quality and Reliability**. P 41-45. 2011. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6026168>>. Acesso em 01 nov 2017.

MOURA, A. R.; BANZATO, J.M. **Poka-Yoke: a eliminação dos defeitos com o método à prova de falhas**. São Paulo: IMAN. 1996.

MULCAHY, M.B.; YOUNG, A.; GIBSON, J.; HILDRETH, C.; ASHBROOK, P.; IZZO, R.; BACKUS, B. College and university sector response to the U.S. Chemical Safety Board Texas Tech incident report and UCLA laboratory fatality. **Journal of Chemical Health & Safety**. Vol. 20, p 6 -13. 2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553212001995>>. Acesso em: 05 jul 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards**, Updated Version. Washington, DC:

The National Academies Press. 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.17226/12654>>. Acesso em: 09 ago 2017.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH. **Hydrogen Sulfide Chemical Information Sheet**. 2005. Disponível em: < https://www.health.ny.gov/environmental/chemicals/hydrogen_sulfide/>. Acesso em: 08 jun 2018.

NIKKAN KOGYO SHIMBUN/FACTORY MAGAZINE. **Poka-Yoke: improving Product Quality by Preventing Defects**. Productivity Press. Portland. OR. 1988.

NOORDEN, V. R. Safety Survey Reveals Lab Risks. **Nature International Weekly Journal of Science**. Volume 493, issue 7430, p 9-10. 03 jan 2013. Disponível em: < <https://www.nature.com/news/safety-survey-reveals-lab-risks-1.12121>>. Acesso em: 10 jan 2018.

NORMAN, A. D. **O Design do Dia à Dia**. Rio de Janeiro: Rocco, 2006.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH STANDARDS OSHA. **Safety and Health Topics – Laboratories Nº 1910.1450**. Washington – DC. 2014. Disponível em: < https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10106>. Acesso em: 06 jan 2018.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 1ª Ed. Porto Alegre. Ed. Bookman. Artes médicas. 1997.

OLEWSKI, T.; AHAMMAD, M.; QURAI SHY, S.; GAN, N.; VECHOT, L. Building process safety culture at Texas A&M University at Qatar: A case study on experimental research. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol. 44, p 642-2652. Elsevier. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423016302297>>. Acesso em 11 jul 2017.

OLEWSKI, T.; SNAKARD, M. Challenges in applying process safety management at university laboratories. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol. 49, p 209-214. Elsevier. 2017. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423017303145>>. Acesso em: 10 jul 2017.

OUÉDRAOGO, A.; GROSO, A.; MEYER, T. Risk analysis in research environment – Part I: Modeling Lab Criticality Index using Improved Risk Priority Number. **Safety Science**. Vol. 49, issue 6, p 778-784. 2011a. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511000403>>. Acesso em 24 ago 2017.

OUÉDRAOGO, A.; GROSO, A.; MEYER, T. Risk analysis in research environment – Part II: Weighting Lab Criticality Index using the Analytic Hierarchy Process. **Safety Science**. Vol. 49, issue 6, p 785-793. 2011b. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510002894>>. Acesso em: 25 ago 2017.

PALADY, P. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 1ª Edição. São Paulo. IMAM, 1997.

PAS 99:2006 **PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION**. Specification of common managements system requirements as a framework for integration, BSI. Disponível em: < <http://docshare01.docshare.tips/files/26674/266747350.pdf>>. Acesso em: 20 nov 2017.

PERROW, C. **Normal Accidents: Living with High Risk Technologies**. Princeton University Press. New Jersey. 1999.

PETROBRAS Petróleo Brasileiro S/A. Norma Técnica N-2782 **Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais**. Classificação NP-1. Ago 2015.

PLONKA, E.F. Developing a lean and agile work force. **Journal of Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**. Vol. 7, issue 1, p 11-20. 1997. Disponível em: < [http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1002/\(SICI\)1520-6564\(199724\)7:1%3C11::AID-HFM2%3E3.0.CO;2-J/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1002/(SICI)1520-6564(199724)7:1%3C11::AID-HFM2%3E3.0.CO;2-J/abstract)>. Acesso em 30 nov 2017.

PLUESS, D. N.; GROSO, A.; MEYER, T. Expert judgements in risk analysis: a strategy to overcome uncertainties. **Chemical Engineering Transactions**. Vol 31, p 307-312. 2013. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/d713/e351be61a7245468744ffdc859d95b905e8.pdf>>. Acesso em: 13 dez 2017.

PLUESS, D. N.; MEYER, T.; MASIN, J.; MIKULASEK, P.; FERJERICIK, M. Joint applicability test of software for laboratory assessment and risk analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol.40, p 234-240. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423015301042>>. Acesso em: 16 dez 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge: (PMBOK® Guide)**. 5th ed. PMI, Project Management Institute, Newtown Square, PA. 2013.

PUVANASVARAN, A. P.; JAMIBOLLAH, N.; NORAZLIN, N. Integration of Poka-Yoke into Process Failure Mode and Effect Analysis: A Case Study. **American Journal of Applied Sciences**. Vol. 11, issue 8, p 1332-1342. 2014. Disponível em: < http://eprints.utm.edu.my/13003/1/AJAS-Science_Publication_May_2014.pdf>. Acesso em: 25 nov 2017.

QING, W. Processing high TAN crude: part I. **Petroleum Technology Quarterly**, **Q4**, p. 35-43, 2010. EPTQ.com the refining, gas & petrochemicals processing website. Disponível em: <http://www.eptq.com/view_edition.aspx?intContentID=21&intEID=87>. Acesso em: 28 nov 2015.

QING, W. Processing high TAN crude: part II. **Petroleum Technology Quarterly**, **Q1**, p. 01-07, 2011. EPTQ.com the refining, gas & petrochemicals processing website. Disponível em : < http://www.eptq.com/view_article.aspx?intAID=1073>. Acesso em: 25 nov 2015.

RANGEL, D.V.S.; SILVA, C.B.M.; RANGEL, D.A.L.; SOARES, R.A.R. Segurança em práticas de ensino em Laboratórios de Engenharia. **REVISTA PRÁXIS**, ano VI, nº 12, dezembro de 2014. Disponível em: < <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/praxis/article/view/613>>. Acesso em: 01 dez 2015.

RAUSAND, M. **Sistem Reliability Theory Model, Statistical Method and Application**. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc. Publication. 2004.

REASON, J. Generic Error-Modeling System (GEMS): A Cognitive Framework for Locating Common Human Error Forms. In: RASMUSSEN, J.; DUNCAN, K.; LEPLAT, J. **New Technology and Human Error**. John Wiley & Sons. New York. 1987, p 63-83.

RECHTIEN, R. Naphthenic acid corrosion control strategies. In: **AICHE – Chicago Symposium**. Chicago. 2006. Resumo eletrônico. Disponível em: < <http://www.iche-chicago.org/symposium06/abstract.htm>>. Acesso em: 23 nov 2015.

REIJERS, A. H.; LEOPOLD, H.; RECKER, J. Towards a Science of Checklists. **Hawaii International Conference on System Sciences**. DOI10.24251/HICSS.2017.696. 2017. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/317397736_Towards_a_Science_of_Checklists>. Acesso em: 08 nov 2017.

ROSSING, L.N.; LIND, M.; JENSEN, N.; JORGENSEN, B. S. A functional HAZOP methodology. **Computers and Chemical Engineering**. Vol. 34, issue 2, p 244-253. 2010. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135409001793>>. Acesso em: 08 dez 2017.

ROXO, M. M. **Segurança e Saúde do Trabalho: Avaliação e Controle de Riscos** 1ª Ed. Almedina. 2003.

SANCHEZ-AMAYA, J. M.; COTTIS, R. A.; BOTANA, F. J. Shot noise and Statistical parameters for the estimation of corrosion mechanisms. **Corrosion Science**, Vol. 47, p 3280-3299. 2005. Disponível em :< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X05002088>>. Acesso em: 04 nov 2015.

SANTOS, A.; FORMOSO, T. C.; TOOKEY, E. F. Expanding the meaning of standardization within construction process. **The TQM Magazine**. Vol. 14. Nº1, p 25-33. 2002. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/09544780210413200>>. Acesso em: 10 out 2017.

SAURIN, A. T.; RIBEIRO, D. L. J.; VIDOR, G. A framework for assessing poka-yoke devices. **Journal of Manufacturing Systems**. Vol. 31, Issue 3, p 358-366. 2012. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612512000313>>. Acesso em: 01 out 2017.

SCHMIDT, S. Preventive Methods in Logistics Poka-Yoke and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). **Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering**. Vol

6, Ed 1, p 27-30. 2013. Disponível em :< <https://search.proquest.com/open-view/0bf87b7d178d88e740f50beedbc20f36/1?pq-origsite=gscholar&cbl=616471>>. Acesso em: 11 dez 2017.

SCHRÖDER, I.; HUANG, Q. Y. D.; ELLIS, O.; GIBSON, H. J.; WAYNE, L. N. Laboratory safety attitudes and practices: A comparison of academic, government, and industry researchers. **Jornal of Chemical Health & Safety**. Vol. 23, p 12-23. 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553215000407>>. Acesso em: 08 jun 2017.

SCRIVEN, M. **The logic and methodology of checklists**. Western Michigan University. 2005. Disponível em :< <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.588.7093&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 16 nov 2017.

SETIAWAN, H. T.; ADRYFAN, B.; PUTRA, A. C. Risk analysis and priority determination of risk prevention using failure mode and effects analysis method in the manufacturing process of hollow core slab. **Procedia Engineering**. Vol.171, p 874- 881. 2017. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817303922>>. Acesso em: 06 dez 2017.

SEXTON, B. J.; THOMAS, J. E.; HELMREICH, L. R. Error, stress, and teamwork in medicine and aviation: cross sectional surveys. **British Medical Journal** 2000.Vol. 320, p 745-749. Disponível em:< <http://www.bmj.com/content/bmj/320/7237/745.full.pdf>>. Acesso em: 11 nov 2017.

SHARIFF, M.A.; NORAZAHAR, N. At-risk behaviour analysis and improvement study in an academic laboratory. **Safety Science**. Vol. 50, p 29 – 38. 2012. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511001457>>. Acesso em: 08 jul 2017.

SHARMA, R.; SINGH, J. Impact of Implementing Japanese 5S Practices on Total Productive Maintenance. **International Journal of Current Engineering and Technology**. Vol. 5, nº 2, p 818-825. 2015. Disponível em:< <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/03/Paper42818-8251.pdf>>. Acesso em: 04 nov 2017.

SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and Poka-Yoke System**. Trans. A.P. Dillion, Portland, OR; Productivity Press. 1986.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção - do ponto de vista da engenharia de produção**; 2ª ed. Porto Alegre. Ed. Bookman, 1996.

SILVA, P.S. **Estudo da Corrosão Naftênica pela Técnica de Ruído Eletroquímico**. 2010. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica PGMEC), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: < http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_115_patricia_sabino_da_silva.pdf>. Acesso em 25 nov. 2015.

SIMON. A.; KARAPETROVIC, S.; CASADESUS, M. Evolution of Integrated Management Systems in Spanish firms. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 23, p. 8-19,

2012. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611004112>>. Acesso em: 22 mai 2017.

SKRTIC, L. **Hydrogen Sulfide, Oil and Gas, and People's Health**. 77 f. Dissertação. Master's of Science – Energy and Resources Group, University of California, Berkeley. 2006. Disponível em :< <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.368.3550&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 11 jun 2018.

SLAVCHEVA, E.; SHONE, B.; TURNBULL, A. Review of naphthenic acid corrosion in oil refining. **British Corrosion Journal**. Vol. 34, n. 2, p 125-131. 1999. Disponível em:< <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/000705999101500761>>. Acesso em: 01 ago 2017.

SMARTGUARD Naphthenic Acid Corrosion Control Program. **Downstream Chemical Services**. Baker Hughes, 2010. Disponível em: < <https://www.bakerhughes.com/products-and-services/downstream-chemicals/refining/corrosion-control>>. Acesso em: 20 nov 2015.

SNYDER, J. W.; SAFIR, E.F.; SUMMERVILLE, G.P.; MIDDLEBERG, R.A. Occupational Fatality and Persistent Neurological Sequelae After Mass Exposure to Hydrogen Sulfide. **American Journal of Emergency Medicine**. Vol 13, issue 2, p 199-203. 1995. Disponível em:< [https://www.ajemjournal.com/article/0735-6757\(95\)90094-2/pdf](https://www.ajemjournal.com/article/0735-6757(95)90094-2/pdf)>. Acesso em: 07 jun 2018.

SOCIEDADE PARA ANALISE DO RISCO *Society for Risk Analysis (SRA)*. **Specialty Groups**. 2018. Em: < <http://www.sra.org/specialty-group> >. Acesso em: 06 jan 2018.

SORENSEN, J. N. Safety culture: A survey of the state-of-the-art. **Reliability Engineering & System Safety**. Vol. 76, p 189 – 204. 2002. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832002000054>>. Acesso em: 11 jul 2017.

SOUZA, D. N. Z.; SILVA, B.I.; GENENTE, B. G. Análise de aderência de gestão por processos em um sistema de gestão da qualidade com certificação ISO TS16949. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012, Bauru. **Anais...**, São Paulo: UNESP, 2012b. Disponível em:< http://www.simpep.feb.unesp.br/artigos_melhores_2.php?evento=7>. Acesso em: 29 dez 2017.

SPEIGHT, J.G. **High Acid Crudes**. 1st edition. GPP. Elsevier. 2014. USA.

SRINIVASAN, R.; VENKATASUBRAMANIAN, V. Automating HAZOP analysis of batch chemical plants: Part I. The knowledge representation framework. **Computers & Chemical Engineering**. Vol. 22, issue 9, p 1345-1355.1998. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135498000180?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 dez 2017.

STAMATIS, H. D. **Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory to Execution**. American Society for Quality – ASQ. Quality Press. Milwaukee. Wisconsin. 1995.

STAVEREN, M. **Uncertainty and Ground Condition: Risk Management Approach**. 1st Ed. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2006.

STEWART, E. J.; WILSON, L. V.; WANG, W. Evaluation of safety climate at a major public university. **Journal of Chemical Health & Safety**. Vol. 23, issue 4, p 4-12. 2016. Disponível em :< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187155321500119X>>. Acesso em 17 dez 2017.

STEWART, M. D.; MELNYK, A. S. Effective process improvement developing poka-yoke process. **Production and Inventory Management Journal**. Vol. 41, issue 4, p 48-55. 2000. Disponível em :< <https://search.proquest.com/open-view/8e650e861841ca8e27c5a8513f61c321/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36911>>. Acesso em 01 dez 2017.

STEWART, M. D.; GROUT, R. J. The Human Side of Mistake-proofing. **Production and Operations Management**. Vol. 10, Issue 4, p 440-459. 2001. Disponível em :< <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00086.x/pdf>>. Acesso em 28 jul 2015.

STOCCO-SILVA, L. H. **Abordagem para Instalação de Poka-Yoke em Linhas de Produção com Deficientes Auditivos no Setor Automotivo**. 2010.169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica PPGEM), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em :< <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2010/SILVALuisHenriqueStoccoda.pdf>>. Acesso em: 23 nov 2017.

SWANN, D. C.; PRESTON, L. M. Twenty-five years of HAZOPs. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol. 8, issue 6, p 349-353. 1995. Disponível em :< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0950423095000410>>. Acesso em: 10 dez 2017.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; TZORTZOULOPOULOS, P. Visual management in production management: a literature synthesis. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Vol.27, nº 6, p 766-799. 2016. Disponível em :< <http://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/JMTM-08-2015-0071>>. Acesso em: 22 nov 2017.

THORP, H. H.; DEJOY, D. M.; BERCAW, J. E.; BERGMAN, R. G.; DEEB, J. M.; GIBBS, L. M.; GOODSON, T. III.; IMADA, A. S.; JESKIE, K. B.; PENTELUTE, B. L.; ROBERTS, K. H.; SCHOMAKER, J. M.; YOUNG, A. M.; FRIEDMAN, D.; WARDEN, T. **Safe Science: Promoting a Culture of Safety in Academic Chemical Research**. The National Academic Press. Washington, DC. 2014. Disponível em :< <https://www.nap.edu/catalog/18706/safe-science-promoting-a-culture-of-safety-in-academic-chemical>>. Acesso em 02 ago 2017.

TREURNICHT, F. N.; BLANCKENBERG, M. M.; VAN NIEKERK, G. H. Using Poka-Yoke Methods to Improve Employment Potential of Intellectually Disabled Workers. **South African Journal of Industrial Engineering**. Vol. 22, issue 1, p 213-224. 2011. Disponível em: <<https://journals.co.za/content/indeng/22/1/EJC46260>>. Acesso em: 02 dez 2017.

TSIGA, Z.; EMES, M.; SMITH, A. Implementation of a risk management simulation tool. **Procedia Computer Science**. Vol. 121, p 218-223. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917322214>>. Acesso em: 04 dez 2017.

TSUCHIYA, K. **Super 5S is for everyone**. 1998. Online: <http://www.myqalqilia.com/5SNOTES.pdf>. Acesso em 02 nov 2017.

TSUDA, Y. Implication of fool proofing in the manufacturing process. In: KUO, W.; PIERSON, M. M. **Quality through Engineering Design**. New York: Elsevier. 1993

TUMIDAJSKI, S. Laboratory safety: Engaging 600+ research groups. **Jornal of Chemical Health & Safety**. Vol. 23, p 27-30. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871553215001474>>. Acesso em 04 jun 2017.

TWEEDDALE, M. **Managing Risk and Reliability of Process Plant**. Ed. Elsevier, 2003. Ebook. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750677349500028>>. Acesso em: 22 set 2017.

UNITED STATE ARMY TM 5-698-4. **Failure modes, effects and criticality analyses for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance facilities**. Department of Army. 2006. Disponível em: <<https://www.bookdepository.com/TM-5-698-4-United-States-Department-Army/9781288887040>>. Acesso em: 15 nov 2017.

UNITED STATE CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **CSB Releases Investigation into 2010 Texas Tech Laboratory Accident; Case Study Identifies Systemic Deficiencies in University Safety Management Practice**. Washington. 2011. Disponível em: <<https://www.csb.gov/csb-releases-investigation-into-2010-texas-tech-laboratory-accident-case-study-identifies-systemic-deficiencies-in-university-safety-management-practices/>>. Acesso em: 15 fev 2018.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA Report to Congresso on Hydrogen Sulfide Air Emissions Associated with Extraction of Oil and Natural Gas**. EPA-453/R-93-045. Corvallis – Oregon. 1993. Disponível em: <

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/00002WG3.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991+Thru+1994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&Xml-Query=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIn-dex%20Data%5C91thru94%5CTxt%5C00000006%5C00002WG3.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>>. Acess em: 08 jun 2018.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SANTA BARBARA. **Environmental Health & Safety**. Santa Barbara. 2018. Disponível em: < <http://www.ehs.ucsb.edu/labsafety/laboratory-accidents>>. Acesso em: 20 fev 2018.

VASCONCELOS, D. S. C.; MELO, M. B. F. V.; MESQUITA, A. M. **Obstáculos à implantação da PAS 99: 2006 como modelo integrado de gestão: Um estudo de caso**. Revista INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção, v.2, n. 2, p. 74-86, 2010. Disponível em:< http://www.ingepro.com.br/Publ_2010/Fev/195-549-1-PB.pdf>. Acesso em: 10 dez 2017.

VIDOR, G.; SAURIN, A. T. Conceitos e Características de Sistemas Poka-Yoke: uma revisão da literatura. **Revista Produção Online ABEPRO**. Vol. 11. Nº2, p 344-368, 2011. Disponível em:< <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/644/789>>. Acesso em: 23 set 2017.

VITORELI, G. A.; CARPINETTI, L. C. R.; GEROLAMO, M. C.; **Sistemas de Gestão Integrados: Análise da literatura e identificação de aspectos importantes para a integração de sistemas de gestão**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010, Bauru. **Anais eletrônico...**, Bauru: UNESP, 2010.

YIN, K. R. **Estudo de Caso: Planejamento e Método**. Trad. Daniel Grassi. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE E1 – Roteiro de Caracterização do Processo.



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec)

Verificar os itens abaixo em relação ao fluxo de MATERIAIS e INFORMAÇÕES no experimento analisado:

- I. Em quais pontos do processo de abastecimento do experimento podem manifestar riscos físicos?
- II. Em quais pontos do processo de abastecimento do experimento podem manifestar riscos ambientais?
- III. Como se dá o abastecimento do eletrólito no experimento?
- IV. Existe procedimento para preparação e abastecimento do experimento?
- V. Como a informação chega ao condutor do experimento?
- VI. No caso de uma falha no processo do experimento como a informação chega para o condutor do experimento?
- VII. Como é feita a identificação de uma falha no processo do experimento pelo condutor?

APÊNDICE E2 – Roteiro de Caracterização da Operação



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec)

Verificar os itens abaixo em relação ao fluxo de EQUIPAMENTOS e OPERADORES no experimento analisado.

- I. Durante a condução do experimento em quais locais podem manifestar riscos físicos?
- II. Durante a condução do experimento em quais locais podem manifestar riscos ambientais?
- III. Qual o tempo de duração da operação?
- IV. Quais equipamentos estão envolvidos na operação?
- V. A condução do experimento é realizada em pares?
- VI. Existem deslocamentos durante a condução do experimento?
- VII. Quais competências adquiridas tem o condutor do experimento?
- VIII. Quais EPIs são utilizados?
- IX. Qual a postura do operador no posto?
- X. Todos os instrumentos necessários para condução do experimento estão disponíveis?
- XI. A condução do experimento é conforme padrão definido?

APÊNDICE E3 – Roteiro de Procedimentos para observação direta



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec)

Nome do Observador:

Data:

Verificar os itens abaixo relacionados:

- I. Qual o primeiro foco de atenção do condutor quando o experimento inicia?
- II. Qual a distância do deslocamento do condutor para visualizar a informação necessária para início da operação?
- III. Qual o tempo dispensado para o condutor encontrar as informações necessárias para o início da operação?
- IV. Qual o tempo para a tomada de decisão após a verificação destas informações?
- V. Quais os artefatos físicos disponíveis que auxiliam na condução do experimento?
- VI. Quais parâmetros do experimento são comunicados e auxiliam na condução do experimento?
- VII. Quais informações de controle sobre os parâmetros do experimento auxiliam na condução do experimento?
- VIII. Onde se encontram as informações para executar a operação?
- IX. Quais informações identificam a condução bem-sucedida?
- X. O condutor utiliza dispositivos visuais?