



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

NATÁLIA ORNELLAS LOBO RODRIGUES

FATORES HUMANOS APLICADO NA ANÁLISE DE RISCO EM UM LABORATÓRIO
DE ANÁLISE DE CORROSÃO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA

Rio de Janeiro

2020



Natália Ornellas Lobo Rodrigues

FATORES HUMANOS APLICADO NA ANÁLISE DE RISCO EM UM LABORATÓRIO
DE ANÁLISE DE CORROSÃO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^o Dr. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

RIO DE JANEIRO

2020

Rodrigues, Natália Ornellas Lobo

R685f

Fatores humanos aplicado na análise de risco em um laboratório de análise de corrosão de uma instituição pública / NATÁLIA ORNELLAS LOBO RODRIGUES. -- Rio de Janeiro, 2020.

159 f.

Orientador: Isaac José Antonio Luquetti dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2020.

1. Fatores humanos. 2. gerenciamento de risco. 3. modelo SHELL. I. Santos, Isaac José Antonio Luquetti dos II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Ambiental III. Título

Natália Ornellas Lobo Rodrigues

FATORES HUMANOS APLICADO NA ANÁLISE DE RISCO EM UM LABORATÓRIO
DE ANÁLISE DE CORROSÃO DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Prof. Guilherme Dutra Gonzaga Jaime, D.Sc.

RIO DE JANEIRO

2020

*À minha família,
aos guias encarnados
que chamamos de amigos
e aos desencarnados.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e ao meu pai pelo amor, carinho, dedicação e esforço demonstrados ao longo dessa vida para que eu concluísse essa etapa da caminhada. Os bons exemplos que eles sempre me deram me fazem querer ser uma pessoa melhor a cada dia.

Às minhas irmãs e à memória de minha avó.

À minha noiva pela paciência, incentivo e carinho demonstrados ao longo dessa jornada.

Aos amigos desse plano que me ajudam, me divertem e se mantêm junto comigo em todos os momentos.

Aos irmãos e guias espirituais que não me fazem esquecer o motivo da caminhada.

Ao professor Isaac José Antônio Luquetti dos Santos pelos ensinamentos, pela oportunidade de realizar este trabalho e pela confiança que teve em mim.

A todos do laboratório objeto de estudo desse trabalho.

RESUMO

RODRIGUES, Natália Ornellas Lobo. **Fatores humanos aplicado na análise de risco em um laboratório de análise de corrosão de uma instituição pública**. Rio de Janeiro, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Laboratórios de pesquisas são locais propensos a acidentes, em virtude do catálogo de produtos químicos perigosos que são manipulados. Ao longo dos anos a teoria da natureza das causas dos acidentes foi sendo alterada. Anteriormente a abordagem estava focada em falhas e erros locais, agora está voltada para a busca dos fatores sociotécnicos que afetam o desempenho das pessoas. Estudar a respeito dos fatores sociotécnicos nesse ambiente e aplicar ferramenta de análise de fatores humanos são a motivação desse trabalho. A necessidade de entender os riscos inerentes aos serviços no laboratório alvo dessa pesquisa foi um dos estímulos para a realização desse estudo. A metodologia proposta engloba o estudo do processo de trabalho de um laboratório de pesquisa de uma instituição pública brasileira com objetivo de entender como os serviços são prestados e o perfil acadêmico e profissional dos trabalhadores. Os objetivos desse estudo abrangem a identificação dos serviços de mais alto risco, sendo os resultados obtidos através da coleta de dados via observação e pesquisa descritiva com a participação de especialistas da área através de questionário. O reconhecimento das tarefas de mais alto risco dentro do serviço crítico identificado, a identificação dos riscos dessa tarefa crítica, a identificação dos fatores sociotécnicos que afetam o desempenho dos trabalhadores desse laboratório, a aplicação de um modelo de análise de fatores humanos, denominado modelo SHELLO visando entender se esse modelo se adequa como ferramenta de análise de fatores humanos em laboratórios de pesquisa brasileiro e, por fim, a identificação dos fatores sociotécnicos mais relevantes em um cenário de acidente proposto a partir da análise preliminar de perigos. Os resultados obtidos apontaram os serviços cinco e seis como os mais críticos dentro do laboratório. Dentre as tarefas desses serviços, a tarefa um e quatro foram as mais críticas. Obteve-se como resultado 37 fatores sociotécnicos mais importantes, dentre os quais 13 foram considerados mais relevantes para um cenário de acidente proposto.

Palavras-chave: Fatores humanos; Gerenciamento de riscos; Modelo SHELLO

ABSTRACT

RODRIGUES, Natália Ornellas Lobo. **Fatores humanos aplicado na análise de risco em um laboratório de análise de corrosão de uma instituição pública.** Rio de Janeiro, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Research laboratories are accident-prone places due to the catalog of dangerous chemicals that are handled. Over the years the theory of the nature of the causes of accidents has been changed. Previously, the approach was focused on local failures and errors, now it is focused on the search for socio-technical factors that affect people's performance. Studying about sociotechnical factors in this environment and applying a human factor analysis tool are the motivation for this work. The need to understand the risks inherent in the services in the laboratory targeted by this research was one of the incentives for carrying out this study. The proposed methodology encompasses the study of the work process of a research laboratory in a Brazilian public institution in order to understand how services are provided and the academic and professional profile of workers. The objectives of this study include the identification of the highest risk services, with the results obtained through data collection via observation and descriptive research with the participation of specialists in the field through a questionnaire. The recognition of the highest risk tasks within the critical service identified, the identification of the risks of this critical task, the identification of sociotechnical factors that affect the performance of workers in that laboratory, the application of a model of human factor analysis, called the SHELLO model aiming to understand if this model is suitable as a tool for the analysis of human factors in Brazilian research laboratories and, finally, the identification of the most relevant sociotechnical factors in a scenario of a prospective accident based on the preliminary analysis of hazards. The results obtained indicated services five and six as the most critical within the laboratory. Among the tasks of these services, task one and four were the most critical. As a result, 37 most important sociotechnical factors were obtained, among which 13 were considered more relevant to a proposed accident scenario.

Keywords: Human factors; Risk management; SHELLO model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos específicos	18
Figura 2. Modelo SHELL	83
Figura 3. Modelo SHELLO	83
Figura 4. Diagramas em bloco da metodologia	84
Figura 5. Gráfico de um número <i>fuzzy</i> triangular	117
Figura 6. Aparência geral da matriz de concordância	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Palavras-chave da pesquisa base de dados Scopus	19
Quadro 2. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Scopus	20
Quadro 3. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Scopus	20
Quadro 4. Distribuição dos artigos por periódico base de dados Scopus	23
Quadro 5. Considerações a respeito dos artigos selecionados base de dados Scopus	36
Quadro 6. Tabulação por critérios - base de dados Scopus	39
Quadro 7. Palavras-chave da pesquisa base de dados Engineering Village	40
Quadro 8. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Engineering Village	41
Quadro 9. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Engineering Village	41
Quadro 10. Distribuição dos artigos por periódico base de dados Engineering Village	43
Quadro 11. Considerações a respeito dos artigos selecionados base de dados Engineering Village	55
Quadro 12. Tabulação por critérios - base de dados Engineering Village	57
Quadro 13. Artigos mais relevantes da CLT em relação à segurança do trabalho	59
Quadro 14. Apresentação dos assuntos por número das NR	60
Quadro 15. Exemplo dos tipos de riscos ocupacionais	65
Quadro 16. Técnicas de análise de risco	66
Quadro 17. Exemplo de planilha de APP	67
Quadro 18. Exemplo de classificação de frequência do risco	68
Quadro 19. Exemplo de classificação de severidade do risco	68
Quadro 20. Exemplo de matriz de risco	68
Quadro 21. Exemplo de classificação de riscos	69
Quadro 22. Fatores sociotécnicos banco de dados plantas nucleares	75
Quadro 23. Fatores sociotécnicos banco de dados do CCPS	78
Quadro 24. Fatores sociotécnicos banco de dados NUPEC	79
Quadro 25. Serviços do laboratório	88
Quadro 26. Fatores sociotécnicos selecionados para questionário IV	105
Quadro 27. Arranjo dos fatores sociotécnicos no modelo SHELL	113
Quadro 28. Etapas para determinar o número <i>fuzzy</i> dos 13 fatores sociotécnicos	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Artigos publicados por ano na base Scopus	23
Gráfico 2. Artigos publicados por ano na base Engineering Village	43
Gráfico 3. Gráfico ilustrando o maior nível de escolaridade	94
Gráfico 4. Gráfico ilustrando o tempo de exercício na área de atuação	95
Gráfico 5. Gráfico ilustrando o tempo de exercício na função atual dos trabalhadores	95
Gráfico 6. Gráfico ilustrando o tempo total de formação na área dos trabalhadores	96
Gráfico 7. Gráfico ilustrando a idade dos trabalhadores	96
Gráfico 8. Gráfico analítico dos serviços do laboratório	99
Gráfico 9. Gráfico analítico das tarefas dos serviços de mais alto risco do laboratório	102
Gráfico 10. Gráfico das tarefas considerando o percentual de criticalidade	102
Gráfico 11. Estimativa de risco para a tarefa 1	103
Gráfico 12. Estimativa de risco para a tarefa 4	104
Gráfico 13. Gráfico analítico dos fatores sociotécnicos das tarefas críticas	111
Gráfico 14. Modelo SHELLLO para agrupar os fatores sociotécnicos	114
Gráfico 15. Gráfico apresentando as funções de pertinência	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formação profissional dos trabalhadores do laboratório	93
Tabela 2. Tempo de exercício na área de atuação	94
Tabela 3. Frequência de escolha dos graus de relevância dos riscos	98
Tabela 4. Tarefa de alto risco segundo a percepção de especialistas	100
Tabela 5. fatores sociotécnicos segundo a percepção dos especialistas	106
Tabela 6. Porcentagem de incidência alto e médio para os fatores sociotécnicos	109
Tabela 7. Classificação decrescente da porcentagem de incidência alto e médio para os fatores sociotécnicos	109
Tabela 8. Fatores sociotécnicos selecionados segundo o princípio de Pareto.	112
Tabela 9. Frequência de escolha dos graus de relevância dos fatores	116
Tabela 10. Números <i>fuzzy</i> usados para representar os termos linguísticos	117
Tabela 11. Valores das áreas de interseção das opiniões <i>fuzzy</i>	118
Tabela 12. Valores das áreas de união das opiniões <i>fuzzy</i>	118
Tabela 13. Número <i>fuzzy</i> encontrados para os 13 fatores sociotécnicos	120
Tabela 14. Valores encontrados para <i>b</i> e grau de relevância para os fatores sociotécnicos	121
Tabela 15. Hierarquização dos fatores sociotécnicos	121
Tabela 16. Percentual de influência dos fatores sociotécnicos e interação no modelo SHELLO	122

LISTA DE SIGLAS

AAE	Análise por Árvore de Eventos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACH	Análise da Confiabilidade Humana
ANP	Processo Analítico de Rede
APP	Análise Preliminar de Perigos
ASN	Aviation Safety Network
ATC	Controle de Tráfego Aéreo
ATM	Gerenciamento do Tráfego Aéreo
BBN	Redes de Crenças Bayesianas
BBN	Bayesian Belief Networks
BN	Redes Bayesianas
CCOHS	Canadian Centre for Occupation Helth and Safety
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CDTN	Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CP	Corpos de Prova
CPC	Condições de Desempenho Comuns
CRADA	Acordo de Cooperação e Desenvolvimento Cooperativo
CREAM	Método de Análise de Erro de Confiabilidade Cognitiva
DEMATEL	Laboratório de Julgamento e Avaliação de Tomada de Decisão
EFH	Engenharia de Fatores Humanos
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ER	Raciocínio Evidencial
FAD	Fatores Afetam Desempenho Humano
FMEA	Análise de Modos de Falha e Efeitos
FSF	Flight Safety Foundation
FTA	Fault Tree Effect Analysis
HAZOP	Hazard and Operability Studies
HFACS	Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos
HFE	Eventos de Falha Humana

HIRA	Hard Identification and Risk Assessment
HRA	Human Reliability Analysis
HSI	Interfaces do Sistema Humano
INL	Idaho National Laboratory
ISO	International Organization for Standardization
LOC	Loss of Containment
MCDM	Método de Tomada de Decisão de Múltiplos Critérios
MPT	Ministério Público do Trabalho
NR	Normas Regulamentadoras
NUPEC	Nuclear Power Engineering
OIT	Organização Internacional do Trabalho
O-SHELL	Organization, Software, Hardware, Environment e Liveware
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PIF	Fatores de Influência do Desempenho
PIF	Performance Influencing Factors
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PRA	Avaliação dos Riscos Probabilísticos
PSF	Performance Shaping Factors
SAGAT	Técnica de Avaliação Global de Consciência de Situação
SAW	Percepção da Situação
SHARP	Procedimento de Confiabilidade de Ação Humana Sistêmica
SHELL	Software, Hardware, Environment e Liveware
TTU	Texas Tech University
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 PESQUISAS NA BASE DE DADOS SCOPUS	19
2.2 ESTATÍSTICAS DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS	22
2.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS	24
2.3.1 Considerações sobre os artigos pesquisados na base de dados Scopus	36
2.3.2 Tabulação por critérios na base de dados Scopus	39
2.4 PESQUISAS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE	40
2.5 ESTATÍSTICAS DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE	42
2.6 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE	44
2.6.1 Considerações sobre os artigos pesquisados na base de dados Engineering Village	55
2.6.2 Tabulação por critérios na base de dados Engineering Village	57
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	58
3.1 PRINCÍPIOS DA SEGURANÇA DO TRABALHO	58
3.1.1 Legislações	58
3.1.1.1 Decreto nº 2.657 de 3 de julho de 1998	58

3.1.1.2 ISO 45001:2018 - Segurança e saúde no trabalho	58
3.1.1.3 Consolidação das leis do trabalho	59
3.1.1.4 Lei nº 6.514 de 22 de Dezembro de 1977	60
3.2 GERENCIAMENTO DE RISCOS	61
3.2.1 Perigo	62
3.2.2 Risco	63
3.2.2.1 Risco físico	64
3.2.2.2 Risco químico	64
3.2.2.3 Risco biológico	64
3.2.2.4 Risco ergonômico	65
3.2.2.5 Risco de acidentes	65
3.2.3 Ferramentas de análise de risco	66
3.2.3.1 Análise preliminar de perigo	67
3.3 FATORES HUMANOS	69
3.4 CONFIABILIDADE HUMANA	71
3.5 AÇÕES HUMANAS NÃO SEGURAS	72
3.6 SISTEMAS E FATORES SOCIOTÉCNICOS	73
3.7 MODELO SHELL	80
3.7.1 Modelo SHELO	83
4 METODOLOGIA	84
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	88
5.1 MODELAGEM DO PROCESSO DE TRABALHO DO LABORATÓRIO	88
5.1.1 Serviços do laboratório	88
5.1.1.1 Serviço 1. Preparação dos corpos de prova	89
5.1.1.2 Serviço 2. Preparação de células de transferência para ensaio	89
5.1.1.3 Serviço 3. Montagem do ensaio em autoclave estática	90
5.1.1.4 Serviço 4. Teste de estanqueidade em autoclaves	90

5.1.1.5 Serviço 5. Preparação e utilização da linha de tubulação contendo H ₂ S	90
5.1.1.6 Serviço 6. Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave	91
5.1.1.7 Serviço 7. Desmontagem do ensaio em autoclave	91
5.1.1.8 Serviço 8. Limpeza da autoclave	92
5.1.1.9 Serviço 9. Preparação das soluções	92
5.1.2 Perfil dos trabalhadores do laboratório	93
5.1.2.1 Formação profissional e nível de escolaridade	93
5.1.2.2 Tempo de exercício na área	94
5.1.2.3 Tempo de exercício na função	95
5.1.2.4 Tempo de formação	96
5.1.2.5 Distribuição por idade	96
5.2 IDENTIFICAÇÃO DE UM SERVIÇO DE ALTO RISCO	97
5.2.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário II	97
5.3 IDENTIFICAÇÃO DE UMA TAREFA DE ALTO RISCO	99
5.3.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário III	99
5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS DA TAREFA CRÍTICA	103
5.5 IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES SOCIOTÉCNICOS	104
5.5.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário IV	104
5.6 APLICAÇÃO DO MODELO SHELL	113
5.7 ANÁLISE DOS FATORES SOCIOTÉCNICOS PELO MÉTODO <i>FUZZY</i>	115
5.7.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário V	115
6 CONCLUSÕES	124
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	126
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
9 APÊNDICE A - Questionários aplicados aos especialistas do laboratório	134
10 APÊNDICE B - Análise Preliminar de Perigo (APP) para as tarefas críticas	149

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Laboratórios de ensino e pesquisa são ambientes de trabalho que envolvem uma gama diversificada de fontes de risco. Nesses locais os usuários podem ter contato com reagentes, soluções químicas, microorganismos, equipamentos, amostras, temperaturas e pressões variadas, entre outros. Essa coletânea de agentes de risco demanda uma coordenação para que nenhum evento indesejado aconteça.

Por conseguinte, laboratórios de pesquisa são locais propensos a acidentes, em virtude do catálogo de produtos perigosos que são manipulados. Oliveira e Ribeiro (2003 apud Müller & Mastroeni, 2004, p.106) relatam no estudo realizado envolvendo laboratórios de pesquisa em uma universidade, que a maior parte dos acidentes ocorreu com estudantes acadêmicos que participavam de projetos de pesquisa. Segundo os autores, devido ao tempo de exposição desse grupo aos riscos existentes no ambiente laboratorial ser considerado grande, observa-se uma predominância na ocorrência de acidentes.

O acidente ocorrido em 2010 no laboratório do departamento de química da universidade americana Texas Tech University (TTU) teve uma ampla investigação por parte do governo americano e resultou em relatório oficial disponível ao público com informações a respeito das causas do acidente. Nesse acidente, um estudante do 5º ano de pós graduação do departamento de química e bioquímica da TTU manipulava o composto químico explosivo NHP (*nickel hydrazine perchlorate*) quando este explodiu. O aluno perdeu três dedos da mão, teve queimaduras nas mãos e face e ferimento em um olho (CBS, 2010). O relatório aponta, mais do que erros humanos, para deficiências sistêmicas, tanto organizacionais quanto normativas e legais.

Müller & Mastroeni (2004) afirmam que estudos que informem casos de acidentes em laboratórios de pesquisa são extremamente raros na literatura científica. Investigações tais como a ocorrida na universidade do Texas não são gerais. No Brasil, um exemplo recente foi o acidente ocorrido em Agosto de 2018 no departamento de metalurgia e materiais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) no qual três pessoas se feriram. O conhecimento gerado a partir das falhas sistêmicas existentes na TTU torna o evento interessante para fins de aprendizado da comunidade acadêmica brasileira.

Observa-se no Brasil que acidentes ou quase acidentes em ambiente laboratoriais muitas vezes não são retratados formalmente à intuição. Essa falta de comunicação gera uma escassez de dados que possibilitem a investigação de acidentes ou quase acidentes nesses locais, bem como dificulta o desenvolvimento e a implementação de um plano de gerenciamento e controle de riscos nesses ambientes.

Reconhecer os perigos existentes no ambiente laboratorial é importante para prevenir acidentes e auxiliar gestores quanto a possíveis mudanças no sistema organizacional, visando aumentar a segurança. Porém, apenas a identificação desses perigos não é suficiente para garantir o aumento da segurança nesses locais. Isso porque acidentes nunca são causados por um único fator e sim por um conjunto destes.

O antigo conceito de abordagem de acidentes indicava que as falhas humanas eram a sua principal causa e consideravam o ato inseguro como responsável por 95% dos acidentes de trabalho. Essa abordagem direciona a culpa do acidente aos próprios indivíduos acidentados e não leva em consideração a existência de erros sistêmicos (Correa & Junior, 2007).

Llory (1999, apud MTE, 2003, p. 28) questiona a abordagem comportamentalista, ou seja, aquela que prioriza o erro humano como causa fundamental dos acidentes, porque não elucida a compreensão de como o acidente ocorreu. O conceito de "acidente organizacional" foi então desenvolvido pelo autor visando oferecer um aspecto mais amplo no entendimento das causas de acidentes. Nessa definição o acidente é organizacional porque é, a princípio, produto de uma organização sociotécnica. O entendimento de que o acidente é somente resultado de uma combinação desfavorável de falhas passivas e latentes com falhas ativas e diretas, e resultado de uma combinação particular de erros humanos e falhas materiais se torna então inapropriado.

Na visão proposta pelo autor, o acidente está enraizado na história da organização, uma vez que uma sequência de decisões, ou privações de decisões; o contexto organizacional, institucional, cultural que acomete o futuro do sistema; fatores internos à organização; eventos particulares que oferecem impacto notável sobre a vida e o funcionamento do sistema sociotécnico, criam uma situação prejudicial no qual o acidente poderá surgir (MTE, 2003).

As abordagens mais recentes dissociam o erro humano como causa principal dos acidentes e consideram uma abordagem sistêmica, na qual um conjunto de fatores interagem entre si de forma contínua, podendo conduzir a um acidente. Segundo Iida (2005) os fatores que têm de ser considerados são: as tarefas, as máquinas e ferramentas, o indivíduo, a

personalidade, a estrutura organizacional e o ambiente físico. Esses fatores formam o sistema sociotécnico e devem ser observados para atenuar os riscos existentes nos laboratórios e assim prevenir acidentes.

A estratégia da pesquisa é classificada como bibliográfica, documental e estudo de caso. Segundo Gil (2002), bibliográfica visto que material já elaborado foi utilizado no levantamento bibliográfico. Documental pois utiliza documentos internos como fonte de coleta de dados. Estudo de caso pois aborda uma investigação empírica que apura um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto de vida real na ocasião em que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão nitidamente definidos.

O local escolhido como objeto de estudo de caso é um laboratório de pesquisa em uma instituição pública no Brasil. O laboratório atua com pesquisas na área de corrosão. O local é utilizado por pesquisadores da instituição em pesquisas científicas e pesquisas voltadas para o setor produtivo.

O laboratório desenvolve parcerias científico-tecnológicas com empresas que buscam soluções tecnológicas inovadoras. Dentre os serviços prestados estão tecnologia de proteção, caracterização, mecanismo e monitoração de corrosão. Dentre as empresas parceiras destacam-se a Petrobrás e a Shell.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao longo dos anos a teoria da natureza das causas dos acidentes foi sendo alterada. Anteriormente a abordagem estava focada em falhas e erros locais, agora está voltada para a busca dos fatores sociotécnicos que afetam o desempenho das pessoas. A necessidade de entender os riscos inerentes aos serviços prestados no laboratório alvo dessa pesquisa e identificar os fatores sociotécnicos que afetam o desempenho dos trabalhadores foram alguns dos estímulos para a realização desse estudo.

Além disso, a aplicação do modelo SHELLO com a finalidade de estudar e entender se esse modelo se adequa como ferramenta de análise de fatores humanos em laboratórios de pesquisa brasileiros foi pensada. Essa é uma colaboração que se aspira fornecer para o estudo de segurança nos processos do laboratório.

Os dois principais modelos de análise de fatores humanos são o modelo SHELL e o modelo Reason. O modelo SHELLO foi escolhido para esse estudo porque possui a mesma

estrutura sistemática do modelo SHELL e considera o fator organizacional do modelo Reason. Isto posto, pode ser considerado um modelo mais completo para análise de fatores humanos.

Acidentes de trabalho em atividades de pesquisa em laboratórios podem ser potencialmente perigosos. O laboratório objeto da pesquisa atua nos setores de óleo e gás, energia, metalurgia, mineração, transporte, saúde, entre outros e essa grande diversidade de assuntos pesquisados aumenta o número de procedimentos, materiais manuseados, equipamentos utilizados e produtos químicos que são aplicados durante a pesquisa (CIENFUEGOS, 2001).

Estudar e entender os processos de trabalho dentro do laboratório irá permitir identificar aqueles que são não seguros e propor medidas para diminuir o risco de acidentes. Segundo Osório (2005), estudos apontam que informações e procedimentos voltados para aspectos técnicos do trabalho não são suficientes para reduzir a ocorrência de acidentes e que a maioria dos acidentes é causado devido à inobservância das precauções recomendadas.

O entendimento dos fatores sociotécnicos nas atividades diárias em ambiente laboratorial favorece a implementação de novas medidas preventivas, otimização das medidas já existentes e melhora do processo produtivo de um modo geral.

1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

1.3.1 Objetivo Geral

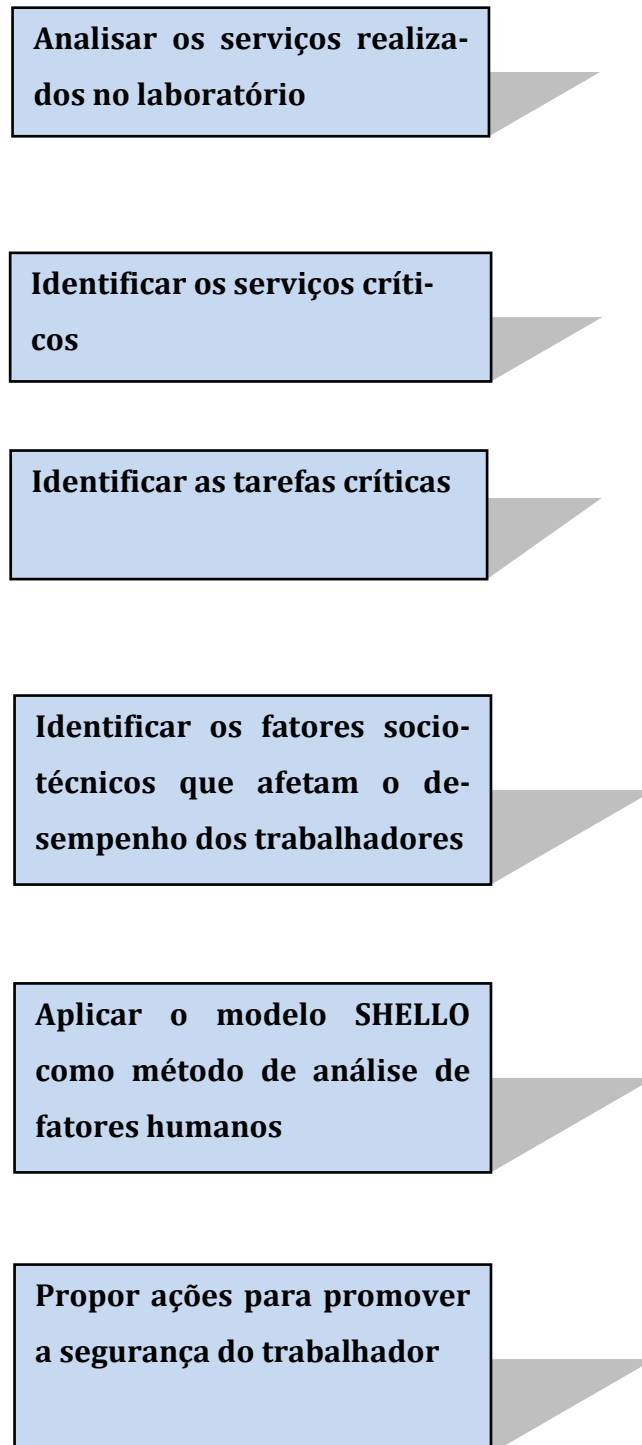
Com esse estudo espera-se desenvolver uma metodologia que avalie a influência dos fatores sociotécnicos nas falhas ocorridas no laboratório escolhido para estudo. A organização poderá implementar o estudo e resultados da análise, com o objetivo de proporcionar uma redução na possibilidade de ocorrência de acidentes, redução das falhas humanas e melhoria no processo de trabalho.

Adicionalmente, aplicar uma ferramenta de análise de risco para identificar as tarefas que expõem os trabalhadores a um nível crítico de segurança no ambiente laboratorial, estudar a viabilidade da implantação do modelo SHELL como método de análise de fatores humanos nesse ambiente de trabalho e conhecer o domínio dos fatores sociotécnicos nos possíveis cenários de acidentes no laboratório.

1.3.2 Objetivos Específicos

Visando atingir os objetivos gerais manifestados, uma sequência de objetivos específicos têm de ser alcançados, dentre os quais se frisam:

Figura 1. Objetivos específicos



Fonte: autora

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo descreve a metodologia, baseada no trabalho de Duarte (2012), utilizada na pesquisa bibliográfica feita nesse estudo. Uma revisão bibliográfica sistematizada foi realizada a partir da produção científica acessível nas bases de dados *Scopus* e *Engineering Village* do portal da Capes sobre os temas associados à fatores humanos em atividades de pesquisa em laboratórios. A análise da pesquisa foi estruturada em três etapas:

- 1) descrição do levantamento dos documentos;
- 2) verificação do conteúdo dos documentos;
- 3) determinação dos documentos mais significativos ao tema.

O incentivo à análise bibliométrica partiu do desejo de conhecimento a respeito dos tipos de abordagens dos documentos disponíveis no acervo de produções científicas nacionais e internacionais referente ao tema estudado. A primeira etapa consistiu em determinar como as buscas seriam realizadas e a segunda etapa em analisar o conteúdo e possível abrangência na dissertação. A última etapa consistiu em apurar as produções científicas mais relevantes ao tema abordado, ou seja, confiabilidade humana e fatores humanos em atividades de pesquisa em laboratório.

2.1 PESQUISAS NA BASE DE DADOS SCOPUS

Para a realização da pesquisa nessa base, após algumas simulações práticas, foram utilizadas 6 palavras-chave selecionadas como resultado de melhor avaliação aos documentos. A partir do campo de busca do Scopus (<https://www.scopus.com>), considerando somente os artigos publicados referentes às áreas temáticas "Engenharia" e "Engenharia Química", no período compreendido entre os anos de 2013 e 2018, sem restrição quanto à região, com retorno de 278 artigos, conforme indicado no quadro 1.

Quadro 1. Palavras-chave da pesquisa base de dados Scopus

Termos da pesquisa	Número de registros encontrados
Shell model AND human factors	91
Human factors AND laboratory safety	124
Human reliability analysis AND corrosion	29
Ergonomics AND corrosion	7
Shell model AND Human reliability analysis	8

Human reliability analysis AND laboratory safety	19
Total	278

Fonte: Adaptado de Duarte (2012)

Visando selecionar os artigos que mais se alinhavam com a pesquisa, foram excluídos aqueles cujo resumo e palavras-chave não condiziam com o tema estudado. Por conseguinte, foram analisados 28 títulos e resumos dos artigos, visando selecionar um conjunto aderente ao tema da pesquisa. O quadro 2 mostra os resultados obtidos após essa análise.

Quadro 2. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Scopus

Palavras-chave	Registros encontrados	Artigos selecionados
Shell model AND human factors	91	6
Human factors AND laboratory safety	124	13
Human reliability analysis AND corrosion	29	4
Ergonomics AND corrosion	7	0
Shell model AND human reliability analysis	8	1
Human reliability analysis AND laboratory safety	19	4
Total	278	28

Fonte: Adaptado de Duarte (2012)

Como resultado dessa etapa foram selecionados 21 artigos para uma análise mais completa e aprofundada, porém verificou-se que alguns artigos se repetiam em mais de uma palavra-chave, resultando num total de 19 artigos diferentes selecionados para essa pesquisa. O quadro 3 apresenta a lista com os artigos que foram selecionados.

Quadro 3. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Scopus

Autor (es)	Artigos selecionados para a pesquisa	Periódico
Bashiri e Mann (2015)	<i>Impact of automation on drivers' performance in agricultural semi-autonomous vehicles</i>	<i>Journal of Agricultural Safety and Health</i>
Bavafa, Mahdiyar e Marsono (2018)	<i>Identifying and assessing the critical factors for effective implementation of safety programs in construction projects</i>	<i>Safety Science</i>
Botti,	<i>Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hy-</i>	<i>Computers and</i>

Mora e Regattieri (2017)	<i>brid assembly line</i>	<i>Industrial Engineering</i>
Botti, Mora e Regattieri (2017)	<i>Application of a mathematical model for ergonomics in lean manufacturing</i>	<i>Data in Brief</i>
Ebrahim et al (2017)	<i>Factors affecting design, construction and renovation of engineering laboratories</i>	<i>International Journal of Engineering Education</i>
Edwards et al (2017)	<i>Multifactor interactions and the air traffic controller: the interaction of situation awareness and workload in association with automation</i>	<i>Cognition, Technology and Work</i>
Gertman et al (2015)	<i>Traveling to the Future: Human Factors and Ergonomics Integration, Simulation, Field Testing and Strategic Partners in Support of Heavy Vehicle Research</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>
Gual et al (2018)	<i>Prevention of human factors and reliability analysis in operating of sipping device on IPR-R1 TRIGA reactor, a study case</i>	<i>SpringerSeries in Reliability Engineering</i>
Kuselman et al (2013)	<i>House-of-security approach to measurement in analytical chemistry: Quantification of human error using expert judgments</i>	<i>Accreditation and Quality Assurance</i>
Lin, Haena e Ale (2014)	<i>Modeling contractor and company employee behavior in high hazard operation</i>	<i>ESREL 2013</i>
Lin et al (2014)	<i>Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory</i>	<i>Safety Science</i>
Liu e Wang (2014)	<i>Civil aviation accident human factors analysis model</i>	<i>Advanced Materials Research</i>
Miller e Holley (2018)	<i>Shell revisited: Cognitive loading and effects of digitized flight deck automation</i>	<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>
Olewski et	<i>Building process safety culture at Texas A&M University at Qatar:</i>	<i>Journal of Loss</i>

al (2016)	<i>A case study on experimental research</i>	<i>Prevention in the Process Industries</i>
Omidvari, Mansouri e Nouri (2015)	<i>A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories</i>	<i>Safety Science</i>
Suryoputro et al (2017)	<i>Machinery safety of lathe machine using SHARP-systemic human action reliability procedure: A pilot case study in academic laboratory</i>	<i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>
Tong, Chau e Wong (2015)	<i>A SHELF -swiss cheese model for aviation safety</i>	<i>Proceedings - 21st ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design</i>
Xi et al (2017)	<i>A new hybrid approach to human error probability quantification—applications in maritime operations</i>	<i>Ocean Engineering</i>
Zhou, Bai e Sun (2014)	<i>A hybrid approach for safety assessment in high-risk hydropower-construction-project work systems</i>	<i>Safety Science</i>

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.2 ESTATÍSTICAS DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS

Apresenta-se nessa seção as estatísticas referentes aos artigos publicados que foram selecionados para o estudo mais aprofundado, organizadas por autor, idioma, ano de publicação e periódico.

- Disposição por autor

Dentre os 19 artigos selecionados observa-se que apenas dois autores publicaram dois artigos cada, logo, os outros autores publicaram apenas um artigo, não havendo uma predominância significativa de algum autor.

- Disposição por idioma

Verificou-se nessa base de dados que todos os artigos selecionados para esse estudo estão em língua inglesa.

- Disposição por ano de publicação

Observou-se que o ano de 2017 predominou com seis artigos publicados, seguido dos anos de 2014 e 2015, com quatro artigos publicados, conforme ilustrado no gráfico 1.



Gráfico 1. Artigos publicados por ano na base Scopus
Fonte: adaptado de Duarte (2012)

- Disposição por periódico

Os artigos selecionados foram publicados na base de dados Scopus pertencente à plataforma da CAPES. A fonte com maior número de publicações foi a "*Safety Science*" com quatro artigos publicados, enquanto as outras fontes tiveram um artigo publicado, conforme quadro 4.

Quadro 4. Distribuição dos artigos por periódico base de dados Scopus

Periódico/Congresso	Quantidade de artigos
<i>Accreditation and Quality Assurance</i>	01
<i>Advanced Materials Research</i>	01
<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>	01
<i>Cognition, Technology and Work</i>	01
<i>Computers and Industrial Engineering</i>	01
<i>Data in Brief</i>	01
<i>International Journal of Engineering Education</i>	01
<i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>	01

<i>Journal of Agricultural Safety and Health</i>	01
<i>Journal of Loss Prevention in the Process Industries</i>	01
<i>Ocean Engineering</i>	01
<i>Procedia Manufacturing</i>	01
<i>Proceedings - 21st ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design</i>	01
<i>Safety Science</i>	04
<i>Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2013</i>	01
<i>Springer Series in Reliability Engineering</i>	01
Total	19

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.3 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS

A análise dos 19 artigos selecionados a partir da base de dados Scopus é apresentada nessa seção com relação aos seguintes aspectos: objetivo, método utilizado, critérios de avaliação, demarcação geográfica, resultados e contribuição prática.

- **Artigo 1:** Bashiri e Mann (2015) apresentam a preocupação com a crescente tendência da automação em veículos agrícolas e propõe em como o estudo da perspectiva de fatores humanos pode ser útil para identificar as consequências desses sistemas automatizados. Para isso, realizam um estudo de caso, através de simulação com sistema de semeadores de ar para estudar os efeitos da automatização de tarefas de direção de veículos e tarefas de controle e monitoramento. Utilizam como método a medição de dois parâmetros de desempenho, tempo de reação e acurácia das ações, para avaliar a carga mental percebida pelos motoristas. Os experimentos foram conduzidos utilizando o simulador de condução de tratores, que fica localizado no Laboratório de Ergonomia Agrícola da Universidade de Manitoba e os participantes do estudo foram estudantes universitários com experiência em condução de trator. Os resultados encontrados nesse estudo apontam que o tempo de reação e o número de erros cometidos pelos motoristas diminuíram conforme o aumento do nível de automação. Foram encon-

tradas correlações entre os parâmetros de desempenho e a carga mental subjetiva relacionada pelos motoristas.

- **Artigo 2:** Bavafa, Mahdiyar e Marsono (2018) expõem que as questões de segurança são consideradas as principais preocupações na indústria da construção e, apesar disso, apontam que a taxa de fatalidade nesse setor é extremamente alta. Denotam que, apesar dos inúmeros estudos realizados para determinar a eficácia relativa dos fatores críticos do programa de segurança, as interações entre esses fatores raramente é investigada. Logo, colocam como objetivo no estudo identificar e avaliar as relações causais dos fatores do programa de segurança nos projetos de construção em Kuala Lumpur, capital da Malásia. Para isso, utilizam o método Fuzzy Delphi para identificar os fatores do programa de segurança, seguido da análise, através do uso da ferramenta de múltiplos critérios Laboratório de Julgamento e Avaliação de Tomada de Decisão (DEMATEL), para investigar as interdependências entre os fatores do programa de segurança. Por conseguinte, visualizam através de um diagrama de relação causa-efeito as relações causais entre todos os fatores do programa de segurança. Como consequência desse estudo foram identificados 11 fatores do programa de segurança a partir do método empregado. Os resultados obtidos do DEMATEL indicam que "compromissos e responsabilidades de segurança", "subcontratos e seleção de pessoal", "supervisor de segurança e profissionais", "plano de segurança" e "envolvimento do funcionário e avaliação de segurança" são fatores críticos do programa de segurança. O estudo concluiu que o foco nesses cinco fatores influenciadores resulta na melhoria de todos os fatores do programa de segurança.
- **Artigo 3:** Botti, Mora e Regattieri (2017) declaram que a manufatura enxuta é um método de produção que foi estabelecido pelo sistema de produção da Toyota no Japão, sendo rapidamente difundido e estabelecido na indústria manufatureira mundial. Nesse estudo, propõem introduzir um novo modelo matemático para projetar processos enxutos em linhas de montagens híbridas, tendo como objetivo fornecer uma ferramenta de projeto de linha de montagem eficiente e eficaz que atendesse aos requisitos ergonômicos de um trabalho de montagem seguro. Para atingir o objetivo o modelo define o processo de montagem para linhas de montagem híbridas com trabalhadores manuais e máquinas de montagem automatizadas, sendo fornecidos os requisitos de produção, as características do produto e as tarefas de montagem. Na prática, esse modelo ajuda gerentes e profissionais a projetar linhas de montagem híbridas com trabalhado-

res manuais e máquinas de montagem automatizadas, considerando o nível de risco aceitável de movimentos repetitivos, conforme exigido por legislação atual. Para tal, o modelo foi aplicado em um estudo de caso de uma linha de montagem para gabinetes de ferramentas de casca dura. Os resultados mostram que a preocupação com a ergonomia do trabalhador é um parâmetro chave no desenho do processo de montagem.

- **Artigo 4:** Botti, Mora e Regattieri (2017) apresentam nesse estudo os dados relacionados ao artigo *"Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hybrid assembly line"* (Botti et al., 2017). Os resultados são referentes ao emprego do modelo matemático para o projeto de processos enxutos em linhas de montagens híbridas, atendendo aos princípios e aos requisitos ergonômicos para um trabalho de montagem seguro. Para isso, o modelo de dados usado é referente à uma linha de montagem manual com seis postos de trabalho manual e seis trabalhadores manuais, no qual um trabalhador é designado para cada posto de trabalho manual. Sendo a sequência de tarefas de montagem a mesma para cada tipo de produto; e o tempo de segurança varia de 1 a 3h, enquanto o atraso médio dos postos de trabalho manual varia de 2 a 12s, dependendo do tipo de produto e da tarefa. Os dados introduzidos definem as entradas do modelo para o estudo de caso considerado. Sendo assim quarenta e oito variáveis binárias são introduzidas sujeitas a sessenta restrições de viabilidade. O modelo e os dados de entrada são codificados na linguagem AMPL e processados adotando o solucionador GurobiOptimizer © v.5.5. Os dados exibem que é possível o sucesso de uma estratégia enxuta quando a ergonomia dos trabalhadores é um parâmetro do projeto do processo de montagem.
- **Artigo 5:** Ebrahimet al (2017) apresentam nesse estudo sugestões de ações apropriadas e abordagens eficazes na construção e desenvolvimento de um laboratório de qualidade para o corpo docente de engenharia, não fornecendo detalhes da construção do laboratório em si. Denotam que dentre várias questões de importância, três são consideradas comuns à maioria dos tipos de instalações laboratoriais, sendo estas: questões humanas, de processo e técnicas. Logo, o gerenciamento adequado de qualquer processo de laboratório engloba considerar essas. O objetivo deste trabalho é pesquisar elementos relevantes que influenciam as abordagens de projeto, construção e renovação de instalações laboratoriais para faculdades de engenharia nas universidades. Essa pesquisa tem por intenção apresentar o efeito geral das questões humanas, de processo e técnicas no desenvolvimento de um projeto de laboratório eficaz. Como método de

pesquisa, os autores formaram um comitê de design, construção e renovação de instalações laboratoriais, denominando-o de comitê de laboratório. Esse comitê propõe-se a abordar de forma metódica o desenvolvimento de laboratórios e tratar das preocupações dos usuários e administradores dos centros de pesquisa. O resultado apresentado pode ser usado como roteiro para a comunidade científica, administradores de laboratórios e pesquisadores interessados em estabelecer laboratórios de engenharia de acordo com suas exigências, podendo ser ampliado para ser adotado em outros estabelecimentos. De maneira geral, os princípios gerais expostos por este estudo tornam suas recomendações aplicáveis à construção ou reforma de praticamente qualquer edifício de laboratório.

- **Artigo 6:** Edwards et al (2017) afirmam que os controladores de tráfego aéreo devem manter um nível alto e consistente de desempenho humano, com objetivo de manter a segurança e a eficiência dos voos. Fatores que influenciam o desempenho, tais como: carga de trabalho, fadiga e conscientização da situação podem coexistir e interagir para afetar o desempenho nos ambientes de controle. Porém, as influências multifatoriais e a associação com o desempenho não são devidamente pesquisadas. Esse estudo utilizou uma simulação de controle de tráfego aéreo em rota para investigar a relação entre carga de trabalho, percepção da situação e desempenho do controlador. Para isso, contou com a participação de oito controladores aposentados, com idades entre 50 e 69 anos, que haviam trabalhado no espaço aéreo de rota no Centro de Controle de Tráfego da Rota Aérea de Oakland. O estudo teve como objetivo replicar os resultados obtidos anteriormente no estudo "*Proceedings of the 4AHFE International*" (Edwards et al, 2012), que apontaram que fatores conhecidos por estarem relacionados ao desempenho do controlador co-variam e podem interagir, gerando uma influência composta no desempenho. O artigo também apresenta como objetivo expandir o estudo de Edwards et al (2012) incluindo os controladores aposentados como participantes e comparando os relacionamentos entre multifatores em quatro níveis de automação. Os resultados apontam que a conscientização da carga de trabalho e da situação pode interagir para produzir um impacto composto (em oposição a cumulativo) no desempenho do controlador. Ademais, o efeito da interação no desempenho do controlador pode depender do contexto e do nível de automação. Os resultados obtidos nesse estudo têm consequências para a formação de equipes de automação humana no controle de tráfego.

go aéreo e a previsão potencial de situações que influenciam o desempenho, mantendo o desempenho do controlador no ambiente operacional.

- **Artigo 7:** Gertman et al (2015) declaram que a equipe de fatores humanos do *Idaho National Laboratory* (INL) participa da avaliação de tecnologia para operações de frota, incluindo revisão de eficiência de combustível, melhoria e desempenho do motorista, e trabalha no teste de protótipos de ônibus com sistemas avançados. Afirmam também que os estudos do INL são exclusivos, porque os *drivers*, sistemas e rotas são reais; e os treinadores usados diariamente pelos serviços da frota são integrados nas avaliações. Colocam que, uma das possíveis aplicações da tecnologia inteligente está no desenvolvimento de uma rede de comunicações sem fio inter operável entre os veículos. O INL utiliza especialização em engenharia de fatores humanos (EFH) em conjunto com operações de frota para orientar a introdução e implementação de veículo para veículo e de veículo para comunicações de infra-estrutura. Para tal, utilizam o simulador de veículos pesados, localizado no Centro de Estudos Avançados de Energia, para avaliação do projeto, e o EFH participa da realização de testes de campo envolvendo motoristas de ônibus e supervisores. Para realização da pesquisa, o INL controlou estradas de acesso que levam às rodovias de Idaho por meio de operações de frota, controle e acesso consideráveis ao pessoal. A equipe da HFE, motoristas e técnicos ajudaram na montagem do simulador e um parceiro doou o veículo (táxi) usado. Os métodos que alavancamos até agora incluem o desenvolvimento do simulador, o teste de ajuda preditiva, o barramento de protótipo, testes, pesquisas e interrogatórios e tarefas do Acordo de Cooperação e Desenvolvimento Cooperativo (CRADA). Nessa direção o estudo analisa a abordagem e descobertas do teste de eficiência do driver preditivo e teste de protótipo de veículo, aborda como o EFH foi integrado no processo de planejamento e revisão de projeto para operações da frota do INL e salienta o progresso em iniciativas de pesquisa de veículos conectados. Os resultados apontam que a contribuição do EFH para o projeto e teste de campo foi conveniente para as operações da frota em termos de segurança, eficiência e participação dos motoristas. Os dados apresentados nesse estudo indicam que a eficiência bem projetada envolvendo a participação de HFE, operações de frota e motoristas de ônibus tem o potencial de reduzir gases de efeito estufa e emissões de carbono.
- **Artigo 8:** Gual et al (2018) relatam que um novo dispositivo construído no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), localizado em Belo Horizonte -

Brasil, será aplicado para examinar o revestimento de elementos combustíveis irradiados no reator IPR-R1 TRIGA. Esse teste do sorvedor é importante para assegurar a integridade do revestimento dos elementos combustíveis irradiados deste reator, o qual pode ser afetado pela corrosão devido ao longo período de tempo em uso. Nesse teste do sorvedor a identificação de elementos de combustível com falha é feita medindo a atividade do íon metálico radioativo Cs-137 na água ambiente, coletada a partir do dispositivo sorvedor. Esse estudo tem como objetivo descrever a aplicação da técnica "*what if*" para avaliar o risco e a confiabilidade em operações envolvendo esse tipo de teste, incluindo uma análise para identificar erros humanos e modos de falha do equipamento. O resultado desse estudo mostrou que o erro humano foi identificado como a causa principal ou fator contribuinte nos modos de falha. Além de indicar eventos iniciais, consequências, salvaguardas recomendadas e medidas para reduzir o erro humano.

- **Artigo 9:** Kuselman et al(2013) afirmam que a atividade humana jamais está isenta de erros e que estes são a raiz da maioria dos acidentes e incidentes que ocorrem em laboratórios. Além disso, quando se trata de pesquisa em química analítica, os erros humanos podem levar a resultados de testes atípicos de confiabilidade questionável. Enquanto a experiência em modelagem e redução de erros humanos usando metodologia de sistemas de qualidade (como exemplo, treinamento de pessoal e teste de proficiência em laboratório) existe, a quantificação não é desenvolvida em química analítica. Ou seja, atualmente não existe banco de dados disponível contendo valores empíricos de probabilidade e taxas de ocorrência de erros humanos em química analítica. Diante desse cenário esse estudo apresenta uma nova técnica para quantificação de erros humanos em análises químicas utilizando julgamento de especialistas. Essa técnica fundamenta-se na abordagem da casa de segurança desenvolvida na área da segurança para prevenção de ataques terroristas. Essa abordagem retrata um processo de tomada de decisão que permite a conversão de uma matriz de probabilidade e gravidade dos cenários de ataque em uma estrutura que compreende componentes do sistema de segurança, classificados de acordo com sua provável eficácia na prevenção de ataques. Foram feitas algumas substituições na abordagem original para adaptar à quantificação de erro humano em análises químicas, sendo estas: erro humano em vez de ataque terrorista, laboratório de química analítica em vez de uma organização em ataques terroristas e sistema de qualidade em laboratório em vez de um sistema de segu-

rança da organização. Para tal, parâmetros de quantificação relativa, expressos em porcentagem, são propostos na técnica, sendo estes: escore de verossimilhança de erro humano em um método de medição analítico, escore de gravidade de erro humano para confiabilidade dos resultados do teste, pontuação de importância de um componente de um sistema de qualidade de laboratório e pontuação de eficácia do sistema de qualidade como um todo na prevenção. Como estudo de caso, trinta e quatro cenários de erro humano na medição de pH da água subterrânea são discutidos e quantificados nesse estudo. Os resultados dos cálculos permitem determinar que o treinamento é o componente mais importante do sistema de qualidade para a pHmetria das águas subterrâneas, seguido da supervisão, controle da qualidade e a validação, respectivamente.

- **Artigo 10:** Lin, Haena e Ale (2014) declaram que os modelos de riscos existentes geralmente se concentram em falhas técnicas, por serem mais fáceis de modelar e por existirem dados mais concretos. No entanto, muitas das principais causas de desastres, como o de Texas City e da Deepwater Horizon da BP, estão fixadas nas decisões administrativas e organizacionais. Sendo assim, existe uma forte necessidade de desenvolver uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de riscos para indústrias de processos químicos que incorporem fatores humanos e organizacionais em modelos de risco quantificados. Portanto, esse estudo traça dois modelos de desempenho humano para a empresa de petróleo e gás Royal Dutch Shell. Para tal, entrevistas foram realizadas para obter informações a respeito de importantes fatores humanos. Como a qualidade e a operação das ações de gerenciamento têm influências consideráveis nos fatores humanos (como exemplo, atitude de segurança e treinamento), associou-se um modelo de gerenciamento de segurança ao modelo de fatores humanos e quantificou-se as implicações de risco de diferentes mudanças de gerenciamento com a finalidade de evitar acidentes. Esse estudo fornece o desenvolvimento e a quantificação de fatores humanos e de gerenciamento para uma empresa de petróleo, podendo se tornar uma ferramenta extra para ajudar os tomadores de decisão dessa indústria a determinar quais intervenções de gerenciamento têm o maior potencial para reduzir o risco na operação.
- **Artigo 11:** Lin et al (2014) reconhecem nesse estudo ser um grande desafio garantir e melhorar a segurança e confiabilidade de dispositivos médicos, uma vez que estes tornaram-se cada vez mais complexos, interconectados e interoperacionais. Sendo assim, é fundamental para melhorar a qualidade do tratamento médico e prevenir acidentes

que uma análise e avaliação eficientes da confiabilidade humana para dispositivos médicos seja realizada. Esse artigo verifica métodos qualitativos e quantitativos para analisar a confiabilidade humana em dispositivos médicos. Para tal, desenvolvem o modelo SHELL (*Software, Hardware, Environment e Liveware*) para efetuar uma análise qualitativa da confiabilidade humana de dispositivos médicos. Esse modelo considera o humano como um componente integrado e inseparável do sistema produtivo. Em seguida, realizam uma análise de modos de falha e efeitos (AMFE) para avaliar as potenciais falhas na confiabilidade humana de dispositivos médicos. O AMFE é um método para avaliar um sistema, projeto, processo ou serviço para possíveis meios nos quais falhas (problemas, erros e riscos) podem ocorrer. A principal questão desse método é determinar os fatores de risco, como ocorrência, gravidade e a detecção, empregando as opiniões de diferentes especialistas. O objetivo desse estudo é analisar e construir um modelo de avaliação para a confiabilidade humana de dispositivos médicos para melhorar a segurança desses dispositivos. Para isso, os autores aplicam a teoria linguística difusa para converter a cognição subjetiva de especialistas em uma entidade de informação para obter os valores numéricos dos fatores de risco.

- **Artigo 12:** Liu e Wang (2014) investigam nesse estudo os modelos de análise de fatores humanos de acidente em aviação civil, destacando o modelo SHELL (*Software, Hardware, Environment e Liveware*) e o modelo Reason, os quais tiveram suas vantagens e desvantagens discutidas no artigo. Em seguida, os autores propõem um novo modelo de análise de fatores humanos de acidente em aviação civil chamado O-SHELL, sendo este modelo o desenvolvimento do modelo SHELL e do modelo Reason. Esse novo modelo O-SHELL possui estrutura sistemática idêntica a do modelo SHELL e destaca as responsabilidades organizacionais, assim como no modelo Reason. Como resultado o estudo aponta que esse novo modelo oferece as vantagens dos dois modelos (SHELL e Reason) desconsiderando suas desvantagens. Logo, o modelo O-SHELL proporciona uma análise mais sistemática e clara dos fatores humanos de acidentes em aviação civil.
- **Artigo 13:** Miller e Holley (2018) utilizam o modelo SHELL (*Software, Hardware, Environment e Liveware*) de fatores humanos para pesquisar as interfaces entre os componentes e analisar os problemas criados quando o modelo está ajustado com os modernos sistemas de convés de voo digitalizados. Nessa direção, apreciam a complacência e o excesso de confiança nos sistemas automatizados, e examinam a carga cog-

nitiva e o potencial para consciência situacional degradada. Para isso, examinam os fatores humanos que contribuem para o acidente aéreo do voo Asiana Flight 214 e os correlatos identificados com a análise SHELL. Utilizam como método a sobreposição do modelo SHELL demonstrando onde funções e operações específicas digitalizadas mostram desafios para os operadores e motivam intensamente as interações eficazes desse modelo em sistema de convés de voo altamente complexos. Sugestões para o gerenciamento avançado de recursos da tripulação são mostradas e aplicações de treinamento de sistemas centrados em humanos são propostas para superar os desafios de carga de trabalho. Implicações para funções de memória de trabalho, panoramas e rumo de acompanhamento também são examinadas. Como resultado, a análise da sobreposição do modelo SHELL indica potencial para reduzir a sobrecarga cognitiva no ambiente da cabine de comando digitalizada.

- **Artigo 14:** Olewski et al (2016) revelam que pesquisas experimentais em universidades geralmente englobam o manuseio de substâncias e processos perigosos, com um nível de risco associado que precisa ser minimizado. Embora incidentes aconteçam nos laboratórios das universidades, é comum que apenas incidentes importantes sejam relatados e investigados. Os desvios operacionais, incidentes de pequeno porte e quase acidentes quase nunca são discutidos, embora sejam oportunidades para cativar nos alunos das universidades uma cultura de segurança do processo. O objetivo dessa pesquisa é apresentar um estudo de caso a respeito da cultura de segurança do processo em um ambiente de pesquisa, empregando diferentes conceitos chave dos princípios de segurança do processo. Para isso, uma sequência de experimentos foi estudada para revelar como as concepções de segurança de processo, começando com um programa de gerenciamento e design intrinsecamente mais seguro, podem ser assimilados durante a realização de pesquisas experimentais. Como resultado, os autores descobriram que investigar as causas dos quase acidentes tem inúmeros benefícios. Diferentes tipos de falhas, como fator humano, projeto de processo, design intrinsecamente mais seguro e procedimentos operacionais padrão foram discutidos através dos estudos de caso. Constatou-se que ter alunos debatendo e apresentando os resultados da investigação a outros estudantes melhorou significativamente, não apenas os aspectos de segurança da pesquisa, mas também a cultura de produtividade e segurança dos pesquisadores envolvidos. Assim como, a análise das falhas ou quase falhas foi considerada extremamente útil para futuras operações seguras do sistema.

- **Artigo 15:** Omidvari, Mansouri e Nouri (2015) explicam que o fogo é uma das crises mais importantes em centros educacionais, particularmente em laboratórios. Devido a isso, esse trabalho buscou desenvolver um modelo quantitativo de avaliação de risco pautado em dados empíricos da Universidade Azad, Faculdade de Ciências e Pesquisa, localizada no Irã. Os aspectos considerados mais importantes foram vazamento de combustível e produtos químicos, reservatórios de alta pressão, falhas de *hardware*, fontes de ignição e erro humano. O plano de construção, o procedimento de ocupação e evacuação, a habilidade da detecção do perigo e a medida de segurança se destacam na condição de situações emergências por consequência de fogo. Todos esses parâmetros foram utilizados como dados de entrada para o modelo de avaliação de risco de incêndio. Nessa pesquisa o objetivo é determinar os fatores que influenciam o risco de incêndio de um centro de educação, através de um modelo baseado no processo de hierarquia analítica e modo de falha e lógica de análise de efeitos. Os resultados revelaram que a maioria dos laboratórios da universidade não tem uma boa resposta em caso de incêndio. Logo, o risco de incêndio nesses ambientes era alto. Além disso, apontou que entre as razões de maior risco de incêndio estão: fontes inseguras de ignição, pessoal não treinado, falta de manutenção preventiva do sistema de detecção de incêndio, fixação do tanque de pressão dentro dos prédios e desinstalação dos sistemas de extinção automática de incêndio.
- **Artigo 16:** Suryoputro et al (2017) declaram que a interação homem-máquina envolveria humano, máquina e ambiente como um sistema correlacionado com o uso da interação para prover suas funções. Sendo assim, uma das perspectivas humanas que podem ser exploradas é o erro humano ou a análise da confiabilidade humana. Essa análise da confiabilidade humana pode ser conduzida utilizando o Procedimento de Confiabilidade de Ação Humana Sistêmica (SHARP), porque esse método oferece uma melhor compreensão a respeito do acidente ocorrido devido a erro humano. Esta pesquisa evidencia a análise da confiabilidade humana usando SHARP com alguma implementação detalhada para entender a segurança das máquinas na máquina do torno. A proposta desse estudo é compreender a análise da confiabilidade humana e encontrar o método SHARP com sua funcionalidade no estudo de caso. Além disso, enfatizar a prática na máquina de torno, seguindo com a identificação de melhorias que poderiam ser realizadas no sistema de segurança existente. O método SHARP é composto por sete etapas que incluem: definição, triagem, desdobramento, representa-

ção, avaliação de impacto, quantificação e documentação. Sendo assim, essas etapas foram combinadas e investigadas usando os métodos *Hard Identification and Risk Assessment* (HIRA), *Fault Tree Effect Analysis* (FTA) e *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). O método HIRA analisou o torno no laboratório acadêmico e resultou num risco de maior nível com uma pontuação de nove para as atividades de parte de transmissão de energia e uma pontuação de seis para atividades que devem significar as partes móveis necessárias para tomar medidas para reduzir o nível de risco. O número de acidentes identificados com base nos resultados de campo é medido calculando o nível de risco de seu RPN. O valor de RPN é o produto do valor de S (*severity/gravidade*), O (*occurrence/ocorrência*) e D (*detection / detecção*). Partindo dos resultados do valor da contagem dos acidentes identificados, os valores mais altos de RPN obtidos, considerando as atividades de transmissão de energia, foi na transmissão de potência, com um valor de dezoito. Seguido das atividades de partes móveis com valor de doze. Baseando-se nos resultados do estudo, pode-se concluir que o método SHARP é confiável e aplicável à análise da confiabilidade humana na interação homem-máquina.

- **Artigo 17:** Tong, Chau e Wong (2015) explicam que acidentes e incidentes com aeronaves são resultados de problemas combinados em diferentes aspectos. Segundo os autores, erros humanos têm maior potencial para afetar adversamente a segurança da aviação do que a falha técnica. Sendo assim, apresentam um novo modelo, denominado SHELL-SwissCheese, que tem por objetivo oferecer um melhor entendimento de como os fatores humanos se relacionam entre si e causam o acidente ou incidente. Esse modelo é desenvolvido com base no modelo SHELL (*Software, Hardware, Environment e Liveware*) e no modelo Swiss-Cheese a fim de proporcionar uma inter-relação mais transparente entre as questões em diferentes aspectos do acidente ou incidente da aeronave, o que alertaria diferentes partes e aumentaria a segurança da aviação. Nesse estudo os autores discutem o esboço do novo modelo e o demonstram a partir de dois estudos de caso.
- **Artigo 18:** Xi et al (2017) revelam que a Análise da Confiabilidade Humana (ACH) sempre foi uma questão de pesquisa essencial em sistemas críticos de segurança. O Método de Análise de Erro de Confiabilidade Cognitiva (CREAM), um conhecido método ACH de segunda geração, é capaz de conduzir análises retrospectivas e prospectivas, sendo largamente utilizado em diversos setores. No entanto, os resultados de

quantificação fornecidos baseiam-se principalmente na especificação do especialista em condições de desempenho comuns (CPCs). A falta de dados, o que torna inevitável a adoção de opiniões especializadas, é a fonte mais importante da incerteza em muitos métodos de ACH. Por isso, a necessidade de utilizar uma abordagem determinística para configurar condições de desempenho comuns (CPCs) e a atribuição da mesma importância a todos os CPCs em um método tradicional CREAM revelam uma lacuna de pesquisa significativa a ser preenchida. Pensando nisso, esse estudo descreve uma metodologia CREAM modificada baseada em uma abordagem de Raciocínio Evidencial (ER) e uma técnica de Laboratório de Decisões e Avaliação (DEMATEL) para a quantificação de probabilidade de erro humano em CREAM racional, denominada HEP. Para isso, é apresentado um estudo de caso ilustrativo associado a operações marítimas. Sendo o método proposto validado por análise de sensibilidade e o resultado da análise quantitativa verificado através da comparação dos dados reais coletados nas águas costeiras de Xangai. Os resultados apontam que o conhecimento e experiência de especialistas leva a diferenças de avaliação nos CPCs e ainda nos resultados da análise de ACH. Portanto, o ER algoritmo é usado para lidar com os julgamentos diferenciais desses especialistas. Sua principal contribuição reside em que, pela primeira vez, aborda a incompletude de dados em HEP, uma vez que os estudos relevantes anteriores focam principalmente na imprecisão dos dados. Os resultados fornecem informações úteis para a avaliação quantitativa dos erros dos marítimos para reduzir os riscos marítimos devido a erros humanos.

- **Artigo 19:** Zhou, Bai e Sun (2014) manifestam que diversos estudos vem sendo realizados sobre como fatores humanos influenciam em acidentes na construção. Diante disso, as relações que interagem entre os fatores humanos compreendidos no gerenciamento de projetos de construção de hidrelétricas em larga escala são analisadas e avaliadas pelos dados associados a 186 casos de acidentes relatados. O sistema de análise e classificação de fatores humanos (HFACS) é desenvolvido para estabelecer um sistema de índices lógico e admissível para investigar erros humanos em acidentes. Ademais, atualmente os fatores são avaliados pelos métodos do julgamento de tomada de decisão e laboratório de avaliação (DEMATEL) e processo analítico de rede (ANP), enquanto o teste de lambda é usado para análise de correlação desses fatores. Nesse trabalho, os autores estendem o método de HFACS para avaliar o risco comportamental defeituoso. Para isso, o método de medição de correlação lambda é utilizado

para analisar os graus de interação entre os fatores independentes que abrangeram os dados usados para constituir a matriz de relação direta no DEMATEL. Esse estudo sugere uma nova abordagem híbrida do método de tomada de decisão de múltiplos critérios (MCDM) para avaliar o gerenciamento de segurança de projetos de construção de hidrelétricas. Os resultados mostram, através do cálculo obtido pelo DEMATEL, que "supervisão e inspeção de segurança" e "organização e responsabilidade" são os fatores mais importantes. Adicionalmente, o estudo empírico mostra que o método híbrido é mais adequado e eficaz do que o método tradicional ANP. Uma combinação dos métodos DEMATEL e ANP fornece uma abordagem mais adequada do que o tom tradicional para resolver problemas com diferentes graus de efeitos entre clusters. Finalmente, os pesos dos fatores de acidentes de construção que são calculados pelo modelo da ANP e o gráfico causal derivado do método DEMATEL podem fornecer orientação para o gerenciamento de segurança.

2.3.1 Considerações sobre os artigos pesquisados na base de dados Scopus

O Quadro 5 exibe um resumo das verificações referentes aos critérios de avaliação, contexto e método utilizado pelos autores dos artigos selecionados e estudados extraídos da base de dados Scopus.

Quadro 5. Considerações a respeito dos artigos selecionados base de dados Scopus

Artigo	Autor	Critérios de Avaliação	Contexto	Método
1	Bashiri e Mann (2015)	Medição de parâmetros de desempenho e fatores humanos	Veículos agrícolas automatizados	Estudo de caso com simulação do sistema de semeadores de ar
2	Bavafa, Mahdiyar e Marsono (2018)	Relações causais dos fatores do programa de segurança em projetos de construção; fatores sociotécnicos, DEMATEL	Projetos de construção em Kuala Lumpur, capital da Malásia.	Fuzzy Delphi para identificar os fatores, análise através do uso da ferramenta DEMATEL
3	Botti, Mora e Regattieri (2017)	Processos enxutos em linhas de montagens híbridas, requisitos ergonômicos, montagem segura	Linha de montagem para gabinetes de ferramentas de casca dura	Novo modelo matemático aplicado em estudo de caso em linha de montagem híbrida
4	Botti, Mora e Regattieri	Dados relacionados	Emprego do	Aplicação de mo-

	tieri (2017)	ao artigo " <i>Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hybrid assembly</i> " (Botti et al., 2017)	modelo matemático para o projeto de processos enxutos em linhas de montagens híbridas	delo matemático no qual os dados introduzidos definem as entradas do modelo para o estudo de caso considerado
5	Ebrahimet al (2017)	Construção e desenvolvimento de um laboratório; fatores sociotécnicos	Instalações laboratoriais para faculdades de engenharia nas universidades	Formação de comitê de design, construção e renovação de instalações laboratoriais
6	Edwards et al (2017)	Influências multifatoriais e associação com desempenho, relação de carga de trabalho e percepção da situação, fatores humanos	Controladores de tráfego aéreo em rota no Centro de Controle de Oakland	Simulação de controle de tráfego aéreo em rota com oito participantes aposentados
7	Gertman et al (2015)	Fatores humanos; melhoria e desempenho dos motoristas; protótipos de ônibus com sistemas avançados	Teste de eficiência do <i>driver</i> preditivo e teste de protótipo de veículo	Simulador de veículos pesados, através de testes de campo
8	Gual et al (2018)	Corrosão, avaliação de risco e confiabilidade, técnica " <i>what if</i> ", erro humano, modo de falha do equipamento	Revestimento de elementos combustíveis irradiados no reator IPR-R1 TRIGA	Testes usando novo dispositivo sorvedor construído no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN)
9	Kuselman et al (2013)	Quantificação erros humanos, análises químicas, julgamento de especialistas	Estudo de caso de trinta e quatro cenários de erro humano na medição de pH da água subterrânea	Aplicação de nova técnica de quantificação de erros humanos em análises químicas utilizando julgamento de especialistas
10	Lin, Haena e Ale (2014)	Processos químicos industriais, fatores sociotécnicos, modelos de risco quantificado, desempenho humano	Elaboração de dois modelos de desempenho humano para a empresa de petróleo e gás Royal Dutch Shell	Entrevistas, estudo para associação do modelo de gerenciamento de segurança ao modelo de fatores humanos

11	Lin et al (2014)	Métodos qualitativos e quantitativos, análise da confiabilidade humana, dispositivos médicos, modelo SHELL	Análise da confiabilidade humana em dispositivos médicos	Desenvolvimento do modelo SHELL, análise de modos de falha e efeitos (FMEA)
12	Liu e Wang (2014)	Modelos de análise de fatores humanos, acidente em aviação civil, modelo SHELL, modelo Reason	Investigação dos modelos de análise de fatores humanos de acidente em aviação civil	Elaboração de um novo modelo denominado O-SHELL
13	Miller e Holley (2018)	Modelo SHELL, fatores humanos, convés de voo digitalizados	Acidente aéreo do voo Asiana Flight 214	Sobreposição do modelo SHELL
14	Olewski et al (2016)	Cultura de segurança de processo, laboratório, processos químicos, segurança de processo, análise de falhas e quase falhas	Estudo de caso a respeito da cultura de segurança do processo em ambiente de pesquisa	Estudo de diferentes experimentos
15	Omidvari, Mansouri e Nouri (2015)	Risco de incêndio, centro educacional, laboratório, produtos químicos, fontes de ignição, erro humano	Dados da Universidade Azad, Faculdade de Ciências e Pesquisa, localizada no Irã	Desenvolvimento de um modelo quantitativo de avaliação de risco de incêndio pautado em dados empíricos da Universidade
16	Suryoputro et al (2017)	Erro humano, análise da confiabilidade humana, métodos SHARP, HIRA, FTA, FMEA, análise de acidentes	Análise da confiabilidade humana usando SHARP com implementação detalhada para entender a segurança das máquinas na máquina do torno	Utilização dos métodos HIRA, FTA e FMEA para investigar as sete etapas que englobam o método SHARP
17	Tong, Chau e Wong (2015)	Acidente em aviação, erro humano, modelo SHELL-SwissCheese,	Discussão modelo SHELL-SwissCheese a	Desenvolvimento de um novo modelo, SHELL-SwissCheese

			partir de dois estudos de caso	
18	Xi et al (2017)	Metodologia CRE-AM, raciocínio evidencial (ER), técnica de laboratório de decisões e avaliação (DEMATEL), erro humano, método HEP, condições de desempenho comuns (CPCs)	Estudo de caso ilustrativo associado a operações marítimas e comparação dos resultados com dados reais coletados nas águas costeiras de Xangai	Metodologia CREAM modificada baseada em uma abordagem de Raciocínio Evidencial (ER) e técnica de Laboratório de Decisões e Avaliação (DEMATEL)
19	Zhou, Bai e Sun (2014)	Fatores humanos, acidentes na construção hidrelétricas, sistema de análise e classificação de fatores humanos (HFACS), método DEMATEL, método ANP, método de medição de correlação lambda	Projetos de construção de hidrelétricas e dados associados a 186 casos de acidentes relatados.	Desenvolvimento do sistema de análise e classificação de fatores humanos (HFACS), utilizando o método de medição de correlação lambda.

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.3.2 Tabulação por critérios na base de dados Scopus

O quadro 6 apresenta os termos associados por critérios que foram aduzidos pelos autores.

Quadro 6. Tabulação por critérios - base de dados Scopus

Crítérios	Autores
Análise da Confiabilidade Humana	Lin et al (2014); Suryoputro et al (2017); Gual et al (2018)
Corrosão	Gual et al (2018);
DEMATEL	Bavafa, Mahdiyar e Marsono (2018); Xi et al (2017); Zhou, Bai e Sun (2014)
Erro Humano	Gual et al (2018); Kuselman et al (2013); Lin, Haena e Ale (2014); Omidvari, Mansouri e Nouri (2015); Suryoputro et al (2017); Tong, Chau e Wong (2015); Xi et al (2017)
Fatores Humanos	Bashiri e Mann (2015); Edwards et al (2017); Gertman et al (2015); Liu e Wang

	(2014); Miller e Holley (2018); Zhou, Bai e Sun (2014)
Fatores Sociotécnicos	Bavafa, Mahdiyar e Marsono (2018);Ebrahimet al (2017); Lin, Haena e Ale (2014)
Laboratórios	Ebrahim et al (2017); Olewski et al (2016); Omidvari, Mansouri e Nouri (2015)
Modelo SHELL	Lin et al (2014); Liu e Wang (2014);Miller e Holley (2018);Tong, Chau e Wong (2015)
Processos químicos	Lin, Haena e Ale (2014); Olewski et al (2016); Omidvari, Mansouri e Nouri (2015)
Requisitos Ergonômicos	Botti, Mora e Regattieri (2017)
Segurança de Processos	Olewski et al (2016)

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.4 PESQUISAS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE

Para a realização da pesquisa nessa base, após algumas simulações práticas, foram utilizadas 6 palavras-chave selecionadas como resultado de melhor avaliação aos documentos. A partir do campo de busca do Engineering Village (www.engineeringvillage.com) considerando somente os artigos publicados referentes à área temática "Engenharia", no período compreendido entre os anos de 2013 e 2018, sem restrição quanto à região, com retorno de 326 artigos, conforme indicado no quadro 7.

Quadro 7. Palavras-chave da pesquisa base de dados Engineering Village

Termos da pesquisa	Número de registros encontrados
Shell model AND human factors	45
Human factors AND laboratory safety	187
Human reliability analysis AND corrosion	24
Ergonomics AND corrosion	4
Shell model AND Human reliability analysis	10
Human reliability analysis AND laboratory safety	56
Total	326

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

Visando selecionar os artigos que mais se alinhavam com a pesquisa, foram excluídos aqueles cujo resumo e palavras-chave não condiziam com o tema estudado. Por conseguinte, foram analisados 33 títulos e resumos dos artigos, visando selecionar um conjunto aderente ao tema da pesquisa. O quadro 8 mostra os resultados obtidos após essa análise.

Quadro 8. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Engineering Village

Palavras-chave	Registros encontrados	Artigos selecionados
Shell model AND human factors	45	7
Human factors AND laboratory safety	187	12
Human reliability analysis AND corrosion	24	1
Ergonomics AND corrosion	4	0
Shell model AND human reliability analysis	10	3
Human reliability analysis AND laboratory safety	56	10
Total	326	33

Como resultado dessa etapa foram selecionados 24 artigos para uma análise mais completa e aprofundada, porém verificou-se que alguns artigos se repetiam em mais de uma palavra-chave, bem como já haviam sido selecionados na outra base de dados, resultando num total de 8 artigos diferentes selecionados para essa pesquisa. O quadro 9 apresenta a lista com os artigos que foram selecionados.

Quadro 9. Análise dos títulos e resumos dos artigos da base Engineering Village

Autor (es)	Artigos selecionados para a pesquisa	Periódico
Gong Lei et al (2014)	<i>An integrated graphic-taxonomic-associative approach to analyze human factors in aviation accidents</i>	<i>Chinese Journal of Aeronautics</i>
Groth e Swiler (2013)	<i>Bridging the gap between HRA research and HRA practice: A Bayesian network version of SPAR-H</i>	<i>Reliability Engineering and System Safety</i>
Han e Wang (2016)	<i>“San Cai” Human Factors Analysis Model of Civil Aviation Maintenance</i>	<i>International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science</i>
Lin, Hanea, e Ale (2014)	<i>Modeling contractor and company employee behavior in high hazard operation</i>	<i>Safety, Reliability and Risk Analysis:</i>

		<i>Beyond the Horizon</i>
Naderpour, Lu e Zhang (2015)	<i>A human-system interface risk assessment method based on mental models</i>	<i>Safety Science</i>
Tappura, Nenonen e Kivistö-Rahnasto (2017)	<i>Managers' viewpoint on factors influencing their commitment to safety: An empirical investigation in five Finnish industrial organisations</i>	<i>Safety Science</i>
Wang, Liu e Li (2014)	<i>Design and development of air traffic management safety database analysis system</i>	<i>International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion</i>
Zwirgmaier, Straub e Groth (2017)	<i>Capturing cognitive causal paths in human reliability analysis with Bayesian network models</i>	<i>Reliability Engineering and System Safety</i>

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.5 ESTATÍSTICAS DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE

Apresenta-se nessa seção as estatísticas referentes aos artigos publicados que foram selecionados para o estudo mais aprofundado, organizadas por autor, idioma, ano de publicação e periódico.

- Disposição por autor

Dentre os 8 artigos selecionados observa-se que todos os autores publicaram apenas um artigo, não havendo uma predominância de algum autor.

- Disposição por idioma

Verificou-se nessa base de dados que todos os artigos selecionados para esse estudo estão em língua inglesa.

- Disposição por ano de publicação

Observou-se que o ano de 2014 predominou com três artigos publicados, seguido do ano de 2017, com dois artigos publicados, conforme ilustrado no gráfico 2.



Gráfico 2. Artigos publicados por ano na base Engineering Village
Fonte: adaptado de Duarte (2012)

- Disposição por periódico

Os artigos selecionados foram publicados na base de dados Engineering Village pertencente à plataforma da CAPES. As fontes com maior número de publicações foram a "*Reliability Engineering and System Safety*" e "*Safety Science*" com dois artigos publicados cada, enquanto as outras fontes tiveram um artigo publicado, conforme quadro 10.

Quadro 10. Distribuição dos artigos por periódico base de dados Engineering Village

Periódico/Congresso	Quantidade de artigos
<i>Chinese Journal of Aeronautics</i>	01
<i>International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion</i>	01
<i>International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science</i>	01
<i>Reliability Engineering and System Safety</i>	02
<i>Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon</i>	01
<i>Safety Science</i>	02
Total	08

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.6 ANÁLISE DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA BASE DE DADOS ENGINEERING VILLAGE

A análise dos 8 artigos selecionados a partir da base de dados Engineering Village é apresentada nessa seção com relação aos seguintes aspectos: objetivo, método utilizado, critérios de avaliação, demarcação geográfica, resultados e contribuição prática.

- **Artigo 1:** Gong Lei et al (2014) afirmam que, especialmente em acidentes aéreos complexos, os métodos de análise de acidentes encontram limitações na abordagem dos fatores humanos. Os autores declaram que as abordagens gráficas existentes não são capazes de descrever de forma simultânea interações inadequadas entre os fatores humano, aeronave e ambiente, apontar deficiências organizacionais de forma eficaz e dependem fortemente das habilidades e experiências dos analistas. Além disso, manifestam que os métodos existentes não enfatizam fatores inseguros latentes fora dos acidentes investigados. Pensando nessas limitações os autores propõe nesse artigo uma abordagem integrada gráfico-taxonômica-associativa e apresentam um novo modelo gráfico denominado árvore de acidentes (AcciTree). Esse novo modelo integra uma estrutura de dois modos e um conceito baseado em reação, sendo desenvolvido para modelagem de acidentes e identificação de defesa de segurança. Nesse método de modelagem procedural do AcciTree a informação de investigação de acidentes é a entrada da modelagem AcciTree. A partir da consequência do acidente, a análise AcciTree retrocede no tempo, até que o evento inicial do acidente seja atingido. O primeiro passo da modelagem do processo direto se concentra nos fatores reais do acidente. Os analistas precisam modelar os fatores reais de maneira sistemática e da forma mais completa possível. Sendo assim, com base nas cadeias de reação estabelecidas no primeiro passo, o segundo passo explora ainda possíveis novas medidas que poderiam ser usadas para cortar as cadeias de reação para melhorias futuras de segurança. Através da análise do processo físico de cada cadeia de reação, todas as atividades humanas possíveis, procedimentos operacionais e características de projeto da aeronave que podem ser usadas para cortar cadeias de reação são identificadas e adicionadas ao modelo. Ao processar os resultados obtidos, as novas medidas de melhoria de segurança devem ser diferenciadas dos fatores de acidentes reais. A saída da análise integrada inclui os fatores reais do acidente identificados, os responsáveis, os níveis correspondentes na estrutura organizacional e as novas medidas de melhoria

da segurança identificadas. Então, o modelo AcciTree é integrado com o conhecido sistema de classificação e análise de fatores humanos (HFACS) para melhorar a confiabilidade da parte gráfica e a lógica da parte taxonômica para melhorar a completude de análise. Uma técnica associativa de análise de risco é incorporada para estender a análise a fatores externos aos acidentes, para formar requisitos de segurança estendidos para a prevenção proativa de acidentes. A partir dos fatores inseguros identificados na análise AcciTree como entrada, todos os eventos, condições e pré-condições em todos os níveis do modelo AcciTree podem ser analisados para possíveis perigos. O novo modelo é aplicado em dois exemplos de colisão, um demonstrador de voo de pesquisa da equipe dos pesquisadores e uma aeronave industrial não tripulada, ilustrando que a abordagem integrada é eficaz para identificar fatores e requisitos de segurança mais inseguros. Os autores concluem que o modelo gráfico AcciTree fornece uma nova concepção e estrutura para descrever logicamente os mecanismos dos acidentes de aviação modernos e é aplicável para descrever simultaneamente as deficiências organizacionais e interações inadequada entre homem-aeronave-ambiente de acidentes. Revelam também que a análise de risco associativo estende ainda mais a análise de acidentes a fatores potencialmente inseguros fora do acidente atual, ou seja, fatores não indicados no cenário do acidente porém relacionados aos fatores do acidente. Os requisitos de segurança estendidos podem ser usados para controle proativo de futuros acidentes.

- **Artigo 2:** Groth e Swiler (2013) relatam que as deficiências da Análise de Confiabilidade Humana (ACH) têm sido tópico de discussão há mais de duas décadas e que repetidas tentativas de abordar essas limitações derivaram em mais de 50 métodos de ACH, sendo assim a comunidade de pesquisa da HRA continua desenvolvendo novos métodos. Entretanto, ainda existe uma lacuna entre os métodos desenvolvidos pelos pesquisadores da ACH e aqueles realmente usados pelos praticantes da ACH. Os autores relevam que Redes Bayesianas (BNs) tornaram-se uma parte cada vez mais popular da estrutura de análise de risco e confiabilidade na última década. As BNs fornecem uma estrutura para abordar muitas das deficiências da ACH do ponto de vista do pesquisador e da perspectiva do profissional. Eles citam que diversos grupos de pesquisa desenvolveram métodos avançados de ACH baseados em BNs, mas nenhum desses métodos foi adotado por praticantes de ACH na indústria de energia nuclear dos EUA ou na Comissão Reguladora Nuclear dos EUA. Redes Bayesianas (BNs,

também chamadas de Redes de Crenças Bayesianas (BBNs), diagramas de influência ou modelos causais) são uma estrutura matemática que pode resolver as deficiências encontradas na ACH. Essas redes se tornaram uma parte cada vez mais popular da estrutura de análise de risco e confiabilidade devido à sua capacidade de incorporar informações qualitativas e quantitativas de diferentes fontes, modelar a interdependência e fornecer uma estrutura causal que permita que os profissionais de HRA obtenham uma percepção mais profunda dos fatores de risco e em intervenções específicas que reduzem o risco. Pensando nesse viés, os autores sugerem nesse artigo uma ponte entre a pesquisa de ACH e a prática de ACH construindo uma versão BN do método SPAR-H amplamente utilizado. Eles demonstram como o SPAR-H BN pode ser usado por praticantes de ACH e também como ele pode ser modificado para incorporar dados e informações da pesquisa para avançar na prática de HRA. O SPAR-H BN pode ser usado como um ponto de partida para traduzir os esforços de pesquisa de ACH e avanços na compreensão científica em benefícios reais e oportunos para os profissionais de HRA. Neste trabalho, transformam um método ACH existente e amplamente utilizado (SPAR-H) em um BN. Utilizam este SPAR-H BN para demonstrar alguns dos benefícios dos BNs para atividades de ACH. O conteúdo desse artigo engloba duas seções que fornecem uma visão geral do atual método SPAR-H e informações básicas sobre BNs. Acompanhamento do desenvolvimento do modelo SPAR-H BN e apresentação do modelo de linha de base. Apresentação dos resultados de vários casos de amostra que demonstram como o SPAR-H BN pode ser usado por praticantes de ACH. Modificações no modelo, incluindo o uso de dados para desenvolver o modelo, também são apresentadas.

- **Artigo 3:** Han e Wang (2016) propõem nesse estudo um novo modelo de análise de fatores humanos para uso na manutenção da aviação civil na China. Esse modelo foi denominado de "San Cai" e tem como objetivo projetar um modelo de análise de fatores humanos de fácil utilização para a equipe de trabalhadores de manutenção que atua na China. Nesse trabalho, os autores discorrem sobre as vantagens e desvantagens de dois famosos modelos de análise dos fatores humanos em acidentes na aviação civil, o modelo SHELL e o modelo Reason. Eles afirmam que devido ao desenvolvimento da tecnologia de projeto e fabricação da aeronave, os acidentes na aviação civil devido a falhas de projeto e fabricação diminuem a uma alta taxa de velocidade. Entretanto, os acidentes devido às falhas dos fatores humanos na manutenção da aviação civil au-

mentam significativamente. Os autores relatam que a pesquisa dos fatores humanos começou em 1970, porém ainda é um assunto emergente na ciência. Como é uma abordagem multidisciplinar, é difícil investigar a relação entre os fatores humanos e os acidentes de aviação civil. Sendo assim, encontrar um modelo teórico para descrever de forma clara e completa o impacto dos fatores humanos na operação das companhias aéreas é extremamente urgente. O modelo "San Cai" proposto nesse estudo contém conceitos tanto do modelo SHELL quanto do modelo Reason, porém, segundo os autores, é mais simples do que estes. Além disso, o modelo origina-se da antiga filosofia chinesa, o que facilita a compreensão dos trabalhadores de manutenção chineses. Na cultura oriental "San Cai" significa três elementos importantes para o sucesso: tempo, ambiente e humanos. Sendo assim, essa filosofia está bastante alinhada com a pesquisa sobre fatores humanos. Os autores expõem que o modelo foi proposto para tornar popular a teoria de fatores humanos entre os trabalhadores de manutenção chineses. Os autores concluem que o modelo "San Cai" proporciona ao trabalhador comum a aplicação da teoria dos fatores humanos em seu trabalho diário, melhorando assim o nível de segurança da aviação civil chinesa.

- **Artigo 4:** Lin, Hanea e Ale (2014) salientam que as falhas humanas e os fatores organizacionais são as causas fundamentais de muitos acidentes e incidentes graves, como por exemplo Cidade do Texas, Piper Alpha, Chernobyl. Entretanto os autores afirmam que a introdução dos fatores humanos e fatores organizacionais em modelos de risco é um enorme desafio no atual cenário de pesquisa devido, principalmente, à baixa disponibilidade de dados e à dificuldade de capturar variáveis flexíveis de forma adequada e quantificável. Os modelos de risco geralmente se concentram em falhas técnicas, que são mais fáceis de modelar e para as quais existem dados mais concretos. Portanto, existe a necessidade de desenvolver uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de riscos para indústrias de processos químicos que incorporem fatores humanos e organizacionais em modelos de risco quantificados. O objetivo deste artigo é incorporar fatores humanos no modelo de avaliação de risco de operações de petróleo e gás dentro do modelo de risco técnico da Royal Dutch Shell. O trabalho apresenta as etapas de quantificação e as questões projetadas para reduzir as limitações atuais de quantificação de fatores humanos na indústria do petróleo, fornece uma sucinta visão geral do método de quantificação para fatores humanos e constrói modelos humanos para dois tipos de pessoas: o pessoal da empresa e o pessoal

contratado através de empreiteiros. A estrutura dos modelos humanos e seu desenvolvimento, as influências do gerenciamento no modelo humano e a influência do gerenciamento também são descritos. Os sistemas complexos possuem barreiras de segurança que tem como objetivo evitar uma perda de contenção e evitar acidentes. Os autores explicam que para uma barreira ser válida, ela precisa ter uma função de detecção; quando isso falha, um alarme não está disponível. Tem que ter uma função lógica; quando isso falha, o alarme não se propaga para uma resposta. Finalmente, tem que ter uma função de atuador; quando isso falha, a resposta ao alarme não contém ou reduz o risco de um LoC (*Loss of Containment* / perda de contenção). Afirmam ainda que as falhas de barreira são às vezes nós de desempenho humano. Devido a ação direta por humanos, onde um operador serve como processador lógico e atuador de uma barreira (por exemplo, quando alguém falha em observar um alarme ou reagir a ele) ou por ação indireta, como especificação incorreta de alarme ou outros erros de projeto. Com o propósito de explicar a influência de fatores humanos na causa de acidentes, os fatores humanos são melhor representados no modelo *Bayesian Belief Networks* (BBNs) ou modelo de Redes Bayesianas porque envolvem influências probabilísticas de fatores humanos, em vez de relações determinísticas de causa e efeito. O modelo apresentado pode se tornar uma ferramenta extra para ajudar os tomadores de decisão na indústria do petróleo a determinar quais intervenções de gerenciamento têm o maior potencial para reduzir o risco na operação.

- **Artigo 5:** Naderpour, Lu e Zhang (2015) relatam que em diversos sistemas críticos para a segurança é preciso que a consciência da situação dos operados do processo seja mantida em um nível elevado com a finalidade de garantir a segurança das operações. Eles declaram que na maioria dos acidentes industriais existe uma sucessão de condições organizacionais e erros humanos revelando que 70-80% desses acidentes são atribuíveis a causas de fatores humanos. A capacidade dos operadores em manter uma compreensão das situações de trabalho é considerada por eles um fator crítico na prevenção de acidentes. Essa capacidade cognitiva é conhecida como percepção da situação (SAW) e assinala um alto nível de conscientização sobre as condições da tarefa e do meio ambiente, bem como a capacidade de prever como essas condições podem alterar um futuro próximo para ajudar a entender como as situações evoluirão. Eles salientam que em muitos desses sistemas os operadores têm que confiar no design das interfaces do sistema humano (HSI) visando observar e compreender a imensa quanti-

dade de dados do processo. Dessa forma, os HSI considerados ruins podem gerar consequências preocupantes, como acidentes e doenças ocupacionais, incluindo o estresse, e, conseqüentemente, têm sido considerados um risco emergente. Os autores nesse artigo defendem que uma série de métodos e técnicas são necessários para prever a segurança dos HSI a partir do panorama do fator humano. Eles argumentam que o erro humano é melhor examinado a partir de uma perspectiva cognitiva, uma vez que as técnicas tradicionais da engenharia de confiabilidade humana não se mostram preocupadas com o fator humano. Logo, quantificar a segurança através de uma perspectiva de fator humano pode ser mais apropriado em termos do nível de SAW adquirido através da interface. Considerando esse prisma, os autores consideram o comportamento dos operadores quando eles são confrontados com situações anormais em um ambiente crítico de segurança. Os autores afirmam que apesar da relevância disso, poucos métodos foram desenvolvidos até agora para avaliar o risco de HSI. Sendo assim, esse artigo divulga um novo método de avaliação de risco baseado nos modelos mentais dos operadores, na árvore de eventos de análise de confiabilidade humana (ACH) e na técnica de avaliação global de consciência de situação (SAGAT) para fornecer um perfil de risco para o HSI pretendido. Nesse novo método proposto, os modelos mentais do operador, ou seja, o seu entendimento sobre possíveis situações não esperadas e anormais na planta planejada é modelado com base nas capacidades das redes bayesianas. Para isso, os modelos de situação criados são combinados com a árvore de eventos ACH, que por sua vez serve como diretriz para a incorporação de respostas do operador no método de avaliação. As perguntas da sonda em linha com o SAGAT através de cenários simulados em um ambiente virtual são então aplicadas para reunir respostas do operador. Por último, o método proposto estabelece um nível de risco para o HSI, atribuindo as respostas do operador às redes situacionais desenvolvidas. Com a finalidade de investigar o desempenho do método proposto, um estudo de caso sobre um tratador de resíduos em uma planta química virtual foi estudado. Para tal, dez operadores experientes participaram deste estudo para interagir com o HSI e responder às perguntas de sondagem on-line, e um nível de risco foi produzido levando-se em conta as respostas como evidência nos modelos de situação baseados nas redes bayesianas. Os resultados apontam que o novo método proposto pode ser utilizado com sucesso nos processos de projeto e avaliação de HSI de sistemas dinâmicos. Além

disso, o estudo mostrou que atenção e deterioração da memória de trabalho também são fatores relevantes que afetam o SAW dos operadores.

- **Artigo 6:** Tappura, Nenonen e Kivistö-Rahnasto (2017) sinalizam que o número de lesões ocupacionais não diminuiu como esperado nas últimas décadas, apesar das mudanças na sociedade e diversas inovações tecnológicas, em relação com o período compreendido entre 1900 e 1961. Em contrapartida, na Finlândia o número de acidentes de trabalho diminuiu ligeiramente nos últimos anos, segundo os autores, devido às mudanças regulatórias, atividades de desenvolvimento e redução da carga horária de trabalho. Os autores sugerem que apoiar a conduta dos gerentes e o comprometimento com a segurança pode ajudar as organizações a tomar medidas para atender a demanda por desenvolvimento de segurança. Vários estudos vêm mostrando que o suporte contínuo da alta gerência é primordial para o sucesso em intervenções de segurança ocupacional. Muitos gerentes ficam engessados para agir porque a alta gerência frequentemente menospreza seu dever de gerenciar questões de segurança, no entanto, diversos problemas de segurança são problemas de alto nível e os gerentes de linha de frente não podem resolvê-los sem o apoio da gestão superior. Para oferecer o suporte aos gerentes nas questões relacionadas à segurança é relevante entender suas percepções. Segundo os autores, o compromisso dos gerentes com a segurança emerge do aumento da conscientização sobre segurança, que pode ser inspirada por um acidente ou outra crise ou por um programa de treinamento ou melhoria da segurança. Eles realizam nesse trabalho um estudo qualitativo adequado à sua natureza exploratória e seu foco nas percepções dos gerentes sobre o tema. O estudo visa identificar os fatores organizacionais que interferem de maneira a dificultar ou estimular o compromisso dos gerentes com a segurança, bem como propor medidas organizacionais que podem ser empregadas para apoiar o engajamento dos gerentes com a segurança. O estudo foi desenvolvido através de entrevistas com a participação de quarenta e nove gerentes em cinco organizações industriais. O estudo fez parte de um projeto de pesquisa denominado *Safety Management – Managers’ Safety Competence, Leadership and Commitment* que foi realizado em 2014 e 2015 na Universidade de Tecnologia de Tampere. Para mapear as percepções dos gerentes sobre os fatores que impedem ou promovem seu compromisso com a segurança, a pesquisa foi realizada como parte de um estudo de entrevista maior. O estudo foi realizado em cinco organizações industriais no setor de energia e indústrias de processamento e serviços industriais, e a motivação para es-

tudá-las partiu da necessidade de melhor apoiar os gerentes em suas funções de segurança visando desenvolver a saúde e segurança ocupacional. Sendo assim, o cerne do estudo está no ponto de vista gerencial, nos fatores organizacionais e nas medidas de apoio ao papel de segurança dos gerentes (gestão e liderança). Os profissionais de segurança das organizações foram convidados a determinar e invitar os entrevistados que apresentaram diferentes níveis de experiência em segurança, conscientização e atitudes para evitar viés de auto seleção na população original. O número de entrevistados por organização variou devido a disponibilidade dos entrevistados e tamanho da organização. Em relação ao nível, os entrevistados eram gerentes de nível médio e gerentes de linha, incluindo gerentes de produção, gerentes de manutenção, projetos gerentes e supervisores. Entrevistas temáticas foram usadas para explorar as percepções dos gestores sobre sua aptidão em segurança, liderança e compromisso. No começo de cada entrevista foi pontuado que saúde ocupacional e segurança foi definida como a perspectiva sobre segurança neste estudo. Visando melhorar a validade da pesquisa qualitativa e para facilitar respostas livres e abertas dos entrevistados, os autores enfatizaram durante as entrevistas que o anonimato e a confidencialidade das respostas estariam garantidos. Outrossim, os gerentes poderiam expressar livremente questões relacionadas à gestão de segurança e à liderança nas entrevistas. As entrevistas ocorreram no período compreendido entre maio de 2014 e janeiro de 2015 e durou entre trinta e sessenta minutos cada. Com base nos resultados, os fatores organizacionais mais relevantes que dificultam o compromisso dos gerentes com a segurança foram categorizados assim: sobrecarga de papel gerencial, demandas de produção conflitantes, procedimentos de segurança excessivamente formais, incapacidade de influenciar o estabelecimento de metas de segurança, atitudes negativas dos funcionários em relação à segurança e atitudes de gerenciamento e valorização da segurança em diferentes níveis organizacionais. Os resultados apontaram que o excesso de atividades reduz a quantidade de tempo que os gerentes têm de se concentrar na segurança, dado que a segurança é geralmente considerada como um componente distinto em relação à produção, sendo esta cumprida quando outras responsabilidades são menos exigentes. Muitos gerentes enxergam a importância da segurança, porém ainda consideram dissociada do trabalho operacional. Com base nos resultados das entrevistas, os fatores organizacionais mais relevantes que promovem o comprometimento dos gerentes com a segurança foram categorizados assim: aumentar a conscientização da segurança

entre os gerentes, influenciando os gerentes atitudes de segurança, reconhecendo o compromisso de segurança dos gerentes, desenvolvimento de procedimentos adequados de segurança organizacional, incentivo e suporte de superiores, comparando as atividades de segurança de outros e melhoria de segurança. A compreensão e conscientização dos gerentes sobre suas responsabilidades de segurança foram vistas como ponto de partida em seu compromisso com a segurança. Para isso, estabelecer e evidenciar as responsabilidades de segurança dos gerentes torna as perspectivas visíveis e auxilia os gerentes a regular ou desenvolver seu trabalho de acordo. Esse estudo concluiu que desenvolver a consciência de segurança dos gerentes desde o início de suas carreiras fortalece o seu compromisso devido ao aumento da compreensão das suas responsabilidades em relação à segurança e ao valor da segurança dentro da organização. A criação de um sistema formal de apoio entre colegas, como fóruns de gerentes, pode ser benéfico, em particular para gerentes com menos experiência. Os autores sugerem que a apreciação, o apoio e o provimento de recursos para a segurança da alta gerência ajudam a promover o comprometimento dos gerentes com a segurança. Dentre os recursos o estudo sugere: tempo para trabalho focado em segurança, procedimentos e ferramentas de segurança, inclusive com uso de uniformes adequados, treinamento e suporte de superiores.

- **Artigo 7:** Wang, Liu e Li (2014) discorrem a respeito do rápido desenvolvimento na indústria da aviação civil da China nos últimos anos, relatando um aumento drástico no número de aeronaves decolando e aterrissando sob controle do sistema de gerenciamento de tráfego. Os autores informam que a função básica do controle de tráfego aéreo (ATC) ou gerenciamento do tráfego aéreo (ATM) é garantir a segurança e a operação ordenada das aeronaves, sendo assim a tecnologia da informação é habitualmente utilizada para aprimorar o nível de análise de informações e a eficiência da segurança do controle de tráfego aéreo. Segundo os autores, a *Aviation Safety Network* (ASN) é uma instituição independente e importante base de dados pertencente à *Flight Safety-Foundation* (FSF) que já registrou mais de 10.700 incidentes de segurança em aviação em todo o mundo. Na China a principal base de dados de segurança da aviação civil inclui a Rede de Segurança da Aviação Civil da China que conserva todos os tipos de dados de segurança gravados e listados por cada autoridade regional da aviação civil. Nesse estudo, os autores desenvolvem um sistema de análise de banco de dados de segurança de gerenciamento de tráfego aéreo. Considerando causas diversas e sistemáti-

cas de eventos ATC inseguros, esse estudo engloba, além do armazenamento e a análise do tempo dos eventos, a região de ocorrência e o nível do evento, uma análise profunda dos fatores humanos, fatores de defesa, fatores organizacionais e outros aspectos dos eventos usando o modelo SHELL (aprofundando a inter-relação de pessoas, hardware, software e ambiente). O objetivo desse estudo é desvendar os principais problemas de segurança das informações de segurança e alcançar um gerenciamento de segurança efetivamente orientado por dados. Os autores afirmam que o modelo SHELL é utilizado para investigar eventos de segurança, evidenciando principalmente as seguintes relações: vida e hardware (dispositivo) L-H; vida e software L-S; vida e meio ambiente L-E (incluindo ambiente organizacional suave e ambiente de trabalho real), vida e vida L-L. Nesse estudo, os requisitos que o sistema de análise de banco de dados de segurança ATC deve atender são: (1) o sistema ATC deve registrar as informações básicas dos eventos de segurança, tais como tempo de ocorrência do evento, local, ambiente de espaço aéreo, grau meteorológico, fase, classe de eventos; (2) o sistema deve ter dados de pesquisa para o modelo SHELL, e função de análise aprofundada com base nesses dados, que é uma parte importante deste sistema; (3) o sistema deve fornecer funções estatísticas para gerentes e tomadores de decisão; (4) o sistema deve fornecer serviços diferentes para usuários diferentes e manter estabilidade e segurança suficientes. Sendo assim, a arquitetura do sistema usada nesse estudo contempla o modo B/S (Navegador/Servidor) como modo de desenvolvimento do sistema, o MySQL é utilizado como ferramentas de gerenciamento de banco de dados, selecionado devido a seu código aberto, confiabilidade e escalabilidade. Os dados são compostos de duas partes, uma é a informação básica dos eventos (incluindo a área do evento, unidade, classe, nível, etc.), a outra parte é de análise de segurança ATC de acordo com o primeiro, obtém fatores do modelo SHELL e análises adicionais incluindo comportamento, condição, defesa e análise organizacional. Os dados do modelo SHELL são divididos em cinco tópicos: pessoas, software, hardware, ambiente, organização e com base nesses fatores, os eventos podem ser analisados de acordo com aspectos de comportamento, condição, defesa e organização. As atribuições do sistema são essencialmente o gerenciamento de informações de segurança do ATC, compreendendo consultas e análises estatísticas de eventos inseguros em aspectos de tempo, escopo de região, classificação e classificação de eventos, análise de causalidade de eventos baseada no modelo SHELL e análise estatística de fatores humanos expressivos, fatores de falha e fato-

res organizacionais. O estudo conclui que o sistema desenvolvido classifica e quantifica fatores humanos, falhas de defesa e fatores organizacionais com base no modelo SHELL, alcançando uma análise aperfeiçoada das informações de segurança. Contudo, identifica que o sistema deve melhorar sua função e aplicação em alguns aspectos, como mineração de dados em fatores de índice de segurança e backup de dados.

- **Artigo 8:** Zwirgmaier, Straub e Groth (2017) afirmam que na última década uma ferramenta poderosa para análise da confiabilidade humana (ACH), denominada redes bayesianas (BNs), foi identificada possuindo diversas vantagens sobre os métodos tradicionais de ACH. Esse estudo apresenta como as BN podem ser utilizadas para inserir caminhos causais qualitativos adicionais para fornecer rastreabilidade. Os autores afirmam que diversos sistemas complexos de engenharia utilizam a avaliação extensiva dos riscos probabilísticos (PRA) como elemento de garantia de segurança e confiabilidade. O objetivo do PRA é entender os possíveis cenários de falha, as consequências adversas correspondentes e as probabilidades dos cenários de falha. A grande parte dos sistemas de engenharia pode ser caracterizada como sistemas de interação entre operador humano e sistema técnico (máquina), sendo assim é fundamental que uma PRA considere as falhas de componentes técnicos e o efeito das ações humanas e da interação humana com mesmo grau de importância. A ACH modela elementos humanos como parte de PRAs, geralmente, através da identificação e quantificação de eventos de falha humana (HFEs) em modelos de PRA. Os autores afirmam que as limitações dos métodos de ACH já foram amplamente discutidas anteriormente em diversos estudos e apontam duas deficiências que estão inter-relacionadas nos métodos de ACH existentes. Essas deficiências, segundo eles, são a base científica restrita usada para desenvolver esses métodos e o emprego de técnicas de modelagem simplificadas, que necessitam de estrutura causal e rastreabilidade quantitativa. A falta de estrutura causal e rastreabilidade quantitativa vem sendo estudada através de esforços avançados de modelagem. Segundo os autores, os modelos de redes bayesianas (BNs) tornaram-se cada vez mais populares dentro da ACH como instrumento de resolução dessas deficiências devido à sua capacidade de modelar explicitamente causas e efeitos combinados com a competência de agregar informações de diferentes origens. Pesquisas internacionais que estão em andamento aduziram a capacidade das BNs de capturar as relações causais entre os fatores que afetam o desempenho humano (Fatores de influência do desempenho - PIFs) e simplificar a quantificação dessas relações. Nesse traba-

lho os autores propõem uma metodologia para ampliar a base e rastreabilidade da ACH, através da captura de caminhos causais da literatura cognitiva em modelos BN. Além disso, apresentam um método para quantificar o modelo BN utilizando a atualização de parâmetros bayesianos para combinar dados de desempenho humano com resultados de elicitación de especialistas. Os autores concluem que a quantificação para a estrutura de BN desenvolvida que combina elicitaciones de especialistas e dados observados através de atualização bayesiana, representa uma estratégia promissora para estimar probabilidades de erro humano.

2.6.1 Considerações sobre os artigos pesquisados na base de dados Engineering Village

O quadro 11 exibe um resumo das verificações referentes aos critérios de avaliação, contexto e método utilizado pelos autores dos artigos selecionados e estudados extraídos da base de dados Engineering Village.

Quadro 11. Considerações a respeito dos artigos selecionados base de dados Engineering Village

Artigo	Autor	Critérios de Avaliação	Contexto	Método
1	Gong Lei et al (2014)	Fatores sociotécnicos; abordagem integrada gráfico-taxonomica-associativa; modelo gráfico AcciTree; análise de fatores humanos (HFACS); técnica associativa de análise de risco	Acidentes aéreos	Método AcciTree em dois estudos de caso de acidente aéreos
2	Groth e Swiler (2013)	Análise de Confiabilidade Humana (HRA); Redes Bayesianas (BNs); método SPAR-H; modelo SPAR-H BN	Ponte entre a pesquisa de HRA e a prática de HRA	Criação do modelo SPAR-H BN
3	Han e Wang (2016)	Fatores humanos; modelo SHELL; modelo Reason, aci-	Prevenção de acidentes aéreos na China	Criação do modelo San Cai

		dente aviação civil		
4	Lin, Hanea e Ale (2014)	Fatores sociotécnicos; Fatores humanos; Redes Bayesianas (BNs); Processos químicos	Empresa de processos químicos Royal Dutch Shell	Modelo de desempenho humano para empresa processos químicos
5	Naderpour, Lu e Zhang (2015)	Interfaces do sistema humano (HSI), Fatores humanos e organizacionais; Redes Bayesianas (BNs); Confiabilidade Humana (HRA); modelos mentais, avaliação global de consciência de situação (SAGAT), erro humano	Tratador de resíduos em uma planta química virtual	Avaliação de risco baseado nos modelos mentais dos operadores, na árvore de eventos de análise de confiabilidade humana (HRA) e na técnica de avaliação global de consciência de situação (SAGAT)
6	Tappura, Nenonen e Kivistö-Rahnasto (2017)	Fatores humanos e organizacionais; compromisso de segurança; gerenciamento; suporte organizacional; gestão	organizações industriais no setor de energia e indústrias de processamento e serviços industriais	Estudo qualitativo adequado à sua natureza exploratória e seu foco nas percepções dos gerentes sobre o tema
7	Wang, Liu e Li (2014)	Fatores humanos; Fatores organizacionais; fatores sociotécnicos; modelo SHELL; segurança aviação; ATC	Análise de dados e informações controle de tráfego aéreo	Desenvolvimento de um sistema de análise de banco de dados de segurança de gerenciamento de tráfego aéreo
8	Zwirglmaier, Straub e Groth (2017)	Análise de Confiabilidade Humana (HRA); eventos de falha humana (HFEs); redes bayesianas (BNs); Fatores de influência do desempenho (PIFs)	Modos de falha da tripulação	Quantificação do modelo através da combinação de probabilidades de especialistas e informações de banco de dados de desempenho do operador

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

2.6.2 Tabulação por critérios na base de dados Engineering Village

O quadro 12 apresenta os termos associados por critérios que foram aduzidos pelos autores.

Quadro 12. Tabulação por critérios - base de dados Engineering Village

Critérios	Autores
Análise da Confiabilidade Humana	Groth e Swiler (2013);Naderpour, Lu e Zhang (2015);Zwirglmaier, Straub e Groth (2017)
Erro Humano	Han e Wang (2016);Naderpour, Lu e Zhang (2015)
Fatores Humanos	Gong Lei et al (2014);Han e Wang (2016); Lin, Hanea e Ale (2014); Naderpour, Lu e Zhang (2015); Tappura, Nenonen e Kivistö-Rahnasto (2017); Wang, Liu e Li (2014);
Fatores Sociotécnicos	Gong Lei et al (2014);Lin, Hanea e Ale (2014);Naderpour, Lu e Zhang (2015); Tappura, Nenonen e Kivistö-Rahnasto (2017); Wang, Liu e Li (2014)
Modelo SHELL	Han e Wang (2016); Wang, Liu e Li (2014)
Processos químicos	Lin, Hanea e Ale (2014)
Redes Bayesianas	Groth e Swiler (2013); Lin, Hanea e Ale (2014); Naderpour, Lu e Zhang (2015); Zwirglmaier, Straub e Groth (2017)

Fonte: adaptado de Duarte (2012)

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRINCÍPIOS DA SEGURANÇA DO TRABALHO

3.1.1 Legislações

3.1.1.1 Decreto nº 2.657 de 3 de julho de 1998

Promulga a convenção nº 170 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre segurança na utilização de produtos químicos no trabalho, assinada em Genebra, em 25 de Junho de 1990, pela 77ª sessão da Conferência Geral da Organização Geral do Trabalho.

Diretrizes e definições que visam a segurança em estabelecimentos que utilizam produtos químicos, independente da atividade econômica e que tenham trabalhadores como empregados, são relacionados nessa convenção.

O tema segurança na utilização de produtos químicos é importante devido a variedade de produtos químicos utilizados nos locais de trabalho, as diferentes propriedades físicas e químicas que podem apresentar e, por consequência, os diferentes riscos que esses produtos podem conferir.

3.1.1.2 ISO 45001:2018 - Segurança e saúde no trabalho

A *International Organization for Standardization* (ISO) é uma organização não governamental, fundada em 1947 com o intuito de desenvolver a nível mundial normas e padrões internacionais. Com sede em Genebra, na Suíça, possui atualmente 162 países como membros. O Brasil é membro desde a fundação e tem a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como entidade nacional responsável pelas normas ISO. A ISO tem como função elaborar e promover padrões de qualidade de aceitação mundial através da normatização de produtos e serviços.

A ISO 45001:2018 - Sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional foi publicada pela ABNT em Maio de 2018. Essa norma fornece diretrizes para a implantação e manutenção do sistema de gestão em segurança e saúde no trabalho. Através da especificação de requisitos para um sistema de gestão de saúde e segurança e da orientação para o seu uso,

permite que organizações e indústrias de todos os segmentos propiciem locais de trabalho seguros e saudáveis, por conseguinte, prevenindo lesões e doenças ocupacionais entre seus colaboradores.

3.1.1.3 Consolidação das leis do trabalho

A consolidação das leis do trabalho (CLT) foi definida a partir do Decreto-lei nº 5.452 de 1º de Maio de 1943 com objetivo de instituir as normas que regulam as relações individuais e coletivas de trabalho. O capítulo V do decreto versa a respeito da segurança e da medicina do trabalho. O quadro 13 apresenta um resumo dos principais artigos que abordam esse capítulo.

Quadro 13. Artigos mais relevantes da CLT em relação à segurança do trabalho

ARTIGO	ASSUNTO
Art. 157	Obrigatoriedade das empresas de cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho; instruir os empregados e facilitar o exercício de fiscalização.
Art. 158	Obrigatoriedade dos empregados em observar e colaborar com a empresa na aplicação das normas de segurança e medicina do trabalho.
Art. 162	Obrigatoriedade das empresas em manter serviços especializados em segurança e em medicina do trabalho.
Art. 163	Obrigatoriedade da constituição de comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA).
Art. 166	Obrigatoriedade das empresas em fornecer equipamento de proteção individual (EPI) adequados aos empregados.
Art. 168	Obrigatoriedade de realização de exame médico, por conta da empresa, nos empregados.
Art. 169	Obrigatoriedade da notificação por conta da empresa das doenças profissionais .
Art. 170	Observância dos requisitos técnicos das edificações que garantam a segurança dos empregados.
Art. 175	Observância de iluminação adequada em todos os locais de trabalho.
Art. 178	Condições de conforto térmico dos locais de trabalho.
Art. 184	Observância das máquinas e equipamentos serem dotados de dispositivos de segurança.
Art. 187	Observância dos equipamentos que operam sob pressão serem dotados de dispositivos de segurança.
Art. 189	Atividades e operações que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os trabalhadores a agentes nocivos à saúde, acima dos li-

Art. 193	mites de tolerância. Atividades ou operações perigosas, que por sua natureza ou métodos de trabalho, impliquem risco acentuado ao trabalhador.
Art. 197	Sinalização de segurança dos materiais e substâncias, quando perigosos ou nocivos à saúde, utilizados nos locais de trabalho.

Fonte: Autora

3.1.1.4 Lei nº 6.514 de 22 de Dezembro de 1977

Essa lei altera o capítulo V da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à segurança e medicina do trabalho, e cria as Normas Regulamentadoras (NR). A Portaria nº 3.214 de 8 de Junho de 1978, por sua vez, aprovar as NR.

As NR contemplam os requisitos mínimos exigidos para prevenção de acidentes que devem ser seguidos por empresas privadas e públicas que possuam empregados sob regime CLT em todo país. As 36 NR em vigor atualmente estão listadas no quadro 14.

Quadro 14. Apresentação dos assuntos por número das NR

NR	ASSUNTO
1	Disposições gerais
2	Inspeção prévia
3	Embargo e interdição
4	Serviços Especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho - SESMT
5	Comissão interna de prevenção de acidentes – CIPA
6	Equipamento de proteção individual - EPI
7	Programa de controle médico de saúde ocupacional – PCMSO
8	Edificações
9	Programa de prevenção de riscos ambientais - PPRA
10	Segurança em instalações e serviços em eletricidade
11	Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais
12	Máquinas e equipamentos
13	Caldeiras e vasos de pressão
14	Fornos
15	Atividades e operações insalubres
16	Atividades e operações perigosas
17	Ergonomia
18	Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção
19	Explosivos
20	Líquidos combustíveis e inflamáveis
21	Trabalhos a céu aberto
22	Segurança e saúde ocupacional na mineração
23	Proteção contra incêndios
24	Condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho
25	Resíduos industriais

26	Sinalização de segurança
28	Fiscalização e penalidades
29	Segurança e saúde no trabalho portuário
30	Segurança e saúde no trabalho aquaviário
31	Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura
32	Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde
33	Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados
34	Trabalho na indústria naval
35	Trabalho em altura
36	Abate e processamento de carnes e derivados
37	Segurança e saúde em plataformas de petróleo

Fonte: Autora

Ainda não existe no país NR ou legislação específica voltada para os fatores humanos. Dentre as 37 normas em vigor, apenas a NR 17 trata especificamente sobre ergonomia, sendo a que mais se aproxima do assunto fatores humanos. Diretrizes para que o ambiente e as condições de trabalho proporcionem conforto, segurança e desempenho eficiente para o trabalhador são encontradas nessa norma.

O termo ergonomia surgiu em 1949 derivado das palavras gregas *ergon*, que significa trabalho, e *nomos*, que significa lei natural. O precursor no uso do termo, Murrell (1965, apud Hawkins, 1985, p.20) a utilizou como título do seu livro sobre o assunto e definiu ergonomia como o "estudo do homem em seu ambiente de trabalho". Essa definição se aproxima bastante daquela feita posteriormente por Edwards sobre fatores humanos.

Há, no entanto, uma singela diferença de ênfase entre ergonomia e fatores humanos. Os fatores humanos passaram a obter um significado mais amplo, contendo alguns aspectos do desempenho humano e das interfaces do sistema que comumente não seriam considerados na corrente principal da ergonomia. Apesar disso, o desempenho e o comportamento humano são a preocupação principal de ambos e, para fins práticos, podem ser considerados como se referindo à mesma tecnologia Murrell (1965, apud Hawkins, 1985, p.20).

3.2 GERENCIAMENTO DE RISCOS

Segundo dados da OIT o ano de 2017 registrou a ocorrência de 2,78 milhões de acidentes fatais e a cada ano 374 milhões de pessoas sofrem ferimentos e doenças não fatais no ambiente de trabalho. No Brasil, dados do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Tra-

balho, órgão vinculado ao Ministério Público do Trabalho (MPT), ocorrem anualmente 700 mil acidentes do trabalho (ABNT, 2018).

Os riscos existem em toda e qualquer atividade que seja executada e em todo e qualquer ambiente de trabalho. Não existe a possibilidade de eliminar o risco, porém é possível minimizá-lo. Portanto, gerenciar os riscos existentes é fundamental para reduzir a probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento indesejado no ambiente de trabalho.

Segundo Glendon, Clarke e Mckenn (2006), as abordagens tradicionais de gerenciamento de riscos no local de trabalho foram desenvolvidas para sustentar e aperfeiçoar o conceito técnico de risco como um dado ambiental que resulta principalmente da atividade humana. As inferências para o gerenciamento de riscos abrangem a busca por medir todos os componentes de risco e a exigência do controle gerencial do risco. Os termos regulatórios, incluindo a legislação externa e a auditoria de conformidade, assim como mecanismos internos, como a política e as regras da empresa, em geral, atuam de modo a reforçar essa abordagem à gestão de riscos.

Whipple (1992, apud Glendon, Clarke e Mckenn, 2006, p. 18) retrata a abordagem técnica do gerenciamento de riscos como uma tentativa de reduzir os riscos de saúde e segurança para um nível residual tão pequeno quanto possível, para então declarar o processo como seguro.

3.2.1 Perigo

O dicionário Houaiss define perigo como uma situação em que se encontra, sob ameaça, a existência ou a integridade de uma pessoa, animal, objeto, etc. Juridicamente, define perigo como eventualidade em que pode ocorrer um dano a uma pessoa ou objeto (Houaiss, 2001).

Sanders e McCormick (1993) definem perigo como uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte. O órgão do governo canadense responsável pela promoção da saúde e segurança do trabalho, o *Canadian Centre for Occupation Health and Safety* (CCOHS), define que perigo é o potencial de dano ou efeito adverso, por exemplo, para as pessoas como efeitos para a saúde, para as organizações como perdas de propriedade ou equipamento (Safety, 2018).

A ISO 45001 define perigo como fonte com potencial para causar lesões e problemas de saúde. Os perigos podem incluir fontes com potencial para causar danos ou situações peri-

gosas, ou circunstâncias com o potencial de exposição levando a lesões e problemas de saúde (Standart, 2018).

Zaplatynskyi (2013) considera uma nova definição para perigo:

Um conceito subjetivo que se refere à possibilidade de circunstâncias em que o campo da matéria, informação, energia ou uma combinação delas possa afetar o modo como um sistema complexo levaria a conseqüências que são os percebidas e valorizados (no nível do pensamento, sentimento ou instintos) em um determinado estágio de desenvolvimento do observador como negativos até depois da implementação do risco ou ocorrência de efeitos adversos (Zaplatynskyi, 2013, tradução nossa).

A identificação dos perigos existentes no local de trabalho contempla o entendimento das atividades que possibilitam situações que possam desencadear um evento indesejável. Essa identificação é realizada a partir de técnicas estruturadas que visam reconhecer possíveis sequência de acidentes.

São diversas as técnicas disponível para a identificação dos perigos, sendo assim, para cada tipo de organização deve-se utilizar a metodologia mais adequada.

3.2.2 Risco

O dicionário houaiss define risco como sendo a probabilidade de insucesso, de malogro de determinada coisa, devido à acontecimento eventual, incerto, da qual a ocorrência não depende exclusivamente da vontade dos interessados. Juridicamente, define risco como responsabilidade ou encargo acerca da perda ou do dano por situação de risco (houaiss, 2001).

Sanders e McCormick (1993) definem risco como a probabilidade ou chance de lesão ou morte. Por sua vez, o CCOHS define risco como sendo a chance ou a probabilidade de uma pessoa ser prejudicada ou ter um efeito adverso à saúde se for exposta a um perigo. Igualmente se aplica a situações com perda de propriedade ou equipamento, ou efeitos prejudiciais ao meio ambiente (Safety, 2018).

A ISO 4500 define risco como a combinação das conseqüências de um evento e a probabilidade de ocorrência associada. Em relação à saúde ocupacional e segurança, a ISO define risco como sendo a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento ou exposição perigosa relacionada ao trabalho e a gravidade dos ferimentos e problemas de saúde que podem ser causados pelo evento ou exposição (Standart, 2018).

O risco é uma função da severidade e da probabilidade do dano e está associado à exposição a algum perigo. O nível do risco é definido pela conciliação da severidade dos possíveis danos e da probabilidade de sua ocorrência.

3.2.2.1 Risco físico

A NR 9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte dos empregadores que tenham empregados em regime CLT, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA). Essa norma define como riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos locais de trabalho que, em função da sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

De acordo com a NR 9, riscos físicos são aqueles que possam expor os trabalhadores as diversas formas de energia, como por exemplo: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes e radiações não ionizantes (emprego, enit, 1978).

3.2.2.2 Risco químico

De acordo com a NR 9, riscos químicos são:

as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeira, fumos, nevoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão (emprego, enit, 1978).

3.2.2.3 Risco biológico

A NR 9 define como risco biológico aquele que expõe o trabalhador a agentes biológicos, sendo estes: bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros.

A NR 32 refere-se a segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde. Essa norma define risco biológico como a sendo a probabilidade da exposição ocupacional do trabalhador a agentes biológicos. Deste modo, considera agentes biológicos como microorganismos, geneticamente modificados ou não, as culturas de células, os parasitas, as toxinas e os príons (emprego, MTE, 2005).

3.2.2.4 Risco ergonômico

A NR 5 versa a respeito da implementação da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) por parte dos empregadores que possuam trabalhadores sob regime CLT.

Essa norma define risco ergonômico como qualquer fator que possa interferir nas características psicofisiológicas do trabalhador, causando desconforto ou afetando sua saúde. Como exemplo: esforço físico intenso, levantamento e transporte manual de peso, exigência de postura inadequada, controle rígido de produtividade, imposição de ritmos excessivos, trabalho em turno noturno, jornadas de trabalho prolongadas, monotonia e repetitividade e outras situações de stress físico e/ou psíquico (emprego, MTE, 1978).

3.2.2.5 Risco de acidentes

De acordo com a NR 5 qualquer fator que coloque o trabalhador em situação vulnerável e possa afetar sua integridade, seu bem estar físico e psíquico é considerado risco de acidente. Como exemplo: arranjo físico inadequado, máquinas e equipamentos sem proteção, ferramentas inadequadas ou defeituosas, iluminação inadequada, eletricidade, probabilidade de incêndio ou explosão, armazenamento inadequado, animais peçonhentos e outras situações de risco capazes de contribuir para a ocorrência de acidentes (emprego, MTE, 1978).

Quadro 15. Exemplo dos tipos de riscos ocupacionais

RISCO				
Físico	Químico	Biológico	Ergonômico	Acidente
Ruídos	Poeiras	Vírus	Esforço físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibrações	Fumos	Bactérias	Levantamento e transporte manual de peso	Máquinas e equipamentos sem proteção
Radiações ionizantes	Névoas	Protozoários	Monotonia e repetitividade	Ferramentas inadequadas ou defeituosas
Radiações não ionizantes	Neblinas	Fungos	Exigência de postura inadequada	Eletricidade
Frio	Gases	Parasitas	Controle rígido da produtividade	Iluminação inadequada
Calor	Vapores	Bacilos	Imposição de ritmos excessivos	Probabilidade de incêndio ou ex-

			vos	plosão
Pressões anor- mais	Substâncias, compostos ou produtos quím- cos		Trabalho notur- no	Armazenamento inadequado
Umidade			Outras situações de stress físico e/ou psíquico	Outras situações de risco que pos- sam contribuir para a acidentes

Fonte: Adaptado de (emprego, MTE, 1978)

3.2.3 Ferramentas de análise de risco

Diversas são as ferramentas existentes para identificar os perigos e avaliar os riscos, sendo assim deve-se escolher aquela que adequa-se melhor segundo os serviços e atividades do local. As etapas de análise de risco englobam a identificação dos perigos através do reconhecimento dos perigos existentes e dos fatores de risco; análise e avaliação do risco associado ao perigo identificado; controle dos riscos através da determinação das formas apropriadas de reduzir e/ou controlar o perigo.

A análise de risco é projetada a partir de uma abordagem estruturada utilizando técnicas analíticas estruturas, algumas apresentadas no quadro 16.

Quadro 16. Técnicas de análise de risco

TÉCNICA	DESCRIÇÃO
"What-if"	Aplicação de perguntas e respostas visando estabelecer nexos causal entre riscos e consequências. Perguntas como "O que acontecerá se..." para identificar os riscos.
<i>Hazard and operability studies - HAZOP</i>	Exame acurado das linhas de processos visando identificar desvios, suas causas e consequências.
<i>Failure modes and effects analysis - FMEA</i>	Identificação e análise das maneiras pelas quais um sistema, processo ou componente pode falhar e suas consequências.
Análise por árvore de eventos - AAE	Análise da sequência de causas possíveis para um evento indesejado. Cálculo da probabilidade de cada causa acontecer isoladamente. Então, a partir de análise matemática, cálculo da probabilidade do evento ocorrer.
Análise preliminar de perigos - APP	Análise dos perigos existentes no local observando falhas intrínsecas de equipamentos, instrumentos e materiais.

	Identificação dos perigos, das causas e consequências e as esferas de severidade.
--	---

Fonte: Autora

3.2.3.1 Análise preliminar de perigo

Nesse trabalho a ferramenta utilizada para identificar os riscos existentes no laboratório é a Análise Preliminar de Perigos (APP). Esta foi considerada por ser uma técnica simples e de rápido aprendizado, possibilitando assim a realização de um grande número de identificações de perigo. Ademais, não necessita de técnicas estatísticas complexas, permite atualizar os perigos caso haja mudanças nos processos, áreas e equipamentos e atendeu as particularidades existentes no local de estudo.

Segundo Do Valle (1995 apud Benite, 2003, p. 62) a APP teve origem no setor militar sendo utilizada inicialmente na inspeção de sistemas de mísseis. Essa ferramenta se mostra útil para avaliação geral da segurança em sistemas já operacionais, como é o caso do laboratório alvo desse estudo.

Segundo Amorim (2010 apud Maia, 2014, p. 60), os dados obtidos nessa análise devem ser dispostos em uma planilha contendo informações sobre os perigos, suas causas, os modos de detecção ou salvaguardas, efeitos potenciais, categorias de frequência, severidade e risco e medidas mitigadoras do risco, como apresentados no quadro 17.

Quadro 17. Exemplo de planilha de APP

Análise Preliminar de Perigo							
Perigo	Causas	Possíveis efeitos	Deteção e/ou salvaguardas	F	Categoria da severidade	Categoria do risco	Medidas mitigadoras

Fonte: Adaptado de (Maia, 2014)

As causas podem estar relacionadas a falhas de equipamentos, erro humano, condição de operação do processo não prevista, etc. Os possíveis efeitos são os resultados derivados da concretização do perigo identificado, tais como: incêndio em poça, explosão, dispersão de produto tóxico, etc. Os modos de detecção e salvaguardas são dispositivos ou sistemas já exis-

tentes na instalação ou previstos no projeto utilizados para identificar a ocorrência de cenário acidental, como por exemplo, alarmes e detectores de gás.

Através de uma matriz de categoria de frequência é possível avaliar a frequência do cenário acidental, conforme exemplo do quadro 18. As categorias de severidade possibilitam a avaliação da magnitude das consequências dos efeitos físicos através da matriz de categoria de severidade, conforme exemplo do quadro 19. Medidas mitigadoras de risco são propostas visando minimizar os riscos existentes e identificados na APP.

Quadro 18. Exemplo de classificação de frequência do risco

CATEGORIAS FREQUÊNCIA		
Categoria	Denominação	Descrição
A	Extremamente remota	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação
B	Provável	Evento provável de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação
C	Frequente	Evento possível de ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação

Fonte: Adaptado de (Maia, 2014)

Quadro 19. Exemplo de classificação de severidade do risco

CATEGORIAS DE SEVERIDADE		
Categoria	Denominação	Descrição
1	Leve	Não ocorrem lesões ou mortes; no máximo lesões leves com primeiros socorros, sem afastamento das atividades
2	Moderada	Lesões de gravidade moderada, afastamento reversível, probabilidade remota de morte
3	Grave	Lesões ou morte com afastamento e impacto na saúde

Fonte: Adaptado de (Maia, 2014)

Os riscos são classificados segundo sua severidade (S) e frequência (F), de acordo com a matriz de risco (F x S), conforme ilustra o quadro 20.

Quadro 20. Exemplo de matriz de risco

Matriz de riscos			Categorias de Frequência		
			A	B	C
Categorias de Severidade	Grave	3	Moderado	Não Tolerável	Não Tolerável
	Moderada	2	Tolerável	Moderado	Não Tolerável
	Leve	1	Tolerável	Tolerável	Moderado

Fonte: Adaptado de (Maia, 2014)

Quadro 21. Exemplo de classificação de riscos

Risco	Descrição
Tolerável	Sem necessidade de medidas adicionais. O monitoramento é necessário para garantir que os controles sejam mantidos.
Moderado	Controles adicionais devem ser avaliados visando reduzir os riscos
Não Tolerável	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos

Fonte: Adaptado de (Maia, 2014)

3.3 FATORES HUMANOS

A fabricação e uso de ferramentas pelo ser humano existe há aproximadamente 5000 anos. À época, já havia aplicação de ergonomia elementar, como por exemplo, com a criação

do punho do machado para combinar com o tamanho e o formato da mão. Porém, foi há cerca de 100 anos que a ergonomia ou dos fatores humanos evoluiu como tecnologia moderna.

Nas décadas de 1880 e 1890 Taylor e Gilbreth iniciaram de maneira individual estudos que relacionavam o tempo e o movimento na indústria. Aproximadamente na mesma época, Galton estudava sobre diferenças intelectuais e Cattell sobre capacidades sensoriais e motoras. Esses foram os primeiros estudos envolvendo ergonomia ou fatores humanos como tecnologia moderna.

A primeira guerra mundial promoveu um impulso significativo na pesquisa sobre fatores humanos, porque fez-se necessário otimizar a produção nas fábricas. Nos EUA em 1917 e 1918, dois milhões de recrutas foram submetidos a testes de inteligência para distribuí-los de maneira mais eficaz nas tarefas militares. O progresso obtido na primeira guerra resultou na fundação, em 1921, no Reino Unido do Instituto Nacional de Psicologia Industrial, que estendeu à indústria e ao comércio os resultados de estudos experimentais na área de fatores humanos.

O trabalho realizado na Hawthorne Works da Western Electric, nos EUA no período de 1924 a 1930, é considerado um marco importante no estudo de fatores humanos. O resultado obtido mostrou que a eficácia do trabalho poderia ser influenciada favoravelmente por fatores psicológicos não diretamente associados ao trabalho em si. Esse estudo é conhecido como "efeito Hawthorne", devido à sua relevância para a área. Um novo conceito da importância da motivação do trabalho então surgiu, o qual representou um distanciamento substancial das idéias anteriores, concentradas na relação mais direta e física entre homem e máquina (Hawkins, 1987).

Edwards (1985, p. 12 apud Hawkins, 1987, p.20) define a tecnologia aplicada de fatores humanos como a preocupação em otimizar o relacionamento entre o ser humano e suas atividades através da aplicação sistemática das ciências humanas, incorporada à estrutura da engenharia de sistemas.

Hawkins (1987) define fatores humanos como:

Fatores humanos é sobre pessoas. É sobre pessoas em seus ambientes de trabalho e vida. É sobre o relacionamento deles com máquinas e equipamentos, com procedimentos e com o meio ambiente a seu redor. E também é sobre o relacionamento deles com outras pessoas. Embora todas as definições sejam feitas pelo homem e raramente tenham força de lei, elas são úteis para orientar discussões esclarecidas e cristalizar a atividade profissional. Porém, eles não devem ser muito restritivos e devem permitir o desenvolvimento e novos conhecimentos (Hawkins, 1987, p. 20).

Fatores humanos é utilizado para descrever a relação do ser humano no projeto e operação de equipamentos e sistemas. Diferentes termos podem ser usados para alguns aspectos

de fatores humanos, como por exemplo, a confiabilidade humana que está principalmente associada ao estudo de erros humanos, e a ergonomia, que está associada ao design de sistemas que envolvem seres humanos, geralmente chamada de interface homem-máquina ou interface do usuário.

3.4 CONFIABILIDADE HUMANA

Segundo Lyons et al (2004 apud Lin et al 2013, p. 249) a confiabilidade humana identifica os erros e fraquezas do sistema através do exame dos sistemas de trabalho, incluindo as pessoas que trabalham no sistema. Grandjean (1980 apud Lin et al 2013, p. 249) define confiabilidade humana como a observância de informações expressivas a respeito das características humanas e comportamento ao design de objetos, instalações e ambientes que as pessoas utilizam.

Iida (1991) define confiabilidade humana como:

Confiabilidade humana é a probabilidade de uma tarefa ser desempenhada com sucesso pelo homem. Ela depende das interações do homem com o seu ambiente (máquinas, equipamentos e instalações) e da ocorrência de uma eventual falha em atender a determinadas expectativas. Este conceito baseia-se, portanto, na existência de três elementos: um homem agindo; um ambiente que apresenta uma resposta considerada insatisfatória; e um critério de julgamento para considerá-la insatisfatória (Iida, 1991).

A Análise da Confiabilidade Humana (ACH) ou *Human Reliability Analysis* (HRA) em inglês, tem como propósito encontrar e descrever os elementos do sistema analisado e relatar como estes se relacionam, em termos de funções, causas, dependências, etc. Na ACH o foco da análise são ações humanas não seguras ou ações humanas erradas e o objetivo é descrever o que pode levar ao erro na ação.

A preocupação da ACH é identificar se o operador provavelmente executará uma ação incorreta e que tipo de ação será. Sendo assim, isso requer uma previsão de quando o operador falhará, ou seja, nessa análise o operador é tratado como uma máquina passível de erros. De um modo geral, a ACH busca identificar antecipadamente as situações em que a combinação das informações e condições com o estado atual e as capacidades do operador levam à escolha de uma ação incorreta ou ao desempenho incorreto de uma ação (Hollnagel, 1998).

3.5 AÇÕES HUMANAS NÃO SEGURAS

Ação humana não segura ou erro humano acontece quando oscilações naturais do comportamento humano provoca alguma consequência fora dos limites esperados, ou ainda quando a capacidade humana para acompanhar as alterações ambientais forem insuficientes (Iida, 1991).

Iida (1991) defende que é difícil caracterizar um erro humano sem ter uma definição objetiva do comportamento ou do resultado esperado. Isso porque, o erro não existe no seu sentido absoluto, e sim como desvios normais em relação a certos padrões estabelecidos.

Reason (2000 apud Correa & Junior 2007, p.189) propõe que os erros humanos podem ser estudados sob os prismas da aproximação pessoal ou do sistema, sendo cada um possuidor de seu próprio modelo de causa dos erros.

A aproximação pessoal tem enfoque nos atos inseguros, ou seja, em erros e violações de procedimentos. Por esse raciocínio, os atos inseguros têm origem em processos mentais, tais como esquecimentos, desatenção, negligência e imprudência, sendo assim, as medidas preventivas estão direcionadas no sentido de reduzir a alternância indesejável do comportamento humano.

Na aproximação de sistemas a premissa básica é que os seres humanos são falíveis e erros são esperados. Como resultado os erros são considerados mais como consequências do que como causas, tendo suas origens em fatores sociotécnicos que fogem ao seu controle. Portanto, as medidas de segurança são calcadas no fato de que não é possível alterar a natureza humana, e sim mudar as condições sob as quais os seres humanos trabalham.

Essas medidas baseiam-se nos sistemas de defesas, porque partem do princípio que toda tecnologia perigosa possui barreiras e salvaguardas. Além disso, nessa aproximação a análise principal após a ocorrência do acidente não está focada em quem cometeu o erro, mas sim como e por que as defesas falharam (Correa & Junior, 2007).

Llory (1999) questiona a abordagem comportamentalista, ou seja, aquela que prioriza o erro humano como causa fundamental dos acidentes, porque não elucida a compreensão de como o acidente ocorreu. O conceito de "acidente organizacional" foi então desenvolvido pelo autor visando oferecer um aspecto mais amplo no entendimento das causas de acidentes.

Nessa definição o acidente é organizacional porque é, a princípio, produto de uma organização sociotécnica. O entendimento de que o acidente é somente resultado de uma combinação desfavorável de falhas passivas e latentes com falhas ativas e diretas, e resultado de

uma combinação particular de erros humanos e falhas materiais se torna então inapropriado.

Na visão proposta pelo autor, o acidente está enraizado na história da organização, uma vez que uma sequência de decisões, ou privações de decisões; o contexto organizacional, institucional, cultural que acomete o futuro do sistema; fatores internos à organização; eventos particulares que oferecem impacto notável sobre a vida e o funcionamento do sistema socio-técnico, criam uma situação prejudicial no qual o acidente poderá surgir.

Kletz (2001 apud Correa & Junior, 2007, p. 189) defende que as organizações busquem alterar as situações com potencial de gerar acidentes ao invés de tentar mudar o comportamento humano. Incorporar na organização sistemas capazes de eliminar as oportunidades de ocorrência de erro é mais eficiente do que propor medidas que tentem mudar a natureza humana. O autor resume esse panorama ao dizer que o acidente ocorre devido ao erro humano é tão eficaz quanto dizer que a queda é devido à ação da gravidade.

3.6 SISTEMAS E FATORES SOCIOTÉCNICOS

Segundo Saraiva, Oliveira & Tadeucci (2012) a teoria dos sistemas surgiu na década de 40, devido à necessidade de abordar aspectos que os reducionistas não conseguiam explicar. Os autores relatam que as primeiras aplicações da concepção de sistêmico nas organizações procediam da presunção de que os problemas são independentes do desenvolvimento cognitivo e dos interesses humanos. Seguindo esse raciocínio, Maté e Silva (2005 apud Simonette, 2010, p. 53) definem sistemas sociotécnicos da seguinte maneira:

Um sistema sociotécnico é uma inter-relação complexa de pessoas e tecnologia, incluindo *hardware*, *software*, dados, ambientes físicos, seres humanos, processos, leis e regulamentações.

Saraiva, Oliveira & Tadeucci (2012) definem sistemas sociotécnicos como "sistema homem-máquina, que possui dois elementos ou subsistemas principais que interagem entre si e estão sob influência dos fatores ambientais".

O conceito geral de sistema sociotécnico é regido pelo pensar nas partes que constituem o sistema, em função do que elas oferecem como colaboração para o alcance universal e não somente na sua estrutura. A diretriz do sistema sociotécnico busca encontrar a paridade entre o sistema técnico e o sistema social, através de desenvolvimento de trabalho em grupo e de estudos do comportamento organizacional (Saraiva, Oliveira, & Tadeucci, 2012).

Partindo do conceito de sistemas sociotécnicos, é preciso considerar os fatores que afetam o desempenho humano nesses sistemas. As abordagens recentes no estudo da confiabilidade humana descentralizam como causa principal de acidentes o fator humano.

À vista disso, consideram uma abordagem sistêmica, na qual um conjunto de fatores interagem entre si de forma contínua. Esses fatores são encontrados na literatura com diferentes denominações: fatores sociotécnicos, fatores que afetam o desempenho humano (FAD), *performance shaping factors* (PSF) e *performance influencing factors* (PIF).

O *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) (1994) defende que os termos PSF e PIF possuem ênfases diferentes, embora utilizem os mesmos métodos. Desse modo, argumenta que o termo PSF é utilizado, majoritariamente, na indústria de energia nuclear e está aplicado no contexto da quantificação de probabilidade do erro humano. Em contrapartida, o PIF é utilizado principalmente no sentido qualitativo, sobretudo em relação ao design e auditoria de sistemas para minimizar a probabilidade de erro.

Swain e Guttman (1983) utilizam a denominação *performance shaping factors* (PSF) ou fator de modelagem do desempenho, definido como qualquer fator que influencia o desempenho humano. Os autores declaram que esses fatores podem ser externos, internos ou estressores.

Os fatores externos ao ser humano abrangem todo o ambiente e situações de trabalho, sendo divididos em três categorias gerais: características situacionais, características de tarefas e equipamentos e características de instruções de trabalho e tarefas. Como exemplo desses fatores estão: design do equipamento, os procedimentos escritos ou instruções orais. Já os fatores internos refletem as características individuais do ser humano, tais como suas habilidades, motivações e expectativas que induzem seu desempenho (Swain & Guttman, 1983).

Os fatores estressores são definidos como qualquer força externa ou interna que causa estresse. Os autores ressaltam a diferença entre os termos "estresse" e "estressores" definindo-os como, no caso do primeiro termo, algo que é sentido por uma pessoa; e no caso do segundo termo, algo que produz o estresse. O estresse psicológico e fisiológico são resultantes do ambiente que o operador está inserido, no qual as demandas impostas pelo sistema estão em desacordo com as capacidades e limitações do operador. Por exemplo, caso algum requisito perceptivo de uma tarefa crie muitas demandas ao operador, seu desempenho geralmente sofrerá devido a carga excessiva de tarefas (um estressor psicológico) (Swain & Guttman, 1983).

A partir do modelo baseado na maneira pela qual o ser humano percebe, processa e responde as informações que recebe do sistema os autores elaboraram um banco de dados dos

PSF mais relevantes para confiabilidade humana em centrais nucleares. O quadro 22 apresenta esses fatores (Swain & Guttman, 1983).

Quadro 22. Fatores sociotécnicos banco de dados plantas nucleares

ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO DOS PSF			
EXTERNOS			
CARACTERÍSTICAS SITUACIONAIS:	CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E DO EQUIPAMENTO:	INSTRUÇÕES DE TRABALHO E TAREFA:	DE
que se aplicam a mais de uma tarefa	aqueles PSF específicos para a tarefa no trabalho	ferramenta mais importante para a maioria das tarefas	
Recursos arquitetônicos	Requisitos percentuais	Procedimentos	
Qualidade do ambiente de trabalho: temperatura, umidade, qualidade do ar, radiação, luminosidade, ruído, vibração, grau de limpeza geral	Requisitos do motor (velocidade, força, precisão)	Comunicação oral ou escrita	
Rotação por turno	Relação controle-exibição	Cuidados e avisos	
Trabalho noturno	Requisitos antecipatórios	Métodos de trabalho	
Horário de trabalho e intervalos de trabalho	Interpretação	Políticas da planta	
Disponibilidade e adequação de equipamentos, ferramentas e suprimentos especiais	Tomada de decisão		
Estrutura organizacional (autoridade, responsabilidade, canais de comunicação)	Complexidade (carga de informações)		
Ações de supervisores, colegas de trabalho, representantes sindicais e pessoal regular	Frequência e repetitividade da tarefa		
recompensas, reconhecimento, benefícios	Criticidade de tarefas		
	Memória de longo e curto prazo		
	Requisitos de cálculo		
	Feedback (conhecimento dos resultados)		
	Tarefas dinâmicas versus passo a passo		
	Estrutura e comunicação da equipe		
	Fatores de interface homem-máquina: projeto de equipamento principal, equipamento de fabricação de equipamento de teste, auxiliares de trabalho, ferramentas, acessórios		

STRESSORES		
PSICOLÓGICOS: PSF que afetam diretamente o estresse mental duração do estresse início repentino velocidade da tarefa carga da tarefa nível de risco ameaças (de falha, de perda do emprego) trabalho monótono, degradante ou sem sentido longos períodos de vigília sem intercorrências reforço ausente ou negativo privação sensorial distrações (barulho, brilho, movimento, cintilação, cor) sugestão de inconsciência	FISIOLÓGICOS: PSF que afetam diretamente o estresse físico duração do estresse fadiga dor ou desconforto fome ou sede temperaturas extremas radiação pressão atmosférica extrema oxigênio insuficiente vibração constrição do movimento falta de exercício físico perturbação do ritmo cardíaco	
INTERNOS		
<u>FATORES DO ORGANISMO:</u> características das pessoas resultantes de influências internas e externas formação/ experiência anterior prática ou habilidade atual variáveis de personalidade e inteligência motivação e atitudes estado emocional estresse (mental ou tensão corporal) conhecimento dos requisitos		

padrões de performance
diferenças de sexo
condição física
atitudes baseadas na família ou outras influencias externas
identificação de grupo

Fonte: Retirado de (Swain & Guttman, 1983)

CCPS (1994) define os PIF como os fatores que determinam a probabilidade de erro ou desempenho humano eficaz. Porém, salientam que os PIF não são associado de forma automática ao erro humano, ou seja, quando todos os PIF relevantes para uma situação específica do sistema forem ótimos, o desempenho será ótimo e a probabilidade de erro será minimizada.

Em um sistema sociotécnico é relevante considerar o estudo e análise dos PIF como parte da avaliação de riscos. Visto que essa análise fornece uma previsão qualitativa de possíveis erros que podem gerar impacto na segurança do ambiente, além de fornecer uma avaliação das condições operacionais conforme as tarefas são executadas. As condições operacionais têm um grande impacto na determinação da probabilidade de um erro específico acontecer, logo é importante avaliá-las de forma sistemática.

O CCPS (1994) apresenta um banco de dados com PIF voltados para a indústria química baseado no modelo de erro humano em decorrência de alguma incompatibilidade entre demandas e recursos. Nesse modelo, as demandas figuram como requisitos para o desempenho humano. Esses requisitos, por sua vez, manifestam-se das características do ambiente do processo, como por exemplo, a necessidade do operador monitorar um painel ou ser capaz de conectar uma vedação em um flange; e da natureza das capacidades humanas para atender essas demandas, como por exemplo, habilidades de percepção, pensamento e ação física. Nos casos nos quais os recursos excedem as demandas o erro pode ocorrer.

Os PIF são classificados em quatro grupos como mostra o quadro 23. No primeiro grupo estão fatores relacionados ao ambiente químico e de trabalho no qual a tarefa é realizada, como riscos do processo, falta de tempo, iluminação, ruído, horário de trabalho e outros. No segundo grupo estão aqueles relacionados aos trabalhadores e sua interação com suas tarefas, incluindo o desenho de painéis e equipamentos de controle, procedimentos e treinamento. No terceiro grupo estão os fatores relacionados às características individuais dos trabalhadores, como experiência operacional, traços de personalidade, saúde e idade. No quarto grupo estão os fatores relativos ao ambiente organizacional e social e inclui aspectos como trabalho

em equipe e comunicações, políticas de segurança, sistemas de trabalho e outros que afetam o desempenho humano de maneira indireta (CCPS, 1994).

Quadro 23. Fatores sociotécnicos banco de dados do CCPS

ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO DOS PIF	
AMBIENTE OPERACIONAL	CARACTERÍSTICAS DA TAREFA
<u>PROCESSO QUÍMICO</u> frequência de envolvimento do trabalhador complexidade dos eventos do processo percepção do perigo dependência do tempo e da velocidade de reação requerida frequência de eventos imprevistos	<u>DESIGN DOS EQUIPAMENTOS</u> acesso e localização identificação do equipamento equipamento de proteção individual (EPI)
<u>AMBIENTE FÍSICO</u> ruído luminosidade condições térmicas condições atmosféricas	<u>DESIGN DO PAINEL DE CONTROLE</u> conteúdo e importância da informação identificação de monitores e controles compatibilidade com a expectativa do operador agrupamento de informações visão geral de informações críticas e alarmes
<u>CARGA DE TRABALHO</u> horas de trabalho x descanso rotação do turno e trabalho noturno	<u>PROCEDIMENTOS DE TRABALHO</u> instruções de trabalho de fácil entendimento nível de descrição especificação das condições de entrada e saída qualidade dos controles e avisos nível de suporte a diagnóstico de falha compatibilidade com a experiência operacional frequência de atualização
	<u>TREINAMENTO</u> conflitos entre os requisitos de segurança e de operação treinamento para operação de novos equipamentos prática em situação não familiares formação e treinamento nos procedimentos para situações emergenciais treinamento na operação de sistemas automatizados
CARACTERÍSTICAS PESSOAIS DO OPERADOR	FATORES ORGANIZACIONAIS E SOCIAIS
<u>EXPERIÊNCIA</u> perfil nível de habilidade	<u>TRABALHO EM EQUIPE E COMUNICAÇÃO</u> distribuição da carga de trabalho definição de responsabilidades comunicação liderança planejamento e orientação

<u>FATORES DE PERSONALIDADE</u> motivação propensão a acidentes teoria da homeostase do risco foco e objetividade controle emocional	<u>POLÍTICAS DA GESTÃO</u> comprometimento gerencial "cultura dos procedimentos perfeitos" confiança excessiva nos métodos técnicos de segurança aprendizado organizacional
<u>SAÚDE E IDADE</u>	

Fonte: Retirado de (CCPS, 1994)

O *Nuclear Power Engineering Corporation* (NUPEC) mantém um banco de dados com os principais fatores sociotécnicos que causaram acidentes ou incidentes em usinas nucleares. Esses fatores são divididos em quatro causas principais: características individuais, características da tarefa, características do ambiente de trabalho e características da gestão. O quadro 24 apresenta esses fatores (Furuta, 1995).

Quadro 24. Fatores sociotécnicos banco de dados NUPEC

CAUSA PRINCIPAL	CAUSAS PORMENORIZADAS	
Características individuais do operador	Estresse psicológico	exigências excessivas, medo de fracasso, tédio
	Estresse fisiológico	temperatura, umidade, fadiga
	Fatores subjetivos	ação habitual, problemas pessoais, julgamento subjetivo
	Incapacidade de desempenho no trabalho	treinamento, habilidades técnicas e conhecimentos insuficientes
	Configuração física	desarranjo entre tarefa e estrutura anatômica individual do operador
Características da tarefa	Dificuldades da tarefa	dificuldades de previsão ou de julgamento para executar a tarefa
	Carga de trabalho	diversas tarefas, restrição de tempo para a execução
	Tempo de trabalho irregular	horários irregulares de trabalho, trabalho noturno
	Trabalho paralelo	trabalhos paralelos e diferentes, trabalho inesperado necessário
Características do ambiente de trabalho	Local: erros humanos podem ser explicados pela natureza da configuração física do local.	Inadequação no local de trabalho (espaço estreito, locais perigosos), condições de trabalho inadequadas (temperaturas

		extremas, umidade, ruído), uso de equipamentos especiais
	Equipe: membros da equipe de trabalho, supervisão da equipe e relacionamentos entre os membros da equipe de trabalho	Inadequação na organização da equipe, trabalho inadequado da equipe, falta de solidariedade, violação das normas da equipe
Características da gestão	Educação e treinamento	Deficiências na educação, como falha na conscientização da cultura de segurança e treinamento para obter habilidade técnica
	Planejamento de trabalho	Violação das regras de especificação técnica ou manual de instruções, inadequações no planejamento inicial
	Falta de incentivo	Avaliação das empresas sobre o esforço dos trabalhadores inadequada, formas de estimular a moral dos trabalhadores

Fonte: Retirado de (Furuta, 1995)

3.7 MODELO SHELL

Segundo Reinhart (1996 apud Li et al, 2013, p. 249) o modelo SHELL foi introduzido por Edwards em 1972 e posteriormente desenvolvido por Hawkins em 1987. É um dentre diversos métodos utilizados para estudar os fatores humanos.

Esse modelo descreve o comportamento de um sistema interativo levando vigorosamente em consideração as questões de fatores humanos. Por conseguinte, considera o ser humano como um componente integrado e inseparável do sistema produtivo. O modelo ressalta as interfaces entre uma pessoa (*central liveware*) e os outros quatro componentes, ao invés dos próprios componentes.

Edwards (1972) apresentou o modelo SHEL que compreende três elementos, *Software*, *Hardware* e *Environment*, que interagem com o ser humano (*Liveware*). Pensando em desenvolver esse modelo, Hawkins (1993) adicionou a relação pessoa a pessoa (*Liveware - Liveware*) e nomeou o modelo resultante de SHELL.

O ser humano (*Central Liveware*) está no centro desse modelo, sendo o componente mais significativa e flexível do sistema. Por estar suscetível a diversas variações em seu desempenho e por sofrer com muitas limitações, as bordas deste bloco não são simples e retas. Sendo assim, os outros componentes do sistema devem corresponder cuidadosamente a eles para impedir tensões no sistema e eventual ruptura.

Dado que o estudo de fatores humanos está ligado à engenharia, pode ser proficiente descrever o *central liveware* nesse contexto em termos de engenharia.

- **Tamanho e forma físicos:** Em qualquer local de trabalho e na maioria dos equipamentos o design é importante para adequar as medições e movimentos do corpo humano. Na etapa inicial do projeto de design é fundamental que decisões a respeito das dimensões humanas e porcentagem da população que o projeto atingirá sejam tomadas. Grupos étnicos, etários e sexuais devem ser estudados para um melhor resultado. As informações colhidas para tomar essas decisões estão disponíveis em antropometria e biomecânica.
- **Energia:** O ser humano precisa de combustível como comida, água e oxigênio para operar devidamente e quando existe deficiências nesses suprimentos, o seu desempenho pode ser afetado. Sendo assim, essas informações estão disponíveis em fisiologia e biologia.
- **Características de entrada:** Diversos são os mecanismos que o ser humano possui para obter informações a respeito do mundo à sua volta e detectar, por exemplo, dados sobre luz, som, olfato, paladar, movimento, toque, calor e frio. Essas informações são úteis para possibilitar que ele responda a eventos externos e realize as tarefas necessárias de forma satisfatória. Todo ser humano está suscetível a degradação por um motivo ou outro, e é por isso que a fisiologia e biologia são as principais fontes de conhecimento para se evitar isso.
- **Processando informação:** Embora a capacidade sensorial do ser humano seja extensa, sua capacidade de processamento de informações tem valorosas limitações. É improdutivo municiar o operador com informações de monitores, por exemplo, sem entender a eficácia com que as informações podem ser processadas. Quando o sistema de processamento de informações humanos não é levado em consideração adequadamente, pode-se resultar em projetos inadequados de instrumentos e sistemas de aviso e alertas. Fatores como memória de curto e longo prazo, motivação e estresse são alguns dos fatores envolvidos que podem influenciar na eficácia do sistema. Diversos erros

humanos estão relacionados a essa área de processamento de informações e por isso a fonte de conhecimento prévio é a disciplina de psicologia.

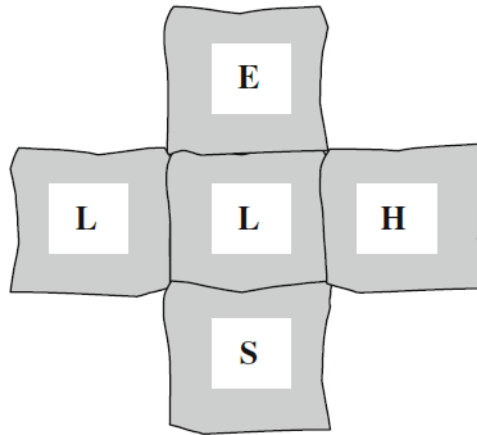
- **Características de saída:** Dado que as informações são capturadas e processadas, as mensagens são emitidas aos músculos e um sistema de resposta ajuda a comandar suas ações. É necessário reconhecer o tipo de força que pode ser empregada e a direção admissível do movimento dos controles. No design de procedimentos apropriados de comunicação por voz, os atributos da fala são elementos imprescindíveis. As disciplinas de biomecânica e fisiologia oferecem o suporte nessa área.
- **Tolerâncias ambientais:** Assim como os equipamentos seres humanos funcionam de maneira efetiva apenas dentro de uma faixa deveras estreita de condições ambientais. Temperatura, pressão, umidade, ruído, turno, claridade e escuridão podem repercutir no desempenho e no bem-estar. Em indivíduos menos tolerantes o desempenho pode ser afetado, como por exemplo, pela altura (acrofobia) e espaços confinados (claustrofobia). Ambientes de trabalho monótonos ou estressantes também podem influenciar o desempenho. Para esses efeitos ambientais as disciplinas de fisiologia, biologia e psicologia oferecem conhecimentos significativos.

Uma das principais características a ser considerada no ser humano central (*central liveware*) é que as pessoas são diferentes. Enquanto é possível programar e produzir *hardware* com uma tipificação acurada e esperar congruência em seu desempenho, isso não se aplica para o componente humano no sistema. Os efeitos adversos provenientes dessa diferença, uma vez identificados adequadamente, podem ser dirigidos na prática através de seleção, treinamento e utilização de procedimentos padronizados. O *Central Liveware* é o cerne do modelo SHELL de fatores humanos e por isso os outros componentes devem ser adaptados e combinados com ele (Hawkins, 1987).

Software representa todos os recursos não físicos do sistema, tais como: políticas e regras organizacionais, procedimentos, manuais e cartazes. *Hardware* representa qualquer componente físico e não humano do sistema, tais como: equipamentos, veículos e ferramentas. Já o *Environment* representa os fatores que influenciam o ambiente (local) onde as pessoas trabalham, tais como: clima, temperatura, vibração e ruído. *Liveware* representa os seres humanos e inclui fatores como trabalho em equipe, comunicação e liderança. O *Central Liveware* também está relacionado aos seres humanos, porém inclui elementos humanos tais como: conhecimento, atitudes, cultura e estresse. À vista disso, o modelo SHELL é capaz de

capturar as relações dos seres humanos com outros seres humanos, bem como interações com o ambiente, máquinas e procedimentos. A figura 2 apresenta a estrutura do modelo.

Figura 2. Modelo SHELL



Fonte: Retirado de (D. Baranzini, 2009)

3.7.1 Modelo SHELLO

Liu & Wang (2014) apresentam o modelo SHELLO para análise de fatores humanos de acidentes ocorridos na aviação civil. Esse modelo é o desenvolvimento dos modelos SHELL e Reason considerando a mesma estrutura sistemática do modelo SHELL e destacando os fatores organizacionais, assim como no modelo Reason.

O modelo Reason destaca a importância da organização, enquanto o modelo SHELL não leva esse fator em consideração. Sendo assim, os autores defendem que esse novo modelo exclui as desvantagens dos dois modelos base e apresenta apenas as suas vantagens. O modelo SHELLO torna a análise de fatores humanos de acidentes de aviação civil mais sistemática e clara.

A estrutura do modelo SHELLO é apresentada na figura 3. O fator organizacional envolve todos os outros cinco fatores uma vez que estes são influenciados pela organização.

Figura 3. Modelo SHELLO

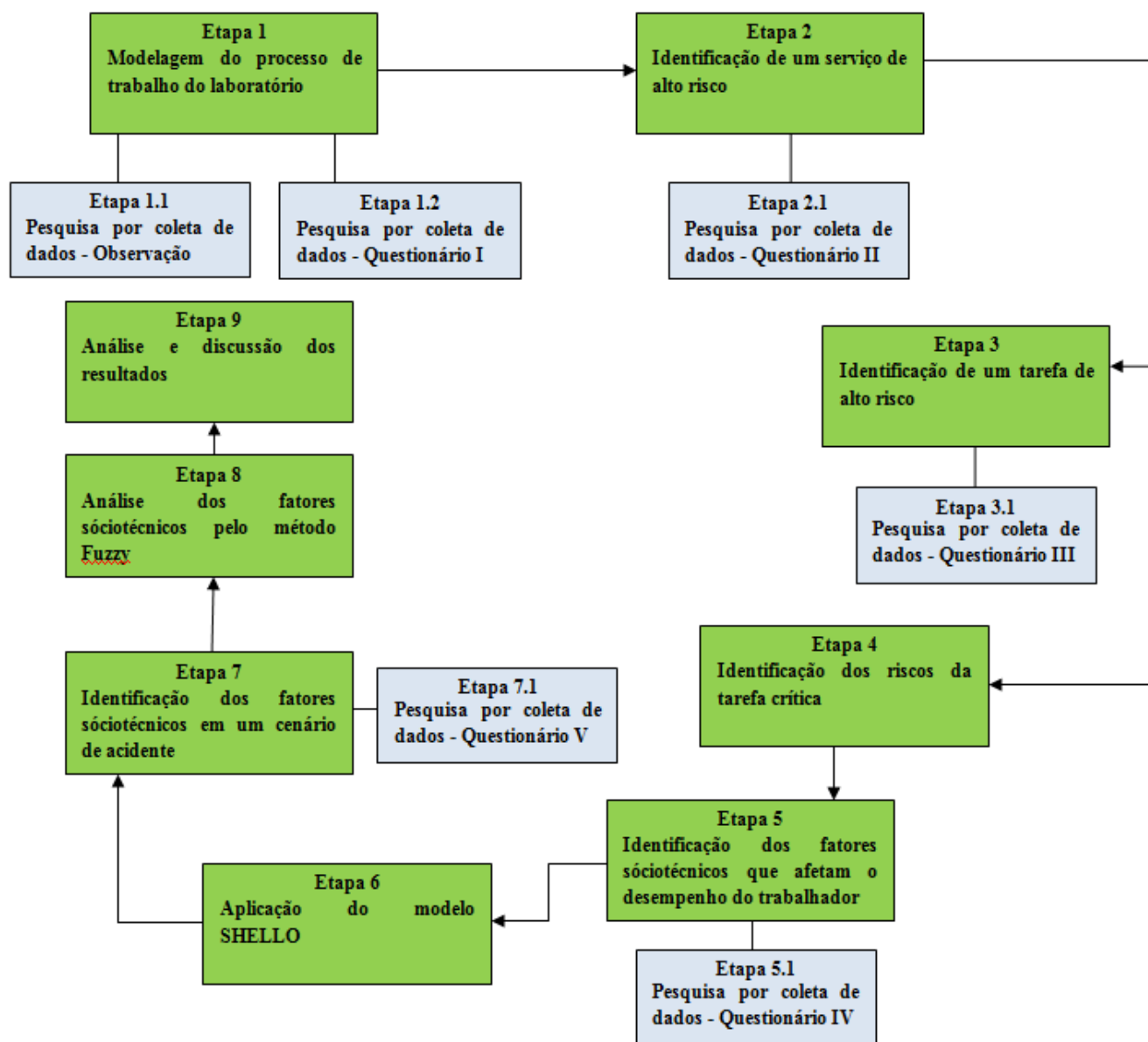


Fonte: Retirado de (Liu & Wang, 2014)

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho pretende reconhecer as demandas de atividades e fatores sociotécnicos associadas às tarefas críticas identificadas por uma ferramenta de gestão de risco, Avaliação Preliminar de Perigo (APP), aplicada em um laboratório de pesquisa de uma instituição pública brasileira, objetivando detectar e propor medidas para reprimir situações de erro provável e aumentar a segurança laboratorial. A metodologia utilizada neste trabalho está descrita na figura 4 na forma de diagramas em blocos, os quais mostram as etapas que a pesquisa irá seguir.

Figura 4. Diagramas em bloco da metodologia



Fonte: Autora

Etapa 1- Modelagem do processo de trabalho do laboratório.

Nesta etapa todo processo de trabalho existente no laboratório é descrito, de forma a obter as seguintes informações: identificação dos serviços, identificação dos cargos existentes, identificação das ferramentas e equipamentos utilizados. Para o reconhecimento do perfil profissional dos trabalhadores do laboratório foi aplicado um questionário I, apresentado no APÊNDICE A, para obter informações como formação profissional, maior nível de escolaridade, tempo de exercício na área de atuação, tempo de exercício na função atual, tempo total de formação e idade.

1.1 Pesquisa por coleta de dados - observação: Nesta etapa a autora observou e acompanhou as atividades do laboratório, entrevistou os trabalhadores, realizou registro fotográfico dos equipamentos e ferramentas, e coletou as informações pertinentes para descrever os serviços existentes no local estudado.

1.2 Pesquisa por coleta de dados - questionário I: Nesta etapa a identificação do perfil profissional e acadêmico dos trabalhadores do laboratório é feita através de questionário, utilizado como instrumento de coleta de dados.

Etapa 2- Identificação de um serviço de alto risco.

Para o processo de identificação de um serviço de alto risco é necessário o auxílio de especialistas, isto é, profissionais experientes e capacitados para discriminar entre os vários serviços que expõe os trabalhadores do laboratório aos riscos típicos inerentes das atividades que executam nesse ambiente quais são os mais representativos.

2.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário II: Nesta etapa a identificação de um serviço de alto risco no laboratório alvo do estudo é feita através de questionário apresentado no APÊNDICE A, este usado como ferramenta de coleta de dados, por profissionais selecionados pelo critério de experiência profissional e formação acadêmica na área de atuação do laboratório.

Etapa 3 - Identificação de uma tarefa de alto risco

Após o reconhecimento do serviço de alto risco é feita a identificação, através do auxílio dos especialistas do laboratório, de uma tarefa de alto risco dentre aquelas pertencentes ao serviço crítico.

3.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário III: Nesta etapa a identificação da tarefa crítica para o serviço crítico (identificado na etapa anterior) é feita através de coleta de dados via um terceiro questionário aplicado ao mesmo grupo anterior. O questionário é apresentado no APÊNDICE A.

Etapa 4 - Identificação dos riscos da tarefa crítica.

Nesta etapa do método utilizado na pesquisa uma ferramenta de análise de riscos é empregada a fim de apontar os cenários de perigos, bem como reconhecer e avaliar os riscos existentes no laboratório para a tarefa crítica identificada.

A Análise Preliminar de Perigos (APP) é uma das diversas ferramentas de análise de riscos existentes que, além do mencionado, possibilita determinar medidas preventivas e mitigadoras para os riscos existentes no laboratório. Na APP as causas que acarretam a ocorrência de cada evento e suas respectivas consequências são abordadas. Consequentemente, com a descrição dos cenários de possíveis acidentes é efetuada uma avaliação da relação entre a frequência de ocorrência e da severidade das consequências para a validação dos riscos associados. A APP é apresentada no APÊNDICE B.

Etapa 5 - Identificação dos fatores sociotécnicos que afetam o desempenho dos trabalhadores.

Nesta etapa é realizada a aplicação do questionário IV, apresentado no APÊNDICE A com o objetivo de coletar as percepções dos profissionais com experiência em trabalhos em laboratórios de ensino e pesquisa na área química sobre os fatores sociotécnicos que afetam o desempenho dos trabalhadores ao executar a tarefa crítica. Considerar os fatores que afetam o desempenho dos trabalhadores é importante para reduzir as probabilidades de ocorrência de acidentes e, portanto, aumentar a segurança laboratorial.

Etapa 6 - Aplicação do modelo SHELLO.

Nessa etapa o modelo SHELLO é empregado com objetivo de estudar a viabilidade de sua implementação como ferramenta de análise de fatores humanos em laboratórios de ensino e pesquisa. O modelo SHELLO descreve o comportamento de um sistema interativo considerando, em especial, as questões de fatores humanos. Esse modelo conceitua os humanos como um componente integrado e inseparável do sistema produtivo, evidenciando as interfaces entre uma pessoa e os outros quatro componentes, ao invés dos próprios componentes.

Etapa 7 - Identificação dos fatores sociotécnicos em um cenário de acidente

Nesta etapa é realizada a aplicação do questionário V, apresentado no APÊNDICE A com o objetivo de coletar as percepções dos profissionais com experiência em trabalhos em laboratórios de ensino e pesquisa na área química sobre os fatores sociotécnicos mais relevantes em um cenário de acidente proposto. O cenário de acidente escolhido foi baseado na APP realizada para as tarefas críticas.

Etapa 8 - Análise dos fatores sociotécnicos pelo método *Fuzzy*

Nesta etapa o método *fuzzy* é utilizado para analisar a influência dos fatores sociotécnicos obtidos no cenário de acidente escolhido. A hierarquização desses fatores é realizada de acordo com o seu grau de importância, na ordem decrescente. A lógica *fuzzy* é um método utilizado para traduzir expressões verbais, imprecisas e qualitativas em valores numéricos. Sendo assim, é possível utilizar esse método para converter a opinião dos especialistas em informações quantitativas.

Etapa 9 - Análise e discussão dos resultados

Os fatores sociotécnicos identificados nos questionários IV e V amparam as diretrizes apresentadas nesta etapa com recomendações, planos e ações para reduzir os possíveis erros humanos. Os serviços no laboratório alvo desse estudo programados adequadamente, em harmonia com as capacidades e limitações humanas, considerando os fatores sociotécnicos que afetam o desempenho humano podem originar conjunturas que minorem os erros humanos.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta o resultado do estudo desenvolvido nos capítulos anteriores por meio da manifestação das avaliações individuais dos especialistas e do alcance dos resultados gerais. Estes resultados foram obtidos através da aplicação do método de análise de fatores humanos, modelo SHELLO, método *fuzzy* de decisão, juntamente à ferramenta de análise preliminar de perigos (APP) e dos fatores sociotécnicos que afetam o desempenho humano.

5.1 MODELAGEM DO PROCESSO DE TRABALHO DO LABORATÓRIO

A modelagem do processo de trabalho permite entender as atividades realizadas no laboratório, bem como reconhecer cargos existentes, ferramentas e equipamentos utilizados e o perfil profissional dos trabalhadores.

5.1.1 Serviços do laboratório

Essa modelagem é uma descrição dos nove serviços do laboratório de ensino e pesquisa alvo desse estudo, sendo estas apresentadas no quadro 25. Essa informação foi obtida através da coleta de dados em campo por observação e acompanhamento de todos os serviços do laboratório pela autora.

Quadro 25. Serviços do laboratório

SERVIÇO 1	Preparação dos corpos de prova
SERVIÇO 2	Preparação de células de transferência para ensaio
SERVIÇO 3	Montagem do ensaio em autoclave estática
SERVIÇO 4	Teste de estanqueidade em autoclaves
SERVIÇO 5	Preparação e utilização da linha de tubulação contendo H ₂ S
SERVIÇO 6	Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave
SERVIÇO 7	Desmontagem do ensaio em autoclave estática
SERVIÇO 8	Limpeza da autoclave
SERVIÇO 9	Preparação das soluções

Fonte: Autora

5.1.1.1 Serviço 1. Preparação dos corpos de prova

O trabalho nesta etapa consiste em preparar amostras denominadas corpos de prova (CP) para realização dos ensaios de corrosão. As ferramentas e equipamentos utilizados para executar essa atividade são os seguintes: amostras metálicas com diferentes composições; resina de alta resistência à temperatura e pressão desenvolvida especificamente para os ensaios no laboratório; molde metálico; serra manual; torno mecânico; lixadeira manual; lixadeira mecânica.

Tarefas para execução do serviço 1.

1. Corte das peças metálicas com serra manual ou torno mecânico
2. Fixação da resina no corpo de prova eletroquímico dentro do molde
3. Acabamento da superfície do corpo de prova com lixas d'água manual e mecânico.

5.1.1.2 Serviço 2. Preparação de células de transferência para ensaio

Nesta etapa o trabalho consiste em preparar recipientes denominados células que serão utilizadas nos ensaios de corrosão. As células são construídas no laboratório conforme demanda de ensaio e envolve basicamente a preparação de um suporte para um recipiente que ficará exposto a temperatura e pressão elevadas. A tampa e o suporte podem ser de material acrílico ou teflon e serão conectadas por meio de haste metálica.

As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: chave de fenda, chave *philips*, alicates diversos (de corte, de bico, de pressão, normal), arco de serra, furadeira de bancada, ferro de solda, paquímetro, compasso, esquadro, transferidor, régua, brocas.

Tarefas para a execução do serviço 2.

1. Fechar o suporte com tampa
2. Fixar a tampa no suporte com haste metálica

5.1.1.3 Serviço 3. Montagem do ensaio em autoclave estática

Nesta etapa os CP são colocados na base da tampa da autoclave. A autoclave utilizada no laboratório tem capacidade para um volume total de 2 litros, porém nos ensaios ela é preenchida com até 85% da sua capacidade em volume seguindo determinação normativa. As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: CP, autoclave, fios e torqueadeira.

Tarefas para a execução do serviço 3.

1. Montagem dos CP na base da tampa da autoclave
2. Conexão dos CP a fios
3. Fechamento da tampa da autoclave com aplicação de torque específico com torqueadeira

5.1.1.4 Serviço 4. Teste de estanqueidade em autoclaves

Essa etapa tem por objetivo testar a vedação da autoclave e garantir que não haja vazamentos. A estanqueidade tem duração de 1 hora, sendo aplicada pressão de 1,5 vezes a pressão que será utilizada no ensaio com uso de nitrogênio. As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: autoclave, *buster* e mangueira.

Tarefas para a execução do serviço 4.

1. Autoclave montada com os CP é conectada ao *buster* via engate rápido e mangueira de alta pressão
2. Pressão é aplicada utilizando gás inerte N_2

5.1.1.5 Serviço 5. Preparação e utilização da linha de tubulação contendo H_2S

Essa etapa é necessária para preparar a tubulação do laboratório para ensaios contendo H_2S , uma vez que esse produto químico não fica constantemente na linha de tubulação. O laboratório possui duas linhas de tubulação denominadas linha 1 e linha 2. Uma edícula anexa ao laboratório do lado de fora do prédio é o local onde ficam armazenados os cilindros contendo H_2S em diferentes concentrações.

As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: cilindro de H_2S , válvulas, linhas de tubulação, lavador de gases, bombona e tanque.

Tarefas para a execução do serviço 5.

1. Conexão do cilindro armazenado na edícula contendo H_2S e suas misturas à linha desejada
2. Abertura das válvulas na edícula
3. Transporte via linha do H_2S para autoclave e célula de transferência
4. Transporte via linha do H_2S para célula contendo $NaOH$
5. Transporte para linha purga em seguida para o lavador (redundância)

5.1.1.6 Serviço 6. Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave

Essa etapa consiste em realizar o ensaio eletroquímico e gravimétrico para avaliar o processo de corrosão nos CPs. A pressão utilizada no ensaio é de 80 bar e a temperatura de $80^{\circ}C$. Antes de iniciar o ensaio os processos de saturação e desaeração são realizados. Em seguida, eleva-se a temperatura de forma gradual dentro da autoclave. Após atingir a temperatura de ensaio, eleva-se também de forma gradual a pressão dentro da autoclave.

As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: autoclave, célula de transferência, equipamento titulador.

Tarefas para a execução do serviço 6.

1. Procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H_2S
2. Coleta de alíquota de solução salina com H_2S
3. Elevação gradual da temperatura dentro da autoclave
4. Elevação gradual da pressão dentro da autoclave

5.1.1.7 Serviço 7. Desmontagem do ensaio em autoclave

Nesta etapa o ensaio é desmontado por meio da retirada da tampa da autoclave e dos CP presos nela. Estes serão objeto de estudo e análise em relação à corrosão. As ferramentas e

equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: autoclave, bombona, torquadeira, mangueira, capela, máquina fotográfica.

Tarefas para a execução do serviço 7.

1. Diminuição gradual da temperatura até a faixa de 50-60°C
2. Coleta de alíquota de solução contendo H_2S .
3. Solução é retirada da autoclave utilizando a pressão do vaso através de mangueira direcionada para bombona de descarte até o volume acabar
4. Após temperatura chegar próxima à ambiente, a tampa é retirada usando a torquadeira
5. CP presos à tampa da autoclave são fotografados
6. Decapagem do CP com solução apropriada feita geralmente em capela

5.1.1.8 Serviço 8. Limpeza da autoclave

Essa etapa consiste em limpar a autoclave e deixá-la em condições de ser utilizada novamente. A correta limpeza é essencial para evitar contaminações e oferecer credibilidade aos ensaios. As ferramentas e equipamentos utilizados para executar esse serviço são os seguintes: sabão, detergente, água, esponja, palha de aço, bombona e tanque de descarte.

Tarefas para a execução do serviço 8.

1. Limpeza da autoclave utilizando sabão, detergente, água, esponja, palha de aço até completa eliminação do produto de corrosão.
2. Descarte em bombona da solução e água (utilizada na limpeza) contaminadas
3. Transporte do conteúdo da bombona para o tanque de descarte

5.1.1.9 Serviço 9. Preparação das soluções

Nessa etapa é realizado o preparo das soluções conforme demanda dos ensaios. Os alunos e pesquisadores do laboratório preenchem um livro de controle informando quais soluções querem que sejam preparadas. As ferramentas e equipamentos utilizados para executar essa atividade são os seguintes: soluções, balança, pipeta, balão, placa de agitação, capela.

Tarefas para a execução do serviço 9.

1. Cálculo da porcentagem da solução em volume
2. Pesagem do soluto sólido ou pipetagem do soluto líquido
3. Solubilização de grande quantidade de soluto sólido com auxílio de placa de agitação
4. Transferência do soluto para o balão contendo água ou álcool. Avolumar o balão e fazer uma mistura manual para ter certeza que estará homogêneo
5. Preparação de soluções especiais, como por exemplo Clarck (ácido concentrado) realizado em capela

5.1.2 Perfil dos trabalhadores do laboratório

O questionário I construído, apresentado no APÊNDICE A, permitiu a captação de informações a respeito do perfil acadêmico e profissional dos trabalhadores do laboratório. A amostra analisada representa uma taxa de retorno de 56,3%, considerando o total de nove respondentes para uma população de 16 pessoas que receberam o questionário.

5.1.2.1 Formação profissional e nível de escolaridade

No grupo composto pelos respondentes estão pessoas com nível de escolaridade médio e superior, conforme demonstra a tabela 1 referente à formação profissional relacionada à atuação no laboratório.

Tabela 1. Formação profissional dos trabalhadores do laboratório

FORMAÇÃO PROFISSIONAL	QUANTITATIVO
ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS	1
ENGENHEIRO QUÍMICO	2
QUÍMICO	1
TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA	1
TÉCNICO EM MECÂNICA	1
TÉCNICO EM QUÍMICA	2
TÉCNICO EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO	1

TOTAL**9**

Fonte: Autora

Desse grupo, o maior nível de escolaridade corresponde a 38% que possuem Doutorado, 6% Especialização e 56% Ensino Médio com curso técnico, conforme indicado no gráfico 3.

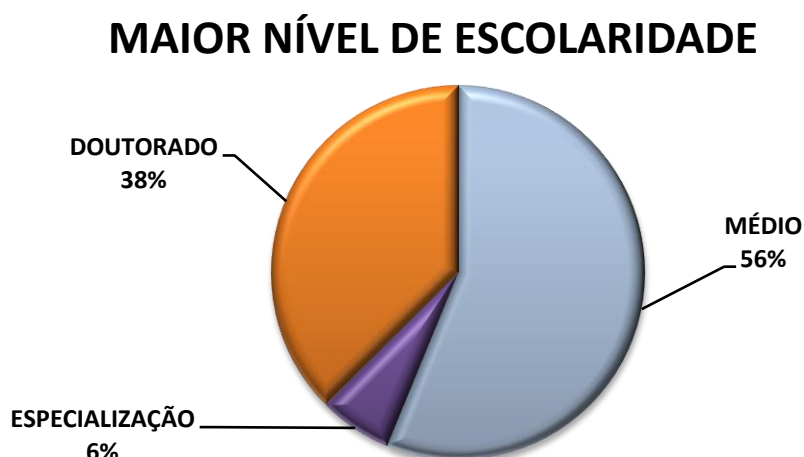


Gráfico 3. Gráfico ilustrando o maior nível de escolaridade
Fonte: Autora

5.1.2.2 Tempo de exercício na área

O tempo de exercício na área de atuação dos respondentes da pesquisa, mostrado na tabela 2, corresponde a:

Tabela 2. Tempo de exercício na área de atuação

de 3 a 5 anos	45%
de 6 a 8 anos	22%
de 9 a 11 anos	11%
de 15 a 17 anos	11%
de 18 a 20 anos	11%

Fonte: Autora

TEMPO DE EXERCÍCIO NA ÁREA DE ATUAÇÃO

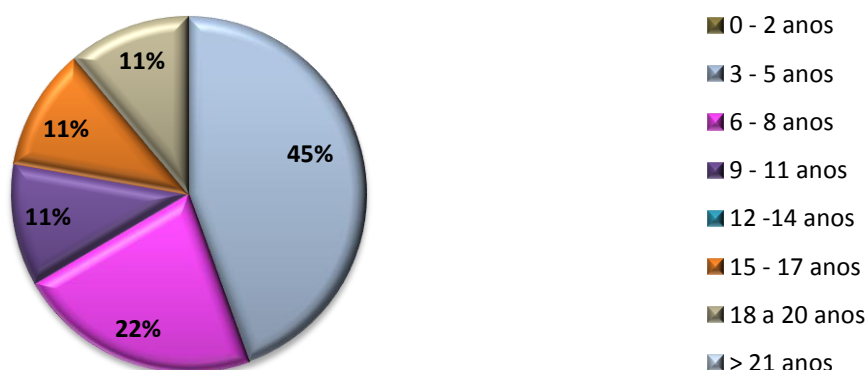


Gráfico 4. Gráfico ilustrando o tempo de exercício na área de atuação
Fonte: Autora

5.1.2.3 Tempo de exercício na função

O gráfico 5 ilustra o tempo de exercício na função atual dos trabalhadores do laboratório que responderam a pesquisa. 56% desses trabalhadores têm experiência de 3 a 5 anos na função, enquanto 22% têm de 9 a 11 anos de experiência na função que exercem atualmente.

TEMPO DE EXERCÍCIO NA FUNÇÃO ATUAL

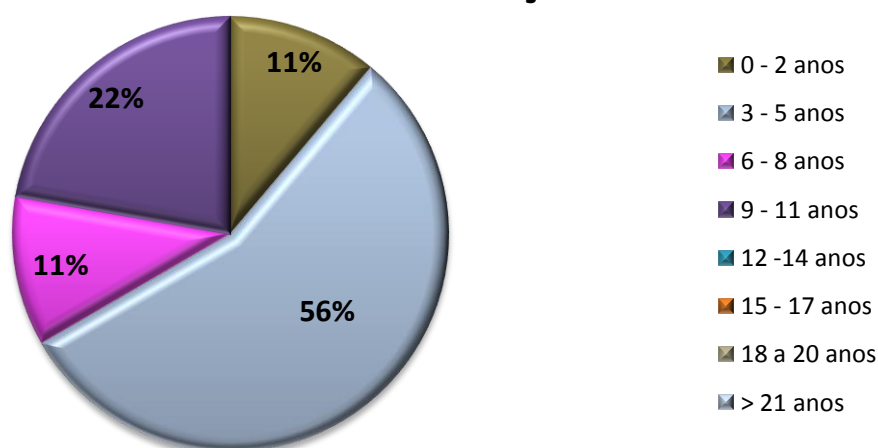


Gráfico 5. Gráfico ilustrando o tempo de exercício na função atual dos trabalhadores
Fonte: Autora

5.1.2.4 Tempo de formação

O tempo total de formação na área em que atuam também foi questionado. O gráfico 6 apresenta os dados obtidos. Observa-se que 34% dos trabalhadores que aderiram à pesquisa têm de 3 a 5 anos de formação, 33% deles têm de 12 a 14 anos de formação, 22% têm de 6 a 8 anos de formação e 11% deles têm de 9 a 11 anos de formação.

TEMPO TOTAL DE FORMAÇÃO NA ÁREA

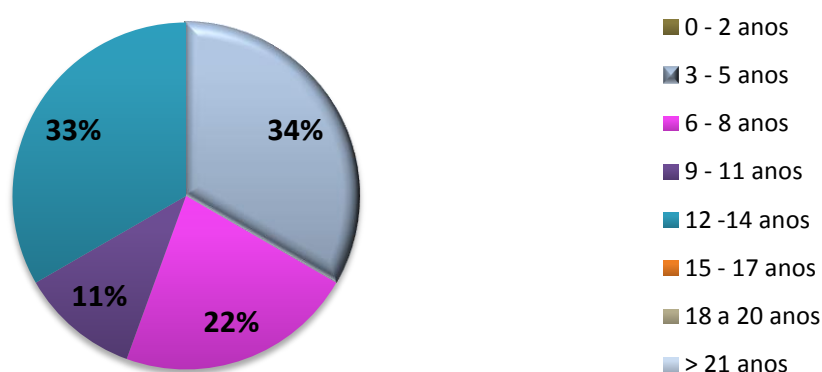


Gráfico 6. Gráfico ilustrando o tempo total de formação na área dos trabalhadores
Fonte: Autora

5.1.2.5 Distribuição por idade

A faixa etária desse grupo de trabalhadores também foi investigada, sendo 25% das pessoas estão na faixa etária entre 36 e 40 anos; 19% estão na faixa etária entre 18 e 25 anos e entre 31 e 35 anos; 13% das pessoas estão com mais de 60 anos, conforme ilustra o gráfico 7.

DISTRIBUIÇÃO POR IDADE

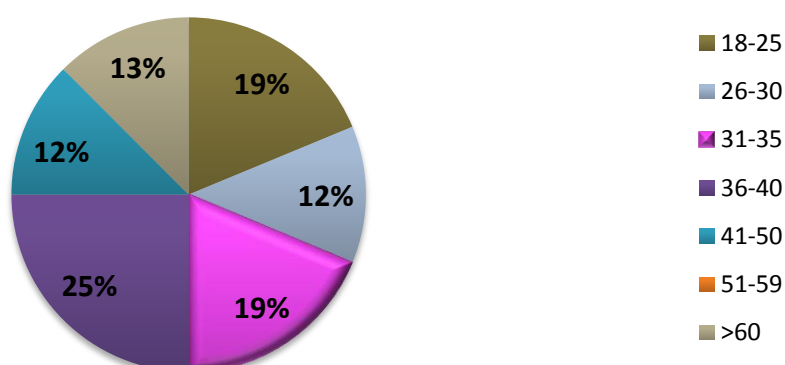


Gráfico 7. Gráfico ilustrando a idade dos trabalhadores. Fonte: Autora

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE UM SERVIÇO DE ALTO RISCO

O Quadro I da NR 4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), aprovada pela portaria 3.214, de 08 de junho de 1978 e atualizada pela portaria 2.018, de 23 de dezembro de 2014 define o grau de risco segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE. Para a atividade de pesquisa e desenvolvimento científico o grau de risco atribuído é 2, conforme item 72.10-0 desse quadro.

Para reconhecer o serviço crítico foi necessário o auxílio de especialistas, isto é, profissionais experientes e capacitados que trabalham no laboratório para discernir entre os nove serviços descritos anteriormente que expõem os trabalhadores do laboratório aos riscos típicos da atividade laboratorial quais são os mais significativos.

5.2.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário II

A segunda etapa da metodologia empregada neste trabalho foi alcançada através de uma pesquisa descritiva projetando apontar um serviço de alto risco desempenhado por trabalhadores do laboratório. A pesquisa foi direcionada a profissionais que atuam no laboratório.

Dois profissionais foram envolvidos antes da aplicação do questionário para o grupo do laboratório: um especialista em fatores humanos (doutorado) e outro em análise de riscos (doutorado), com objetivo de testar as perguntas propostas. Essa averiguação permitiu a autora ajustar as perguntas incluídas no questionário para a posterior aplicação ao grupo.

A amostra analisada representa uma taxa de retorno de 56,3%, considerando o total de nove respondentes para uma população de 16 pessoas que receberam o questionário.

Os respondentes marcaram um "X" na interseção entre as linhas da planilha que especificava os nove serviços executados no laboratório com a descrição de suas atividades com as colunas da planilha com a seguinte classificação: Baixo (B), Médio (M), Alto (A), N (não se aplica). O resultado almejado era capturar a percepção dos respondentes quanto aos serviços de alto risco do laboratório. A percepção dos respondentes quanto aos serviços de alto risco foi representada através do somatório de pontos após o preenchimento da planilha, mostrado na tabela 3. A numeração na planilha representa o número de vezes que as classificações A, M, B ou N foram assinaladas em cada serviço, representando assim a frequência de escolhas dos graus de relevância do risco para os nove serviços.

Tabela 3. Frequência de escolha dos graus de relevância dos riscos

SERVIÇO	ESCORE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	TOTAL
1	A				1						1
	M		1	1	2	1	1	1	1	1	9
	B		2	2		2	2	2	2	2	14
	N	1									1
2	A		1		1						2
	M							1			1
	B			1		1	1		1	1	5
	N	1									1
3	A				1					1	2
	M		3		2	1		1	2		9
	B			3		2	3	2	1	2	13
	N	1									1
4	A		2		2	2	1	2	2	2	13
	M			2							2
	B						1				1
	N	1									1
5	A		5	5	1	5	5	3	3	2	29
	M				4			2	2	2	10
	B									1	1
	N	1									1
6	A		3	2	4	2	4	1	4	1	21
	M		1	2		2		3		3	11
	B										0
	N	1									1
7	A		3		2		2	1	2		10
	M		2	5	4	2	3	3	2	3	24
	B		1	1		4	1	2	2	3	14
	N	1									1
8	A										0
	M		1		1	1					3
	B		1	2	1	1	2	2	2	2	13
	N	1									1
9	A		1	1		1		1	1	1	6
	M		4	2			1		2	1	10
	B			2		4	4	4	2	3	19
	N	1			1						2

Fonte: Autora

O gráfico 8 apresenta os índices dos serviços resultantes do segundo questionário. Constata-se que os serviços de número 5 e 6 são os que manifestam os índices mais elevados, considerando a classificação alto e médio.

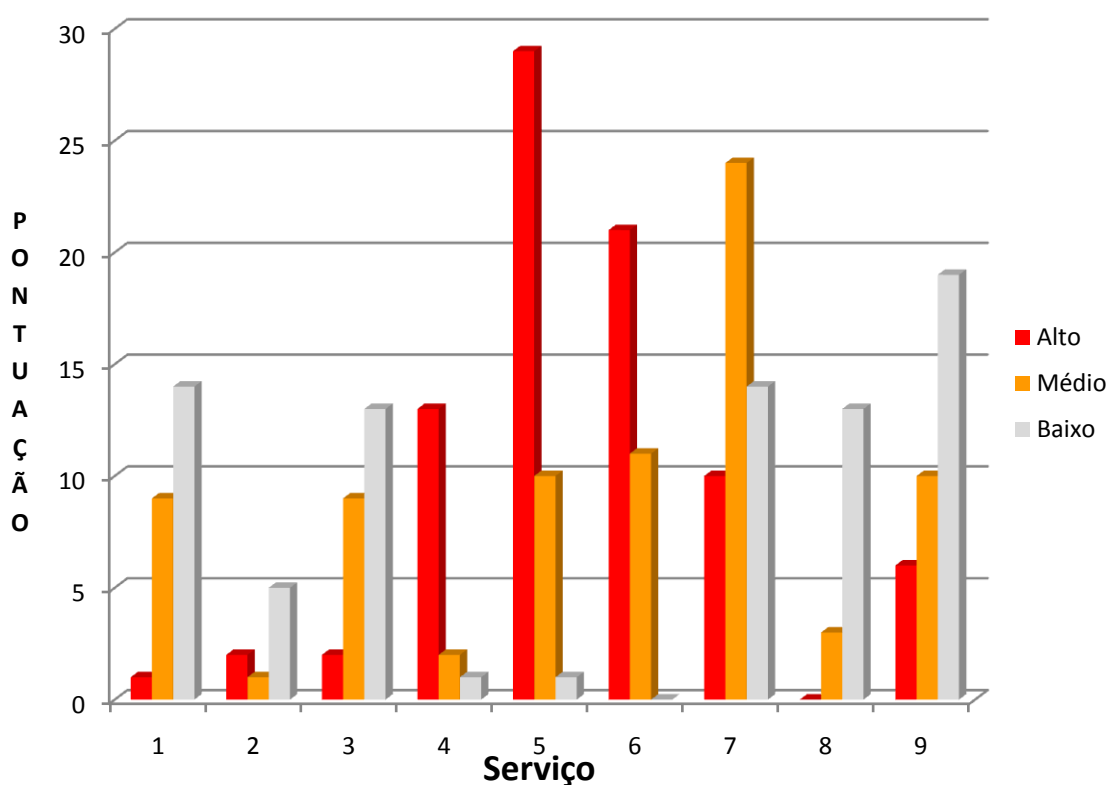


Gráfico 8. Gráfico analítico dos serviços do laboratório
Fonte: Autora

5.3 IDENTIFICAÇÃO DE UMA TAREFA DE ALTO RISCO

Seguindo a metodologia proposta, após a identificação dos serviços 5 e 6 como sendo os serviços de maior risco, segundo a percepção dos especialistas, foi identificada a tarefa crítica dentre esses serviços. A identificação da tarefa crítica foi feita através de coleta de dados via um terceiro questionário aplicado ao mesmo grupo anterior e apresentado no APÊNDICE A. Os mesmos procedimentos de validação dos questionários anteriores foram seguidos.

5.3.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário III

A amostra analisada representa uma taxa de retorno de 62,5%, considerando o total de 10 (dez) respondentes para uma população de 16 pessoas que receberam o questionário.

Os respondentes marcaram um "X" na interseção entre as linhas da planilha que especificava as tarefas dos serviços 5 e 6 executados no laboratório com as colunas da planilha com a seguinte classificação: Baixo (B), Médio (M), Alto (A), N (não se aplica). Visando

obter maior representatividade no resultado foram atribuídos pesos diferenciados aos especialistas do laboratório, para aqueles especialistas que executam diretamente o serviço foi atribuído peso 2, aos demais peso 1. Também foi atribuído índices aos cenários perigosos: baixo (1), médio (2) e alto (3). Como exemplo, um especialista do laboratório que execute diretamente o serviço 5 e assinale com um "X" na linha correspondente ao nível de percepção do risco "alto", esta receberá pontuação igual a 6, ou seja, a multiplicação do peso 2 do especialista direto pelo índice 3 da percepção do risco.

O resultado almejado era capturar a percepção dos respondentes quanto a tarefa crítica dos serviços de alto risco do laboratório, apresentado na tabela 4. A percepção dos respondentes quanto a tarefa crítica foi representada quantitativamente através da aplicação das seguintes fórmulas:

$$P = \sum Pe \times E_c$$

$$T_t = \sum P$$

$$T_{ft} = \sum T_t$$

$$t = \frac{T_t}{T_{ft}}$$

P - Somatório parcial da tarefa

P_e - Peso do especialista

E_c - Pontuação da criticalidade

T_t - Somatório total da tarefa

T_{ft} - Somatório final total

%t - percentual da criticalidade da tarefa

Tabela 4. Tarefa de alto risco segundo a percepção de especialistas

SERVI- ÇO	TARE- FA	ESCO- RE		ESPECIALISTA DIRETO [2]						ESPECIALIS- TA INDIRETO [1]				SOMATÓRIO	
				R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	PARCIAL	FI- NAL
5	1	A	3	2	2	1	1				2			24	37
		M	2					1		2		2	1	12	
		B	1						1					1	
		N												0	
	2	A	3		2		1				2	2	1	24	35
		M	2	2		1		1						8	
		B	1						1	2				3	
		N												0	
	3	A	3		2		1	1			2	2	1	27	39
		M	2	2		1			1	2				12	
		B	1											0	
		N												0	

	4	A	3		2		1	1			2	2	1	27	37
		M	2	2		1			1					8	
		B	1							2				2	
		N												0	
	5	A	3				1	1			2			12	31
		M	2	2	2				1			2	1	16	
		B	1			1				2				3	
		N												0	
TOTAL													179		
6	1	A	3	2			1	2	1	2	2	2	1	39	47
		M	2		2	2								8	
		B	1											0	
		N												0	
	2	A	3	2		2	1	2	1		2	2	1	39	45
		M	2							2				4	
		B	1		2									2	
		N												0	
	3	A	3			2		2		2	2	2		30	43
		M	2	2	2		1						1	12	
		B	1						1					1	
		N												0	
	4	A	3	2		2	1	2		2	2	2	1	42	47
		M	2		2									4	
		B	1						1					1	
		N												0	
TOTAL													182		

Fonte: Autora

O gráfico 9 expressa os índices das tarefas resultantes dos serviços 5 e 6. Observa-se que as tarefas de número 1 e 4 do serviço 6 apresentam os índices mais elevados, considerando a classificação alto e médio.

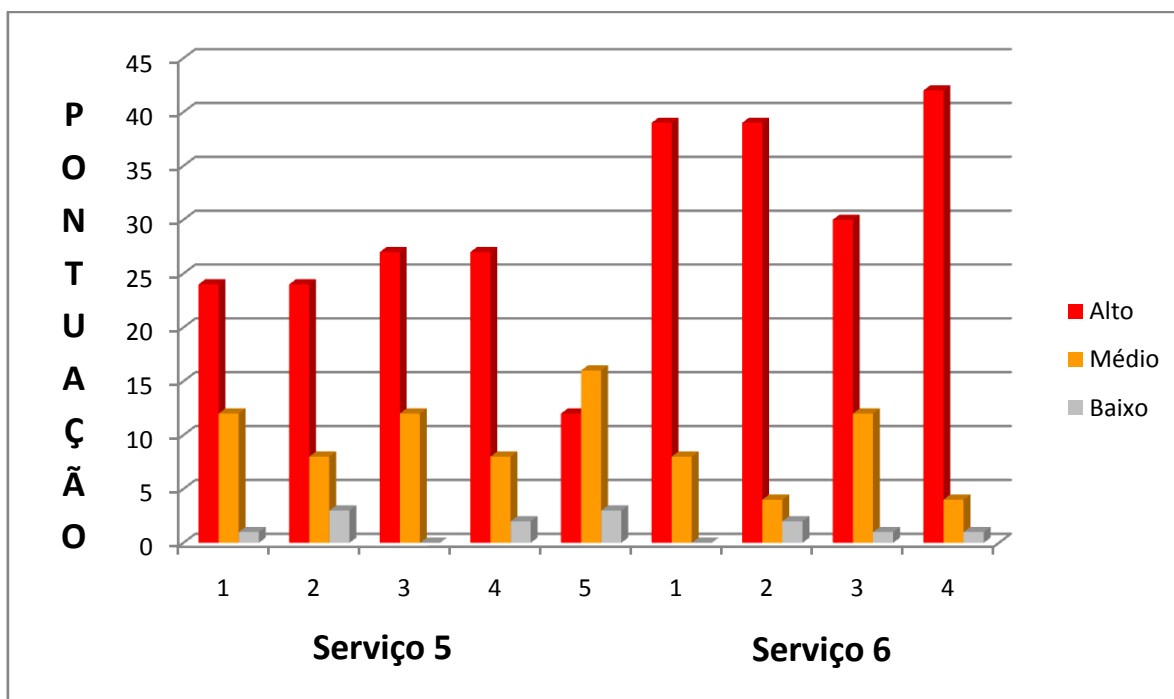


Gráfico 9. Gráfico analítico das tarefas dos serviços de mais alto risco do laboratório
Fonte: Autora

O gráfico 10 exibe o percentual de criticalidade apurado, a partir da aplicação das fórmulas, para as três tarefas dos serviços críticos com maior valor apresentado. Os resultados obtidos apresentam, aproximadamente, para a tarefa 1 do serviço 6 - 26%, tarefa 4 do serviço 6 - 26% e tarefa 2 do serviço 6 - 25%.

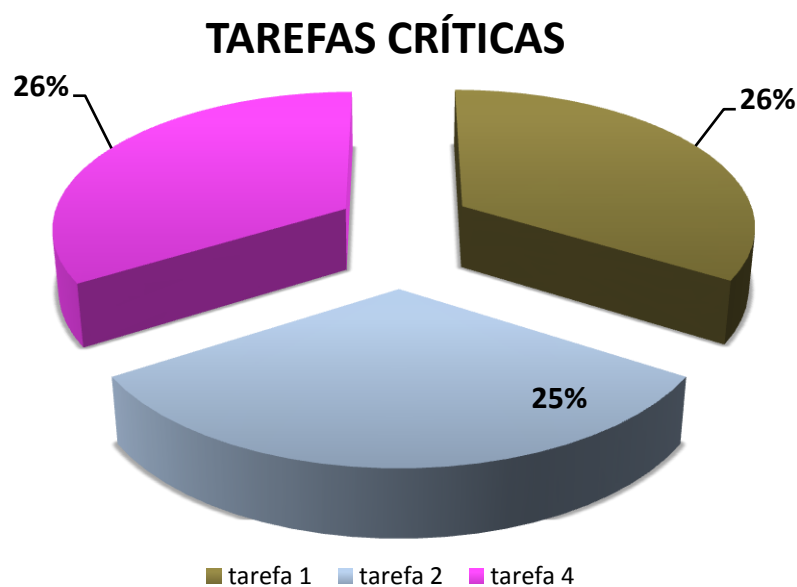


Gráfico 10. Gráfico das tarefas considerando o percentual de criticalidade
Fonte: Autora

Os resultados exibem valores aproximados para as tarefas do serviço 6, considerando o detalhamento exigido na formulação da APP e os limites desse trabalho, a autora considerou as tarefas de número 1 e 4 do serviço 6 como as mais suscetíveis a cenários perigosos no ambiente do laboratório.

5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS DA TAREFA CRÍTICA

Seguindo a metodologia proposta, a etapa de identificação dos riscos das tarefas críticas identificadas na etapa anterior englobou a utilização de uma ferramenta de análise de riscos. Diversas são as ferramentas disponíveis para avaliar os cenários de perigo existentes, contudo para esse estudo a ferramenta utilizada foi a Análise Preliminar de Perigos (APP), apresentada no APÊNDICE B. Foi selecionada por ser considerada uma técnica simples e de fácil aprendizado, possibilitando averiguar os possíveis eventos identificando causas, recursos de detecção disponíveis e efeitos sobre o ambiente e as pessoas.

Foram levantados 39 cenários de perigo para as tarefas 1 e 4 do serviço 6 identificadas na etapa anterior como as tarefas mais críticas. Os gráficos 11 e 12 apresentam os resultados obtidos na identificação de risco para as duas tarefas críticas, segundo a matriz de risco da APP apresentada no quadro 20.

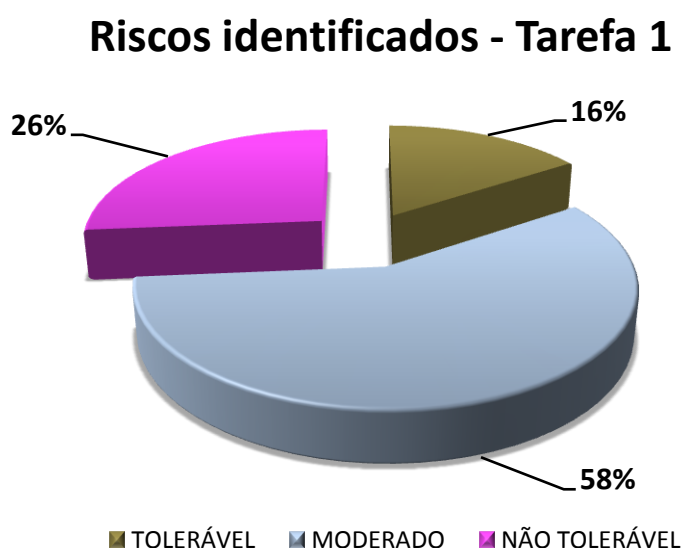


Gráfico 11. Estimativa de risco para a tarefa 1
Fonte: Autora

Riscos identificados - Tarefa 4

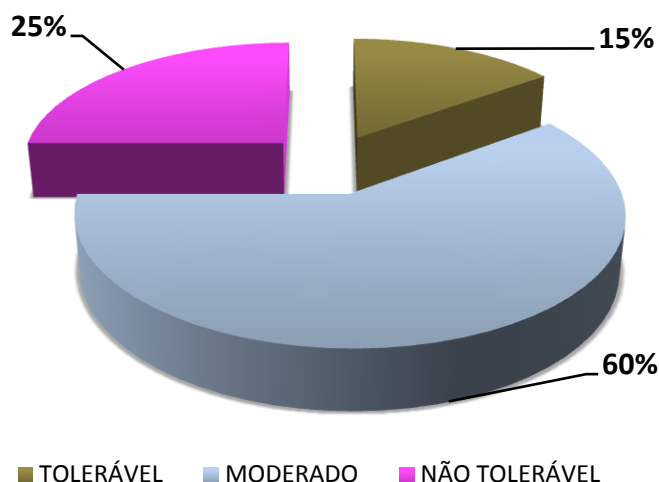


Gráfico 12. Estimativa de risco para a tarefa 4
Fonte: Autora

5.5 IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES SOCIOTÉCNICOS

Seguindo a metodologia proposta, após a identificação das tarefas 1 e 4 do serviço 6 como sendo as tarefas de maior risco, segundo a percepção dos especialistas, foi identificado os fatores sociotécnicos mais importantes na execução dessas tarefas. A identificação dos fatores sociotécnicos foi feita através de coleta de dados via um quarto questionário, apresentado no APÊNDICE A, aplicado ao mesmo grupo anterior, porém direcionado aos trabalhadores que executam diretamente essas duas tarefas.

5.5.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário IV

A amostra analisada representa uma taxa de retorno de 87,5%, considerando o total de sete respondentes para uma população de oito pessoas que receberam o questionário.

Os fatores sociotécnicos dos bancos de dados do Swain & Guttman (1983), CCPS (1994) e NUPEC (Furuta, 1995), descritos na seção 3.4, foram apresentados para dois especialistas do laboratório e para um profissional especialista em fatores humanos (doutorado) a fim de validar aqueles mais relevantes para as tarefas 1 e 4 do serviço 6. Após considerar o

procedimento de validação dos respondentes, a autora selecionou aqueles mais significativos para as tarefas críticas, totalizando 37 fatores sociotécnicos apresentados no quadro 26.

Quadro 26. Fatores sociotécnicos selecionados para questionário IV

FATORES SOCIOTÉCNICOS QUE PODEM AFETAR O DESEMPENHO	
1	Inadequação física do local de trabalho: espaço estreito
2	Temperaturas extremas
3	Umidade
4	Qualidade do ar
5	Ruído
6	Iluminação
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais
8	Manuseio dos controles dos equipamentos
9	Condições de visualização dos displays nos equipamentos
10	Sinalização dos displays nos equipamentos
11	Complexidade da tarefa
12	Necessidade de rapidez com exigência de precisão na execução da tarefa
13	Dificuldades na tomada de decisão
14	Restrição de tempo para execução da tarefa
15	Tarefas simultâneas
16	Repetitividade na execução da tarefa
17	Fadiga
18	Falta de motivação para desempenho da tarefa
19	Falta de objetividade no desempenho da tarefa
20	Problemas pessoais (avalie como é a influência no desempenho)
21	Treinamento e conhecimentos insuficientes
22	Não adequação das dimensões antropométricas dos trabalhadores em relação as tarefas
23	Treinamento na operação de novos equipamentos
24	Qualidade dos procedimentos / coerência nos métodos de trabalho
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção
27	Falha na instrução ou supervisão inadequada
28	Falha na conscientização da cultura de segurança
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional.
32	Tempo de experiência na função (avalie o seu conhecimento para um desempenho satisfatório)
33	Conhecimento na área de atuação (avalie seu conhecimento para um desempenho satisfatório)
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência
35	Nível de estresse em situações de emergência
36	Condição física (avalie como você se sente quando esforço mais intenso é requerido)
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)

Fonte: Autora

Os respondentes marcaram um "X" na interseção entre as linhas da planilha que especificava os fatores sociotécnicos com as colunas da planilha com a seguinte classificação: Baixo (B), Médio (M), Alto (A). O resultado pretendido era obter a percepção dos respondentes quanto aos fatores sociotécnicos mais importantes que possam afetar o desempenho na

execução das tarefas críticas. A percepção dos respondentes foi representada através do somatório de pontos após preenchimento da planilha, mostrado na tabela 5.

Tabela 5. fatores sociotécnicos segundo a percepção dos especialistas

SERVIÇO 6																
TAREFA 1									TAREFA 4							TO-TAL
FA-TOR	ESCO-RE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
1	A					1	1						1			3
	M	1			1			1	1			1		1	1	7
	B		1	1						1	1					4
2	A	1			1			1	1			1			1	6
	M			1		1					1		1	1		5
	B		1				1			1						3
3	A															0
	M	1			1	1			1			1	1			6
	B		1	1			1	1		1	1			1	1	8
4	A	1						1	1						1	4
	M				1	1						1	1			4
	B		1	1			1			1	1			1		6
5	A	1				1			1				1			4
	M				1							1			1	3
	B		1	1			1	1		1	1			1		7
6	A	1	1						1						1	4
	M				1			1				1				3
	B			1		1	1			1	1		1	1		7
7	A				1			1	1			1		1	1	6
	M	1	1			1	1						1			5
	B			1						1	1					3
8	A	1						1	1					1	1	5
	M		1		1		1					1				4
	B			1		1				1	1		1			5
9	A	1	1					1	1						1	5
	M				1	1						1	1	1		5
	B			1			1			1	1					4
10	A							1	1						1	3
	M	1	1		1	1						1	1	1		7
	B			1			1			1	1					4
11	A		1				1		1					1		4
	M				1						1	1				3
	B	1		1		1		1		1			1		1	7
12	A				1				1			1				3

	M	1													1	2
	B		1	1		1	1	1		1	1		1	1		9
13	A															0
	M	1	1		1			1	1	1		1				7
	B			1		1	1				1		1	1	1	7
14	A	1			1							1				3
	M							1	1							2
	B		1	1		1	1			1	1		1	1	1	9
15	A		1		1					1		1				4
	M	1		1			1	1	1						1	6
	B					1					1		1	1		4
16	A															0
	M		1	1	1	1						1	1			6
	B	1					1	1	1	1	1			1	1	8
17	A					1							1			2
	M	1	1		1			1	1			1			1	7
	B			1			1			1	1			1		5
18	A		1							1						2
	M	1			1	1			1			1	1			6
	B			1			1	1			1			1	1	6
19	A															0
	M	1			1				1			1				4
	B		1	1		1	1	1		1	1		1	1	1	10
20	A		1													1
	M			1	1							1				3
	B	1				1	1	1	1	1	1		1	1	1	10
21	A					1	1	1	1					1	1	6
	M	1			1							1				3
	B		1	1						1	1		1			5
22	A															0
	M				1		1	1	1			1		1	1	7
	B	1	1	1		1				1	1		1			7
23	A						1							1	1	3
	M				1			1	1	1		1				5
	B	1	1	1		1					1		1			6
24	A		1				1	1						1	1	5
	M	1			1				1	1		1				5
	B			1		1					1		1			4
25	A						1							1		2
	M	1		1	1	1		1	1		1	1	1		1	10
	B		1							1						2

26	A	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	12
	M															0
	B			1							1					2
27	A	1				1		1	1				1	1		6
	M				1							1			1	3
	B		1	1			1			1	1					5
28	A	1							1						1	3
	M		1		1	1	1	1				1	1	1		8
	B			1						1	1					3
29	A	1	1			1	1	1	1					1	1	9
	M				1							1				2
	B			1						1	1					3
30	A	1	1						1	1						4
	M				1	1	1	1				1	1		1	7
	B			1							1			1		3
31	A					1	1							1		3
	M	1	1		1			1	1	1		1		1	1	9
	B			1							1					2
32	A						1								1	3
	M	1	1		1	1		1	1			1	1			8
	B			1						1	1					3
33	A					1		1						1	1	5
	M	1	1		1		1		1			1				6
	B			1						1	1					3
34	A				1	1							1	1	1	5
	M	1	1				1	1	1						1	6
	B			1						1	1					3
35	A				1								1			2
	M	1	1			1	1	1	1				1	1	1	9
	B			1						1	1					3
36	A															0
	M	1			1	1			1			1	1			6
	B		1	1			1	1		1	1			1	1	8
37	A					1								1		2
	M	1		1	1		1	1	1		1	1		1	1	10
	B		1							1						2

Fonte: Autora

O gráfico 13 expressa os índices dos 37 fatores sociotécnicos resultantes das tarefas críticas. Observa-se uma predominância maior de classificações alto e médio para alguns fato-

res. Visando estratificar os dados obtidos, a tabela 6 apresenta a porcentagem do somatório dos índices obtidos para os fatores sociotécnicos, considerando a classificação alto e médio.

Tabela 6. Porcentagem de incidência alto e médio para os fatores sociotécnicos

FATOR	SOMATÓRIO ALTO e MÉDIO	FATOR	SOMATÓRIO ALTO e MÉDIO
1	71.43%	19	28.57%
2	78.57%	20	28.57%
3	42.86%	21	64.29%
4	57.14%	22	50.00%
5	50.00%	23	57.14%
6	50.00%	24	71.43%
7	78.57%	25	85.71%
8	64.29%	26	85.71%
9	71.43%	27	64.29%
10	71.43%	28	78.57%
11	50.00%	29	78.57%
12	35.71%	30	78.57%
13	50.00%	31	85.71%
14	35.71%	32	78.57%
15	71.43%	33	78.57%
16	42.86%	34	78.57%
17	64.29%	35	78.57%
18	57.14%	36	42.86%
		37	85.71%

Fonte: Autora

A tabela 7 exibe a porcentagem do somatório dos índices obtidos para os fatores sociotécnicos, considerando a classificação alto e médio, em ordem decrescente de valores. Essa configuração visa destacar os fatores sociotécnicos que possuem maior grau de importância.

Tabela 7. Classificação decrescente da porcentagem de incidência alto e médio para os fatores sociotécnicos

FATOR	SOMATÓRIO ALTO e MÉDIO	FATOR	SOMATÓRIO ALTO e MÉDIO
25	85.71%	8	64.29%
26	85.71%	17	64.29%
31	85.71%	21	64.29%
37	85.71%	27	64.29%
2	78.57%	4	57.14%
7	78.57%	18	57.14%
28	78.57%	23	57.14%
29	78.57%	5	50.00%
30	78.57%	6	50.00%
32	78.57%	11	50.00%
33	78.57%	13	50.00%

34	78.57%	22	50.00%
35	78.57%	3	42.86%
1	71.43%	16	42.86%
9	71.43%	36	42.86%
10	71.43%	12	35.71%
15	71.43%	14	35.71%
24	71.43%	19	28.57%
		20	28.57%

Fonte: Autora

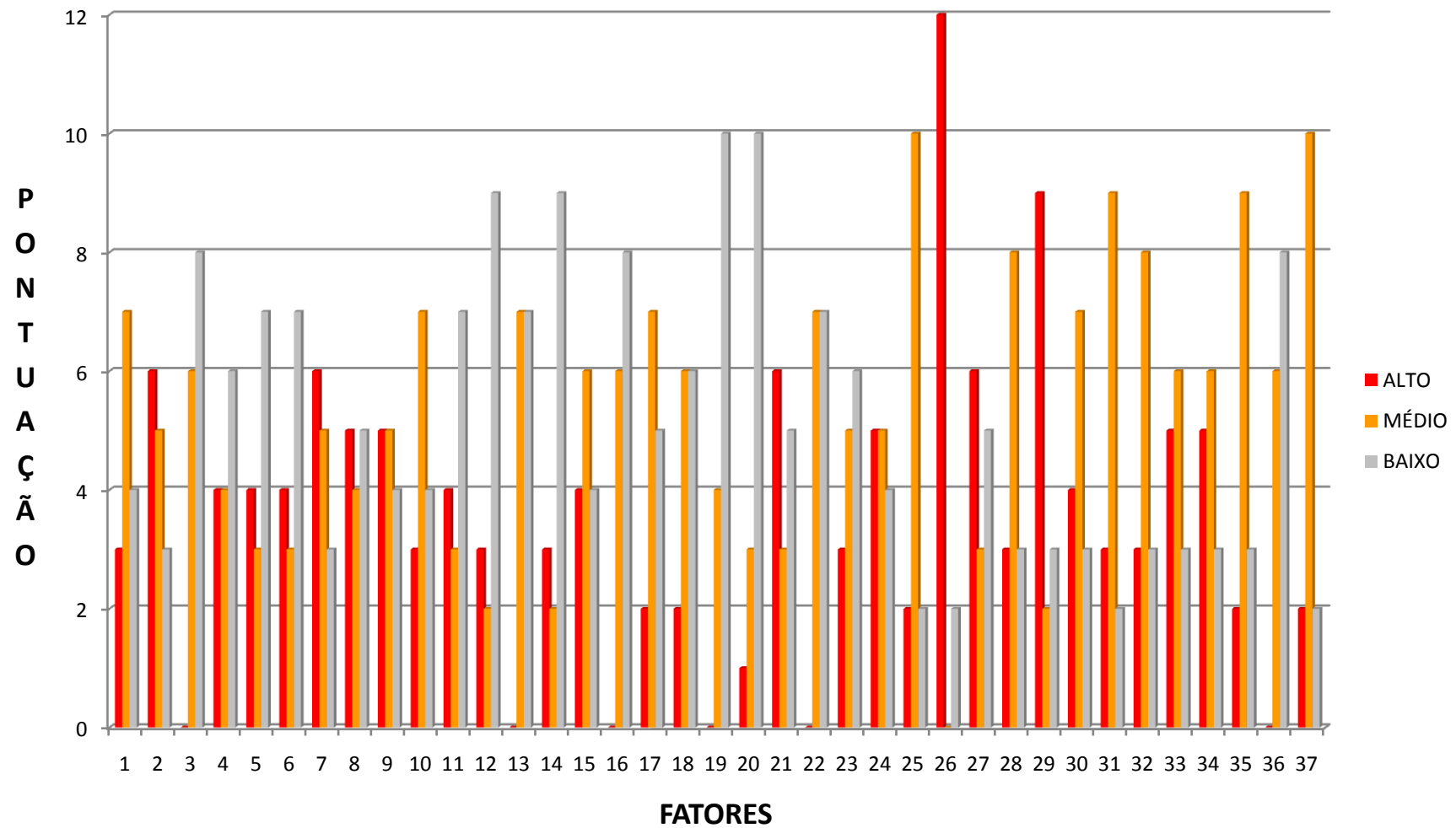


Gráfico 13. Gráfico analítico dos fatores sociotécnicos das tarefas críticas
Fonte: Autora

Pretendendo obter conclusões mais objetivas a respeito da relevância dos fatores sociotécnicos obtidos, foi utilizado o princípio de Pareto. Esse princípio foi aplicado para selecionar aqueles fatores sociotécnicos que podem influenciar de maneira mais significativa os trabalhadores nesse estudo.

De acordo com Kiremire (2011) esse princípio recebeu o nome do economista italiano Vilfredo Pareto por constatar em 1906 que 80% das terras na Itália eram de propriedade de 20% da população e que 20% das vagens de ervilha em seu jardim produziam 80% das ervilhas. Realizou pesquisas em outros países e descobriu que o princípio se aplicava na relação propriedade de terra versus população.

Segundo Górný (2015) o princípio de Pareto foi comprovado por Joseph Moses Juran no estudo da qualidade de produtos e defeitos de produção, no qual analisou distribuições desiguais de perda de qualidade. Esse princípio descreve a relação entre casualidades e resultados, o qual afirma que para muitos eventos, aproximadamente 80% dos efeitos são provenientes de 20% das causas.

O princípio de Pareto ou regra 80/20 é utilizado para determinar dentre os 37 fatores sociotécnicos obtidos aqueles mais relevantes para a pesquisa. Sendo assim, aplicando esse princípio verificamos que 20% de 37 fatores é igual a 7,4. Aproximando, oito fatores sociotécnicos são obtidos e 13 são considerados como os mais importantes para a pesquisa, uma vez que os valores percentuais são iguais, conforme ilustra a tabela 8.

Tabela 8. Fatores sociotécnicos selecionados segundo o princípio de Pareto.

FATOR	DESCRIÇÃO	SOMATÓRIO ALTO e MÉDIO
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	85.71%
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	85.71%
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional.	85.71%
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	85.71%
2	Temperaturas extremas	78.57%
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	78.57%
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	78.57%
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	78.57%
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	78.57%
32	Tempo de experiência na função (avalie o seu conhecimento para um desempenho satisfatório)	78.57%
33	Conhecimento na área de atuação (avalie seu conhecimento para um desempenho satisfatório)	78.57%
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	78.57%
35	Nível de estresse em situações de emergência	78.57%

Fonte: Autora

5.6 APLICAÇÃO DO MODELO SHELLO

A aplicação do modelo SHELLO foi realizada após a etapa de identificação daqueles fatores sociotécnicos que podem afetar de maneira mais significativa o desempenho das tarefas críticas, segundo a percepção dos especialistas.

O modelo SHELLO é empregado com objetivo de estudar a viabilidade de sua implementação como ferramenta de análise de fatores humanos em laboratórios de ensino e pesquisa. Esse modelo descreve o comportamento de um sistema interativo considerando, em especial, as questões de fatores humanos.

As letras que compõem o nome do modelo representam respectivamente: S - *software* (recursos não físicos do sistema), H - *hardware* (componente físico do sistema), E - *environment* (fatores que influenciam no ambiente/local), L - *liveware* central (ser humano), L - *liveware* não central (elementos humanos) e O - *organization* (fatores organizacionais).

Um profissional especialista em fatores humanos (doutorado) foi consultado para validar a distribuição dos 13 fatores sociotécnicos no modelo SHELLO. O quadro 27 ilustra esse arranjo.

Quadro 27. Arranjo dos fatores sociotécnicos no modelo SHELLO

FATOR	DESCRIÇÃO	MODELO SHELLO
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	L Central
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	H
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	S
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	E
2	Temperaturas extremas	E
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	H
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	L não central
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	O
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	O
32	Tempo de experiência na função	L não central
33	Conhecimento na área de atuação	L não central
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	O
35	Nível de estresse em situações de emergência	L não central

Fonte: Autora

Após realizada a distribuição dos 13 fatores sociotécnicos no modelo SHELLO, foi utilizado um modelo conceitual de fatores humanos para agrupar esses fatores visando facilitar a visualização através de um gráfico, mostrado no gráfico 14. O modelo proposto visa obter uma imagem ampla das interações dos fatores que possibilite identificar as partes mais vulneráveis do sistema.

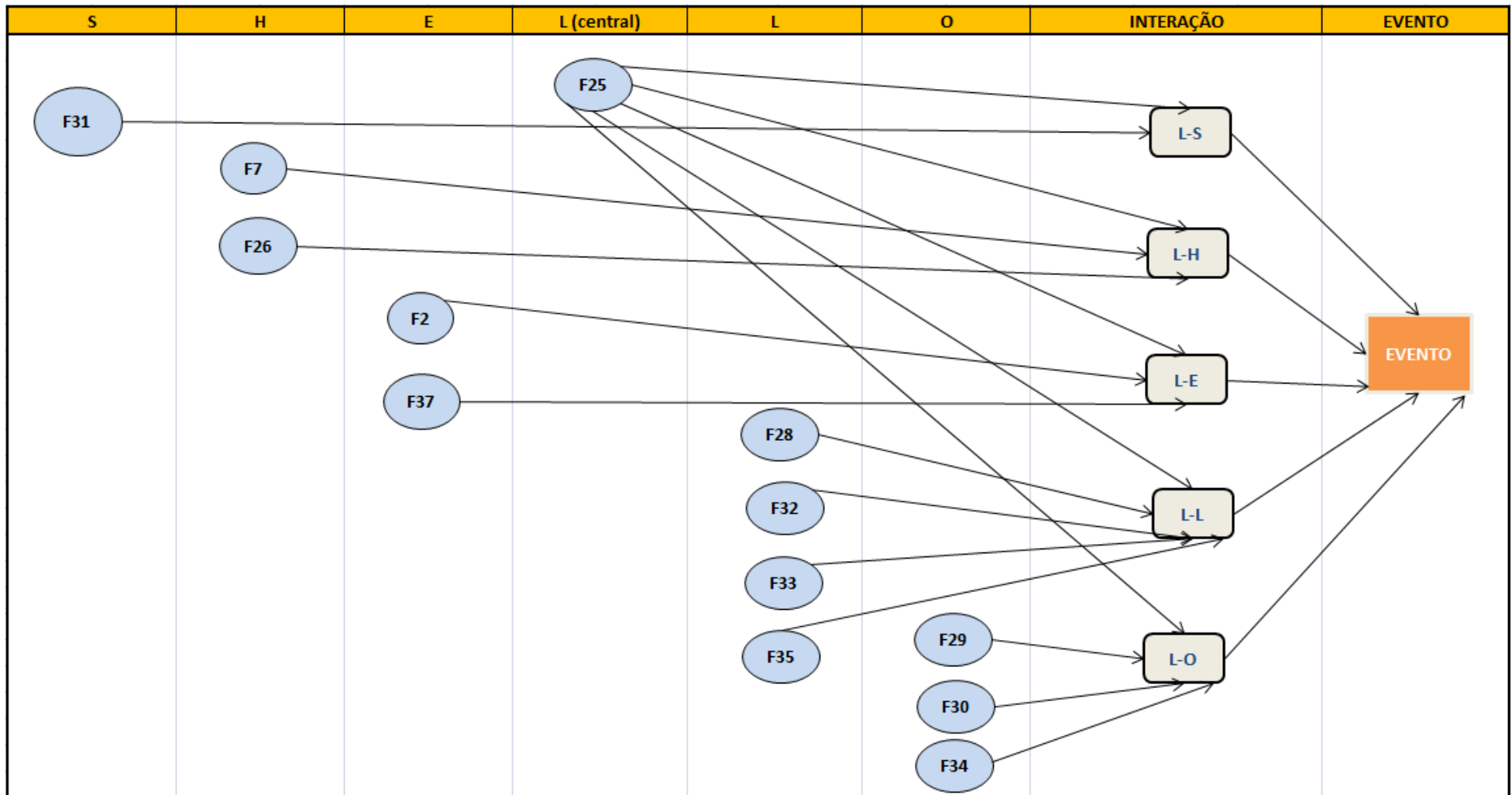


Gráfico 14. Modelo SHELO para agrupar os fatores sociotécnicos. Fonte: Adaptado de Chen et al (2013)

5.7 ANÁLISE DOS FATORES SOCIOTÉCNICOS PELO MÉTODO *FUZZY*

Seguindo a metodologia proposta, após a identificação dos 13 fatores sociotécnicos mais relevantes para as tarefas críticas, segundo a percepção dos especialistas, um cenário de acidente foi proposto visando avaliar o nível de importância de cada fator no cenário de acidente escolhido. O reconhecimento dos fatores sociotécnicos como mais relevantes em um cenário de acidente, dentre os 13 fatores identificados na etapa anterior, foi feito através de coleta de dados via um quinto questionário, apresentado no APÊNDICE A, aplicado ao mesmo grupo anterior, porém direcionado aos trabalhadores que executam diretamente as tarefas críticas.

5.7.1 Pesquisa por coleta de dados - questionário V

O cenário de acidente escolhido foi baseado na APP realizada para as tarefas críticas, mostrada no APÊNDICE B, e apresentado para dois especialistas do laboratório e para um profissional em fatores humanos (doutorado) a fim de validar o cenário.

O cenário do acidente escolhido foi descrito no questionário V e os respondentes marcaram um "X" na interseção entre as linhas da planilha que especificava os 13 fatores sociotécnicos com as colunas da planilha com a seguinte classificação: Baixo (0), Médio (1), Alto (2).

Para analisar a influência dos 13 fatores sociotécnicos obtidos no cenário de acidente escolhido é necessário que esses fatores sejam hierarquizados de acordo com seu grau de importância. A hierarquização dos 13 fatores é realizada com o auxílio do método *fuzzy* de decisão.

Diversos métodos *fuzzy* de decisão que utilizam a opinião de especialistas são encontrados na literatura. Esses métodos de decisão empregam a teoria dos conjuntos *fuzzy* para obter a melhor alternativa conforme os critérios estabelecidos com base nas informações fornecidas pelos especialistas.

Hsu e Chen (1996) elaboraram um método *fuzzy* de decisão, empregando o conceito de números *fuzzy*, a partir de um procedimento para a agregação das opiniões dos especialistas. Belchior (1997) obteve sucesso ao utilizar o método para avaliação da qualidade de *software* e Moré (2004) ao utilizar o método para avaliação da confiabilidade humana em ensaios não destrutivos por ultrassom. Filho (2016) utilizou o método *fuzzy* para analisar a influência dos

fatores sociotécnicos no trabalho de manutenção de um sistema de instrumentação nuclear. A metodologia proposta por Filho (2016) é empregada a fim de definir o grau de importância dos fatores sociotécnicos.

Os 13 fatores sociotécnicos obtidos para o cenário de acidente adotado foram escolhidos pelos sete especialistas usando as variáveis linguísticas escolhidas. Os termos linguísticos foram determinados de acordo com o grau de importância dos fatores segundo a percepção dos especialistas. Esses termos foram utilizados no questionário V, mostrado no APÊNDICE A e são os seguintes:

- Baixo (B): o fator escolhido tem pouca influência no cenário de acidente proposto
- Médio (M): o fator escolhido tem influência no cenário de acidente proposto
- Alto (A): o fator escolhido tem muita influência no cenário de acidente proposto

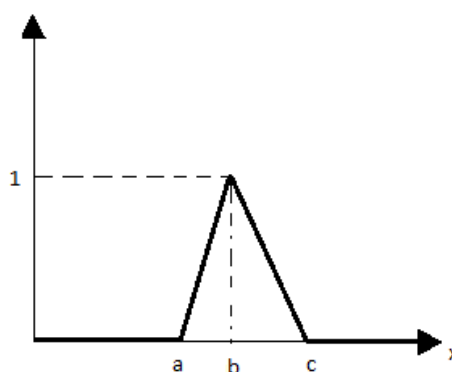
A partir das respostas obtidas no questionário V, uma planilha com as frequências de escolha dos graus de relevância de cada um dos 13 fatores sociotécnicos pelos sete especialistas foi projetada, conforme tabela 9.

Tabela 9. Frequência de escolha dos graus de relevância dos fatores

FATOR	DESCRIÇÃO	GRAU DE RELEVÂNCIA		
		A	M	B
2	Temperaturas extremas	3	3	1
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	5	1	1
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	5	2	0
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	6	0	1
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	4	3	0
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	4	3	0
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	3	3	1
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	4	2	1
32	Tempo de experiência na função	3	2	2
33	Conhecimento na área de atuação	3	2	2
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	4	2	1
35	Nível de estresse em situações de emergência	3	4	0
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	4	2	1

Fonte: Autora

Os termos linguísticos são expostos por números *fuzzy* triangulares, que representam o grau de relevância dos 13 fatores sociotécnicos identificados. Números *fuzzy* triangulares são eficazes no tratamento de informações com alto grau de incerteza e indefinição, como no caso das variáveis linguísticas que retratam as opiniões de especialistas.

Figura 5. Gráfico de um número *fuzzy* triangular

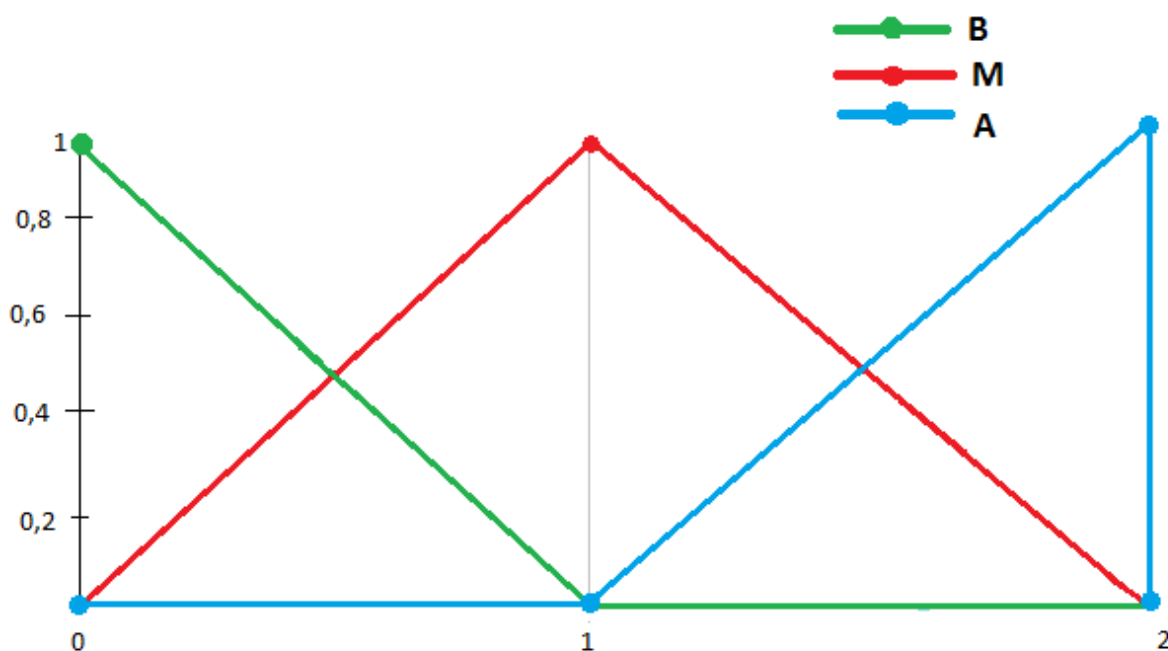
Fonte: Autora

Os números *fuzzy* triangulares escolhidos para reproduzir os termos linguísticos são apresentados na tabela 10, já o gráfico 15 mostra as funções de pertinência destes números.

Tabela 10. Números *fuzzy* usados para representar os termos linguísticos

GRAU DE RELEVÂNCIA	SIMBOLOGIA	TERMO LINGUÍSTICO	NÚMERO FUZZY TRIANGULAR
0,0	B	Baixo	$N_1 = (0,0,1)$
1,0	M	Médio	$N_2 = (0,1,2)$
2,0	A	Alto	$N_3 = (1,2,2)$

Fonte: Adaptado de(Moré, 2004)

**Gráfico 15.** Gráfico apresentando as funções de pertinência. Fonte: Adaptado de (Moré, 2004)

Os graus de importância dos 13 fatores sociotécnicos são avaliados seguindo a metodologia proposta por Filho (2016). Essa metodologia é composta por sete etapas apresentadas no quadro 28 e envolve o tratamento dos dados obtidos com as respostas dos especialistas ao questionário V.

Quadro 28. Etapas para determinar o número *fuzzy* dos 13 fatores sociotécnicos

ETAPA	DESCRIÇÃO
1	Localizar as áreas de união e de interseção das opiniões <i>fuzzy</i>
2	Calcular o grau de concordância entre as opiniões
3	Construir a matriz de concordância
4	Calcular a concordância relativa
5	Calcular o grau de concordância relativa
6	Calcular o coeficiente de consenso dos especialistas
7	Determinar o valor <i>fuzzy</i> de cada um dos 13 fatores sociotécnicos encontrados

Fonte: Adaptado de(Moré, 2004)

As áreas de interseção e de união das opiniões *fuzzy* foram encontradas a partir do gráfico 15 e são apresentadas nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Valores das áreas de interseção das opiniões *fuzzy*

OPINIÃO	B	M	A
B	0,5	0,25	0
M	0,25	1,0	0,25
A	0	0,25	0,5

Fonte: adaptado de (Moré, 2004)

Tabela 12. Valores das áreas de união das opiniões *fuzzy*

OPINIÃO	B	M	A
B	0,5	1,25	1,0
M	1,25	1,0	1,25
A	1,0	1,25	0,5

Fonte: adaptado de (Moré, 2004)

A união dos julgamentos dos especialistas E_i e E_j através da razão entre a área de interseção (A_I) e a área de união (A_U) de suas funções de pertinência fornece o cálculo do grau de concordância entre as opiniões (GC) conforme a expressão:

$$GC_{ij} = \frac{A_I}{A_U} \quad (1)$$

A combinação de todos os graus de concordância entre cada par de especialistas E_i e E_j fornece a matriz de concordância (MC). Neste caso $i = j$, logo $GC_{ij} = 1$. Como foram selecionados sete especialistas, a matriz de concordância será a uma matriz simétrica ($GC_{ij} = GC_{ji}$) de 7 colunas e 7 linhas, com todos os elementos sua diagonal igual a 1. A aparência geral da matriz de concordância é mostrada na figura 6.

Figura 6. Aparência geral da matriz de concordância

$$MC = \begin{bmatrix} 1 & GC_{12} & \cdots & GC_{1j} & \cdots & GC_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \\ GC_{i1} & GC_{i2} & \cdots & GC_{ij} & \cdots & GC_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \\ GC_{n1} & GC_{n2} & \cdots & GC_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Retirado de (Filho, 2016)

Ao extrair os dados da matriz de concordância é feito o cálculo da concordância relativa de cada um dos sete especialistas (CR_i) através da média quadrática dos graus de concordância entre eles. A expressão que determina a concordância relativa, considerando n o número de especialistas, é apresentada a seguir:

$$CR_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (GC_{ij})^2} \quad (2)$$

Para encontrar o grau de concordância relativa de cada um dos sete especialistas (CR_i) em relação aos demais, é realizado o cálculo da média ponderada da concordância relativa de cada especialista (CR_i), conforme expressão a seguir:

$$GCR_i = \frac{CR_i}{\sum_{k=1}^n CR_k} \quad (3)$$

O grau de importância de cada especialista é o mesmo, conforme descrito na seção 6.7.1, sendo assim o coeficiente de consenso de cada especialista (CCE_i) é alcançado empregando os valores do grau de concordância relativa (GCR_i) e o grau de importância do especialista, conforme expressão:

$$CCE_i = GCR_i \quad (4)$$

O valor de consenso dos sete especialistas é utilizado para determinar o valor *fuzzy* de cada um dos 13 fatores sociotécnicos encontrados (N) através da seguinte expressão:

$$N = \sum_{i=1}^n (CCE_i \cdot n_i) \quad (5)$$

Na expressão n_i é o número *fuzzy* triangular relativo aos termos linguísticos (B,M,A) usados pelos especialistas na avaliação dos 13 fatores sociotécnicos encontrados. O valor N também será um número *fuzzy* triangular. Os números *fuzzy* encontrados para os 13 fatores sociotécnicos são apresentados na tabela 13.

Tabela 13. Número *fuzzy* encontrados para os 13 fatores sociotécnicos

FATOR	DESCRIÇÃO	NÚMERO FUZZY TRIANGULAR (N)		
		a	b	c
2	Temperaturas extremas	0,41	1,25	1,85
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	0,16	0,81	1,65
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	0,16	0,47	1,32
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	0,50	1,50	2,00
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	0,28	1,00	1,72
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	1,00	2,00	2,28
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	0,09	0,81	1,72
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	0,17	0,59	1,42
32	Tempo de experiência na função	0,13	0,69	1,55
33	Conhecimento na área de atuação	0,00	0,71	1,71
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	0,00	0,46	1,46
35	Nível de estresse em situações de emergência	0,13	0,98	1,85
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	0,00	0,25	1,25

Fonte: Autora

O cálculo do grau de relevância de cada um dos 13 fatores sociotécnicos possibilita a realização da hierarquização destes fatores. Para calcular o grau de relevância de cada fator (GRF_i) é feita a normalização dos valores de cada fator conforme a expressão:

$$GRF_i = \frac{b_i}{\text{maior } (b)} \quad (6)$$

Nesta equação o *maior(b)* corresponde ao maior valor encontrado de *b* do número fuzzy triangular, obtido para cada fator sociotécnico. Essa escolha de b_i deve-se ao fato deste valor corresponder a um grau de pertinência igual a 1, conforme figura 6. Logo, GRF será o valor *crisp* de cada um dos fatores.

Na verificação dos resultados encontrados na tabela 16 observa-se que o maior valor de *b* acontece para o fator 29 "planejamento inadequado na execução das tarefas". Sendo assim, o *maior(b)* é igual a 2,00, originando um grau de relevância igual a 1 para este fator. A tabela 14 apresenta os valores de *b* e valores de GRF para os 13 fatores sociotécnicos. Enquanto a tabela 15 mostra a hierarquização destes fatores, em ordem decrescente de valores, segundo o grau de relevância do fator.

Tabela 14. Valores encontrados para *b* e grau de relevância para os fatores sociotécnicos

FATOR	DESCRIÇÃO	IMPORTÂNCIA (b)	GRF
2	Temperaturas extremas	1,25	0,627
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	0,81	0,404
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	0,47	0,237
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	1,50	0,750
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	1,00	0,500
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	2,00	1,000
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	0,81	0,406
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	0,59	0,294
32	Tempo de experiência na função	0,69	0,344
33	Conhecimento na área de atuação	0,71	0,357
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	0,46	0,229
35	Nível de estresse em situações de emergência	0,98	0,491
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	0,25	0,126

Fonte: Autora

Tabela 15. Hierarquização dos fatores sociotécnicos

FATOR	DESCRIÇÃO	GRF
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	1,000
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	0,750
2	Temperaturas extremas	0,627
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	0,500
35	Nível de estresse em situações de emergência	0,491
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	0,406
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	0,404
33	Conhecimento na área de atuação	0,357
32	Tempo de experiência na função	0,344
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	0,294
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	0,237

34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	0,229
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	0,126

Fonte: Autora

A hierarquização dos 13 fatores sociotécnicos encontrados revela, segundo a opinião dos especialistas, a ordem de influência de cada um destes fatores no cenário de acidente escolhido. Todos os fatores sociotécnicos desempenham, em maior ou menor grau de importância, influência no cenário de acidente apresentado. Sendo assim, é preciso quantificar a influência exercida por cada um dos 13 fatores nesse cenário de acidente através dos percentuais de influência desses fatores e do grau de relevância de cada um. O quadro 27 apresentou o arranjo dos fatores sociotécnicos segundo o modelo SHELLO. A interação de cada fator com o L central desse modelo é apresentada na tabela 16, bem como o percentual de influência de cada fator, em ordem decrescente.

Tabela 16. Percentual de influência dos fatores sociotécnicos e interação no modelo SHELLO

FATOR	DESCRIÇÃO	GRF	INFLUÊNCIA DO FATOR (%)	INTERAÇÃO MODELO SHELLO
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas	1,000	17,35%	L - O
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção	0,750	13,01%	L - H
2	Temperaturas extremas	0,627	10,88%	L - E
28	Falha na conscientização da cultura de segurança	0,500	8,67%	L - L Não central
35	Nível de estresse em situações de emergência	0,491	8,52%	L - L Não central
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços	0,406	7,04%	L - O
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais	0,404	7,01%	L - H
33	Conhecimento na área de atuação	0,357	6,19%	L - L Não central
32	Tempo de experiência na função	0,344	5,97%	L - L Não central
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional	0,294	5,10%	L - S
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe	0,237	4,11%	L central
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência	0,229	3,97%	L - O
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)	0,126	2,19%	L - E
SOMATÓRIO TOTAL		5,77	100,00 %	

Fonte: Autora

De acordo com a tabela 16, o fator sociotécnico com maior influência no cenário de acidente adotado e obtido através do método *fuzzy* de decisão foi o fator 29 "*Planejamento inadequado na execução das tarefas*".

6 CONCLUSÕES

A escassez de dados na literatura a respeito de acidentes ocorridos em laboratórios de ensino e pesquisa no Brasil torna relevante o estudo a respeito dos fatores que podem ocasionar eventos indesejados. Esses locais são potencialmente propensos a acidentes em virtude do catálogo de produtos perigosos manipulados, pela cultura de segurança pouco enraizada no comportamento dos trabalhadores e alunos, ou ainda pelo contexto organizacional e institucional.

Pensando nesse cenário, esse trabalho foi desenvolvido baseado na análise de fatores humanos com o objetivo de colaborar para a segurança no trabalho.

A metodologia proposta envolveu a modelagem do processo de trabalho de um laboratório de pesquisa de uma instituição pública brasileira através da coleta de dados por observação e questionário aplicado a especialistas. Nessa etapa o perfil dos especialistas foi levantado e nove serviços foram identificados, sendo que dois desses serviços foram reconhecidos como os mais críticos.

Na análise de fatores humanos é relevante estudar o perfil das pessoas que executam o trabalho, identificando os grupos etários e profissionais para melhor adequá-los após identificação das partes mais frágeis do sistema. Os resultados mostraram que 56% dos especialistas tem entre 3 e 5 anos de experiência na função atual, enquanto 22% tem entre 9 e 11 anos. Os profissionais com mais tempo de experiência, embora em menor número percentual, podem auxiliar aqueles com menos tempo de experiência, quando identificada uma fragilidade no sistema.

Identificados como os mais críticos, o serviço 5 (preparação e utilização da linha de tubulação contendo H_2S) envolve a utilização de sulfeto de hidrogênio (H_2S), um gás altamente tóxico e inflamável com potencial para causar danos ambientais e na saúde dos trabalhadores e o serviço 6 (ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave) por implicar a utilização de pressão de 80 bar e temperatura de 80°C expõe os trabalhadores a riscos físicos.

A partir do conhecimento dos serviços críticos, foi aplicado um novo questionário para os especialistas apontarem, segundo sua percepção, as tarefas críticas dos serviços críticos. Os dados obtidos indicaram as tarefas 1 (procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H_2S) e 4 (elevação gradual da pressão dentro da autoclave) do serviço 6 como as mais críticas. A presença de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e a utilização de vaso de

pressão (autoclave) juntamente com o aumento gradual da pressão dentro do vaso justificam o resultado obtido.

A ferramenta de análise de riscos APP foi aplicada para identificar os riscos das tarefas críticas. Uma vez identificadas as tarefas críticas, os especialistas auxiliaram na identificação dos fatores sociotécnicos que poderiam afetar o desempenho na execução das tarefas críticas. Um novo questionário foi aplicado aos especialistas com base nos 37 fatores sociotécnicos selecionados previamente. Dentre esses fatores, 13 foram os que apresentaram maior relevância e potencial para afetar o desempenho dos trabalhadores de forma mais significativa.

A metodologia proposta nesse trabalho contemplou a utilização do modelo SHELLLO, que descreve o comportamento de um sistema interativo empregando a análise de fatores humanos. Esse modelo se mostrou satisfatório na identificação dos fatores sociotécnicos mais vulneráveis do sistema, em virtude da facilidade de visualização que o gráfico gerado ofereceu através da formação de uma possível rede bayesiana. Foi possível reconhecer as interações entre fatores sociotécnicos que podem levar a eventos indesejáveis.

Foi estabelecido um cenário de acidente baseado na APP realizada para as tarefas críticas. Esse cenário foi descrito e apresentado aos especialistas através de um novo questionário que teve por objetivo avaliar o nível de importância dos 13 fatores sociotécnicos no cenário de acidente escolhido. O método *fuzzy* foi utilizado para capturar as informações descritas em linguagem natural, para formato numérico.

Os 13 fatores sociotécnicos identificados no cenário de acidente escolhido foram hierarquizados por meio do método *fuzzy* de decisão. Os cinco fatores sociotécnicos com maior grau de importância reconhecidos, após a aplicação do método *fuzzy*, foram, respectivamente: 29 - Planejamento inadequado na execução das tarefas; 26 - Equipamentos de segurança e vestuário de proteção; 2 - Temperaturas extremas; 28 - Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais e 35 - Nível de estresse em situações de emergência.

Os resultados encontrados pelo método *fuzzy* para determinar os fatores mais importantes no cenário de acidente escolhido evidenciou o fator 29 - Planejamento inadequado na execução das tarefas como o de maior potencial de risco dentro deste cenário. Podemos considerar os resultados satisfatórios da metodologia proposta na identificação dos fatores sociotécnicos mais relevantes que podem afetar o desempenho do trabalhador.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esse estudo obteve como resultado 13 fatores sociotécnicos mais importantes para as tarefas críticas encontradas referentes ao serviço crítico analisado. Considerando que esses fatores possuem maior potencial para afetar o desempenho humano, devem ser considerados junto com o planejamento adequado dos processos de trabalho, conciliáveis com as necessidades, habilidades e restrições humanas para criar condições que minimizem os erros humanos.

A metodologia utilizada nesse estudo voltada às situações de trabalho proporciona as ferramentas necessárias para reconhecer e eliminar situações de erro provável, possibilitando que os fatores sociotécnicos que afetam o desempenho humano sejam avaliados, considerados e estabelecidos em planos de ações voltados para segurança no trabalho com objetivo de reduzir a frequência de ocorrência de erros humanos.

Considerando os 13 fatores sociotécnicos relacionados na tabela 16 apresentamos uma lista de planos de ações para reduzir os possíveis erros humanos e contribuir para a segurança no trabalho.

Fator 29: Planejamento inadequado na execução das tarefas

- Estabelecer instruções e procedimentos escritos apresentando como as tarefas devem ser executadas
- Treinamento e capacitação periódicos para execução das tarefas
- Acompanhamento por pessoas mais experientes na função em intervalos programados visando certificar a eficácia do treinamento e possível identificação de falhas
- Escolha de um líder para cada tarefa para ser o responsável por atender demandas de dúvidas e questionamentos em relação à execução da tarefa
- Abertura de um diálogo periódico visando identificar possíveis problemas na execução das tarefas
- Planejamento do tempo de execução das tarefas em função da segurança
- Planejamento de recursos adequados para a execução das tarefas

Fator 26: Equipamentos de segurança e vestuário de proteção

- Fornecer EPI como luvas, óculos, botas e respirador purificador de ar
- Exigir uso dos EPI

- Oferecer treinamento para uso adequado, guarda e conservação dos EPI
- Programar manutenção e troca dos EPI
- Substituir imediatamente quando o EPI for danificado

Fator 2: Temperaturas extremas

Calor

- Realização de avaliação quantitativa do calor
- Estudo de viabilidade para instalação de equipamentos quentes no exterior
- Utilização de barreiras externas para eliminar a radiação solar direta
- Isolar paredes, coberturas e equipamentos para diminuir efeitos da radiação solar
- Seleção adequada dos trabalhadores do ponto de vista médico para trabalhar sob altas temperaturas
- Implementação de programa para controle de saúde ocupacional
- Interrupções programadas das atividades

Frio

- Planejamento e controle do tempo de exposição ao ambiente frio
- EPI para isolamento térmico
- Seleção adequada dos trabalhadores do ponto de vista médico para trabalhar sob baixas temperaturas
- Implementação de programa para controle de saúde ocupacional
- Interrupções programadas das atividades

Fator 28: Falha na conscientização da cultura de segurança

- Compromisso da alta gestão com a segurança
- Treinamentos voltados para a segurança no ambiente de trabalho
- Realização de uma análise de riscos e divulgação dos resultados
- Implementação de um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA)
- Implementação de procedimentos para verificação do cumprimento de normas de segurança
- Procedimentos para identificação, notificação e resoluções de problemas relacionados à segurança
- Disponibilizar recursos e estrutura para a manutenção efetiva da segurança

- Implementação do diálogo diário de segurança (DDS)
- Realizar um levantamento dos acidentes e quase acidentes ocorridos

Fator 35: Nível de estresse em situações de emergência

- Elaboração de um plano de emergências
- Treinamentos periódicos para resposta em situações de emergência
- Capacitação continuada para execução das tarefas
- Elaboração de um plano de emergência de abandono de edificações
- Treinamento de emergência de abandono de edificações
- Simulados programados e não comunicados para situações de emergência (exemplo: treinamento de abandono em caso de incêndio)
- Implementação de programa para controle de saúde ocupacional
- Implementação de um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA)

Fator 30: Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços

- Compromisso da alta gestão com o desenvolvimento dos trabalhadores
- Elaboração de um plano de carreiras
- Implementação de prática de *feedback* da alta gestão com os trabalhadores
- Abertura de canais de comunicação dos trabalhadores com a alta gestão
- Atenção da alta gestão com o ambiente de trabalho (conflitos internos, sobrecarga de trabalho, divisão desigual das tarefas)
- Implementação de programas de incentivo à participação e colaboração
- Realização de pesquisa de clima organizacional (respostas sobre questões cotidianas: condições de trabalho e relacionamento e oportunidade de crescimento)

Fator 7: Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais

- Verificação de quais instrumentos e ferramentas são necessários para cada tarefa
- Planejamento para reposição periódica de instrumentos e ferramentas
- Planejamento de manutenção preventiva e corretiva de instrumentos e ferramentas
- Oferecer treinamento para o correto uso de instrumentos e ferramentas

Fator 33: Conhecimento da área de atuação e Fator 32: Tempo de experiência na função

- Implementação de testes teóricos e práticos para atestar os conhecimentos na área
- Implementar um programa de ambientação para novos trabalhadores
- Supervisão por trabalhador mais experiente na área
- Canal de comunicação com trabalhador mais experiente na área para tirar dúvidas
- Programar treinamentos periódicos
- Oferecer cursos de reciclagem e aperfeiçoamento

Fator 31: Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional

- Compromisso da alta gestão com o desenvolvimento dos trabalhadores
- Procedimentos escritos de como executar cada tarefa
- Implementar um programa de integração entre os trabalhadores de diferentes serviços
- Implementação de prática de *feedback* da alta gestão com os trabalhadores
- Implementação de um canal de comunicação entre os trabalhadores e a alta gestão visando apontar dificuldades e oportunidades de melhorias

Fator 25: Comunicação/cooperação entre os membros da equipe

- Estabelecer e implementar uma política interna
- Compromisso da alta gestão com a manutenção da política interna
- Compromisso da alta gestão com o desenvolvimento dos trabalhadores
- Implementar um programa de integração entre os trabalhadores de diferentes serviços
- Realização periódica de rodas de conversas entre os trabalhadores com objetivo de integração das equipes
- Implementação de um canal de comunicação entre os trabalhadores e a alta gestão

Fator 34: Treinamento em ações de resposta a situações de emergência

- Compromisso da alta gestão com a segurança
- Elaboração de um plano de emergências
- Oferecer treinamentos periódicos para respostas a situações de emergência
- Implementação de um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA)
- Treinamento para reconhecimento das rotas de fuga e equipamentos de proteção coletiva
- Treinar e estabelecer uma brigada de incêndio

- Treinar e estabelecer uma equipe para respostas às emergências

Fator 37: Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)

- Conscientizar os trabalhadores a respeito das boas práticas de convivência no ambiente laboral
- Consultar os trabalhadores periodicamente a respeito de situações que o incomodam no ambiente laboral (tais como: ruídos de equipamentos, conversas em tons elevados, excesso de risadas e brincadeiras)
- Estabelecer um canal de comunicação entre os trabalhadores e alta gestão para relatar possíveis problemas e fornecer sugestões de melhorias
- Realizar uma avaliação quantitativa de ruído

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2018). Acesso em 22 de Janeiro de 2018, disponível em ABNT: <http://www.abnt.org.br/imprensa/releases/5898-iso-45001-2018-ja-tem-versao-em-portugues>
- ACKOFF, R. L. (2003). *Planejamento empresarial*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos.
- Belchior, A. D. (1997). *Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de software*. Tese (tese em engenharia de sistemas e computação) - UFRJ , Rio de Janeiro.
- Benite, A. G. (2003). *Teses USP*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em Universidade de São Paulo: <https://www.teses.usp.br/>
- CBS, U. C. (2010). *CBS*. Acesso em 21 de Janeiro de 2018, disponível em CBS: file:///C:/Users/Nat%C3%A1lia/Downloads/CSB_Study_TTU_.pdf
- CCPS, c. f. (1994). *Guidelines for preventing human error in process safety*. Wiley-AIChE.
- Chen, S.-T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J., & Chou, Y.-H. (28 de Julho de 2013). A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA). *Safety Science* , pp. 105-114.
- CIENFUEGOS, F. (2001). *Segurança no laboratório* (1º ed.). Rio de Janeiro: Interciência.
- Correa, C. R., & Junior, M. M. (Janeiro de 2007). Análise e classificação dos fatores humanos nos acidentes industriais. *Produção* , pp. 186-198.
- D. Baranzini, M. D. (2009). Human factors data traceability and analysis in the European community's major accident reporting system. *Springer* , 1-12.
- Duarte, M. B. (2012). *AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS OFERECIDOS POR BIBLIOTECAS: O CASO DA BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR – IEN*. Universidade Federal Fluminense, Dissertação curso de mestrado em sistemas de gestão, Niterói.
- emprego, M. d. (6 de Julho de 1978). *enit*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em enit: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-09.pdf
- emprego, M. d. (6 de Julho de 1978). *MTE*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em MTE: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR5.pdf>
- emprego, M. d. (16 de Novembro de 2005). *MTE*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em MTE: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR32.pdf>
- Filho, A. M. (2016). *Análise da disponibilidade da instrumentação nuclear de um reator de pesquisa*. Tese (Tese em engenharia de produção) - COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro.

- Furuta, T. (1995). *Management of maintenance outages and shutdowns*. Institute of human factors, Estocolmo.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Glendon, A. I., Clarke, S. G., & Mckenna, E. F. (2006). *Human safety and risk management*. Nova Iorque: Taylor & Francis Group.
- Górny, A. (9 a 14 de Agosto de 2015). Application of the Pareto principle to accident analysis to improve working environment. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA* . Melbourne.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method*. Elsevier Science.
- Hollnagel, E. (2003). Modelos de Acidentes e Análises de Acidentes. In: Almeida, I. M., *Caminhos da análise de acidentes de trabalho*. Brasília: MTE, SIT.
- houaiss, d. (2001). *houaiss*. Acesso em 22 de Janeiro de 2018, disponível em uol: <https://houaiss.uol.com.br/pub/apps/www/v3-3/html/index.php#1>
- Hsu, H.-M., & Chen, C.-T. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Elsevier* , pp. 279-285.
- Iida, I. (2005). *Ergonomia Projeto e Produção - 2º Edição*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Iida, I. (1991). Novas abordagens em segurança do trabalho. *Produção* , 63-73.
- Kiremire, A. R. (19 de Outubro de 2011). *watson.latech.edu*. Acesso em 29 de Novembro de 2019, disponível em *watson.latech.edu*: http://www2.latech.edu/~box/ase/papers2011/Ankunda_termpaper.PDF
- Lin, Q.-L., Wang, D.-J., Lin, W.-G., & Liu, H.-C. (2013). Human reliability assesment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. *Safety Science* , 248-256.
- Liu, X., & Wang, L. (18 de Junho de 2014). Civil aviation accident Human Factors analysis model. *Advanced Materials Research* , pp. 1825-1828.
- Llory. (1999). L'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island. In: *Caminhos da análise de acidentes de trabalho*. Brasília: Secretaria de inspeção do trabalho - SIT.
- Maia, A. L. (2014). Análise preliminar de riscos em uma obra de construção civil. *Revista Tecnologia & Informação* , 55-69.
- Mantovani, D., Porcu, O. M., & Kawahara, J. (2009). Perfil dos Usuários dos Laboratórios de Ensino de Química. *Revista Tecnológica v.18* , 115-121.
- Maté, J. L., & Silva, A. (2005). *Requirements Engineering for Sociotechnical Systems*. Information Science Publishing.

- McCormick, E. J., & Sanders, M. S. (1993). *Human Factors in engineering and design*. McGraw-Hill Education.
- More, J. D. (2004). *Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som*. Tese (tese em engenharia metalúrgica e de materiais) - UFRJ, Rio de Janeiro.
- MTE, M. d. (2003). *Escola nacional de inspeção do trabalho*. Acesso em 21 de Janeiro de 2018, disponível em enit: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_Publicacao_e_Manual/CGNOR---CAMINHOS-DA-ANLISE-DE-ACIDENTES-DO-TRABALHO.pdf
- Müller, I. C., & Mastroeni, M. F. (2004). Tendências de acidentes em laboratórios de pesquisa. *Revista de biotecnologia ciência & desenvolvimento*, 101-108.
- NRC, N. R. (2011). *Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards*.
- Patricio, R. P. (2013). *Universidade tecnológica federal do Paraná*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em UTFP: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1357/1/CT_CEEST_XXIV_2013_28.pdf
- Reason, J. (2000). Human Errors: models and management. In: *Correa & Junior; Análise e classificação dos fatores humanos nos acidentes industriais*.
- Safety, C. C. (19 de Junho de 2018). *CCOHS*. Acesso em 22 de Janeiro de 2018, disponível em CCOHS: <https://www.ccohs.ca/ccohs.html>
- Saraiva, L. G., Oliveira, E. A., & Tadeucci, M. d. (5 de Dezembro de 2012). *ANÁLISE DOS FATORES HUMANOS NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS*.
- Simonette, M. J. (2010). *Engenharia de sistemas em sistemas sociotécnicos*. Dissertação (dissertação em engenharia) - USP, São Paulo.
- Standart, I. (2018 de Março de 2018). *CNPC*. Acesso em 15 de Agosto de 2018, disponível em Beijing CNPC audit company limited: <http://www.cpac.org.cn/admineditor/UploadFile/20185414410133.pdf>
- Swain, A. D., & Guttman, H. E. (1983). *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application*. Washington: NUREG CR-1278.
- Z. Mustapha, C. A. (2016). *Assessment of Human Factors Analysis and Classification System in Construction Accident Prevention*.
- Zaplatynskyi, V. (2013). *Science & military*. Acesso em 22 de Agosto de 2018, disponível em Science & military: http://sm.aos.sk/images/dokumenty/archiv_cisel/1_2013/8.pdf

9 APÊNDICE A - Questionários aplicados aos especialistas do laboratório



AMBIENTAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA

MECANISMO DE COLETA DE DADOS

Prezado (a) participante,

Este mecanismo de coletas de dados é parte integrante da dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A pesquisa tem por objetivo estudar os processos de trabalho do laboratório, visando assim identificar aquele que oferece um maior risco à população que trabalha no local. Através do estudo de fatores humanos e aplicação de metodologia apropriada para identificar os fatores de risco, o estudo possibilitará a oferta de melhoria para segurança dos processos de trabalho.

A sua participação é voluntária, todavia sua colaboração na resposta do questionário nos auxiliará no desenvolvimento e obtenção de dados para a pesquisa. Declaramos que suas informações serão tratadas de forma responsável e sua identidade será mantida em sigilo pela pesquisadora, assim como a identidade do local de estudo.

As questões são estruturadas em blocos a fim de facilitar a abordagem dos temas.

A referida pesquisa científica está sob a orientação do professor Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc.

Agradecemos previamente a sua preciosa participação e apoio.

Atenciosamente,

Natália Ornellas Lobo Rodrigues

Mestranda em Engenharia Ambiental / UFRJ

Questionário I: Perfil do participante

Objetivo: Reconhecer o perfil dos participantes da pesquisa

1.1 Função/cargo no laboratório

1.2 Formação Profissional (aquela referente à sua atuação no laboratório)

1.3 Maior nível de formação. (Assinale com um "X" apenas uma alternativa.)

☐	Fundamental	☐	Especialização
☐	Médio	☐	Mestrado
☐	Graduação	☐	Doutorado

1.4 Tempo de exercício na área de atuação

1.5 Tempo de exercício na função atual

1.6 Tempo total de formação na área

1.7 Idade

Questionário II: Percepção dos riscos

Objetivo: Mensurar o grau de importância do risco para os serviços do laboratório.

Utilize a escala abaixo para responder os itens a seguir.

Escala	B	M	A	N
Grau de percepção do risco	Baixo	Médio	Alto	Não se aplica

Processos do laboratório - <i>Preparação corpos de prova</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.1	<u>Etapa 1</u> : Corte do metal rece-				

	bido com serra manual ou torno mecânico para fazer os corpos de prova (CP).				
2.2	<u>Etapa 2:</u> Fixação da resina no CP eletroquímico através de molde.				
2.3	<u>Etapa 3:</u> Acabamento da superfície do CP com lixas d'água manual e mecânico.				
Processos do laboratório - <i>Preparação de células de transferência para ensaios</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.4	Preparação das células com tampa e suporte de teflon ou acrílico utilizando ferramentas diversas (ex: chave de fenda, chave philips, alicates, etc.).	x			
Processos do laboratório - <i>Montagem ensaio em autoclave estática</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.5	<u>Etapa 1:</u> CP gravimétrico são montados na base da tampa da autoclave.				

2.6	<u>Etapa 2:</u> CP eletroquímico são conectados a fios na tampa da autoclave.				
2.7	<u>Etapa 3:</u> Fechamento da tampa da autoclave com aplicação de torque específico.				
Processos do laboratório – <i>Teste de Estanqueidade em autoclaves</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.8	<u>Etapa 1:</u> autoclave montada com os CP é conectada ao equipamento <i>buster</i> via engate rápido e mangueira de alta pressão.				
2.9	<u>Etapa 2:</u> Aplicação de pressão 1,5 vezes a pressão utilizada em ensaio utilizando gás inerte N ₂ .				
Processos do laboratório – <i>Preparação e utilização da linha de tubulação contendo H₂S</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.10	<u>Etapa 1:</u> Conexão do cilindro armazenado na edícula contendo H ₂ S e				

	suas misturas à linha desejada.				
2.11	<u>Etapla 2:</u> Abertura das válvulas na edícula.				
2.12	<u>Etapla 3:</u> Transporte via linha do H ₂ S para autoclave/célula de transferência.				
2.13	<u>Etapla 4:</u> Transporte via linha do H ₂ S para célula contendo NaOH.				
2.14	<u>Etapla 5:</u> Transporte para linha purga em seguida para o lavador (redundância).				
Processos do laboratório - <i>Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.15	<u>Etapla 1:</u> Saturação e desaeração da autoclave e da solução salina com H ₂ S.				
2.16	<u>Etapla 2:</u> Coleta de alíquota de solução salina com H ₂ S.				

2.17 a)	<u>Etapa 3:</u> Elevação gradual da temperatura.				
2.17 b)	<u>Etapa 3 :</u> Elevação gradual da pressão dentro da autoclave.				
Processos do laboratório - <i>Desmontagem ensaio em autoclave estática</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.18	<u>Etapa 1:</u> Diminuição gradual da temperatura até a faixa de 50-60°C.				
2.19	<u>Etapa 2:</u> Coleta de alíquota de solução contendo H ₂ S.				
2.20	<u>Etapa 3:</u> Solução é retirada da autoclave utilizando a pressão do vaso e através de cânula de plástico direcionada para bombona de descarte até o volume acabar.				
2.21	<u>Etapa 4:</u> Após temperatura chegar próxima à ambiente, a tampa é retirada usando o torquímetro.				

2.22	<u>Etapa 5:</u> CP presos à tampa da autoclave são fotografados.				
2.23	<u>Etapa 6:</u> Decapagem do CP com solução apropriada feita geralmente em capela.				
Processos do laboratório - <i>Limpeza da autoclave</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.24	<u>Etapa 1:</u> Limpeza da autoclave utilizando sabão, detergente, água, esponja, palha de aço até completa eliminação do produto de corrosão.				
2.25	<u>Etapa 2:</u> Solução e água (utilizada na limpeza) contaminadas são coletadas em bombona para transporte e em seguida descartado feito em tanque.				
Processos do laboratório - <i>Preparação das soluções</i>		ESCALA			
		Grau de importância			
Item	Descrição	B	M	A	N
2.26	<u>Etapa 1:</u> Cálculo da porcenta-				

	gem da solução em volume.				
2.27	<u>Etapas 2:</u> Pesagem do soluto sólido ou pipetagem do soluto líquido.				
2.28	<u>Etapas 3:</u> Solubilização de grande quantidade de soluto sólido com auxílio de placa de agitação.				
2.29	<u>Etapas 4:</u> Transferência do soluto para o balão contendo água ou álcool. Avolumar o balão e fazer uma mistura manual para ter certeza que estará homogêneo.				
2.30	<u>Etapas 5:</u> Preparação de soluções especiais, com por exemplo Clark (ácido concentrado) realizado em capela.				

Questionário III: Percepção da tarefa crítica

Prezados,

Na primeira fase a apuração das informações do questionário II indicou os serviços de número cinco e seis como os serviços de mais alto risco segundo a percepção dos respondentes.

Esta segunda fase identificará uma das tarefas como a mais crítica dentre os serviços cinco e seis, segundo a percepção dos respondentes. Preencha o questionário marcando um “X” na lacuna que melhor expresse sua convicção.

Objetivo: Mensurar o grau de importância do risco para as tarefas dos serviços cinco e seis do laboratório.

Utilize a escala abaixo para responder os itens a seguir.

Escala	B	M	A	N
Grau de percepção do risco	Baixo	Médio	Alto	Não se aplica

	DESCRIÇÃO TAREFAS	B	M	A	N
Serviço 5	1-Conexão do cilindro armazenado na edícula contendo H ₂ S e suas misturas à linha desejada				
	2- Abertura das válvulas na edícula				
	3- Transporte via linha do H ₂ S para autoclave ou célula de transferência				
	4- Transporte via linha do H ₂ S para célula contendo NaOH				
	5- Transporte para linha purga em seguida para o lavador (redundância)				
Serviço 6	1- Procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H ₂ S				
	2- Coleta de alíquota de solução salina com H ₂ S				

	3-Elevação gradual da temperatura dentro da autoclave				
	4- Elevação gradual da pressão dentro da autoclave				

	SIM	NÃO
Você executa as tarefas do serviço 5?		
Você executa as tarefas do serviço 6?		

Questionário IV: Percepção dos fatores sociotécnicos

Prezados,

Na segunda fase a apuração das informações do questionário III indicou as tarefas de número um(Procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H_2S)e quatro(Elevação gradual da pressão dentro da autoclave)do serviço seis(Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave)como as de mais alto risco,segundo a percepção dos respondentes.

Esta terceira fase identificará os fatores sociotécnicos que podem afetar o desempenho dessas tarefas, segundo a percepção dos respondentes. Preencha o questionário marcando um “X” na lacuna que melhor expresse sua convicção.

Objetivo: Identificar os fatores sociotécnicos das tarefas críticas.

Utilize a escala abaixo para responder os itens a seguir.

Escala	B	M	A
Grau de percepção	Baixo	Médio	Alto

Serviço 6				
Tarefa 1- Procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H_2S				
COMO ESSE FATOR AFETA O SEU DESEMPENHO NA EXECUÇÃO DA TAREFA 1?				
FATOR		B	M	A
1	Inadequação física do local de trabalho: espaço estreito			
2	Temperaturas extremas			
3	Umidade			
4	Qualidade do ar			
5	Ruído			

6	Iluminação			
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais			
8	Manuseio dos controles dos equipamentos			
9	Condições de visualização dos displays nos equipamentos			
10	Sinalização dos displays nos equipamentos			
11	Complexidade da tarefa			
12	Necessidade de rapidez com exigência de precisão na execução da tarefa			
13	Dificuldades na tomada de decisão			
14	Restrição de tempo para execução da tarefa			
15	Tarefas simultâneas			
16	Repetitividade na execução da tarefa			
17	Fadiga			
18	Falta de motivação para desempenho da tarefa			
19	Falta de objetividade no desempenho da tarefa			
20	Problemas pessoais (avalie como é a influência no desempenho)			
21	Treinamento e conhecimentos insuficientes			
22	Não adequação das dimensões antropométricas dos trabalhadores em relação as tarefas			
23	Treinamento na operação de novos equipamentos			
24	Qualidade dos procedimentos / coerência nos métodos de trabalho			
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe			
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção			
27	Falha na instrução ou supervisão inadequada			
28	Falha na conscientização da cultura de segurança			
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas			
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços			
31	Cultura dos procedimentos perfei-			

	tos, clima organizacional.			
32	Tempo de experiência na função (avalie o seu conhecimento para um desempenho satisfatório)			
33	Conhecimento na área de atuação (avalie seu conhecimento para um desempenho satisfatório)			
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência			
35	Nível de estresse em situações de emergência			
36	Condição física (avalie como você se sente quando esforço mais intenso é requerido)			
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)			

Serviço 6				
Tarefa 4- Elevação gradual da pressão dentro da autoclave				
COMO ESSE FATOR AFETA O SEU DESEMPENHO NA EXECUÇÃO DA TAREFA 4?				
FATOR		B	M	A
1	Inadequação física do local de trabalho: espaço estreito			
2	Temperaturas extremas			
3	Umidade			
4	Qualidade do ar			
5	Ruído			
6	Iluminação			
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais			
8	Manuseio dos controles dos equipamentos			
9	Condições de visualização dos displays nos equipamentos			
10	Sinalização dos displays nos equipamentos			
11	Complexidade da tarefa			
12	Necessidade de rapidez com exigência de precisão na execução da tarefa			
13	Dificuldades na tomada de decisão			
14	Restrição de tempo para execução da tarefa			
15	Tarefas simultâneas			
16	Repetitividade na execução da tarefa			

17	Fadiga			
18	Falta de motivação para desempenho da tarefa			
19	Falta de objetividade no desempenho da tarefa			
19	Problemas pessoais (avalie como é a influência no desempenho)			
20	Treinamento e conhecimentos insuficientes			
21	Não adequação das dimensões antropométricas dos trabalhadores em relação as tarefas			
22	Treinamento na operação de novos equipamentos			
23	Qualidade dos procedimentos / coerência nos métodos de trabalho			
24	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe			
25	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção			
26	Falha na instrução ou supervisão inadequada			
27	Falha na conscientização da cultura de segurança			
28	Planejamento inadequado na execução das tarefas			
29	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços			
30	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional.			
31	Tempo de experiência na função (avalie o seu tempo para um desempenho satisfatório)			
32	Conhecimento na área de atuação (avalie o seu conhecimento para um desempenho satisfatório)			
33	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência			
34	Nível de estresse em situações de emergência			
35	Condição física (avalie como você se sente quando esforço mais intenso é requerido)			
36	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)			

- Caso exista, informe outros fatores que não se encontram listados e que você considere importante e que possam afetar o seu desempenho na execução das tarefas 1 e 4.

Questionário V: Percepção dos fatores sociotécnicos mais importantes

Prezados,

Na terceira fase a apuração das informações do questionário IV indicou os fatores sociotécnicos mais relevantes, segundo a percepção dos respondentes.

Esta quarta fase identificará dentre os fatores sociotécnicos mais relevantes aqueles que podem afetar o desempenho dessas tarefas em um cenário de acidente, segundo a percepção dos respondentes. Preencha o questionário marcando um “X” na lacuna que melhor expresse sua convicção.

Objetivo: Identificar os fatores sociotécnicos mais relevantes em um cenário de acidente.

Cenário de acidente: Ensaio eletroquímico e gravimétrico estático em autoclave com utilização de temperatura e pressão elevadas e com uso de solução salina com H_2S . Durante o ensaio, eleva-se a temperatura de forma gradual dentro da autoclave até $80^\circ C$. Após atingir a temperatura de ensaio, eleva-se também de forma gradual a pressão (pressurização) dentro da autoclave, até o valor de 80 bar. Durante a elevação da temperatura o ensaio transcorre de forma satisfatória, sem nenhuma alteração nos sensores ou de forma visual (através de monitor e eletrônica por software) que monitoram a pressão e a solução salina com H_2S . Ao atingir a temperatura de ensaio ($80^\circ C$) a pressurização é iniciada de forma gradual, sem nenhuma alteração nos sensores ou de forma visual (através de monitor, eletrônica por software e analógica por manômetro e transdutor de pressão) que monitoram a pressão e a solução salina com H_2S . Porém, ao atingir a pressão de 30 bar o manômetro estoura sem aviso prévio. O operador não se feriu. No momento do acidente ele estava utilizando jaleco e EPI: máscara, óculos de proteção e sapato de segurança. Houve danos apenas no equipamento (manômetro), sem danos na autoclave. O sensor de lapela de H_2S que o operador utilizava não indicou vazamento considerável que pudesse ser detectado.

Utilize a escala abaixo para responder os itens a seguir.

Escala	Baixo	Médio	Alto
Grau de percepção	0	1	2

Cenário de acidente
Ensaio com rompimento de algum componente devido à aplicação de pressão com uso de H_2S .
COMO ESSE FATOR AFETA O SEU DESEMPENHO NO CENÁRIO DESCRITO

TO ACIMA?				
FATOR		BAIXO (0)	MÉDIO (1)	ALTO (2)
2	Temperaturas extremas			
7	Disponibilidade e adequação de instrumentos e ferramentas especiais			
25	Comunicação/cooperação entre os membros da equipe			
26	Equipamentos de segurança e vestuário de proteção			
28	Falha na conscientização da cultura de segurança			
29	Planejamento inadequado na execução das tarefas			
30	Falta de incentivo, falta de valorização dos esforços			
31	Cultura dos procedimentos perfeitos, clima organizacional			
32	Tempo de experiência na função (avalie o seu conhecimento para um desempenho satisfatório)			
33	Conhecimento na área de atuação (avalie seu conhecimento para um desempenho satisfatório)			
34	Treinamento em ações de resposta a situações de emergência			
35	Nível de estresse em situações de emergência			
37	Distrações (barulho, brilho, movimento, cor)			

10 APÊNDICE B - Análise Preliminar de Perigo (APP) para as tarefas críticas

Serviço 6 - Tarefa 1: Procedimento de saturação e aeração da autoclave e da solução salina com H ₂ S								
ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO								
Nº	Perigo	Causas	Possíveis efeitos	Deteção e/ou salvaguardas	F	Categoria da severidade	Categoria do risco	Medidas preventivas / mitigadoras
1	pequeno vazamento de H ₂ S	ruptura parcial da célula de transferência causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência	B	1	Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
2	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica da célula de transferência causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ pressão/temperatura extrema	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

		▪ falha operacional		sala de contro- le;inspeção visual na célula de trans- ferência				
3	pequeno vazamento de H ₂ S	falha na vedação da célula de transferên- cia ou da autoclave causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as con- centrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de contro- le;inspeção visual na célula de trans- ferência	C	1	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
4	pequeno vazamento de H ₂ S	ruptura parcial da autoclave causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as con- centrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de contro- le;inspeção visual na célula de trans- ferência	B	2	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
5	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica da autoclave causada	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação;	detectores fixos e contínuos na sala	A	2	Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico;

		por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	contaminação do ar; incêndio; explosão; danos moderados a equipamentos	para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência				uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
6	pequeno vazamento de H ₂ S	ruptura parcial da linha (tubulação) que transporta o H ₂ S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência	B	2	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
7	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica da linha (tubulação) que transporta o H ₂ S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

		extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	danos moderados a equipamentos	sala de controle;inspeção visual na célula de transferência				
8	pequeno vazamento de H2S	falha na válvula que controla a linha (tubulação) que transporta o H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar; incêndio; explosão; danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle;inspeção visual na célula de transferência	C	2	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
9	pequeno vazamento de H2S	ruptura parcial do cilindro de armazenamento de H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle;inspeção visual na célula de trans-	B	3	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

				ferência				
10	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica do cilindro de armazenamento de H ₂ S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
11	incêndio/explosão (quando existir fonte de ignição)	falta de manutenção das linhas de transporte do H ₂ S; falta de manutenção do cilindro de armazenamento de H ₂ S; ruptura parcial/total no cilindro de armazenamento de H ₂ S; ruptura parcial/total da autoclave contendo H ₂ S; ruptura parcial/total da célula de transferência contendo H ₂ S	lesão nos trabalhadores; morte contaminação do ar danos a equipamentos danos predial	dispositivos de alarme visual e sonoro; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga	A	3	Moderado	sistemas de prevenção e combate à incêndio; treinamento em combate à incêndio; inspeção e manutenção periódica; extintores de incêndios; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga, brigada de incêndio
12	obstrução da li-	falta de manutenção	vazamento de H ₂ S	inspeção periódica	C	2	Não Tole-	manutenção periódica da linha; trei-

	nha (tubulação) H ₂ S	e limpeza da linha; corrosão; material particulado na linha (impurezas)	lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema	da linha; monitoramento na sala de controle			rável	namento periódico, uso EPI adequado; inspeção visual, monitoramento na sala de controle
13	ruptura catastrófica da autoclave	temperatura extrema pressão extrema falta de manutenção falta de treinamento para operar a autoclave	vazamento de H ₂ S lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema danos moderados a equipamentos	Indicador de pressão, chave e dispositivo de alarme de pressão; indicador de temperatura, chave e dispositivo de alarme de temperatura; monitoramento na sala de controle; inspeção visual	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica
14	ruptura parcial da autoclave	temperatura extrema pressão extrema falta de manutenção falta de treinamento para operar a autoclave corrosão	vazamento de H ₂ S lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema danos moderados a equipamentos	Indicador de pressão, chave e dispositivo de alarme de pressão; indicador de temperatura, chave e dispositivo de alarme de temperatura; monitoramento na sala de controle; inspeção visual	C	3	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica
15	procedimentos operacionais e instruções de	falta de procedimento operacional falta de treinamento	falta de padronização do trabalho retenção de conhe-	supervisão periódica; canal de comunicação para feed-	C	1	Moderado	treinamentos periódicos; supervisão contínua; procedimentos de comunicação interna; manuais de proce-

	trabalho deficientes	operacional comunicação deficiente entre a equipe falha na instrução supervisão inadequada	cimento parada do sistema lesão nos trabalhadores	back				dimentos operacionais
16	uso de EPI deficiente	falha na conscientização da cultura de segurança supervisão inadequada falta de treinamento para uso de EPI falta de instrução	lesão nos trabalhadores parada do sistema danos moderados a equipamentos	supervisão periódica; canal de comunicação para feedback; advertência	C	1	Moderado	treinamento para uso de EPI; instrução para fortalecimento da cultura de segurança;
17	falha dos sensores	falta de procedimento operacional falta de treinamento operacional monitoramento inadequado falha do material pressão/temperatura extrema	vazamento de H ₂ S parada do sistema aumento da pressão/temperatura	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento periódico, parada de segurança do equipamento	C	1	Moderado	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro
18	emissões atmosféricas	falha dos equipamentos de proteção coletiva falha do lavador de gases	parada do sistema poluição do ar	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento periódico,	B	1	Tolerável	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro

		falta de instrução vazamento de H ₂ S	contribuição para impactos ambientais	parada de segu- rança do equipa- mento, treinamen- to para operar os equipamentos				
19	Intoxicação por gases	vazamento de H ₂ S falta de treinamento operacional supervisão inade- quada falta de treinamento para uso de EPI	lesão nos trabalha- dores parada do sistema poluição do ar contribuição para impactos ambientais	inspeção periódica; calibragem e aferi- ção dos equipa- mentos, monito- ramento periódico, parada de segu- rança do equipa- mento, treinamen- to para operar os equipamentos, treinamento para uso correto de EPI	B	3	Não Tole- rável	plano de inspeção periódica; moni- toramento na sala de controle; ma- nutenção e calibração dos equipa- mentos; dispositivos de alarme visu- al e sonoro, plano de treinamento periódico, treinamento de primeiros socorros, treinamento de abandono

Serviço 6 - Tarefa 4: Elevação gradual da pressão dentro da autoclave								
ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO								
Nº	Perigo	Causas	Possíveis efeitos	Deteção e/ou salvaguardas	F	Categoria da severi- dade	Categoria do risco	Medidas preventivas / mitigado- ras
1	pequeno vaza- mento de H ₂ S	ruptura parcial da célula de transferên- cia causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão	detectores fixos e contínuos na sala para medir as con- centrações do gás; detector de lapela;	B	1	Tolerável	plano de emergência; procedimen- to de trabalho; treinamento perió- dico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de in-

		▪ falha operacional	danos moderados a equipamentos	dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência				cêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
2	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica da célula de transferência causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha operacional	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
3	pequeno vazamento de H ₂ S	falha na vedação da célula de transferência ou da autoclave causada por: ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional ▪ pressão extrema	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência; manôme-	C	1	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

				tro				
4	pequeno vazamento de H ₂ S	ruptura parcial da autoclave causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional ▪ pressão extrema	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência; manômetro	B	2	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
5	grande vazamento de H ₂ S	ruptura catastrófica da autoclave causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional ▪ pressão extrema	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação; contaminação do ar; incêndio; explosão; danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência; manômetro	A	2	Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
6	pequeno vazamento de H ₂ S	ruptura parcial da linha (tubulação) que transporta o H ₂ S	inalação do gás H ₂ S e possível intoxicação;	detectores fixos e contínuos na sala para medir as con-	B	2	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e

		causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	centrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência				manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
7	grande vazamento de H2S	ruptura catastrófica da linha (tubulação) que transporta o H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle; inspeção visual na célula de transferência	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
8	pequeno vazamento de H2S	falha na válvula que controla a linha (tubulação) que transporta o H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar; incêndio; explosão;	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de contro-	C	2	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

		extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	danos moderados a equipamentos	le;inspeção visual na célula de transferência				
9	pequeno vazamento de H2S	ruptura parcial do cilindro de armazenamento de H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle;inspeção visual na célula de transferência	B	3	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga
10	grande vazamento de H2S	ruptura catastrófica do cilindro de armazenamento de H2S causada por: ▪ corrosão (improvável) ▪ pressão/temperatura extrema ▪ falha do material ▪ impacto mecânico ▪ falha operacional	inalação do gás H2S e possível intoxicação; contaminação do ar incêndio, explosão danos moderados a equipamentos	detectores fixos e contínuos na sala para medir as concentrações do gás; detector de lapela; dispositivos de alarme; exaustores de gases; visual na sala de controle;inspeção visual na célula de transferência	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica; teste de estanqueidade; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga

11	incêndio/explosão (quando existir fonte de ignição)	falta de manutenção das linhas de transporte do H ₂ S; falta de manutenção do cilindro de armazenamento de H ₂ S; ruptura parcial/total no cilindro de armazenamento de H ₂ S; ruptura parcial/total da autoclave contendo H ₂ S; ruptura parcial/total da célula de transferência contendo H ₂ S	lesão nos trabalhadores; morte contaminação do ar danos a equipamentos danos predial	dispositivos de alarme visual e sonoro; extintores de incêndio; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga	A	3	Moderado	sistemas de prevenção e combate à incêndio; treinamento em combate à incêndio; inspeção e manutenção periódica; extintores de incêndios; sprinklers; saídas de emergência; rotas de fuga, brigada de incêndio
12	obstrução da linha (tubulação) H ₂ S	falta de manutenção e limpeza da linha; corrosão; material particulado na linha (impurezas)	vazamento de H ₂ S lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema	inspeção periódica da linha; monitoramento na sala de controle	C	2	Não Tolerável	manutenção periódica da linha; treinamento periódico, uso EPI adequado; inspeção visual, monitoramento na sala de controle
13	ruptura catastrófica da autoclave	temperatura extrema pressão extrema falta de manutenção falta de treinamento para operar a autoclave	vazamento de H ₂ S lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema	Indicador de pressão, chave e dispositivo de alarme de pressão; indicador de temperatura, chave e dispositivo de alarme de temperatura; monito-	A	3	Moderado	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica

			danos moderados a equipamentos	ramento na sala de controle; inspeção visual				
14	ruptura parcial da autoclave	temperatura extrema pressão extrema falta de manutenção falta de treinamento para operar a autoclave corrosão	vazamento de H ₂ S lesão nos trabalhadores contaminação do ar parada do sistema danos moderados a equipamentos	Indicador de pressão, chave e dispositivo de alarme de pressão; indicador de temperatura, chave e dispositivo de alarme de temperatura; monitoramento na sala de controle; inspeção visual	C	3	Não Tolerável	plano de emergência; procedimento de trabalho; treinamento periódico; uso EPI adequado; inspeção e manutenção periódica
15	procedimentos operacionais e instruções de trabalho deficientes	falta de procedimento operacional falta de treinamento operacional comunicação deficiente entre a equipe falha na instrução supervisão inadequada	falta de padronização do trabalho retenção de conhecimento parada do sistema lesão nos trabalhadores	supervisão periódica; canal de comunicação para feedback	C	1	Moderado	treinamentos periódicos; supervisão contínua; procedimentos de comunicação interna; manuais de procedimentos operacionais
16	uso de EPI deficiente	falha na conscientização da cultura de segurança supervisão inadequada falta de treinamento para uso de EPI	lesão nos trabalhadores parada do sistema danos moderados a equipamentos	supervisão periódica; canal de comunicação para feedback; advertência	C	1	Moderado	treinamento para uso de EPI; instrução para fortalecimento da cultura de segurança;

		falta de instrução						
17	falha dos sensores	falta de procedimento operacional falha operacional monitoramento inadequado falha do material pressão/temperatura extrema	vazamento de H ₂ S parada do sistema aumento da pressão/temperatura	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento periódico, parada de segurança do equipamento	C	1	Moderado	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro
18	emissões atmosféricas	falha dos equipamentos de proteção coletiva falha do lavador de gases falha operacional vazamento de H ₂ S	parada do sistema poluição do ar contribuição para impactos ambientais	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento periódico, parada de segurança do equipamento, treinamento para operar os equipamentos	B	1	Tolerável	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro
19	Intoxicação por gases	vazamento de H ₂ S falha operacional falha no uso de EPI falha dos equipamentos de proteção coletiva	lesão nos trabalhadores parada do sistema poluição do ar contribuição para impactos ambientais	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento contínuo, parada de segurança do equipamento, treinamento para operar os equipamentos,	B	3	Não Tolerável	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro, plano de treinamento periódico, treinamento de primeiros socorros, treinamento de abandono

				treinamento para uso correto de EPI				
20	ruptura do manômetro	falha operacional pressão extrema falha do material corrosão falta de manutenção	lesão nos trabalhadores parada do sistema vazamento de H ₂ S danos moderados a equipamentos	inspeção periódica; calibragem e aferição dos equipamentos, monitoramento contínuo, parada de segurança do equipamento, treinamento para operar os equipamentos, uso correto dos EPI	C	1	Moderado	plano de inspeção periódica; monitoramento na sala de controle; manutenção e calibração dos equipamentos; dispositivos de alarme visual e sonoro, plano de treinamento periódico, treinamento de primeiros socorros