

ACIDENTES EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA: O CASO DE UM LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA

Luciana Lancellote Antunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção, COPPE, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Francisco José de Castro
Moura Duarte

Rio de Janeiro
Outubro de 2021

ACIDENTES EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA: O CASO DE UM
LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA

Luciana Lancellote Antunes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Francisco José de Castro Moura Duarte

Aprovada por: Prof. Francisco José de Castro Moura Duarte

Prof. Tharcisio Cotta Fontainha

Prof. Ericksson Rocha e Almenda

Profa. Paula Mendes Jardim

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2021

Antunes, Luciana Lancellote

Acidentes em Laboratórios de Ensino e Pesquisa: O Caso de um Laboratório de Metalografia/Luciana Lancellote Antunes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XIII, 102 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Francisco José de Castro Moura Duarte

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 82-87.

1. Acidentes. 2. Fatores Humanos e Organizacionais. 3. Cultura de Segurança. 4. Segurança em Laboratórios. 5. Riscos. I. Duarte, Francisco José de Castro Moura. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Ao aprender com os incidentes que ocorreram, as organizações esperam melhorar ainda mais os níveis de segurança e evitar futuros incidentes. Uma organização aprende detectando eventos, refletindo sobre eles, aprendendo lições com eles e colocando essas lições em prática para evitar futuros incidentes (DRUPSTEE; GULDENMUND, 2014, p. 81).

AGRADECIMENTOS

A Deus por trilhar meu caminho de forma tão maravilhosa, colocando nele pessoas dignas e respeitadas e, principalmente, amorosas. Por me direcionar para as decisões mais acertadas e, principalmente, Deus, obrigada pela minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Francisco Duarte, por me desafiar a todo o momento a aprimorar minha capacidade e formação. Professor exemplar, sempre disponível e interessado na minha pesquisa. Prof. Francisco, muito obrigada pelas oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

À minha amada mãe, exemplo de coragem, esforço e dedicação, principalmente, me apoiando nos momentos mais difíceis da minha vida.

Ao meu pai, em especial, por ter acreditado no meu potencial desde criança, e por, apesar das dificuldades, ter me incentivado e viabilizado as condições possíveis para que eu pudesse avançar até conseguir caminhar sozinha.

Ao meu irmão, Leandro, que, com sua coragem e bondade, e com tanto orgulho de mim, me impulsiona para novos caminhos.

Ao meu querido Alexandre, que com sua alegria de viver, doçura e espirituosidade consegue me deixar tão feliz e motivada para enfrentar o mundo.

Ao Dr. Fernando Sepulveda, Auditor-Chefe da UFRJ, meu chefe e grande amigo, principal incentivador para a realização do mestrado, que tanto me ajudou para esta concretização e para meu progresso profissional.

À Professora Marcia Dezotti, amiga de sempre, exemplo de mulher e profissional que, entendendo meus sentimentos e expectativas de vida, me deu coragem para realizar meus sonhos. Obrigada, Prof^a. Marcia, por tudo e, também, pela ajuda na disponibilidade de documentos durante o mestrado.

Ao Prof. Edson Watanabe, Diretor da COPPE no período do início da pesquisa, meu ex-chefe, que com tanto carinho e apoio, tanto profissional quanto acadêmico, me permitiu realizar o mestrado e conduzir a pesquisa da melhor forma possível.

Ao Prof. Romildo Toledo, atual Diretor da COPPE, e ao Prof. Ericksson Almendra, Diretor de Planejamento, Administração e Desenvolvimento Institucional da COPPE, que tiveram todo o interesse na pesquisa no sentido de melhorar a segurança da instituição, oportunizando meios para tal.

À Prof^a. Marysilvia da Costa, Coordenadora do PEMM no período do início da pesquisa, ao Prof. Leonardo Sales, responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas e à Profa. Paula Jardim, orientadora da aluna acidentada, que viabilizaram meu

trabalho de campo, permitindo meu acesso ao PEMM e ao Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, além da disponibilidade de dados e a realização de entrevistas.

Aos técnicos Oswaldo Pires, Marcos Vinicius dos Santos e Nelson Aguiar; ao socorrista Elias Pereira e a toda comunidade do PEMM/COPPE/UFRJ que contribuiu intensamente para o desenvolvimento da minha pesquisa. Sempre pacientes e disponíveis para me atender durante o trabalho de campo, prestando as informações, realizando as entrevistas, explicando as atividades, o uso do laboratório.

Ao Prof. Marcio Nele do PEQ/COPPE/UFRJ e, em especial, ao Prof. Daniel Barreto da EQ/UFRJ por me orientarem em relação à questão da provável reação química que pode ter ocasionado o acidente, além do que pode ter ocorrido em relação ao contexto do acidente.

À colega Rosane Detommazo, Gerente de SMS da COPPE, pela contribuição na disponibilidade dos relatórios de segurança e demais informações.

Ao colega, Dr. Marcos Anacleto, servidor da UFRJ que pela formação em química me auxiliou com muita presteza e carinho.

A todos os meus colegas de trabalho da Assessoria de Qualidade da COPPE e da Auditoria Interna da UFRJ, que contribuíram com o apoio necessário para a realização das minhas atividades como Coordenadora da COPPE-Q e, agora, como Auditora-Chefe Adjunta da UFRJ.

Aos diretores Ana Maria Magalhães e André Nunes e ao Coordenador Pedagógico Nacácio do Nascimento do Colégio Estadual João Marques, colegas professores e alunos, pelo entendimento e ajuda nesse momento tão demandante de tempo e esforço pessoal.

Aos meus colegas da Turma de Mestrado 2018, que tive o imenso prazer em conhecer e participar de momentos inesquecíveis, além da troca de informações. Todos fazem parte de um momento muito especial da minha vida.

Aos professores do Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ, pela excelência no ensino e a oportunidade de aprendizado.

Às secretárias Claudete Lima, Roberta Mattos, Lindalva Araújo e Zui Clemente, pela eficiência, atenção, boa vontade durante todo o período do mestrado.

A todos os colegas da COPPE e da Reitoria, que contribuíram de alguma forma para o meu sucesso e realizações.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ACIDENTES EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA: O CASO DE UM LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA

Luciana Lancellote Antunes

Outubro/2021

Orientador: Francisco José de Castro Moura Duarte

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho tem como objeto de estudo o acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ em 2018, que pode ser considerado um dos acidentes de mais alta gravidade já ocorridos no Centro de Tecnologia da UFRJ. Acidentes graves têm em sua gênese, normalmente, aspectos da própria gestão e situações de risco adormecidas que se perpetuam durante anos nas organizações até causarem acidentes de grandes proporções e consequências sérias, muitas vezes fatais. O objetivo deste estudo é construir recomendações para melhoria da segurança à luz da abordagem dos fatores humanos e organizacionais (FHO). Essa abordagem permite mudar o foco, muitas vezes colocado sobre o indivíduo, durante as análises de acidentes. O foco passa a ser os fatores que determinam os comportamentos, principalmente, as condições de trabalho e a influência da gestão na realização da atividade. Para análise do acidente, foram efetuadas pesquisa documental, entrevistas, visita e acompanhamento de atividade, além de reunião com a comunidade do PEMM. Os resultados obtidos foram levantamentos acerca de acidentes anteriores ocorridos na UFRJ e no PEMM; do uso do Nital na prática de Metalografia, das principais atividades do laboratório e do acidente ocorrido. Esta pesquisa serviu de base para a construção coletiva de recomendações a partir das experiências de técnicos e alunos, discussão sobre o acidente e compartilhamento dos principais riscos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ACCIDENTS IN TEACHING AND RESEARCH LABORATORIES: THE CASE OF A METALOGRAPHY LABORATORY

Luciana Lancellote Antunes

October/2021

Advisor: Francisco José de Castro Moura Duarte

Department: Production Engineering

This work has as its object of study the accident occurred at the Laboratory of Metallography and Practical Classes at PEMM/COPPE/UFRJ in 2018, which can be considered one of the most serious accidents ever to occur at the UFRJ Technology Center. Serious accidents usually have in their genesis aspects of their own management and dormant risk situations, that perpetuate for years in organizations, until they cause accidents of large proportions and serious consequences, often fatal. The aim of this study is to build recommendations for improving safety in light of the human and organizational factors (FHO) approach. This approach allows shifting the focus, often placed on the individual, during accident analyses. The focus is now on the factors that determine behavior, especially working conditions and the influence of management in carrying out the activity. To analyze the accident, documentary research, interviews, visits and activity monitoring were carried out, in addition to a meeting with the PEMM community. The obtained results were surveys about previous accidents occurred at UFRJ and PEMM; the use of Nital in the practice of Metallography, the main activities of the laboratory and the occurred accident. This research served as the basis for the collective construction of recommendations based on the experiences of technicians and students, discussion about the accident and sharing of the main risks.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO.....	1
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	2
1.3	ESTRUTURA DO ESTUDO.....	4
2	FATORES HUMANOS E ORGANIZACIONAIS E CULTURA DE SEGURANÇA.....	5
2.1	CULTURA DE SEGURANÇA	5
2.2	O FOCO NOS EVENTOS DE ALTA GRAVIDADE	8
2.3	OS TRÊS PILARES DA CULTURA DE SEGURANÇA	14
2.4	DO COMPORTAMENTO À ATIVIDADE.....	18
2.5	O “ERRO HUMANO”	20
2.6	BARREIRAS DE SEGURANÇA.....	22
2.7	EVOLUÇÃO DA CULTURA DE SEGURANÇA	25
2.8	SEGURANÇA INTEGRADA	26
3	ACIDENTES EM LABORATÓRIOS	28
4	MÉTODO.....	49
4.1	PESQUISA DOCUMENTAL.....	51
4.2	ENTREVISTAS	52
4.3	VISITAS E ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES NO LABORATÓRIO	53
4.4	REUNIÃO PARA CONSTRUÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DA SEGURANÇA	54
5	RESULTADOS.....	55
5.1	LEVANTAMENTO DE ACIDENTES OCORRIDOS NOS LABORATÓRIOS DA UFRJ E NO PEMM	55
5.2	USO DO NITAL NA PRÁTICA DE ANÁLISE METALOGRÁFICA	58
5.3	ATIVIDADES PRINCIPAIS DO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS DO PEMM	62
5.4	O ACIDENTE NO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS DO PEMM/COPPE/UFRJ	64
6	A CONSTRUÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DA SEGURANÇA.....	73
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE A: ACIDENTES OCORRIDOS NA UFRJ	88
APÊNDICE B: PROCESSO DE MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA.....	92
APÊNDICE C: MACROFLUXO DO PROCESSO DA PESQUISA	95
APÊNDICE D: PRINCIPAIS ATIVIDADES DO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS	96
ANEXO: FORMULÁRIO DE CONTROLE DE PREPARAÇÃO DE AULAS PRÁTICAS E METALOGRAFIA.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acidentes graves e acidentes menores.....	9
Figura 2 - Pirâmide de Bird	10
Figura 3 - Contribuição da organização	11
Figura 4 - Estágios de desenvolvimento e investigação de um acidente organizacional	12
Figura 5 - Os três pilares da cultura de segurança.....	15
Figura 6 - Abordagens da Segurança Industrial ao longo do tempo	16
Figura 7 - Fatores humanos e organizacionais	17
Figura 8 - O iceberg da atividade	19
Figura 9 - Modelo do Queijo Suíço de Reason	23
Figura 10 - O ideal e a realidade das defesas	24
Figura 11 - Tipos de cultura de segurança segundo Marcel Simard	25
Figura 12 - Atributos da cultura de segurança integrada.....	27
Figura 13 - Acidentes ocorridos em laboratórios da UFRJ	55
Figura 14 - Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM.....	63
Figura 15 - Posição dos envolvidos no momento da explosão.....	64
Figura 16 - Danos na capela	66
Figura 17 - Danos na luminária	66
Figura 18 - Danos nos armários.....	66
Figura 19 - Danos na janela e na capela	66
Figura 20 - Fragmentos do frasco utilizado no acidente	68
Figura 21 - Frasco presente no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos	68
Figura 22 - Comparação entre os frascos (1).....	69
Figura 23 - Comparação entre os frascos (2).....	69
Figura 24 - Frascos e fragmentos na capela	70
Figura 25 - Placas de sinalização no laboratório e na capela	74
Figura 26 - Chuveiro instalado no laboratório.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos de cultura de segurança	6
Quadro 2 - Acidentes industriais ampliados e implicações para a segurança	13
Quadro 3 - Artigos resultantes do mapeamento sistemático da literatura	28
Quadro 4 - Critérios da estrutura da pesquisa.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	processo de hierarquia analítica
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAIB	<i>Columbia Accident Investigation Board</i>
CCS	Centro de Ciências da Saúde
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CPST	Coordenação de Políticas de Saúde do Trabalhador
CT	Centro de Tecnologia
DTU	<i>Technical University of Denmark</i>
ENSCMu	Instituição Nacional de Ensino Superior em Química de Mulhouse
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
EQ	Escola de Química
ETA	análise de árvore de eventos
FHO	Fatores Humanos e Organizacionais
HUCFF	Hospital Universitário Clementino Fraga Filho
ICB	Instituto de Ciências Biomédicas
ICSI	<i>Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle</i>
INSAG	<i>International Nuclear Safety Advisory Group</i>
IQ	Instituto de Química
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LABPol	Laboratório de Controle de Poluição das Águas
LADEQ	Laboratório do Departamento de Engenharia Química
LASSBio	Laboratório de Avaliação e Síntese de Substâncias Bioativas
LHAT	Ferramenta de Avaliação de Risco de Laboratório
LMSCP	Laboratório de Modelagem, Simulação e Controle de Processos
MAPA	Modelo de Análise e Prevenção de Acidente
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PEMM	Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PEQ	Programa de Engenharia Química
RCA	análise de causa raiz
SMS	Segurança, Meio Ambiente e Saúde
SRK	<i>Skill, Rule and Knowledge</i>
SST	Segurança e Saúde do Trabalho
Tf	taxa de frequência
TNT	Trinitrotolueno
UCLA	Universidade da Califórnia em Los Angeles
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 INTRODUÇÃO

No dia 15 de agosto de 2018 ocorreu um acidente de alta gravidade no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM), vinculado ao Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Sua provável causa foi uma reação descontrolada dos reagentes utilizados no preparo do Nital, que sob determinadas condições podem formar nitrato de etila, desencadeando outras reações capazes de gerar gases altamente explosivos. Como exemplo da periculosidade de reações similares que formam nitratos e gases perigosos, há o processo da nitroglicerina cujo gás se desloca a 7.700 metros por segundo, superior ao Trinitrotolueno (TNT), cujo deslocamento é de 6.700 metros por segundo.

O acidente teve três vítimas: uma com ferimentos leves e duas com ferimentos graves. Uma das vítimas graves estava grávida e sofreu queimaduras de 2º e 3º graus no braço e no lado direito do rosto. A outra foi atingida por estilhaços de vidro que provocaram um corte profundo no pescoço, próximo à sua carótida. A explosão, que teve intensa divulgação na mídia com impacto à imagem da instituição, acarretou prejuízos financeiros e forte comoção, posto que ocorreu em um andar de trânsito de membros da comunidade acadêmica, onde aulas eram ministradas, e poderia ter causado desastre ainda maior.

1.1 OBJETIVO

Esta dissertação apresenta o estudo de caso sobre o acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE em 2018. Tem como intuito explorar o evento à luz da abordagem de Fatores Humanos e Organizacionais (FHO) e contribuir para a construção de medidas preventivas de acidentes em laboratórios não só na COPPE, como também em outras instituições. O debate sobre os resultados da pesquisa permitirá transformar esse acidente grave em um instrumento de aprendizado que ajude a evitar a ocorrência novas casualidades, contribuindo, assim, para o

desenvolvimento de uma cultura de segurança no PEMM, na COPPE e no Centro de Tecnologia (CT) da UFRJ de forma mais ampla.

Para tal, a pesquisa buscou compreender as diversas causas do acidente. Os acidentes graves, como o estudado nesta pesquisa, independentes de sua magnitude, são sempre eventos de alta complexidade, com causas distintas (DINIZ *et al.*, 2019; REASON, 2016) que englobam aspectos técnicos, humanos e organizacionais, como produtividade, segurança, processo decisório, comunicação, projeto da estação de trabalho, equipamentos, infraestrutura, materiais, normas e procedimentos, estado emocional e de saúde do colaborador etc.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O desenvolvimento desta pesquisa, que analisa o acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE em 2018 por meio da abordagem de FHO, se justifica pela gravidade do evento. Esse tipo de acidente de baixa frequência e alta gravidade frequentemente possui em sua gênese fatores organizacionais (LLORY; MONTMAYEUL, 2014; DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). Como exemplo mencionado na literatura, há o caso da nave Challenger em 1986. A análise do acidente mostrou profundas mudanças organizacionais ocorridas na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) nos anos anteriores ao acidente. Desde então, outras análises de acidentes vêm mostrando como a possibilidade de erros pode aumentar ou diminuir devido a condições latentes relacionadas à gestão e à organização da produção (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

A abordagem de FHO, que busca entender os determinantes do comportamento humano, se relaciona com tudo que facilita ou dificulta uma atividade segura. Estamos na era dos acidentes organizacionais, consequência do avanço tecnológico que transformou os sistemas produtivos e as relações entre as pessoas. Geralmente, esses acidentes, quando ocorrem nas indústrias de alto risco, são graves, de alto impacto, envolvem pessoas de diferentes níveis hierárquicos e quase sempre são catastróficos, não somente para as empresas, mas para a sociedade e o meio ambiente (REASON, 2016).

Llory e Montmayeul (2014) pontuam que o “erro humano” é apenas uma causa imediata detectada após um acidente. Ele não é um ponto de chegada, mas um ponto de partida para se compreender as causas mais profundas de um acidente. De forma a

progredir na segurança, a organização precisa deslocar a ênfase normalmente colocada nos indivíduos e passá-la para as dimensões coletivas e organizacionais da atividade humana que estão na origem dos acidentes.

O acidente objeto desta pesquisa não é o único reportado na UFRJ. Registros de setores de segurança da UFRJ apresentam ainda os seguintes acidentes (detalhados no Apêndice A):

- (i) incêndio durante o processo de carregamento de um reator de polimerização no Laboratório de Modelagem, Simulação e Controle de Processos (LMSCP) do Programa de Engenharia Química (PEQ) da COPPE (2016);
- (ii) acidente durante o manuseio de ácido sulfúrico no Laboratório de Controle de Poluição das Águas (LABPol) do PEQ/COPPE (2015);
- (iii) vazamento do produto químico Bromo no Laboratório de Avaliação e Síntese de Substâncias Bioativas (LASSBio) do Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) no Centro de Ciências da Saúde (CCS) (2015);
- (iv) incêndio por um curto-circuito no Laboratório de Microbiologia do CCS (2014);
- (v) incêndio no Laboratório de Vertebrados do Instituto de Biologia do CCS (2006);
- (vi) incêndio por explosão de duas geladeiras com solventes e reagentes tóxicos no Instituto de Química (IQ) (2004);
- (vii) incêndio em laboratório adjacente atingindo o Laboratório do Departamento de Engenharia Química (LADEQ) da Escola de Química (EQ) (1998).

Embora não se relacionem diretamente ao objeto de estudo desta dissertação, vale ressaltar outros três acidentes ocorridos nos últimos anos na UFRJ, de gravíssimas proporções:

- (i) incêndio no 8º andar do prédio da Reitoria, com perda de diversos documentos e processos administrativos, além da interdição de cinco andares onde se localizavam, e tiveram que ser realocados, diversos setores administrativos e os cursos de Arquitetura e Urbanismo e de Belas Artes (2016);
- (ii) incêndio no Alojamento Estudantil com quatro feridos, sendo um ferimento grave com fratura e outros três leves por inalação da fumaça, e destruição de uma das duas alas que abrigava em torno de 150 alunos (2017);
- (iii) incêndio do Museu Nacional, maior museu de história natural e antropologia do Brasil, com perda do acervo de cerca de 20 milhões de itens (2018).

1.3 ESTRUTURA DO ESTUDO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos. Esta introdução, o primeiro capítulo, contextualiza de forma geral a pesquisa desenvolvida, com objetivos, justificativa da pesquisa e estrutura do estudo. O Capítulo 2 apresenta as principais características da abordagem de FHO e demonstra seu papel na construção de uma cultura segura nas organizações. O segundo capítulo está dividido em oito tópicos: (i) a cultura de segurança; (ii) foco nos eventos de alta gravidade; (iii) os três pilares da cultura de segurança; (iv) dos “comportamentos” à atividade; (v) o “erro humano”; (vi) barreiras de segurança; (vii) evolução da cultura de segurança; e (viii) segurança integrada.

O Capítulo 3 traz o resultado do mapeamento sistemático e da revisão da literatura realizados sobre o tema Acidentes em Laboratórios. São apresentados acidentes e explosões com produtos químicos em laboratórios a partir do ano de 2000, com um breve resumo sobre os fatos ocorridos e uma síntese sobre o que dizem os artigos em relação a ações preventivas após a ocorrência desses acidentes. O capítulo é finalizado com a descrição de casos similares ao ocorrido no estudo de caso desta dissertação, encontrados apenas em pesquisas na Internet.

O Capítulo 4 aborda o referencial metodológico utilizado nesta pesquisa e descreve os procedimentos utilizados no estudo de caso: pesquisa documental, entrevistas, visitas ao laboratório com acompanhamento das atividades e reunião para a construção de medidas preventivas. O quinto capítulo apresenta os resultados da pesquisa: (i) levantamento de acidentes que já ocorreram nos laboratórios da UFRJ e no PEMM; (ii) uso do Nital na prática de análise metalográfica; (iii) atividades principais do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM; e (iv) relato do acidente objeto desta pesquisa.

O Capítulo 6 trata das recomendações construídas com a comunidade do PEMM, visando à melhoria da segurança. Essas recomendações tiveram como base os resultados apresentados no Capítulo 5. Por último, o Capítulo 7 conclui a dissertação com as considerações finais, abordando contribuições e limitações da pesquisa, como também a indicação de trabalhos futuros que podem ser realizados.

2 FATORES HUMANOS E ORGANIZACIONAIS E CULTURA DE SEGURANÇA

Este capítulo apresenta as principais características da abordagem FHO e seu papel na construção de uma cultura de segurança. Está dividido em 8 tópicos: (i) cultura de segurança; (ii) acidentes de alta gravidade; (iii) os três pilares da cultura de segurança; (iv) dos “comportamentos” à atividade; (v) o “erro humano”; (vi) barreiras de segurança; (vii) evolução da cultura de segurança; e (viii) segurança integrada. As principais fontes utilizadas neste capítulo são ICSI (2017); Amalberti (2016); Llory e Montmayeul (2014); Daniellou, Simard e Boissières (2010); e Reason (2016).

2.1 CULTURA DE SEGURANÇA

Após o acidente de Chernobyl na Ucrânia, surge, em 1988, o conceito de cultura de segurança no relatório técnico sobre o resultado da análise desse acidente, produzido pelo *International Nuclear Safety Advisory Group* (INSAG) (AIEA, 1991). No relatório, o conceito foi definido como “um conjunto de características e atitudes em organizações e dos indivíduos que prioriza a segurança das plantas nucleares, visto sua importância” (INSAG, 1988 apud AIEA, 1991, p. 1).

Essa definição coloca em evidência a consideração das falhas organizacionais na questão da segurança. Esse tipo de falha se tornou visível na série audiovisual *Chernobyl*, criada por Craig Mazin (2019), em especial nas cenas da sala de controle na hora do acidente: (i) responsabilidade incumbida pela chefia a um funcionário jovem e novato na empresa de realização de um teste nuclear durante a mudança de turno e em período noturno; (ii) procedimentos escritos com rabiscos, ilegíveis para a realização do teste do reator; (iii) problemas de comunicação entre a chefia e o colaborador; (iv) autoritarismo da chefia, que ignorou a inexperiência do novato e suas colocações; (v) problemas técnicos na desativação do reator no momento do acidente, decorrentes da opção da empresa por processo técnico menos dispendioso. A série mostra questões relacionadas ao maior inimigo da segurança segundo Daniellou (2017): o silêncio organizacional, que ocorre quando decisões estratégicas são tomadas sem levar em consideração dados e informações disponíveis em níveis hierárquicos mais baixos, como na operação.

É possível notar ainda, nos episódios de *Chernobyl*, a negação dos próprios líderes da União Soviética, que tentavam esconder o acidente. As notícias chegavam pela imprensa internacional, e o país só comentou sobre o ocorrido após 18 dias do evento, demonstrando uma forma de agir que não favorece o aprendizado, principalmente em se tratando de um acidente tão grave.

Para o *Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle* (ICSI), “a cultura de segurança é um conjunto de maneiras de pensar amplamente compartilhadas pelos atores de uma organização sobre o controle dos riscos mais graves relacionados às suas atividades” (ICSI., 2017, p. 4). Existem outras definições para cultura de segurança. Algumas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Conceitos de cultura de segurança

Autores	Conceitos
Turner (1989 apud Pidgeon, 1991)	conjunto específico de normas, crenças, funções, atitudes e valores dentro de uma organização, com o objetivo de minimizar a exposição dos empregados, clientes, fornecedores e do público geral das condições perigosas ou que causem doenças
Reason (2016) e Hopkins (2005)	conjunto de pressupostos básicos e valores, compartilhados coletivamente pelos membros da organização, que determinam a estrutura e as práticas coletivas com relação à segurança do trabalho
Cooper (1998)	resultado das interações dinâmicas entre três aspectos: (1) os pressupostos básicos e valores; (2) práticas coletivas; e (3) estrutura da organização
Daniellou, Simard e Boissières (2010)	conjunto de práticas desenvolvidas e repetidas pelos principais atores envolvidos, para diminuir os riscos de seus trabalhos
Sedaoui (2015)	um conjunto simples de práticas entram em cena e formam os blocos de construção reais para uma cultura de segurança
Amalberti (2016)	conjunto do trabalho de todos os colaboradores da organização, por meio de práticas de trabalho rotineiras baseadas no <i>know-how</i> dos colaboradores
ICSI (2017)	conjunto de maneiras de fazer e de pensar completamente compartilhadas pelos autores de uma organização, sobre o controle dos riscos mais graves relacionados às suas atividades

Fonte: elaboração própria.

As definições acima apontam para os valores e riscos compartilhados pelos atores de uma organização e para as práticas desenvolvidas pelas empresas e instituições para reduzir seus riscos e acidentes. Para Daniellou, Simard e Boissières (2010), a cultura de

segurança é um processo coletivo construído e compartilhado por todos na organização, que não se impõe ao indivíduo e nem à organização. ICSI (2017, p. 5) também defendem que “não se decreta uma cultura de segurança, ela se constrói e se vive no dia a dia, nos discursos e nos atos”. Conforme Amalberti (2016), a partir de ações dos gestores e da força de trabalho é possível aprimorar a segurança, mas já os valores que formam uma cultura de segurança não são tão facilmente mudados.

Ainda conforme o ICSI (2017), o nível de importância dado por todos ao controle de riscos refletirá na cultura de segurança da empresa. Além disso, os processos organizacionais são diferenciados e, conseqüentemente, seus riscos também o são. Desde uma explosão até um incêndio, há demanda de gestão de risco específica.

Conforme Reason,

Por fim, é importante ressaltar que, se você está convencido de que sua organização tem uma boa cultura de segurança, é quase certo que esteja enganado. Como um estado de graça, uma cultura de segurança é algo que se busca, mas raramente é alcançado. Como na religião, o processo é mais importante do que o produto. A virtude - e a recompensa - está mais na luta do que no resultado (REASON, 2016, n.p.).

Assim, uma organização deve focar na análise interna de seus processos, de forma a promover melhorias contínuas até atingir um nível de desempenho em segurança favorável. A organização que incentiva práticas seguras, e trabalha por elas, segundo Daniellou, Simard e Boissières (2010), obtém ganhos além da segurança, como reconhecimento social e profissional, melhorias para a saúde do colaborador, entre outros.

A cultura de segurança abordada por Reason (2016), com foco nos processos e nas práticas de trabalho, é similar à visão de cultura de segurança do ICSI (2017), que consideram os aspectos organizacionais como um fator crítico de sucesso para a segurança. O ICSI (2017) menciona a importância de procedimentos bem definidos e de uma preocupação constante e vigilante com a segurança por todos, além da relevância das relações sociais de qualidade.

A organização deve criar coesão entre pessoas e grupos que não compartilham necessariamente os mesmos antecedentes, deveres, poderes, interesses. Para tanto, deve fornecer uma narrativa sobre os objetivos da organização e a forma como são implementados nos processos, de modo que seu significado e relevância sejam claros para cada indivíduo no desempenho de suas tarefas diárias. A integração nunca é completa, nunca totalmente alcançada; e está no centro das interações diárias entre os atores (BESNARD *et al.*, 2018, p. 10).

Um aspecto central para a construção de uma cultura de segurança é conseguir o equilíbrio entre o seguimento das normas e procedimentos (segurança normatizada) e a iniciativa de todos em agir em situações imprevistas (segurança de ação). De acordo com Amalberti (2016), é o comportamento de cumprimento às normas que direciona basicamente a segurança. Porém, existirão situações imprevistas, de risco não esperado e sem tempo hábil para verificar normas. Nesses casos, a recuperação da situação dependerá exclusivamente da capacidade e inteligência do colaborador em atuar adequadamente naquele momento específico.

Mas, ainda assim, há limite para a atuação do colaborador em situações imprevistas, já que o conhecimento por ele utilizado nessas situações não será, muitas vezes, condizente com o conhecimento que foi aplicado quando do projeto do sistema. Por isso, para o ICSI (2017), dada a série de fatores implicados na construção de uma cultura de segurança, se faz necessário um processo contínuo de interação entre todos da organização, com debate, discussão e reflexão sobre os riscos mais significativos envolvidos nas atividades.

2.2 O FOCO NOS EVENTOS DE ALTA GRAVIDADE

Os acidentes maiores ou fatais são os mais preocupantes e são os que devem demandar atenção prioritária dos gestores da organização quanto ao controle de seus riscos (REASON, 2016; ICSI, 2017). Conforme o ICSI (2017, p. 7): “A reflexão sobre os riscos mais importantes integra aqueles que ameaçam os empregados, os prestadores, os clientes, os vizinhos, o meio ambiente, as instalações e a continuidade das operações”.

A Figura 1 mostra um gráfico que posiciona diferentes tipos de acidentes em relação à sua probabilidade e à sua gravidade. Os acidentes mais frequentes são os menos graves, enquanto os eventos de maior gravidade são menos frequentes.

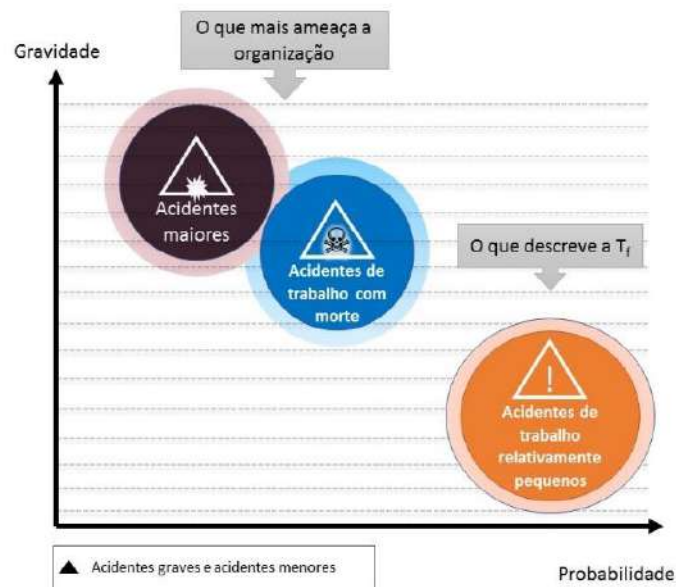


Figura 1 - Acidentes graves e acidentes menores
 Fonte: adaptada de ICSI (2017).

A taxa de frequência (T_f) de acidentes utilizada nas organizações reflete somente os acidentes de menor gravidade, de ocorrência mais frequentes, não incluindo a probabilidade de acidentes graves, raros e que ainda não aconteceram. Portanto, a redução da T_f de acidentes causa um falso sentimento de segurança na organização, uma representação equivocada da realidade (ICSI, 2017). De acordo com o ICSI (2017, p. 6): “O interesse exclusivo na diminuição de T_f pode levar a organização a negligenciar sua preparação contra os riscos mais graves”.

A explosão ocorrida na plataforma de petróleo *Deepwater Horizon* em 2010 no Golfo do México é um exemplo de acidente com interpretação equivocada da verdadeira realidade em relação à política ambiental e de segurança de uma empresa. A multinacional British Petroleum foi elogiada em várias ocasiões por ser um modelo de responsabilidade social corporativa e até ganhou o prêmio *Gold Award* da *American Marketing Association* (MEJRI; DE WOLF, 2013).

Em decorrência dessa explosão, houve 11 trabalhadores mortos e 22 feridos, além de danos ambientais, já que a plataforma ficou dois dias em chama antes de afundar completamente e deixou uma grande mancha de óleo que se espalhou por toda a costa. Para Llory e Montmayeul (2014, p. 35): “A não ocorrência de um acidente grave e as boas performances no cotidiano podem esconder uma realidade mais inquietante. Porque a catástrofe pode estar latente”.

A baixa frequência na ocorrência de acidentes menores não reflete um possível desastre futuro. Sobre isso, o ICSI (2017) cita a pirâmide de Bird, cuja leitura pode ser equivocadamente interpretada, fazendo o leitor crer que existe uma relação entre as categorias de acidentes de diferentes níveis de gravidade, quando na realidade essa relação não existe. Conforme mostra a Figura 2, são poucos os eventos considerados de alto potencial de risco, porém, são com esses que a organização deve se preocupar prioritariamente.

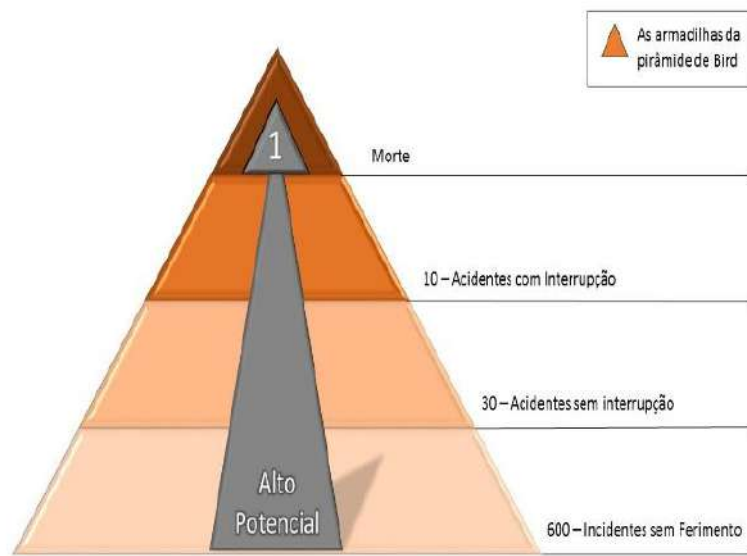


Figura 2 - Pirâmide de Bird
Fonte: adaptada de ICSI (2017).

Quando um acidente grave ocorre, significa que diferentes barreiras de defesa foram rompidas e, portanto, existem falhas nos processos da organização que precisam ser identificadas e tratadas, demandando atenção por parte da empresa. Por sua vez, os acidentes menores, geralmente, decorrem de falhas individuais, o que reflete, nesses tipos de evento, participação mais expressiva de pessoas do que da própria organização (REASON, 2016; LLORY; MONTMAYEUL, 2014; BESNARD, 2017), conforme mostra a Figura 3.

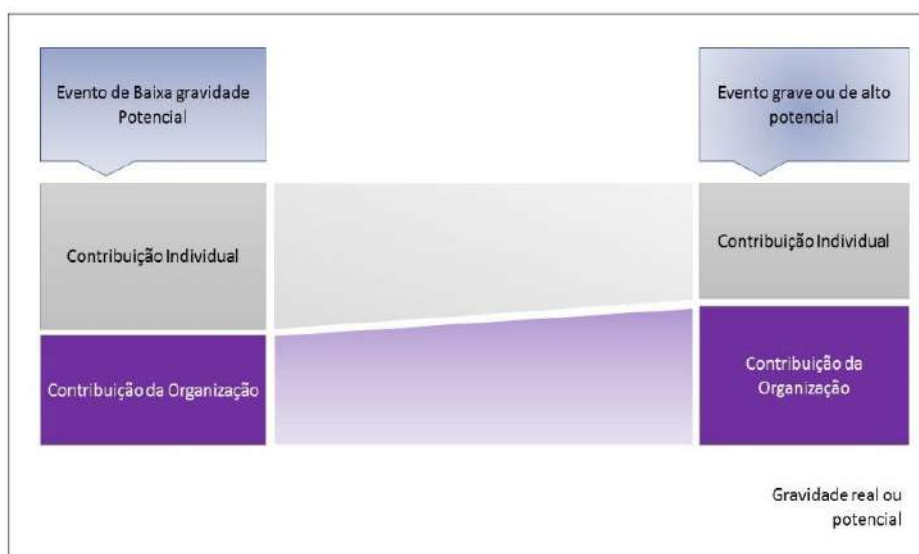


Figura 3 - Contribuição da organização
 Fonte: adaptada de Daniellou, Simard e Boissières (2010).

Para a segurança avançar, portanto, se faz necessário que a empresa identifique os riscos mais graves e presentes nas atividades, direcionando seu foco para esses riscos, dadas as consequências que podem gerar: explosões, incêndios, panes elétricas etc. A identificação desses tipos de risco é crítica para a disseminação de informações sobre eles, pois permite que todos conheçam os que mais ameaçam suas atividades e a própria organização. Os debates e discussões propiciam esse compartilhamento e permitem que se possa buscar as melhores maneiras de agir conforme a situação apresentada (ICSI, 2017).

Essa identificação é possível por meio de análise interna e profunda do processo produtivo e de suas características tecnológicas e organizacionais (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010; LLORY; MONTMAYEUL, 2014; REASON, 2016). Segundo Llory e Montmayeul (2014), a análise de acidentes anteriores permite mapeamento e verificação criteriosa dos processos, fazendo ressaltar os riscos existentes. Além disso, ela favorece a elucidação de situações não observadas anteriormente, já que muitos fatos não são relatados ou divulgados.

Os acidentes graves, portanto, se originam de uma combinação de falhas organizacionais com outras situações que rompe as barreiras de defesa (ICSI, 2017), conforme mostra a Figura 4.

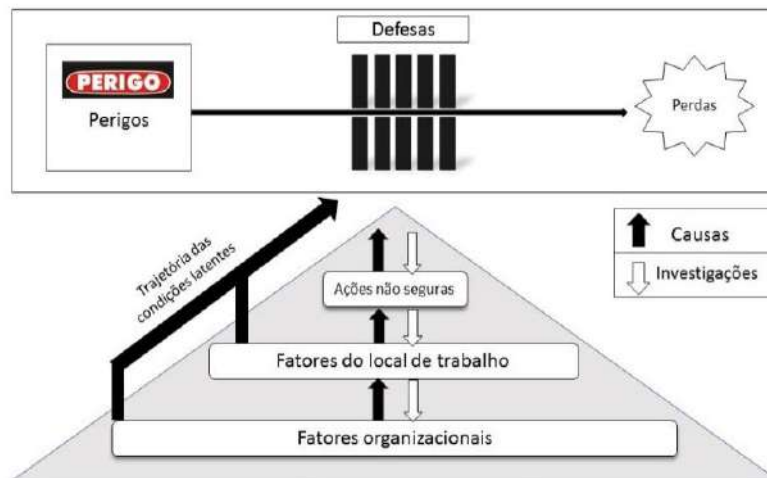


Figura 4 - Estágios de desenvolvimento e investigação de um acidente organizacional
 Fonte: adaptada de Reason (2016).

Os fatores organizacionais estão na base dos acidentes graves. Com isso, existe a necessidade de análise sistêmica da organização, principalmente quanto às tomadas de decisão. Por exemplo, opções técnicas, métodos utilizados para gestão de riscos, política de comunicação de retorno de experiência, investimento em segurança, entre outros, são fatores de impacto na ocorrência de acidentes mais graves (LLORY; MONTMAYEUL, 2014).

Para ratificar a necessidade de observar que os FHO estão presentes nos acidentes graves, o Quadro 2 mostra casos cujas análises sinalizaram dimensões relacionadas à abordagem de FHO (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

Quadro 2 - Acidentes industriais ampliados e implicações para a segurança

Ano	Lugar	Negócio	Fenômeno	Consequências	Dimensões/Riscos FHO
1976	Seveso (Itália)	Usina Química	Nuvem de dioxina	Catástrofe ecológica (70 mil cabeças de animais abatidos)	- Directiva Seveso ¹
1979	Three Mile Island (USA)	Central Nuclear	Vazamento primário	Início de fusão do reator	- Complexidade dos sistemas - Sala de controle - Procedimentos - Efeito túnel - Redundância organizacional
1986	Nave Challenger (USA)	Nave Espacial	Ruptura de junta	Desintegração no momento da decolagem (7 astronautas mortos)	- Causas organizacionais - Consequência da história anterior da organização
1986	Tchernobyl (URSS)	Central Nuclear	Explosão de reator	Vazamento radioativo (50.000 mortos, milhões de pessoas afetadas)	- Pressões produtivas - Controle do processo - Aparecimento da noção de cultura de segurança
1988	Gare de Lyon (França)	Trem	Colisão	56 mortos	Numerosos fatores de concepção e organização
1998	Longford (Austrália)	Usina de Gás	Explosão	2 mortos, 8 feridos, interrupção do fornecimento de gás	Cultura de segurança focalizada em acidentes leves
2003	Nave Columbia (USA)	Nave Espacial	Deteriorização da blindagem térmica	7 mortos, destruição da nave na entrada na atmosfera	Causas organizacionais do acidente da Nave Challenger não tratadas
2005	Texas City (USA)	Refinaria	Explosão	15 mortos, 170 feridos	Utilização de taxas de frequência

Fonte: adaptado de Daniellou, Simard e Boissières (2010).

Acidentes ocorrem mesmo em organizações ultrasseguras e de excelente desempenho, pois grande parte dos eventos com sérias consequências são imprevisíveis,

¹ A identificação de zonas industriais europeias com risco de acidentes graves por substâncias perigosas é regulamentada, historicamente, pelas chamadas Directivas Seveso. A Directiva 96/82/CE, criada em 1982 e revista em 1996, foi substituída em 2015 pela Directiva 2012/18/EU. Ambas as diretivas podem ser acessadas, em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX%3A31996L0082> e <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0018> (acesso em: 8 mai. 2021).

podem acontecer em qualquer fase da etapa operacional e causar poluição ambiental, interrupção na produção, prejuízos financeiros, além de acidentes, explosões, incêndios com ou sem vítimas (LLORY; MONTMAYEUL, 2014). O ICSI (2017) cita que todos os acidentes graves industriais estudados foram causados por fatores totalmente improváveis. Em consonância, Llory e Montamyel (2014) afirmam que não existe risco zero de acidentes: sempre há riscos residuais, inesperados, que, ao ocorrer, podem provocar catástrofes gigantescas.

Quando um acidente grave e de impacto ocorre, o chamado *big-one*, é normal que a mídia o divulgue intensamente. A ocorrência de acidente grave revela o fracasso em segurança da organização (LLORY; MONTMAYEUL, 2014). E a primeira ação da empresa, geralmente, é se preocupar com seu sistema de segurança quando, na verdade, deveria analisar o acidente do ponto de vista técnico, humano e organizacional (AMALBERTI, 2016). Assim, é a partir do debate entre as pessoas da organização sobre os riscos mais graves que existem em suas atividades que haverá motivação para participar da prevenção de acidentes, além do desenvolvimento de sentimento coletivo de responsabilidade pela segurança. Dessa forma, vai sendo construída a cultura de segurança (ICSI, 2017).

2.3 OS TRÊS PILARES DA CULTURA DE SEGURANÇA

De acordo com o ICSI (2017), os três pilares essenciais para o desempenho da segurança são segurança técnica (instalações, equipamentos, manutenção etc.); gestão de segurança (normas e procedimentos); e FHO (Figura 5).



Figura 5 - Os três pilares da cultura de segurança
Fonte: ICSI (2017).

Os pilares se complementam por meio de planejamento técnico, processo de normatização e sistema de gestão que favoreçam uma atividade segura. Um comportamento seguro que atue na prevenção de riscos é garantido, especialmente, quando são considerados os FHO (ICSI, 2017).

A abordagem FHO começou a ser implementada continuamente a partir do surgimento de inovações tecnológicas que trouxeram uma série de riscos (REASON, 2009). Entre as décadas de 1960 e 1980, a prevenção de acidentes se apoiava apenas em aspectos técnicos. Com os acidentes de Seveso (1976) e Three Miles Island (1979), a segurança e a prevenção de acidentes passaram a ser controladas por regulamentações. O acúmulo de normas e procedimentos ocasionou, entre 1980 e 2000, a implementação de sistemas de gestão de segurança (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). Bases da segurança, esses sistemas direcionam a atividade em situações de risco por meio do cumprimento de normas e medidas de prevenção (ICSI, 2017).

As abordagens técnicas e de sistemas de gestão de segurança foram eficazes, em alguns setores, na diminuição do número de acidentes. Porém, a maior parte das empresas atingiu um nível técnico tal de segurança que impossibilitava avanços na redução de falhas (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). De acordo com o ICSI (2017, p. 8): “Progressos foram feitos, mas os resultados em termos de segurança parecem atingir um limite. Para avançar ainda mais, é necessário trabalhar os Fatores Humanos e

Organizacionais – FHO”. Conforme mostra a Figura 6, houve considerável progresso na redução de acidentes com a integração dos FHO na segurança.

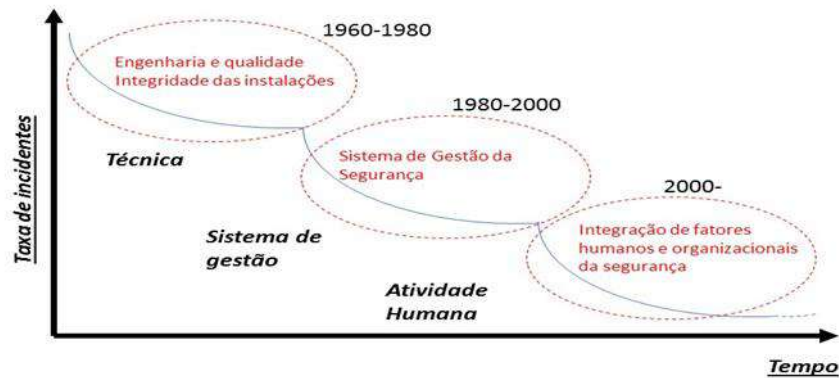


Figura 6 - Abordagens da Segurança Industrial ao longo do tempo
Fonte: adaptada de Daniellou, Simard e Boissières (2010).

A integração da abordagem de FHO permite rastrear as verdadeiras causas dos acidentes, aquelas mais profundas, escondidas nas causas imediatas e que, normalmente, são de caráter organizacional. Cada vez mais, os aspectos humanos e organizacionais precisam ser considerados na segurança para que possam gerar uma verdadeira contribuição na prevenção de acidentes (ICSI, 2017). De acordo com Llory e Montmayeul (2014), os métodos de análise de acidentes que se baseiam na identificação de causas imediatas, geralmente, não conseguem detectar as verdadeiras origens de um acidente. São ineficazes em revelar FHO presentes na origem dos eventos, visto que somente descrevem a sequência dos fatos ocorridos.

Mas o que significa integrar FHO na segurança? De acordo com o ICSI (2017), significa considerar questões inerentes ao indivíduo (valores, crenças, formação, competência, inteligência); aos coletivos de trabalho (qualidade das relações sociais); à situação de trabalho (organização do trabalho, ambiente, infraestrutura, equipamentos); e à gestão e organização (papel dos gestores, ajuste das regras, tratamento participativo), conforme mostra a Figura 7.



Figura 7 - Fatores humanos e organizacionais

Fonte: adaptada de ICSI (2017).

Em relação ao indivíduo, ressaltam-se seus aspectos fisiológicos. Uma vez que as pessoas não possuem um mesmo estado emocional e físico todos os dias, esses aspectos terão impacto em sua capacidade de agir, rápida e adequadamente, em situações de risco (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). Não é possível impor determinado comportamento, porém pode-se prevê-lo a partir da observação de situações vivenciadas pelo indivíduo no ambiente de trabalho. Essas situações podem favorecer ou não um comportamento seguro (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

Há, portanto, necessidade de ação direta na situação de trabalho, e não no comportamento. É a situação de trabalho que direciona o comportamento, e não o inverso. Não é o indivíduo que deve se adequar ao ambiente de trabalho, mas o ambiente que deve estar adequado à realização da atividade a ser desempenhada. O ambiente de trabalho é um aspecto organizacional que possui impacto direto na segurança. Condições inapropriadas de trabalho, como as relativas a projeto da estação de trabalho, equipamentos, normas, organização de escalas, carga horária, por exemplo, podem causar comportamento propício a falhas ou erros e, conseqüentemente, a ocorrência de um acidente (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

Outra situação com impacto na segurança é a qualidade das relações de trabalho, entre pessoas da mesma equipe ou de equipes diferentes, entre equipes e chefias etc. Uma comunicação saudável entre todos que permita discutir e compartilhar riscos, de forma a

antecipá-los, contribui para a prevenção de acidentes (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). O *savoir-faire* do colaborador, ou seja, seu saber fazer, provém da experiência adquirida no ambiente de trabalho. Esse conhecimento precisa interagir com o sistema de gestão da organização. A segurança progride a partir do nível de oportunidade dado pelas lideranças ao colaborador para o devido relato das situações de risco vivenciadas por ele (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). Assim, abordar FHO significa entender que todos devem contribuir para um comportamento seguro, e, dessa forma, fazer evoluir o processo de cultura de segurança nas organizações.

2.4 DO COMPORTAMENTO À ATIVIDADE

Quando ocorre um acidente, geralmente, as empresas tendem a procurar sua causa em algum “erro” do colaborador, em algum tipo de comportamento individual considerado inadequado a determinados padrões definidos. Ao tratar da questão da segurança, é frequente a noção de que o comportamento seguro é aquele que segue as normas, o “comportamento de conformidade” (ICSI, 2017). Esse tipo de comportamento pode atender situações de risco previstas, mas não situações inesperadas que irão demandar a inteligência do colaborador em agir adequada e rapidamente para tentar evitar o acidente (ICSI, 2017).

É nesse contexto que a abordagem de FHO direciona o foco da organização, passando-o do comportamento para a atividade humana. Nessa mudança de visão, a preocupação com a segurança repousa nas condições de trabalho encontradas pelo indivíduo para desempenhar sua atividade (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

Ao observar um indivíduo realizando uma determinada atividade, percebe-se apenas a parte visível de seu comportamento: postura, gestos, movimentos, modos operatórios, verbalizações etc. Porém, existe uma parte do comportamento cujos fatores não são observáveis, como aspectos organizacionais e aspectos humanos de caráter cognitivo, psíquico e social (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010), conforme a Figura 8.

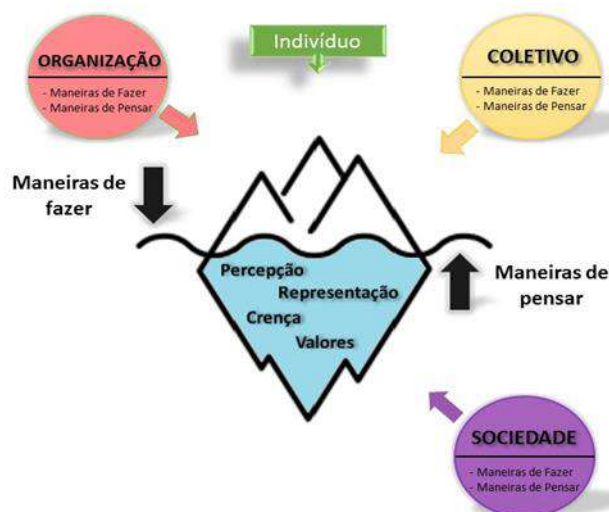


Figura 8 - O iceberg da atividade
 Fonte: adaptada de ICSI (2017).

A realização de uma tarefa demanda esforços físicos e mentais, além de envolver outros aspectos humanos e organizacionais que terão impacto direto na condução da atividade, como normas, equipamentos, meio ambiente, organização do tempo de trabalho, estado físico e mental, *know-how*, relações sociais, formação, competências, habilidade, motivações, valores individuais e coletivos, recursos disponíveis, abertura para discussão com líderes. Dependendo das condições do ambiente de trabalho, o indivíduo pode ficar disperso, estressado, desanimado, cansado, irritado etc. Ou seja, um ambiente inadequado pode desestabilizar o indivíduo, fazendo com que ele provoque um acidente (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

A situação que o operador tem que gerir e controlar é sempre única: mesmo se a operação prescrita é habitual, alguns fatores são específicos a essa atividade: a meteorologia, a hora e o dia da semana, o estado das instalações montante ou a jusante, materiais utilizados, uma ação de manutenção próxima, uma composição não habitual da equipe, a mudança de um procedimento, uma válvula emperrada, etc. (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010, p. 30).

O entendimento da dinâmica de uma atividade, dos processos organizacionais, das situações de trabalho aumenta as possibilidades de resultados concretos e positivos em relação à segurança. Muitas análises de acidentes mostraram que a maioria é ocasionada por atividades propensas a erros. Portanto, o problema está no âmbito coletivo e não no individual (REASON, 2016). De acordo com Daniellou, Simard e Boissières (2010, p.

25): “um comportamento observado, em dado momento, é apenas o resultado de uma atividade complexa”. Ou seja, o comportamento é uma consequência e não uma causa.

2.5 O “ERRO HUMANO”

De acordo com Reason (2016), o conceito do “erro humano” surgiu com o acidente de Three Mile Island, cuja causa foi atribuída à falha – ou falhas sucessivas – de um ou mais operadores. Porém, a comissão de investigação do acidente evidenciou diferentes falhas no sistema organizacional de segurança dos Estados Unidos, de forma global. Reason (2009), ainda, ultrapassa a questão da culpabilidade, do “erro humano”, e reforça a questão dos erros inerentes às próprias atividades e aos processos organizacionais.

Escondidas sob a noção de “erro humano”, existem outras causas próprias do local de trabalho, conhecidas como falhas locais, que podem ser técnicas, gerenciais, de projeto das estações de trabalho etc. E na base das causas locais há causas mais amplas, as chamadas causas organizacionais, relacionadas à gestão da empresa como um todo, de forma sistêmica e globalizada.

As causas organizacionais podem ser advindas do processo decisório; do gerenciamento de processos críticos; das relações custo vs. qualidade vs. segurança; do desempenho econômico-financeiro, social e ambiental; de problemas de comunicação interna entre diversos níveis hierárquicos; de uma cultura de segurança não amadurecida etc. Como o crescimento de uma onda, as causas organizacionais irão impactar as causas locais, e estas, conseqüentemente, terão impacto nas causas diretas, que são consideradas como “erros humanos” (REASON, 2009).

Durante a década de 1980, cientistas, como Perrow, Sagan, Vaughan, Turner e Pidgeon, Llory e Becker, mostraram restrições quanto à atribuição a um erro humano da causa final de um acidente. Os autores sinalizaram a existência de um período de incubação do acidente, no qual as falhas organizacionais ou latentes vão se disseminando, invadindo e deteriorando os processos organizacionais até conseguirem romper todas as barreiras e provocar um desastre (REASON, 2016).

A ‘essência do acidente normal’ é: a interação de múltiplas falhas que não estão em uma sequência operacional direta. A maioria dos acidentes normais tem um grau significativo de incompreensibilidade [...]. ‘Falhas... podem interagir com

outras falhas e, portanto, ser uma fonte de acidentes no sistema...’ (PERROW, 1984, p. 2)

James Reason (2009), na conclusão de seu livro *The Human Error*, escreve:

Nas pesquisas futuras sobre o erro humano, será necessário cobrir tanto as falhas organizacionais como as falhas humanas [...]. São os fatores sociais e institucionais que, agora, representam a ameaça maior para nossa segurança. Mas talvez tenha sido sempre assim (REASON, 2009, p. 387).

Segundo Llory e Montamyoul (2014), o conceito de “erro humano” não justifica sozinho os acidentes e incidentes. Uma real contribuição será oportunizada pelo questionamento das situações de trabalho, como nos orienta a Ergonomia.

O acidente não é, fundamentalmente, revelador do erro do operador, não mais que da fragilidade técnica: ele revela a disfunção do conjunto da organização – ou pelo menos de uma parte substancial dessa (LLORY; MONTMAYEUL, 2014, p. 35).

Portanto, imputar a causa de um acidente ao erro humano não evitará outros acidentes e, tampouco, contribuirá para a segurança. Os fatores subjacentes ao “erro” continuarão não sendo desvendados e, com isso, as verdadeiras causas permanecerão escondidas. O mesmo ocorre em relação à criminalização do erro humano, quando se responde criminalmente pelo acidente. É uma forma, muitas vezes, da empresa se isentar da responsabilidade pelo acidente e concluir o assunto. Não precisará, assim, se preocupar em rever seus processos internos para detectar as verdadeiras causas do acidente.

Esse tipo de atitude, além de não contribuir para a evolução da segurança, provoca silenciamento, que impede a descoberta das causas reais do acidente e, conseqüentemente, o aprendizado sobre o acidente (DEKKER, 2003; DARETS, 2018). Segundo Dekker (2003), para a segurança evoluir, é necessário que ultrapassar a questão da culpabilidade e partir para uma visão sistêmica da organização. O mais importante é verificar o porquê de uma possível conduta insegura. Conforme o ICSI (2017, p. 9): “O erro humano é muitas vezes invocado para explicar os acidentes, porém, o erro não é a causa básica, é uma consequência de outros defeitos da organização”.

Além disso, há diferenciação entre erros, violações e falhas. O erro e a violação são distintos em relação à voluntariedade do ato em si. Existe violação quando, voluntariamente, resolve-se não seguir um procedimento ou norma. “**Um erro jamais é voluntário**” (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010, p. 61, grifo do autor). Ainda conforme Daniellou, Simard e Boissières (2010), a palavra *fault* em inglês significa

defeito ou falha, se referindo a um material, portanto, seu emprego não cabe como referência de culpa ou erro humano.

Rasmussen (1983) criou o modelo *Skill, Rule and Knowledge* (SRK), que correlaciona três modos diferentes de erro de acordo com a cognição humana: (i) erros baseados nas habilidades, aqueles provenientes de ações que já são realizadas de forma automática (70 a 80%); (ii) erros baseados nas regras, aqueles que permitem uma atuação eficaz sem questionar seu “porquê”, mas que em situações imprevistas não se consegue cumprir (15 a 20%); e (iii) erros baseados nos conhecimentos – raros e graves, aqueles que ocorrem em situações que não são normatizadas e, portanto, dependerão da implementação do conhecimento da pessoa, fato que pode não acontecer.

De acordo com Daniellou, Simard e Boissières (2010), a organização tem duas opções quanto ao papel do colaborador para a segurança: (i) um indivíduo que pode ser visto como um risco pelos erros que pode cometer; e (ii) um facilitador da segurança que pode contribuir positivamente, dependendo das condições de trabalho que são a ele oportunizadas, além de formação adequada. De acordo com o relatório do *Columbia Accident Investigation Board* (CAIB):

Muitas investigações de acidentes não avançam muito. Elas identificam a causa técnica do acidente e o associam a uma variante do ‘erro do operador’, o operador que colocou incorretamente a porca, o engenheiro que calculou incorretamente as forças, o gerente que tomou a decisão errada (CAIB, 2003, v. 1, p. 97 apud LLORY; MONTMAYEUL, 2014, p. 44).

Para Dien, Llory e Montmayeul (2004), anteriormente, o acidente era visto como decorrência de falhas técnicas ou erros humanos, mas esse conceito foi mudando ao longo dos anos e, atualmente, o acidente é visto como fruto de situações históricas e organizacionais.

2.6 BARREIRAS DE SEGURANÇA

As atividades são executadas por pessoas, logo, suas ações e decisões terão correlação direta com os acidentes. E isso pode ocorrer (i) por erros ou violações, que são ações individuais com impacto direto na organização e de consequências imediatas, as chamadas falhas ativas; e (ii) por condições latentes, falhas organizacionais, oriundas da própria gestão e que criam oportunidades para os erros individuais, as falhas ativas

(REASON, 2016). As condições latentes podem ser projeto inadequado, falhas de gerenciamento, problemas na manutenção, treinamento insuficiente, equipamentos obsoletos ou indisponíveis etc. e podem permanecer por anos na empresa até se somarem às falhas ativas e causarem um acidente (REASON, 2016).

Para assegurar um sistema de segurança robusto que evite acidentes, resistindo aos rompimentos causados por falhas ativas e latentes, é necessário estabelecer diferentes tipos de barreiras de proteção, criadas a partir de práticas de segurança individuais e organizacionais (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). O modelo do Queijo Suíço de Reason (2016) representa as diferentes barreiras para prevenção de acidentes em uma organização, conforme mostra a Figura 9. Nele, os furos do queijo ilustram os rompimentos que vão sendo causados nas barreiras de defesa da organização pelas falhas ou condições latentes – as organizacionais – e pelas falhas ativas.

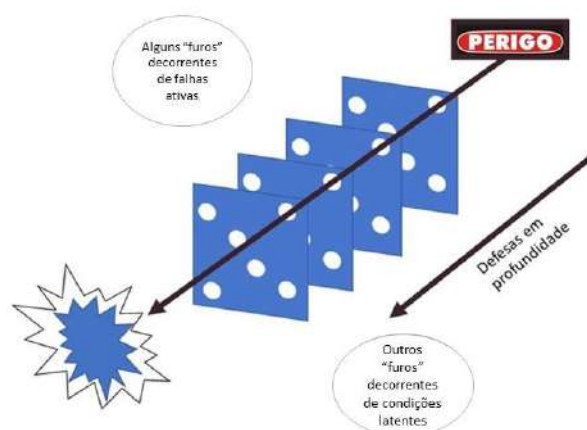


Figura 9 - Modelo do Queijo Suíço de Reason
Fonte: adaptada de Reason (2016).

Percebe-se no modelo que o acidente ocorre quando as condições latentes se unem às falhas ativas e ambas conseguem romper todas as barreiras. A Figura 10 mostra qual seria a situação ideal para que as barreiras não fossem rompidas pelas condições latentes ou ativas. Mas, a teoria do acidente normal de Perrow (1984) diz que, independente da altura que se empilha as fatias de queijo, não se consegue desalinhar os furos de forma que as barreiras não sejam rompidas, o que está em consonância com Reason (2016).

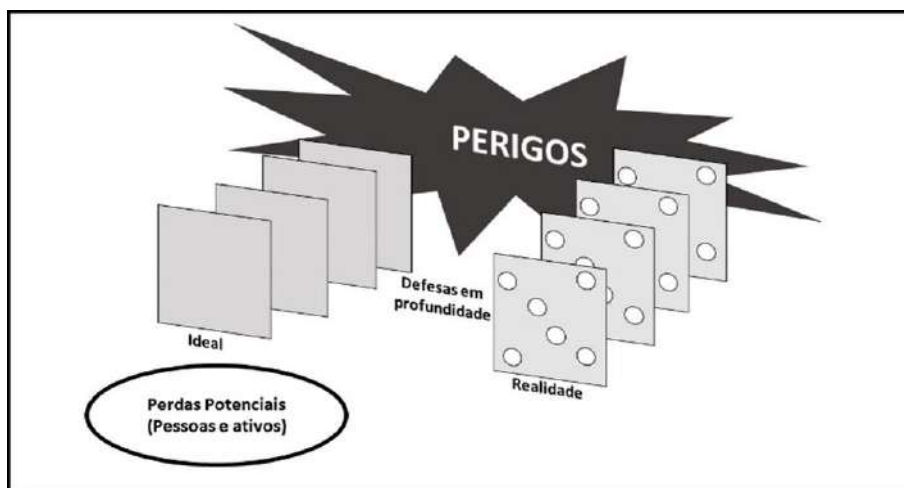


Figura 10 - O ideal e a realidade das defesas

Fonte: adaptada de Reason (2016).

Ou seja, as barreiras não podem ser consideradas totalmente confiáveis, a ponto de uma empresa não precisar se prevenir dos acidentes; barreiras podem falhar. Desastres de grandes proporções já ocorreram em organizações consideradas ultrasseguras. Por isso, há necessidade de detectar que falhas latentes e ativas conseguiram romper as barreiras de defesa da segurança (REASON, 2016), já que as barreiras de defesa são eficazes em situações de risco esperadas, mas não o são em situações imprevistas. Essas situações dependerão da capacidade de iniciativa da pessoa em agir e da capacidade de resiliência da organização (REASON, 2009). Esta última diz respeito à:

[...] sua capacidade de antecipar, detectar precocemente e de responder, adequadamente a variações do funcionamento do sistema em relação às condições de referência, objetivando minimizar seus efeitos sobre a estabilidade dinâmica (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010, p. 19).

É comum que o sistema de segurança não acompanhe o nível de evolução dos sistemas operacionais, visto que, normalmente, o sistema de segurança é projetado quando da concepção do sistema operacional. Ou seja, não evolui no mesmo passo do sistema operacional, o que torna necessárias a avaliação e a correção do sistema de segurança para que as barreiras de defesa estejam adequadas ao sistema operacional atualizado (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

2.7 EVOLUÇÃO DA CULTURA DE SEGURANÇA

Para a cultura de segurança evoluir, é necessário que a organização passe de um sistema de cultura gerencial para uma cultura de segurança integrada (ICSI, 2017). Mas o que seria uma cultura de segurança integrada? De acordo com o ICSI (2017), essa cultura diz respeito a um ambiente onde todos interagem para criar um sentimento compartilhado de responsabilidade pela segurança. E isso é possível por meio de lideranças que se interessem em conhecer os riscos observados pelos colaboradores e, principalmente, os problemas encontrados em relação às condições de trabalho.

A visão integrada em relação à segurança é responsabilidade de todos (ICSI, 2017). Para uma cultura de segurança integrada, é necessário que a liderança interaja, efetivamente, com todos. Ela deve ser presente e forte, dando exemplos de conduta em relação à segurança. A Figura 11 mostra quatro categorias de cultura de segurança, dependendo da importância dada à segurança pelos colaboradores e pela gerência.

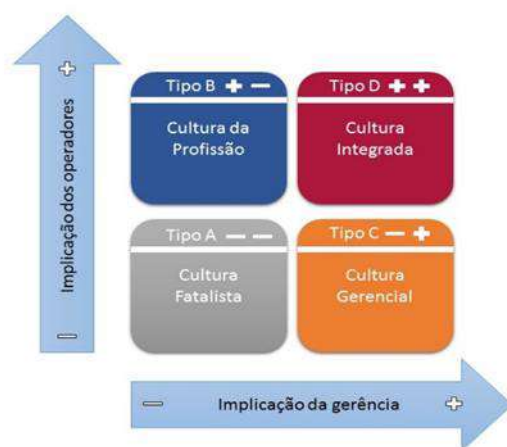


Figura 11 - Tipos de cultura de segurança segundo Marcel Simard

Fonte: adaptada de ICSI (2017).

Na cultura fatalista proposta por Marcel Simard (apud ICSI, 2017), os acidentes são vistos como situações inevitáveis, sem possibilidade de interferência. Na cultura da profissão, é reconhecido o *know-how* dos colaboradores, com pouca interferência dos gerentes; exatamente o oposto da cultura gerencial, que coloca nos gerentes a responsabilidade pela transmissão de normas e procedimentos para garantir a segurança. A cultura de segurança integrada divide a responsabilidade do desempenho da segurança entre os gerentes e os operadores (ICSI, 2017).

Para a cultura de segurança evoluir, é preciso, primeiramente, que se avalie seu nível de maturidade. Isso pode ser feito por meio de observações e da aplicação de entrevistas, questionários e *check-lists* (ICSI, 2017). Após a ocorrência de um acidente, a empresa logo pensa em instituir uma cultura de segurança. No entanto, não é possível estabelecer uma cultura de segurança do dia para a noite. A construção da cultura de segurança depende, fundamentalmente, da importância dada por todos à questão da segurança. O que a comunidade pensa, faz e como faz em relação à segurança, além da conscientização de que as situações de trabalho têm papel preponderante, é o que influenciará esse processo (ICSI, 2017).

Dessa forma, os gestores precisam interagir com os colaboradores, compreendendo seus comportamentos, participando da realidade do trabalho, aprendendo com as experiências, ouvindo dificuldades, opiniões e sugestões. Assim, a organização conseguirá atuar mais eficazmente na gestão e evoluir em termos de segurança. A participação de todos em debates, especialmente construindo medidas preventivas de forma coletiva, contribuirá com esse processo evolutivo da segurança, a partir de mudanças tanto na gestão organizacional como na forma que as pessoas enxergam a segurança. É um processo lento e que vai sendo construído por todos (BESNARD, 2017).

2.8 SEGURANÇA INTEGRADA

A mudança da concepção de cultura gerencial (*top-down*) para uma cultura integrada vai depender do nível de participação de todos, independente de nível hierárquico, na contribuição de medidas preventivas e no empenho para a melhoria contínua da segurança.

A **palavra dos trabalhadores** é determinante na abordagem organizacional. [...] [Eles], vivendo no interior de um sistema sociotécnico, são os mais aptos a analisar (pelo menos em parte) as anomalias, os déficits, as incoerências e os perigos, e em todo caso, a alertar sobre eles (LLORY; MONTMAYEUL, 2014, p. 137, grifo do autor).

A organização precisa se planejar para atuar nas seguintes linhas de frente: estratégia, atores e processos. Cada linha de ação é estratificada em atributos que são essenciais para uma cultura de segurança integrada. A Figura 12 mostra os sete atributos fundamentais da cultura de segurança integrada.



Figura 12 - Atributos da cultura de segurança integrada
Fonte: adaptada de ICSI (2017).

Conforme o ICSI (2017, p. 18): “Para dirigir-se até uma cultura de segurança integrada, se deve misturar uma abordagem estratégica, uma vontade de mobilizar todos os atores e uma escolha reduzida de alguns processos chaves sobre os quais trabalhar”. A organização deve manter o foco nas seguintes estratégias: identificar os riscos mais graves; conseguir um equilíbrio entre as normas e o *know-how* das pessoas; e trabalhar os aspectos técnicos, de gestão de segurança e, principalmente, os FHO (ICSI, 2017).

A promoção de uma cultura que preze pela melhoria contínua dos processos, incentivando a vigilância compartilhada dos riscos, é atributo da terceira estratégia supracitada, além da preocupação em conhecer as causas organizacionais que podem causar acidentes e do estabelecimento de uma política de reconhecimentos e de sanções se necessário for (ICSI, 2017). Dessa forma, integrar segurança, ambiente e cultura é fundamental para a melhoria do ambiente de trabalho e para a redução de acidentes (GONÇALVES; ANDRADE; MARINHO, 2011). “A abordagem pela cultura de segurança propõe melhorar a performance em segurança trabalhando os fundamentos do funcionamento da organização” (ICSI, 2017, p. 21).

3 ACIDENTES EM LABORATÓRIOS

Neste capítulo é apresentado o resultado do mapeamento sistemático e revisão de literatura no tema Acidentes em Laboratórios. O mapeamento sistemático da literatura foi realizado como ferramenta para fundamentação teórica sobre o tema de estudo (PROENÇA; DA SILVA, 2016; DA SILVA, 2014; 2009). As questões que direcionaram o processo de mapeamento sistemático da literatura se referem a quais acidentes já ocorreram em laboratórios e que ações de prevenção foram tomadas após a análise dos acidentes. Todas as etapas do processo de mapeamento sistemático estão apresentadas no Apêndice B.

Como resultado do mapeamento sistemático, foram selecionados 15 artigos, apresentados no Quadro 3, onde são elencados acidentes e explosões relacionados a produtos químicos, ocorridos em laboratórios de diferentes instituições a partir do ano 2000. Em seguida, há um breve resumo sobre os fatos concernentes aos acidentes e uma síntese sobre o que dizem os artigos em relação às ações preventivas após a ocorrência desses acidentes. Fechando este capítulo, são apresentados casos similares ao caso estudado nesta pesquisa, encontrados apenas em buscas na Internet.

Quadro 3 - Artigos resultantes do mapeamento sistemático da literatura

CHANCE, B. S. Case study: Reaction scale-up leads to incident involving bromine and acetone. Journal of Chemical Health & Safety, v. 23, p. 2-4, 2016.	
MÉTODO DE ANÁLISE: simulações de reações com os produtos químicos utilizados no acidente	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Alteração da escala de uma reação por um pesquisador	(i) Recomendações técnicas sobre o preparo da reação (ii) Apresentação das causas imediatas do acidente e etapas de mitigação de risco aos Comitês de Segurança dos Departamentos (iii) Publicação de resumo sobre os fatos ocorridos e lições apreendidas em relação ao preparo da reação para distribuição aos laboratórios e departamentos (iv) Inclusão do acidente no treinamento obrigatório do curso de segurança para laboratórios: avaliação de risco básica, incluindo todas as etapas de um procedimento de preparo de reação

SHIH, C; HORNG, R. S., LEE, S. Investigation of Lab Fire Prevention Management System of Combining Root Cause Analysis and Analytic Hierarchy Process with Event Tree Analysis. Mathematical Problems in Engineering. v. 1, p. 1-12, 2016.	
MÉTODO DE ANÁLISE: abordagem combinada de ferramentas de gestão de análise de causa raiz (RCA), processo de hierarquia analítica (AHP) e análise de árvore de eventos (ETA) ²	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Erro operacional (ii) Erro humano (iii) Defeito do equipamento (iv) Liberação inadequada de material inflamável	(i) Métodos de prevenção de incêndios por produtos químicos, como ação de controle prioritária na prevenção de acidentes (ii) Reforço nas inspeções da manutenção e da segurança (iii) Projeto dos equipamentos (iv) Aprimoramento técnico (v) Utilização de ferramenta de análise de causa para mitigação de riscos de incêndios
BANERT, K.; RICHTER, F.; HAGEDORN, M. Chemical Safety Note: Explosion Hazard during the Distillation of Propargyl Thiocyanate. Organic Process Research & Development, v. 19, p. 1068-1070, 2015.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise da reação por método químico análise térmica diferencial (DTA) ³ e calorimetria de reação isotérmica	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Condições térmicas inadequadas, com formação de produto químico altamente explosivo	(i) Recomendações técnicas sobre o preparo adequado da reação (ii) Reforço do uso de equipamentos de proteção individual (EPI), inclusive máscara de proteção facial

² A análise de causa raiz (RCA) é uma ferramenta de gestão que permite a descoberta das causas dos problemas, propondo as soluções pertinentes. O processo de hierarquia analítica (AHP) é utilizado na tomada de decisão e baseado em critérios qualitativos e quantitativos, desdobrando os problemas complexos em mais simples e hierarquizando as decisões. A análise de árvore de eventos (ETA) é um método indutivo que, a partir de um evento inicial, mostra todos os resultados oriundos dele, em escala de baixo para cima, e avalia quais os impactos que podem ocorrer.

³ DTA é um método termoanalítico de análise térmica diferencial para realizar medições contínuas de uma amostra e de um material de referência termicamente inerte, conforme ambos vão sofrendo aquecimento ou resfriamento.

GIBSON, J. H.; SCHRODER, I.; WAYNE, N. L. A research university's rapid response to a fatal chemistry accident: Safety changes and outcomes. Journal of Chemical Health & Safety, p. 19-26, 2014.	
MÉTODO DE ANÁLISE: inspeções em mais de 300 laboratórios, salas de armazenamento de produtos químicos e em setores do Departamento de Química e Bioquímica	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Problemas operacionais (ii) Problemas de armazenamento e controle de produtos químicos (iii) Ausência de documentação (iv) Descentralização da comunidade acadêmica	(i) Criação de uma forte cultura de segurança (ii) Sensibilização da comunidade acadêmica (iii) Lista de verificação de inspeção padronizada (iv) Coleta de dados por meio da Ferramenta de Avaliação de Risco de Laboratório (LHAT) ⁴ (v) Treinamento de segurança no laboratório (vi) Aprimoramento dos quesitos de responsabilidade e supervisão por meio de inspeções programadas (vii) Inspeções programadas para medição do nível de radiação e questões de biossegurança (viii) Inspeções pela equipe de Saúde, Meio ambiente e Segurança (SMS) sobre o uso de EPI (ix) Verificação e inspeção do comportamento do colaborador em relação ao seguimento de normas e procedimentos
LAURENT, A.; PERRIN, L.; DUFAUD, O. Investigation and Analysis of an Explosion in a Research Laboratory at a French University. Chemical Engineering Transactions, AIDIC, 36, p. 7-12, 2014.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise de possíveis causas raízes relacionadas aos aspectos técnicos	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Série de práticas inseguras que se tornaram práticas aceitas	(i) Recomendações quanto ao armazenamento de produtos químicos (ii) Observação de seleção e montagem de equipamentos (iii) Aplicação integral de regulamentos próprios para ambientes explosivos (iv) Instalação de equipamentos técnicos de prevenção (v) Implementação de procedimentos operacionais claros (vi) Listas de verificação para todas as etapas do procedimento

⁴ *Laboratory Hazard Assessment Tool (LHAT)* é uma ferramenta de gestão para avaliação de risco de laboratório criada pela UCLA como parte de seu compromisso com a cultura de segurança.

AYDOGDU, C.; YARDIMCI, E.G. Accidents Occured in Elementary Science Laboratories and Teachers' Behaviour Manners toward theses Accidents. Journal of Education, p. 52-60, 2013.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise de casos semelhantes em notícias de jornais locais e nacionais	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Desconhecimento sobre correta intervenção em casos de contato com produtos químicos (ii) Descuido durante o experimento (iii) Uso de equipamentos pelos alunos nas experiências sem o controle dos professores (iv) Desconhecimento sobre como desenvolver maneiras de se agir e se comportar diante dos riscos de um experimento	(i) Regras para uso de produtos químicos e de laboratórios, além de precauções de segurança (ii) Orientações sobre a necessidade de trabalho supervisionado pelos professores (iii) Disponibilidade de informações básicas sobre os materiais de teste (iv) Informações aos alunos pelos professores sobre as propriedades dos produtos químicos
JENSEN, N., JORGENSEN, S. B. Learning Safety Assessment from Accidents in a University Environment. Chemical Engineering Transactions, v. 31, 2013.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise de segurança do processo do acidente ocorrido durante o trabalho experimental	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Ausência de gestão de segurança (ii) Autonomia dos docentes na condução das pesquisas (iii) Falta de métodos formais de compartilhamento de conhecimento entre os diferentes grupos de pesquisa	(i) Sistemas de avaliação de risco para novas configurações experimentais e para uso de produtos químicos durante o trabalho experimental por meio da aplicação de formulários (ii) Desenvolvimento de projeto para implantação de barreiras de defesa técnicas, conforme referencial teórico
LEE, K. W.; LEE, J. S. A Study on the Analysis of Accident Cases in Laboratories. Journal of the Korean Institute of Gas, v. 16, n. 5, p. 21-27, 2012.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise sistemática de acidentes de laboratórios por meio da aplicação de questionários com questões sobre as características dos acidentes	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Causas diversas provenientes de problemas no sistema de gestão de segurança (ii) Falta de treinamentos	(i) Análise sistemática dos acidentes (ii) Observação das normas de segurança (iii) Foco em uso de EPI (iv) Regras de segurança específicas para gestão de produtos químicos
WILK, H. J.; CURNOW, W. J. Lab Safety and the UCLA Accident. Chemical & Engineering News. Washington/EUA, v. 90, p. 4, 2012.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise técnica do dispositivo (seringa) que causou o acidente	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Falha no dispositivo técnico (seringa)	(i) Divulgação de novos dispositivos técnicos, como adaptadores de segurança para seringas (ii) Treinamentos de segurança (iii) Implementação de sistema de gestão de segurança

EOM, S. H.; LEE, S. K. A Study on Analysis of Laboratory Accident with Root Cause Analysis. Journal of the Korean Institute of Gas, v. 14, n. 4, 2010.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise da causa raiz do acidente	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Vazamento de gás	(i) Promulgação de lei com foco no sistema de gestão de segurança (ii) Conscientização da comunidade acadêmica
TRAGER, R.; UCLA Researcher dies after tragic lab accident. Chemistry World., v. 6, p. 6, 2009.	
MÉTODO DE ANÁLISE: análise pela descrição dos fatos e dados sobre o acidente	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Violações de regras de segurança (ii) Dificuldades com treinamentos (iii) Ausência de supervisão	(i) Revisão completa dos protocolos de segurança (ii) Orientação sobre o preparo de compostos e uso de equipamentos (iii) Protocolos de treinamento
DEMICHELA, M. Self-triggering reaction kinetics between nitrates and aluminium powder. Journal of Hazardous Materials, v. 148, p. 241-252, 2007.	
MÉTODO DE ANÁLISE: repetição da experiência que causou o acidente com as mesmas matérias primas para análise cinética da mistura produzida	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Autoaquecimento de pequena quantidade da mistura (ii) Produção manual sem critérios rigorosos de controle e inspeção inerentes à um sistema de gestão de segurança	Procedimentos sistemáticos por meio da implementação de sistema de gestão de segurança
ROVNER, S. S. Using accidents to educate. Chemical & Engineering News, v. 85. p. 29-30, 2007.	
MÉTODO DE ANÁLISE: utilização de dispositivos sensíveis de monitoramento do ar para detecção de contaminação do ambiente por produtos químicos	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Causa imediata tratada como exposição química, mas que se tratava de crise alérgica sofrida pela vítima por intoxicação alimentar	(i) Procedimentos técnicos de gestão de segurança, como elaboração de mapas digitais de localização de produtos químicos perigosos (ii) Sistema interno de comando por ativação quando da ocorrência de acidente
CHURCHILL, D.G. Chemical structure and accidental explosion risk in the research laboratory. Journal of Chemical Education, v. 86, p. 1798-1803, 2006.	
MÉTODO DE ANÁLISE (DO RISCO): protocolos para testes de risco de explosão, principalmente, para novos compostos ou materiais	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
Novos compostos com propriedades explosivas que não são testados previamente	(i) Observador durante a realização das experiências (ii) Trabalho em pequena escala (iii) Evitação de secagem e aquecimento de compostos perigosos, como, percloratos e peróxidos (iv) Equipamentos de proteção, como escudo de proteção facial completo, avental de proteção espesso e resistente ao fogo, luvas (v) Extintor de incêndio acessível

STEPHENSON, A. L.; EST, S. S.; WEESTERLUND, J. F.; NELSON, N.C. An Analysis of Incident/Accident Reports from the Texas Secondary School Science Safety Survey. School Science and Mathematics, v. 103, n. 6, p. 293-303, 2003.	
MÉTODO DE ANÁLISE: pesquisa realizada a partir da elaboração de relatórios de acidentes ocorridos	
CAUSA(S) PRINCIPAL(IS)	AÇÕES PREVENTIVAS
(i) Superlotação de salas e laboratórios (ii) Indisciplina (iii) Falta de equipamentos (iv) Instalações científicas inadequadas (v) Ausência de treinamento de segurança	(i) Laboratórios com poucos alunos (ii) Contratação de professores já treinados (iii) Desenvolvimento de política escrita de segurança (iv) Realização de treinamentos em segurança (v) Criação de política de gerenciamento com os alunos

Fonte: elaboração própria.

A partir da revisão da literatura, percebe-se que a ocorrência de acidentes em laboratórios de instituições acadêmicas ou acidentes com produtos químicos não é incomum. Segundo Wilk e Curnow (2012), a segurança ainda não é vista como prioritária nos laboratórios dos campi, diferentemente do que ocorre nas empresas de ponta da indústria química.

Chance (2016) aborda um caso de acidente com um pesquisador que, durante o preparo de uma reação química no laboratório, resolveu substituir água por acetona para lavar o substrato sólido. Dada a presença de resíduo de bromo, essa substituição provocou uma reação instantânea, que ocasionou lesões ao pesquisador. Após a análise do acidente, foram propostas as seguintes recomendações técnicas para o preparo da reação: (i) formalizar as etapas do processo de preparo dessa solução; (ii) utilizar EPI; e (iii) avaliar o risco de cada etapa do processo antes de proceder o preparo da reação.

A universidade elaborou ainda um resumo detalhado das causas do acidente e possíveis medidas de mitigação de risco para envio aos Comitês de Segurança dos Departamentos de Química e Engenharia. Esse resumo também foi publicado no boletim da universidade, contendo as lições aprendidas com o acidente, e distribuído aos laboratórios e departamentos. Outras ações foram realizadas, como: (i) utilização do caso do acidente no treinamento obrigatório do Curso de Segurança para Laboratórios; e (ii) várias repetições do experimento, após o incidente, substituindo a lavagem com acetona pela lavagem com acetonitrilo puro e seco (CHANCE, 2016). Conforme Chance (2016), a universidade não relatou nenhum método no qual as causas do acidente tivessem sido analisadas aprofundadamente, de forma a se entender a real motivação do pesquisador para a mudança realizada na fase de lavagem do preparo do experimento.

Shih, Horng e Lee (2016) mencionam que as operações realizadas em laboratórios são perigosas. Apontam que muitas universidades têm implementado sistemas de gestão de segurança, saúde e meio ambiente, mas, ainda assim, os acidentes continuam a ocorrer, sendo a maioria incêndios. Os autores ressaltam que 25 incêndios graves já ocorreram em laboratórios de Taiwan, desde 1997, acarretando prejuízos financeiros consideráveis e perda de muitos anos de pesquisa. Em seu artigo, propuseram uma nova abordagem de análise de causa de acidentes que consiste na combinação das ferramentas de gestão de análise de causa raiz (RCA), processo de hierarquia analítica (AHP) e análise de árvore de eventos (ETA), de forma a aprimorar o conceito de risco, o processo de tomada de decisão e a probabilidade de ocorrência de acidentes. O método foi aplicado em 139 casos de incêndios, a fim de evidenciar as causas dos acidentes e propor estratégias de prevenção nos laboratórios.

O resultado detectou como causas principais: reação descontrolada; erro operacional; defeito em equipamentos e liberação de material inflamável. Após análise dessas causas, foram propostas as seguintes ações preventivas: (i) formular uma estratégia de controle de incêndios por produtos químicos; (ii) fortalecer práticas de inspeção de manutenção e de segurança; e (iii) projetar os equipamentos. Também foi proposto o aprimoramento do sistema técnico com a instalação de detector de incêndio, aspersor automático e extintor no laboratório (SHIH; HORNG; LEE, 2016).

Banert, Richter e Hagedorn (2015) relatam uma explosão em um laboratório de uma universidade alemã, em 2010, ocorrida durante condução de experimento que envolvia destilação do produto químico tiocianato de propargila por um aluno. O acidente causou destruição de partes dos equipamentos, arremessando estilhaços por todo o local. O aluno, que não sofreu danos sérios, recebeu um choque direto em seu rosto. Mas, como usava óculos de proteção, não sofreu lesões oculares. A causa foi identificada por testes técnicos de calorimetria e DTA, que detectaram aumento súbito de pressão. Foram propostas recomendações técnicas para o preparo da reação, como o uso adicional de máscara facial.

Gibson, Schroder e Wayne (2014) abordam ações que foram implementadas pela Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA) após a ocorrência de um acidente químico em dezembro de 2008. A UCLA mudou seu programa de segurança de acordo com as recomendações dadas pelo Departamento de Segurança Química dos EUA: (i) criar uma forte cultura de segurança; (iii) tratar da sensibilização e formação da

comunidade; (iii) melhorar a gestão administrativa e de projetos; e (iv) reter informação documentada. As mudanças na UCLA ocorreram, fundamentalmente, em três níveis: (i) na liderança acadêmica e administrativa da Universidade; (ii) no programa de inspeção de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS) nos processos de coleta de dados; e (iii) nos aspectos de conformidade aos regulamentos de segurança a serem seguidos pela comunidade de pesquisa.

Foram implementadas as seguintes ações de melhoria do programa de segurança do laboratório: (i) lista de verificação padronizada para inspeção; (ii) coleta de dados por meio da Avaliação de Risco de Laboratório (LHAT); (iii) treinamento de segurança em laboratório, visando a fortalecer questões de responsabilidade e supervisão; (iv) programação de inspeções de segurança em laboratório, principalmente para medição de nível de radiação e biossegurança; e (v) inspeções da equipe de SMS sobre uso de EPI e comportamento de conformidade por parte do pesquisador. De acordo os autores, as mudanças feitas no programa de segurança deram resultados positivos, como mudança favorável no comportamento das pessoas em relação ao cumprimento das normas e regulamentos de segurança nos laboratórios, com uso de EPI e conclusão de treinamentos. Essas melhorias também exigiram participação em todos os níveis da universidade, desde a liderança até pesquisadores (GIBSON; SCHRODER; WAYNE, 2014).

Laurent, Perrin e Dufaud (2014) descrevem um acidente por vazamento de gás de etileno ocorrido em um prédio de laboratórios de pesquisa da Instituição Nacional de Ensino Superior em Química de Mulhouse (ENSCMu) da Universidade de Haute Alsace (França) em 2006. A violenta explosão provocou um incêndio que durou cinco horas. Um professor morreu, e um jovem ficou gravemente ferido, além de outras 20 pessoas que sofreram lesões. Houve vários danos ao laboratório onde ocorreu o acidente e a outros laboratórios do prédio, com prejuízo em torno de 25 milhões de euros. O som da onda de choque foi ouvido a 10 km de distância.

De acordo com Laurent, Perrin e Dufaud (2014), a análise do acidente se restringiu aos aspectos técnicos. A investigação definiu como causa do acidente a falta de método para identificação de riscos de eventos indesejáveis. Porém, segundo os autores, as causas subjacentes não foram citadas em detalhes na literatura. Uma pessoa foi considerada culpada por homicídio involuntário e negligência pela Suprema Corte francesa, com pena de prisão de 18 meses e multa de oito mil euros. Para Laurent, Perrin e Dufaud (2014), é comum se colocar a responsabilidade pelo acidente na pessoa que está conduzindo a

pesquisa. Após o acidente, foram dadas as seguintes recomendações: (i) orientações sobre o processo de armazenamento de produtos químicos; (ii) observação da seleção e montagem de equipamentos; (iii) aplicação integral de regulamentos próprios para ambientes explosivos; (iv) instalação de equipamentos técnicos de prevenção de acidentes; (v) implementação de procedimentos operacionais claros; e (vi) listas de verificação para todas as etapas de um procedimento (LAURENT; PERRIN; DUFAUD, 2014).

O artigo de Aydogdu e Yardimci (2013) apresenta como objetivo de estudo a investigação de acidentes ocorridos em laboratórios de escolas de ensino básico, para detectar as causas desses acidentes e propor medidas preventivas. Para a pesquisa, foram selecionados casos divulgados na mídia. Os autores mencionam que a maioria dos acidentes é proveniente de diferentes tipos de explosões; por exemplo, da utilização de tubos de experimentos; da difusão de produtos químicos; da evolução de gases; da quebra de ampolas, vidros e tubos etc. A pesquisa revelou as seguintes causas para os acidentes selecionados: (i) desconhecimento sobre os produtos químicos; (ii) desconhecimento sobre a correta intervenção em casos de contato com produtos químicos; (iii) descuido durante o experimento; (iv) uso dos equipamentos pelos alunos sem o controle dos professores; (v) desconhecimento sobre maneiras de se agir e se comportar diante dos riscos de um experimento (AYDOGDU; YARDIMCI, 2013).

Para alguns acidentes analisados na pesquisa, Aydogdu e Yardimci (2013) fizeram as seguintes recomendações específicas: (i) regras para uso de produtos químicos; (ii) orientações sobre a necessidade de supervisão pelos professores dos trabalhos dos alunos; (iii) disponibilidade de informações básicas sobre os materiais de teste; (iv) informações, pelos professores, sobre as propriedades dos produtos químicos aos alunos; (v) comunicação dos professores sobre as regras de uso dos produtos químicos; e (vi) comportamento apropriado do professor em relação à orientação e ao controle de alunos do ensino fundamental para o preparo de experimentos em laboratórios de ciências. Os autores apontam, ainda, a pouca quantidade de pesquisas sobre medidas a serem tomadas em caso de acidente. Também, comentam sobre a importância da divulgação das causas dos acidentes, principalmente, com o intuito de se criar um ambiente de trabalho mais seguro nos laboratórios (AYDOGDU; YARDIMCI, 2013).

Jensen e Jorgensen (2013) descrevem como o Departamento de Engenharia Química e Bioquímica da *Technical University of Denmark* (DTU) iniciou um processo

de aprendizado a partir de acidentes ocorridos durante o trabalho experimental. O artigo apresenta cinco incidentes, sem maiores danos, ocorridos nos laboratórios da universidade, que viabilizaram a análise de aspectos de segurança envolvidos nos processos dos eventos. Segundo os autores, a gestão de segurança adequada e o compartilhamento de conhecimentos entre os grupos de pesquisa poderiam ter evitado os incidentes ou reduzido suas consequências.

Jensen e Jorgensen (2013) mencionam que muitos incidentes decorrem da autonomia que os professores possuem para conduzir suas pesquisas. A partir desse aprendizado e com base em sistemas de análise de risco aplicados nas indústrias, a DTU implementou um procedimento sistemático de avaliação de segurança para a realização de qualquer novo experimento, que consiste na aplicação de dois formulários: (i) de avaliação de segurança química, com descrição de cada produto químico a ser utilizado no experimento, para garantir que o pesquisador e o aluno tomem ciência das informações químicas do produto; e (ii) de avaliação de segurança experimental, com descrição da configuração do experimento em detalhes para que outra pessoa possa entender suas funções básicas. Conforme os autores, a melhoria do interesse dos atores participantes das instituições acadêmicas em relação à avaliação de segurança acarretou a criação de um projeto de prevenção de acidentes.

Lee e Lee (2012) abordam um método de análise sistemática de acidentes ocorridos em laboratórios de instituições e universidades na Coreia. O método consistiu na aplicação de questionários com questões de sazonalidade, classificação do acidente, tipo de ocorrência, objetos causadores e danos ocorridos. A pesquisa, feita em universidades e institutos de pesquisa públicos e privados, foi conduzida por meio de visitas e ligações telefônicas e via internet de janeiro de 2006 até junho de 2011. O resultado revelou descuido de pesquisadores, defeitos em equipamentos e falta de equipamentos de proteção, além do fato de que alguns acidentes estavam relacionados a explosões por produtos químicos. O estudo, que tinha o objetivo de analisar as respostas dadas nos questionários para propor medidas preventivas, chegou às seguintes recomendações: (i) melhorar o conhecimento sobre gestão de segurança do laboratório; (ii) observar as normas de segurança; (iii) realizar treinamentos de segurança; (iv) utilizar equipamentos de proteção; (v) estipular regras de segurança específicas para produtos químicos; e (vi) proceder uma gestão de produtos químicos (LEE; LEE, 2012).

O artigo de Wilk e Curnow (2012) aborda um acidente ocorrido na UCLA, em 2008, e foca na importância do compartilhamento de informações entre a comunidade acadêmica sobre patentes existentes, visando a contribuir em aspectos da segurança. Para tratar do tema, os autores comentam sobre dispositivos de segurança usados em seringas para evitar a possível saída do êmbolo e, assim, o contato do pesquisador com o produto químico. Além disso, os autores questionam se um professor deve ser acusado criminalmente após a ocorrência de um acidente, se ameaças de consequências individuais poderiam contribuir para a conscientização de que a eficácia de um programa de segurança nos laboratórios depende do compromisso de cada um e de todos da universidade.

Wilk e Curnow (2012), a partir da experiência de Curnow como aluno e profissional, relatam que existe ausência de informações aos alunos sobre os riscos do trabalho em laboratório. Por exemplo, em seu caso, apenas as recebeu durante seu curso de pós-graduação, quando precisou manusear substâncias mais perigosas. Porém, a real percepção quanto aos riscos somente ocorreu quando se tornou estagiário em uma empresa e precisou cumprir um programa de treinamento antes de ter acesso aos laboratórios. Os autores também ressaltam que, quando Curnow se tornou empregado em uma grande empresa petroquímica, houve a percepção de maior intensificação do tema sobre segurança. Era incentivado o compartilhamento de responsabilidade entre todos. Os incidentes eram registrados, investigados e tratados como forma adicional de melhoria.

Em outro estudo, Eom e Lee (2010) apontam que explosões ou incêndios, que podem ser acidentes fatais devido aos produtos químicos perigosos usados em laboratórios de universidades na Coreia, tornaram-se um problema social. Tanto que foi promulgada uma lei sobre Estabelecimento de Ambiente Seguro de Laboratório, com foco na gestão da segurança e a finalidade de conscientizar a comunidade acadêmica. Porém, para os autores, não basta somente ter um sistema de gestão, é necessário que se faça análises da causa raiz dos acidentes.

O artigo de Trager (2009) relata o acidente ocorrido em 29 de dezembro de 2008 na UCLA, que ocasionou a morte de uma assistente de pesquisa. Ela trabalhava com o produto químico pirofórico, t-butilítio, um composto que inflama em exposição ao ar. A vítima, ao manusear uma seringa para retirar uma quantidade de reagente, puxou, acidentalmente, todo o êmbolo, fazendo com que o ar entrasse e gerasse uma chama de

fogo que atingiu suas luvas e seu suéter. A assistente sofreu queimaduras de segundo e terceiro graus em mais de 40% de seu corpo foi hospitalizada e faleceu 18 dias depois.

Segundo o diretor do Comitê de Segurança Química da *American Chemical Society*, a assistente de pesquisa de 23 anos violou regras de segurança ao trabalhar desacompanhada no laboratório, sem uso de EPI adequados, como o jaleco (TRAGER, 2009). A ocorrência desse acidente gerou questionamento sobre a falta de treinamento e supervisão, assim como problemas de desconhecimento sobre as características do material de trabalho e a forma de prepará-lo. Com isso, a UCLA revisou seus procedimentos e deu apoio para que órgãos reguladores independentes procedessem uma investigação. Conforme Trager (2009), o encarregado de conformidade e segurança ambiental da UCLA, Sr. Robert Latsch, comentou: “Minha esperança é que isso desperte a consciência sobre os perigos de se trabalhar em um laboratório de química”.

Por sua vez, Demichela (2007) relata a explosão ocorrida em um laboratório de uma empresa de fogos de artifícios que destruiu quase todos os laboratórios do estabelecimento, em efeito dominó. Deu-se uma reação descontrolada na fase sólida durante o sistema de produção, o qual era conduzido de forma manual e sem seguir critérios de controle de sistema de gestão de segurança. Essa foi a causa detectada para o acidente. Posteriormente, foram conduzidos outros testes que provaram que uma distribuição desigual de água nas substâncias causou o aquecimento no sistema, o que poderia ter sido evitado por um simples agito da substância (DEMICHELA, 2007).

Rovner (2007), em seu artigo, aborda a questão da condução da situação no momento em que um acidente ocorre, incluindo o tratamento dado ao evento e o processo de descoberta da causa. O autor relata um caso em que o acidentado é tratado pelos bombeiros e funcionários da empresa como se tivesse sofrido uma exposição química, pois a vítima apresentava vermelhidão no rosto após ter passado perto de um laboratório. Depois de quatro horas da chegada do corpo de bombeiros e da ida do acidentado ao hospital, foi descoberto que a causa era uma simples alergia a amendoim, que tinha sido ingerido algum tempo antes pela “vítima”. O incidente trouxe a oportunidade de se observar outras questões, como a falta de registros nos produtos químicos, o que impedia que fossem encontrados rapidamente. Além disso, a empresa, uns dias antes da ocorrência do “acidente”, tinha convidado os bombeiros para uma visita, a fim de mantê-los informados sobre suas atividades de risco. Acreditavam que assim qualquer situação adversa seria melhor controlada, visto que os bombeiros estariam mais preparados.

Com o evento, vieram à tona diversas falhas nos processos organizacionais, o que mostrou a necessidade de se considerar a segurança, principalmente, na etapa da execução do processo de produção e não apenas a segurança do resultado da produção, ou seja, do produto. Pelas dificuldades encontradas, a empresa percebeu a necessidade de algumas ações preventivas, como a implementação de procedimentos de sistema de gestão com a elaboração de mapas digitais para facilitar a localização dos produtos químicos, além da criação de um sistema interno de comando a ser ativado quando da ocorrência de um acidente (ROVNER, 2007).

Rovner (2007) ainda menciona dois casos similares de acidentes ocorridos em laboratórios, relacionados ao descarte de produto químico feito diretamente na pia por alunos de pós-graduação. Um desses eventos não causou maiores consequências, porém o outro causou um grande desastre. O comportamento de risco por parte do aluno, que não cumpriu as etapas de segurança previstas, e o desconhecimento dos riscos foram as causas definidas para o acidente grave.

O artigo de Churchill (2006) não aborda um acidente em específico. Trata, no entanto, da questão da estrutura química dos produtos e seus riscos de explosão em laboratórios. Diariamente ocorrem novas pesquisas com novas composições que possuem alto potencial explosivo, e que, portanto, precisam ser testadas previamente quanto ao risco de explosão. Conforme Churchill (2006), explosão é qualquer transformação súbita que ocorre nos materiais, causando grande emissão de gases e levando a efeitos mecânicos. Algumas explosões são decorrentes de mudanças de fase durante o preparo da reação ou por um aumento severo de pressão ou de temperatura, ocasionando quebra ou estouro de frascos ou garrafas. Por isso, os possíveis riscos de explosão detectados durante os testes devem ser conhecidos por todos. Todas as substâncias do grupo nitro – por exemplo, TNT, nitroglicerina e “C4” (composto principalmente de ciclotrimetilenotrinitramina) – têm risco de explosão (CHURCHIL, 2006).

O autor cita algumas precauções necessárias para o trabalho em laboratórios: (i) ter a presença de um observador durante o preparo da reação; (ii) trabalhar em pequena escala; (iii) evitar a secagem e aquecimento de compostos (por exemplo, percloratos e peróxidos); (iv) usar EPI, como máscaras, aventais, luvas etc.; e (v) ter um extintor de incêndio acessível no laboratório. Além disso, Churchill (2006) aponta que a literatura sobre acidentes com explosões ainda é muito escassa, sendo os acidentes normalmente divulgados por meio de “cartas de segurança” para editores de revistas e periódicos.

O estudo de Stephenson *et al.* (2003) investigou pontos críticos de segurança nos laboratórios de escolas do ensino médio no Texas (EUA). A pesquisa se deu a partir de relatos sobre alguns acidentes ocorridos, com a devida produção e emissão de seus respectivos relatórios. A maioria desses acidentes provocou queimaduras ou cortes por vidro. Com a análise dos relatórios, foram recomendadas ações preventivas como: (i) uso de laboratórios com número reduzido de alunos; (ii) contratação de professores já treinados; (iii) desenvolvimento de política de segurança escrita; (iv) realização de treinamentos em segurança; e (v) criação de política de gerenciamento de laboratórios. Conforme os autores, é necessário para a segurança um ambiente sem comportamentos considerados inseguros.

Todos os 15 artigos elencados acima abordam aspectos de sistema de gestão de segurança, com estabelecimento de normas e procedimentos formais para garantir o estabelecimento de processos de segurança. É interessante notar que, apesar de questões de treinamento e uso de equipamentos de proteção serem requisitos obrigatórios em normas de sistema de gestão de segurança, alguns autores as citaram especificamente. Chance (2016); Banert, Richter e Hagedorn (2015); Gibson, Schroder e Wayne (2014); e Lee e Lee (2012) comentaram sobre o uso de equipamentos de proteção individual e coletiva; enquanto Gibson, Schroder e Wayne (2014); Wilk e Curnow (2012); Trager (2009); e Stephenson *et al.* (2003) abordaram questões relacionadas a treinamentos de segurança, reforçando que devem ser direcionados a todos que executam atividades em laboratórios.

Dos 15 artigos, seis focaram em aspectos técnicos da segurança (SHIH; HORNG; LEE, 2016; GIBSON; SCHRODER; WAYNE, 2014; LAURENT; PERRIN; DUFAUD, 2014; JENSEN; JORGENSEN, 2013; WILK; CURNOW, 2012; e ROVNER, 2007). Destes, os autores Shih, Horng e Lee (2016) e Jensen e Jorgensen (2013) exploraram a questão dos projetos técnicos, principalmente, de equipamentos e de barreiras de defesa.

Poucos autores, como Gibson, Schroder e Wayne (2014); Aydogdu e Yardimci (2013) e Churchill (2006), mencionaram questões comportamentais da segurança. Os aspectos citados se relacionavam ao comportamento do professor em relação à disseminação de informação, supervisão e orientação do trabalho do aluno no laboratório. Os autores reforçam que um comportamento adequado inclui o controle do uso de EPI, a conformidade às normas e a necessidade da presença de um observador nas pesquisas em laboratórios.

No artigo de Gibson, Schroder e Wayne (2014), chama a atenção, especificamente, duas recomendações dadas à UCLA pelo Departamento de Segurança Química dos EUA, relacionadas ao processo de construção de cultura de segurança: (i) criação de uma forte cultura de segurança; e (ii) tratamento da sensibilização da comunidade acadêmica. Conforme os autores, a UCLA, tomando como base todas as recomendações recebidas, implementou ações de melhoria do sistema de gestão de segurança, incluindo treinamentos e inspeções não programadas nos laboratórios, visando à conscientização da responsabilidade em relação à segurança. Dessa forma, obteve resultados positivos e rápidos (GIBSON; SCHRODER; WAYNE, 2014). Portanto, é bem provável que a UCLA tenha tomado as melhorias do sistema e gestão como fator crítico de sucesso para o fortalecimento de uma cultura de segurança.

Chance (2016) aborda o fator de compartilhamento dos riscos, citando ações como a divulgação do acidente por meio de publicação com descrição dos fatos ocorridos e etapas de preparo da reação, para distribuição aos laboratórios e departamentos. E, ainda, a inclusão do caso do acidente no treinamento obrigatório do Curso de Segurança para laboratórios, de forma a avaliar e discutir os riscos.

Conforme mostra a literatura e já discutido anteriormente, uma abordagem focada no sistema de gestão de segurança com a consideração de normas e procedimentos até contribuíram para a redução na frequência de acidentes ao longo do tempo, mas não de forma progressiva. A taxa de frequência se estagnou em alguns setores, não impedindo novos eventos (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010). Nesse contexto, cabe a reflexão sobre o fato de todos os 15 artigos sobre acidentes em laboratórios tratarem questões sobre melhorias de sistema de gestão de segurança, porém, poucos autores, conforme aponta o levantamento, abordaram questões ligadas a aspectos técnicos – seis autores – ou relativas a aspectos comportamentais – três autores. Ressalta-se que são a partir de aspectos técnicos e comportamentais que se detectam os FHO que podem causar grandes desastres. (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIÈRES, 2010).

O foco dado ao sistema de gestão de segurança pode ser explicado por alguns possíveis motivos: (i) a perpetuação da abordagem de segurança de empresas de alto nível de risco, as quais, pela natureza e criticidade de seus negócios, precisam ser ultranormatizadas; (ii) os sistemas de gestão de segurança nos laboratórios ou nas próprias instituições podem ainda não estar suficientemente consolidados e, dessa forma, as organizações avaliam que ainda há espaço para a promoção de melhorias. Se uma

organização considera que sua comunidade acadêmica ainda não está totalmente compromissada com as normas do sistema de gestão ou se acredita que esse sistema ainda requer aprimoramento, naturalmente, ocorrerá um processo de intensificação dos procedimentos de formalização dos processos organizacionais.

Porém, essa concepção com foco no sistema de gestão de segurança demanda certa avaliação quanto a: (i) sua eficiência para, efetivamente, impedir eventos reincidentes ou novos; (ii) sua representação como barreira de defesa, também, em eventos inesperados; (iii) uma real necessidade de melhorias; e (iv) o nível de impacto de FHO para um comportamento de conformidade às normas. Esse tipo de análise viabilizará a expansão do campo de visão e atuação da empresa, permitindo a identificação dos FHO envolvidos em seus processos, principalmente aqueles que estão relacionados aos aspectos técnicos e comportamentais.

Vale a pena retomar o Quadro 2 - Acidentes industriais ampliados e implicações para a segurança, constante na seção 2.2 desta dissertação. Empresas nucleares, químicas, petroquímicas, de aviação, consideradas de alto nível de risco, geralmente ultranormatizadas, ainda assim, tiveram acidentes. Ressalta-se que, pela análise desses acidentes, foi possível evidenciar riscos organizacionais embutidos nos processos dessas empresas e que contribuíram para a ocorrência desses eventos. Também, que todos os aspectos abordados nos artigos sobre acidentes em laboratórios elencados nesta seção, sejam eles técnicos, comportamentais ou de sistema de gestão, possuem dimensão humana e organizacional que, portanto, precisa ser levada em consideração quando da ocorrência de um acidente.

Em relação aos acidentes em laboratórios, a abordagem de FHO permite que a instituição compreenda que as causas imediatamente visíveis e identificadas após um acidente podem mascarar aquelas inerentes à gestão da organização. São estas que precisam ser identificadas e tratadas, visto o potencial de impacto que possuem na segurança. O olhar de uma instituição deve ser direcionado para a revisão de suas práticas de trabalho, de seus processos organizacionais, principalmente os decisórios, que impactam o comportamento e a atividade humana.

Para avançar em termos de prevenção de acidentes em laboratórios, é fundamental a interlocução entre a abordagem de FHO e todos os aspectos que envolvem a segurança. O ponto dessa interlocução é a atividade humana, a atividade que é realizada em determinadas condições de trabalho. Portanto, a organização, para considerar os FHO na

segurança, precisa focar na atividade a ser realizada e, conseqüentemente, nas condições de trabalho oferecidas para essa execução. Em outros termos, deve-se avaliar se as instalações, estações de trabalho, barreiras de defesas e equipamentos são projetados e mantidos de acordo com as necessidades das pessoas para a realização de uma atividade segura. Lima e Duarte (2014) citam que a integração da análise da atividade em projetos de engenharia possibilita o retorno da experiência das situações existentes ao projeto de novas situações, sem minimizar a complexidade da realidade do trabalho.

Os equipamentos para a pesquisa precisam estar disponíveis e adequados para o uso, assim como os produtos e os equipamentos de proteção individual e coletivos. Os procedimentos precisam ser claros, bem definidos e discutidos por todos. É necessário que seja continuamente incentivado, discutido e estabelecido um canal de comunicação entre os gestores e a comunidade do laboratório, de forma que as pessoas possam relatar as dificuldades encontradas nas rotinas de trabalho, suas experiências, riscos observados, ideias, sugestões de melhoria e necessidades de ajustes em procedimentos para que a atividade se concretize. Os alunos, os técnicos, os professores, os estagiários, os pesquisadores que atuam nos laboratórios conhecem as dificuldades encontradas nesse ambiente e podem discutir sobre os métodos mais adequados de prevenção em relação à realidade vivida.

Do lado humano, há que se considerar o estado emocional e físico da pessoa para a execução da atividade. Esses fatores são mutáveis e influenciam a realização da atividade. Por isso devem, ser levados em conta, posto que estarão refletidos no comportamento das pessoas em um laboratório. É preciso que todos reconheçam que a segurança depende dos atos de todos a cada dia, são as atitudes coletivas seguras que irão determinar um ambiente seguro e livre de acidentes. No entanto, não é factível impor um comportamento seguro ou uma cultura de segurança. Esta é obtida pelas práticas de trabalho individuais e coletivas realizadas de forma segura. Para isso, é necessário discutir os principais riscos, os acidentes que ocorreram e, com isso, contruir medidas preventivas coletivamente.

O acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ, objeto desta pesquisa, se deu durante o preparo do Nital – mistura de ácido nítrico e etanol –, reagente de ampla utilização em ligas metálicas comuns de ferro carbono para verificação de suas microestruturas. Não foram encontrados artigos sobre esse tipo de acidente nas bases de dados analisadas – Web of Science, Google

Scholar, Amazon e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Além de um relato de um professor da EQ da UFRJ, as únicas referências de casos similares foram encontradas por busca na Internet com palavras-chave como Nital, acidentes com Nital, explosões Nital, ácido nítrico e etanol. Uma das referências encontradas foi um handbook da *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

As referências encontradas na Internet sobre acidentes relacionados ao Nital são apresentadas a seguir:

a) Incidente em laboratório na Universidade de Waterloo⁵

Um aluno de doutorado estava trabalhando com Nital. Logo que o processo foi concluído, o aluno buscou como poderia descartar o resíduo e excesso de Nital. No fim do dia, o aluno tinha aproximadamente 200 ml de resíduo de Nital. Ele depositou o rejeito em um recipiente de resíduos que já continha entre 100 a 200 ml de uma solução composta de 50% de ácido nítrico e 50% de água. O recipiente foi rotulado com essa mistura e deixado em um armário durante a noite. No dia seguinte, o recipiente de resíduos estava completamente arrebentado e o conteúdo espalhado na capela.

b) Acidente com aluno graduação ao transferir ácido nítrico para o frasco da reação⁶

Um aluno de graduação estava realizando uma reação de nitração dentro de uma capela e queria adicionar ácido nítrico à reação. Transferiu, então, o ácido nítrico para um béquer e deste para um cilindro graduado. E daí para o frasco de reação. Após dois minutos, o aluno sentiu uma sensação de formigamento no antebraço e enxaguou a área por um tempo aproximado de 20 minutos. Ele estava usando luvas de nitrilo, jaleco Nomex e óculos de segurança.

⁵ Disponível em: https://uwaterloo.ca/safety-office/sites/ca.safety-office/files/uploads/files/explosion_from_inappropriate_disposal_of_Nital_in_nitric_acid_container.pdf. Acesso em: fev. 2021.

⁶ Disponível em: <https://ehs.usc.edu/research/lab/lessons-learned-archives-041918/#hno3-2>. Acesso em: fev. 2021.

c) Professor é atingido por explosão de Nital na *City of Bristol College*⁷

Gary Baird, de 45 anos, foi atingido por uma perigosa mistura de ácido nítrico e etanol na *City of Bristol College* em maio de 2006. Precisou de dois enxertos de pele e uma operação na mão direita. O Comitê Executivo de Segurança e Saúde abriu um processo criminal na Corte de Magistrados de Bristol. O acidente ocorreu quando Gary estava tentando preparar Nital, solução usada por engenheiros para testar a durabilidade de metais. As chefias não sabiam que ele havia tentado fazer a mistura sem supervisão. O Comitê concluiu que a universidade não proveu treinamento adequado a Gary para preparar a mistura. O promotor do Comitê relatou que a última lembrança que a vítima teve foi a de se desfazer da garrafa, enquanto virava para pegar um livro de referência que ele usava como guia. Foi, então, que ele notou que na parte superficial da mistura estavam se formando ondulações. Logo em seguida, a garrafa explodiu, cobrindo-o de ácido e vidro. Um colega disse que podia ver o osso do professor, além de ouvir seu gemido de dor.

d) Acidente com aluno em ataque metalográfico de amostras de aço de carbono⁸

Um aluno de graduação conduzia o processo de ataque químico em uma amostra de aço carbono com Nital (90% de etanol e 10% de ácido nítrico) e, ao esfregar o algodão embebido com ácido na amostra, uma gota de ácido atingiu seus olhos. O aluno foi imediatamente lavar os olhos com água. Sentiu desconforto. Ele estava vestindo jaleco, mas não usava óculos de segurança.

e) Vazamento de Nital em uma usina nuclear na França⁹

Em uma capela de uma usina nuclear na França, as 2h50min, houve o derrame de meio litro de solução de Nital. Os funcionários foram levados para o hospital e os bombeiros realizaram reconhecimento da área, a coleta do produto e a ventilação de todo o prédio.

⁷ Disponível em: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/bristol/somerset/7330656.stm. Acesso em: fev. 2021.

⁸ Disponível em: https://www3.ntu.edu.sg/studentlink/opa/Ia/Safety%20Awareness%20Talk_Jul%202011.pdf. Acesso em: fev. 2021.

⁹ Disponível em: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/36144/>. Acesso em: fev. 2021.

f) Acidente com metalógrafo durante preparo da solução¹⁰

Para reabastecer um estoque de Nital com ácido nítrico a 5% em etanol, um funcionário adicionou o volume desejado de ácido nítrico concentrado no frasco que já continha uma pequena quantidade residual de Nital à 5% de ácido nítrico em etanol. A solução começou a ferver, espirrar do recipiente e emitir vapores na cor marrom. Esses espirros atingiram o funcionário que teve queimaduras na testa, rosto e olhos. Apesar de já ter realizado o procedimento várias vezes, o funcionário alegou que nunca lhe foi ensinada a maneira correta de se preparar a solução de Nital, visto que esse era um trabalho de responsabilidade dos químicos. Foi constatado que o acidente ocorreu pela geração de uma reação perigosa que se formou com a inserção do ácido nítrico novo no frasco que já continha uma quantidade de ácido nítrico envelhecida e com concentração, possivelmente, já aumentada pela evaporação do álcool. Um outro experimento também mostrou que uma reação parecida pode ocorrer se o ácido nítrico for derramado em um frasco que já contenha restos de etanol ou metanol. No caso do acidente relatado, se o metalógrafo tivesse colocado primeiramente o álcool no frasco, o acidente teria sido evitado.

g) Uma mistura explosiva de ácido nítrico e etanol¹¹

Um estudante de pós-graduação de uma universidade preparou 450 ml de uma solução de ácido nítrico concentrado e etanol na proporção de 1:2, conforme indicado em um artigo de pesquisa. O aluno observou que não houve nenhum aumento significativo de temperatura em 3 horas. Ele, então, tampou a garrafa e foi para casa. Cerca de 4 horas depois, a garrafa explodiu, espalhando fragmentos de vidro a uma distância de 12 metros. Felizmente, não havia ninguém no laboratório no momento, caso contrário, a poderosa explosão poderia ter causado ferimentos graves.

¹⁰ Disponível em: https://uwaterloo.ca/centre-advanced-materials-joining/sites/ca.centre-advanced-materials-joining/files/uploads/files/laboratory_safety_in_metallography_2.pdf. Acesso em: mai. 2020.

¹¹ Disponível em <https://hseo.hkust.edu.hk/various-subjects/laboratory>. Acesso em: 07 mar. 2021.

h) Acidente em uma farmácia de manipulação em Belo Horizonte/MG¹²

A explosão foi causada por uma alteração da fórmula original usada para tratar verrugas. Por uma ordem da proprietária da farmácia, atendendo a uma demanda de um artista plástico que queria uma solução de ácido nítrico em álcool mais concentrada do que o normal para atacar placas de cobre – técnica artística conhecida como etching de Picasso¹³. A técnica da farmácia, ao preparar a solução, não se preocupou em resfriar a mistura – que é exotérmica, ou seja, gera calor –, e aparentemente a reação de nitratação do álcool aconteceu e originou a explosão. Era um vidro de 100 ml. Foi vista uma fumaça laranja, típica de vapores nitrosos NO_x (o disparador) e C₂H₅OH (álcool como redutor).

¹² Informação verbal, obtida por meio de entrevista feita com o professor da EQ/UFRJ e com a técnica do laboratório da farmácia de manipulação.

¹³ Etching, conhecido como ataque ácido, é o processo de usar ácido para cortar superfície de metal criando um desenho em talhe doce (inciso) no metal. É uma das técnicas mais importantes do método de gravura, muito presente nas gravuras de antigos mestres e amplamente utilizada até hoje (disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Etching>; acesso em: fev. 2021). Pablo Picasso utilizou a técnica em sua Coleção 347 ou Suíte 347, executada entre 16 de março e 8 de outubro de 1968, que foi a maior do artista em termos de número de gravuras individuais (disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/347_Series; acesso em: mar. 2021).

4 MÉTODO

Este capítulo aborda o referencial metodológico utilizado na pesquisa apresentada nesta dissertação. São descritos os procedimentos utilizados no estudo de caso do acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ em 15 de agosto de 2018.

De acordo com Lacerda *et al.* (2007), esta pesquisa pode ser classificada conforme os critérios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios da estrutura da pesquisa

Critério	Classificação
Natureza	Aplicada
Abordagem	Qualitativa
Objetivo do Estudo	Exploratório
Método Científico	Indutivo

Fonte: adaptado de Lacerda *et al.* (2007).

Em se tratando de estudo de caso referente ao acidente supracitado, que visa ao debate sobre suas possíveis causas, a natureza desta pesquisa é aplicada, já que se pretende produzir resultados concretos que podem ser aplicados como ações preventivas de acidentes. O objetivo do estudo é exploratório, pois o caso do acidente no laboratório proporciona maior familiaridade com o problema, sendo possível explicitar os fatos para construir medidas de prevenção.

O problema da pesquisa é abordado qualitativamente, posto que o próprio laboratório é a fonte direta para a coleta de dados e interpretação dos fatos. Quanto ao método científico da pesquisa, este é indutivo, visto que as observações serão geradas a partir de situações reais do laboratório.

O estudo de caso teve como base o Modelo de Análise e Prevenção de Acidente (MAPA) (ALMEIDA; VILELA, 2010), que tem como fundamento orientar a condução da análise de acidentes por meio de questões que abordam aspectos organizacionais e gerenciais. Esse modelo favorece maior entendimento da complexa rede de fatores, principalmente aqueles à montante e normalmente relacionados aos aspectos humanos e organizacionais envolvidos nos acidentes.

Para Almeida e Vilela (2010), é fundamental para a prevenção de acidentes que se busquem os fatores críticos que têm impacto no trabalho cotidiano, já que são estes que causam descontrole operacional dos processos, acarretando a ocorrência de acidentes. É nesse sentido que o MAPA favorece o diagnóstico, identificando fatores que, normalmente, são causas latentes presentes nas falhas gerenciais, de gestão da manutenção, da logística, da produção, dos projetos, de pessoal, de materiais, de adequação de demandas e recursos existentes, da perda de oportunidade de aprendizado com acidentes anteriores e de outros aspectos organizacionais (ALMEIDA; VILELA, 2010).

Os objetivos a serem atingidos com a aplicação desse modelo são: (i) prevenção de acidentes; (ii) compreensão de acidentes como eventos resultantes de fatores interligados; (iii) identificação da rede de fatores de acidentes que levou ao evento; (iv) investigação da situação de trabalho rotineira e de possíveis mudanças que ocorreram, bem como das barreiras existentes; e (v) avaliação, a partir do caso específico, de fatores relacionados ao gerenciamento de riscos adotado na organização (ALMEIDA; VILELA, 2010). O MAPA foi utilizado neste estudo de caso como referencial para: (i) elaboração de questões das entrevistas individuais sobre o acidente; (ii) visitas ao laboratório para observação do local e acompanhamento das atividades; (iii) coleta de informações; e (iv) sistematização de dados coletados.

Alguns conceitos e noções propostos pelo modelo serviram de base, como por exemplo, os componentes de descrição sistemática da atividade: indivíduo (I); tarefa (T); material (M) e meio de trabalho (MT). Esses componentes foram facilitadores do objetivo das visitas, já que permitiram maior detalhamento da atividade de análise metalográfica, uma das principais do laboratório.

Para este estudo de caso, foram feitos os seguintes procedimentos: pesquisa documental; entrevistas individuais e complementares; visitas ao laboratório e acompanhamento de atividades; além de reunião para construção de medidas preventivas com a comunidade do PEMM/COPPE.

O macrofluxo do processo desta pesquisa se encontra no Apêndice C.

4.1 PESQUISA DOCUMENTAL

Os seguintes documentos foram analisados nesta pesquisa:

- (i) relatórios de vistorias realizadas no local pela gerência de Segurança e Saúde do Trabalho (SST)/COPPE/UFRJ antes e após o acidente;
- (ii) relatório da Comissão de Sindicância instituída pela COPPE após o acidente;
- (iii) apresentação da coordenadora do PEMM/COPPE/UFRJ em 2018 sobre o acidente; e
- (iv) notícias na mídia acerca do acidente.

As notícias divulgadas na mídia, a que esta pesquisa teve acesso, foram as seguintes:

- (i) *Explosão em laboratório da Coppe/UFRJ deixa três feridos*, publicada em 15 de agosto de 2018 no Portal G1¹⁴.
- (ii) *Explosão em laboratório da UFRJ deixa três feridos no Rio*, publicada em 15 de agosto de 2018 no portal da Folha de São Paulo¹⁵.
- (iii) *Diretor da Coppe/UFRJ sai em defesa de aluna ferida em explosão*, publicada em 20 de agosto de 2018 no Portal G1¹⁶.
- (iv) *Coppe defende aluna de acusações de acidente em laboratório da UFRJ*, publicada em 21 de agosto de 2018 no portal da Agência Brasil¹⁷.
- (v) *Instituto da UFRJ defende aluna ferida em acidente na UFRJ*, publicada em 21 de agosto de 2018 no portal do Estadão¹⁸.
- (vi) *Instituto defende aluna de acusações de acidente em laboratório da UFRJ*, publicada em 21 de agosto de 2018 no portal da Exame¹⁹.
- (vii) *Explosão em laboratório da Coppe/UFRJ deixa feridos*, publicada em 21 de agosto de 2018 no blog Zona de Risco²⁰.

¹⁴ Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/08/15/laboratorio-da-coppeufrj-registra-explosao.ghtml>. Acesso em: jan. 2019.

¹⁵ Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/08/explosao-em-laboratorio-da-ufrj-deixa-tres-feridos-no-rio.shtml>. Acesso em: jan. 2019.

¹⁶ Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/08/20/diretor-da-coppeufrj-sai-em-defesa-de-aluna-ferida-em-explosao.ghtml>. Acesso em: jan. 2019.

¹⁷ Disponível em <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-08/coppe-defende-aluna-de-acusacoes-de-acidente-em-laboratorio-da-ufrj>. Acesso em: jan. 2019.

¹⁸ Disponível em: <https://brasil.estadao.com.br/noticias/rio-de-janeiro,instituto-da-ufrj-defende-aluna-ferida-em-acidente-em-laboratorio,70002466523>. Acesso em: jan. 2019.

¹⁹ Disponível em: <https://exame.com/brasil/instituto-defende-aluna-de-acusacoes-de-acidente-em-laboratorio-da-ufrj/>. Acesso em: jan. 2019.

²⁰ Disponível em: <https://zonaderisco.blogspot.com/2018/08/explosao-em-laboratorio-da-coppeufrj.html>. Acesso em: jan. 2019.

Além do material supracitado, foram utilizadas nesta pesquisa as seguintes normas de padronização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da *International Organization for Standardization* (ISO) e da ASTM:

- (i) ABNT NBR ISO/TEC 17025:2017 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração;
- (ii) ISO 45001:2018 - Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional;
- (iii) ABNT NBR 14725-2:2019 - Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Parte 2: Sistema de classificação de perigo;
- (iv) ABNT 16291:2014 - Chuveiro de Emergência e Lava Olhos; e
- (v) ASTM E407-07(2015) - Prática padrão para ataque metalográfico de metais e ligas.

4.2 ENTREVISTAS

As perguntas que compuseram o questionário das entrevistas tiveram como base orientações do MAPA. As entrevistas foram feitas na UFRJ de forma voluntária, individual, com duração de cerca de 1h30min. Foram entrevistados:

- (i) a coordenadora do PEMM à época do acidente (data da entrevista: 26/04/2019);
- (ii) a orientadora da aluna envolvida no acidente (datas da entrevista: 08/07/2019 e 29/07/2019);
- (iii) o socorrista do PEMM (data da entrevista: 11/07/2019);
- (iv) o técnico contratado envolvido no acidente (datas da entrevista: 15/07/2019 e 17/07/2019);
- (v) o técnico servidor presente no dia do acidente (data da entrevista: 17/07/2019);
- (vi) um professor da EQ/UFRJ para orientações em relação à reação feita no dia do acidente (data da entrevista: 25/07/2019); e
- (vii) o professor responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ (data da entrevista: 29/07/2019).

Ressalta-se que o técnico contratado e diretamente envolvido no acidente não trabalha mais no PEMM/COPPE/UFRJ, visto que terminou o projeto para o qual foi contratado. A entrevista realizada com o professor especialista da área de Química teve o propósito de compreender a provável dinâmica da situação que provocou a explosão, em termos de reação química, os riscos do Nital e outros possíveis casos de acidentes.

Também foram feitas consultas com diversos servidores da UFRJ para conhecimento de acidentes ocorridos em laboratórios da universidade.

As entrevistas foram previamente agendadas. As perguntas feitas aos membros do PEMM/COPPE/UFRJ, além do foco no acidente, abarcaram questões relacionadas a: (i) atividades desenvolvidas pelos entrevistados e respectivas responsabilidades no PEMM; (ii) atividades relativas à pesquisa de doutorado da aluna envolvida no acidente; (iii) características do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM, suas atividades e uso; (iv) preparo do Nital e seu uso no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas e no PEMM; (v) acidentes anteriores ocorridos no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas e no PEMM; (vi) política de disseminação da informação; (vii) tipos de controles existentes no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas; (viii) treinamento; (ix) segurança, incluindo barreiras de defesa existentes no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas e no PEMM.

As respostas das entrevistas foram validadas com os entrevistados.

4.3 VISITAS E ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES NO LABORATÓRIO

As visitas ao Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ permitiram compreender suas principais atividades, características e usos. Em 17 de julho de 2019, foi feita uma visita ao laboratório para acompanhar a atividade de análise metalográfica de tubos metálicos realizada, especificamente, pelo técnico contratado. Esse acompanhamento se deu pelos seguintes motivos: (i) a atividade do técnico, apesar de específica para determinada finalidade, envolve o processo de análise metalográfica que é uma das atividades-fim do laboratório; (ii) o técnico realiza a etapa de ataque químico à peça metálica com uma solução que pode conter ácido nítrico, produto usado para o preparo do Nital; e (iii) o técnico foi vítima do e esteve diretamente envolvido no acidente objeto desta pesquisa. Após o acompanhamento da atividade do técnico contratado, foi feita entrevista complementar, para melhor compreender sua atividade.

Por se tratar de um laboratório multiusuário, com práticas diversas e que atende alunos de diferentes laboratórios, não existe previsão da demanda, o que, conseqüentemente, dificultou agendamento prévio com o técnico responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas para acompanhamento das principais

atividades do laboratório. No entanto, em visita ocorrida no dia 20 de fevereiro de 2020, foi possível obter com o técnico responsável o relato dessas atividades e acompanhar algumas que estavam sendo realizadas no momento da visita. Conforme relato do técnico responsável, as principais atividades são: (i) análise metalográfica; (ii) ensaios mecânicos de impacto; e (iii) aulas práticas de análise metalográfica e de ensaios mecânicos de impacto para alunos da graduação.

Para o acompanhamento da atividade de análise metalográfica de tubos metálicos realizada especificamente pelo técnico contratado, na qual se manuseia o ácido nítrico, e para a atividade de análise metalográfica, na qual pode se utilizar o Nital para ataque à peça metálica, foram aplicados os componentes da descrição sistemática de atividade propostos pelo MAPA (Apêndice D).

4.4 REUNIÃO PARA CONSTRUÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DA SEGURANÇA

No dia 18 de novembro de 2019, foi feito um encontro com alunos e funcionários do PEMM/COPPE/UFRJ. Nesse encontro, o Prof. Francisco Duarte realizou uma apresentação sobre o tema Cultura de Segurança e Fatores Humanos e Organizacionais da Segurança no PEMM. Após a apresentação, foram organizados subgrupos para a construção de medidas preventivas a partir de suas experiências e de conhecimentos sobre riscos na rotina de trabalho. Cada subgrupo apresentou suas medidas preventivas para discussão com todo o grupo presente, ocorrida no mesmo dia.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados: (i) o levantamento de acidentes que já ocorreram nos laboratórios da UFRJ e no PEMM; (ii) o uso do Nital na prática de análise metalográfica; (iii) as atividades principais do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ; e (iv) o acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas.

5.1 LEVANTAMENTO DE ACIDENTES OCORRIDOS NOS LABORATÓRIOS DA UFRJ E NO PEMM

Os acidentes e incêndios em laboratórios da UFRJ são, principalmente, ocasionados por produtos químicos ou seu manuseio. A Figura 13 mostra acidentes ocorridos em laboratórios da UFRJ ao longo do tempo, com destaque para o acidente objeto desta pesquisa.



Figura 13 - Acidentes ocorridos em laboratórios da UFRJ
Fonte: elaboração própria.

Dado o caso estudado nesta pesquisa, estão descritos a seguir os principais acidentes relacionados a produtos químicos, apresentados na Figura 13 acima, destacando suas causas e consequências:

- i. **Acidente no antigo Laboratório de Corrosão/PEMM/COPPE/UFRJ (1994/1995):** uma aluna descartou um produto que continha ácido fluorídrico em uma garrafa indicada pelo pessoal do laboratório, a tampou e a deixou na capela. Porém, não sabia que na garrafa já continham outros produtos químicos, inclusive peróxido de hidrogênio, ocasionando a explosão da garrafa e queimaduras no braço, rosto e barriga. A aluna precisou ficar internada durante uma semana, para repor o cálcio do organismo, que é retirado do corpo pelo ácido fluorídrico, para monitoramento do oxigênio no sangue e do batimento cardíaco e para os cuidados com as queimaduras que sofreu pelo rosto e corpo.
- ii. **Incêndio no LADEQ/EQ/UFRJ (1998):** um incêndio começou no laboratório vizinho ao LADEQ e rapidamente atingiu o teto e a parte de cima das divisórias, que eram de plástico. O laboratório ficou imediatamente sem luz. A iniciativa de um colaborador evitou uma explosão, pois no laboratório havia cilindros de hidrogênio e outros gases explosivos. Esse funcionário, quando percebeu que não daria tempo para que os bombeiros controlassem a situação, iniciou uma ação de retirada de todos os cilindros, mesmo sem luz e com muita fumaça. Apesar dos bombeiros terem conseguido controlar o incêndio, o laboratório ficou totalmente destruído com perda de muitos equipamentos.
- iii. **Acidente no Laboratório de Propriedades Mecânicas/PEMM/COPPE/UFRJ (1999):** um técnico abriu um frasco durante o preparo de uma reação com ácido clorídrico, e ocorreu uma explosão, fazendo com que ele sofresse queimaduras nas mãos. O técnico retornou ao trabalho três dias após o acidente.
- iv. **Incêndio no IQ/UFRJ (2004):** o incêndio decorreu da reação de produto químico que estava armazenado em um freezer com outros solventes e reagentes tóxicos, ocasionando a explosão de duas geladeiras, com retirada de 300 pessoas do local e internação de 12 pessoas.
- v. **Acidente no Labpol/PEQ/COPPE/UFRJ (2015):** um aluno de iniciação científica, ao manipular ácido sulfúrico, sofreu queimaduras na altura dos olhos. O

aluno foi atendido por um técnico de laboratório que jogou imediatamente água da torneira em sua cabeça, evitando danos mais graves.

- vi. **Acidente no LASSBio/ICB/CCS/UFRJ (2015):** uma ampola com 10 ml de bromo, produto altamente tóxico, foi encontrada quebrada dentro de uma geladeira do laboratório. Apesar do acidente não ter causado feridos ou danos, os pesquisadores foram encaminhados ao Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF), os laboratórios do prédio foram lacrados e 8,5 mil alunos tiveram as aulas suspensas.
- vii. **Acidente no LMSCP/PEQ/COPPE/UFRJ (2016):** durante o procedimento de carregamento de um reator de polimerização de butadieno com n-hexano no laboratório por uma aluna, houve um início de combustão. A própria aluna conseguiu controlar o evento com um extintor, e não houve maiores danos. Porém, os alunos, ao saírem do laboratório pela rota de emergência, por conta da expansão dos gases, se depararam com o portão no porão do Bloco I fechado.
- viii. **Acidente no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos/PEMM/COPPE/UFRJ (2016/2017):** uma aluna de doutorado, ao preparar uma solução de hidróxido de sódio em torno de 140°C na autoclave, pediu ajuda a uma pesquisadora de pós-doc para abrir o equipamento, porém, não abriu antes as válvulas de forma a liberar a pressão. Ao conseguirem abrir a autoclave, a solução saiu com pressão e respingou nas duas alunas, causando uma pequena queimadura no braço da pesquisadora.

Todos os acidentes que ocorreram em laboratórios do PEMM, com exceção do ocorrido em 2009 com um professor do Programa, foram decorrentes do manuseio de produtos químicos, como ácido sulfúrico, ácido fluorídrico e hidróxido de sódio por professores, alunos e técnicos dos laboratórios. Fora o acidente objeto desta pesquisa, abordado mais adiante neste capítulo, em nenhum houve uso de Nital. A descrição detalhada dos fatos ocorridos em cada um dos acidentes é apresentada no Apêndice A.

5.2 USO DO NITAL NA PRÁTICA DE ANÁLISE METALOGRÁFICA

Esta seção baseia-se em normas técnicas de padronização utilizadas nesta pesquisa, apresentadas na seção 4.1 desta dissertação; nos dados coletados durante as entrevistas do trabalho de campo; em relatórios produzidos pela Gerência de SMS da COPPE antes e após a ocorrência do acidente objeto desta pesquisa; e nos casos similares de acidentes com Nital encontrados na mídia.

O Nital é uma solução de ácido nítrico (HNO_3) e álcool, podendo ser etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ou metanol (CH_3OH). É muito utilizado na metalografia para verificação da microestrutura de materiais, por interagir com a maioria dos metais ferrosos, e na gravação de metais. Para a mistura de ácido nítrico e etanol, a ASTM E407-07(2015) recomenda a proporção em volumes (% v/v) de 5% de ácido nítrico e 95% de etanol para o preparo de uma solução de 100 ml de Nital. Com uso acima de 5% de ácido nítrico, a reação com o etanol se torna instável, e a solução de Nital não deve ser armazenada. No caso do preparo de Nital com metanol, a norma recomenda a proporção de 5% de ácido nítrico e 95% de metanol, podendo o ácido chegar a 30% em relação ao metanol, dependendo do tipo de liga.

O ácido nítrico é um líquido fumegante incolor ou amarelado, extremamente oxidante, corrosivo, volátil à temperatura ambiente e que, na mistura com material orgânico, pode causar eventos indesejáveis, como explosões e incêndios. O ácido reage abruptamente em condições desproporcionais de concentração em relação ao etanol, produzindo óxidos tóxicos de nitrogênio. Quanto maior a concentração do ácido nítrico em relação ao etanol, maior o risco de explosão, visto que aumenta a instabilidade da solução, o que pode causar reações perigosas, violentas e tóxicas de formação de gases nitrosos tóxicos. Por isso, essa mistura é considerada explosiva e deve ser feita em condições muito controladas, por exemplo, com ácido nítrico mais diluído em água e sempre em proporção de concentração inferior ao etanol.

Misturas fortes de ácido nítrico com glicerina ou glicóis (relacionados aos álcoois) podem ser explosivas. Como exemplo, pode-se citar a famosa nitroglicerina, muito presente em desenhos animados e filmes. A nitroglicerina é composta por ácido nítrico, glicerina (grupo do álcool) e ácido sulfúrico. Resultante da nitração de um álcool, no caso um triol (a glicerina) com o ácido nítrico, a nitroglicerina pode explodir com qualquer

solavanco. Ressalta-se, aqui, a possibilidade de explosão: por se tratar de espécies químicas instáveis, a explosão pode ou não ocorrer.

O gás, fruto do processo de nitratação do álcool, pode aumentar a pressão interna do frasco e causar uma explosão. Isso não ocorre em situações normais de concentração, em que a evolução desse gás é mínima e consegue ser contida pelo frasco. Dessa forma, por ser uma mistura exotérmica, que gera calor, recomenda-se aguardar alguns minutos antes de fechar o frasco, para o devido resfriamento da reação. Porém, o fechamento do frasco não é a questão central, pois o problema está na proporcionalidade de concentração entre o ácido nítrico e o etanol.

Em relação ao caso do acidente estudado nesta pesquisa, pode-se deduzir que: (i) o frasco não explodiria contendo somente o ácido nítrico, mesmo em grande volume, independente do frasco estar fechado ou aberto; (ii) se houve uma reação, é porque existia a presença de um combustível orgânico reagindo com o ácido nítrico no interior do frasco; (iii) houve uma mistura com concentração desproporcional de ácido nítrico em relação ao álcool no interior do frasco, provavelmente com ácido nítrico acima de 5%; e (iv) o fato do frasco ter sido fechado imediatamente após o preparo da solução pode ter potencializado o risco de explosão, ainda que ela poderia ter ocorrido com o frasco fechado ou aberto, visto o fator concentração já relatado.

Para o manuseio e preparo do Nital, certas condições e ações devem ser consideradas:

- (i) a proporção do ácido nítrico em relação ao álcool deve ser de até 5% de ácido nítrico pois quanto maior a concentração do ácido nítrico, maior o risco de formar espécies químicas instáveis;
- (ii) no preparo da solução, deve sempre ser colocado primeiro o álcool e depois o ácido nítrico;
- (iii) pela reação exotérmica do preparo do Nital, que gera calor, recomenda-se aguardar alguns segundos para o resfriamento da mistura antes de fechar o frasco após o preparo da solução;
- (iv) o Nital com percentual de ácido nítrico até 5% pode ser misturado e armazenado com segurança em pequenas quantidades, mas concentrações com valores superiores de ácido nítrico geram acúmulo de pressão em frascos bem fechados;
- (v) devem sempre ser observados procedimentos de estocagem, treinamentos, acesso controlado e manutenção de registros;
- (vi) devem ser usados frascos de vidro;

- (vii) seguir a orientação da Ficha de Identificação de Produtos Químicos sobre os perigos físicos e químicos do ácido nítrico, incluindo o uso de EPIs adequados para o manuseio desse ácido;
- (viii) utilizar os seguintes EPIs para manuseio do ácido nítrico: (a) máscara facial, de tipo recomendado conforme a atividade, (b) luvas resistentes a ácidos, (c) roupas de PVC ou de borracha, vestimentas antiácido, (d) botas de borracha, (e) óculos de segurança contra produtos químicos e/ou protetor facial;
- (ix) manter-se afastado de qualquer fonte de calor ou superfícies quentes;
- (x) utilizar capela com exaustor, bem iluminada e à prova de explosão;
- (xi) utilizar apenas ferramentas ou materiais que não gerem faíscas;
- (xii) manter a reação no recipiente em que foi originalmente preparada;
- (xiii) seguir procedimentos cuidadosos de descarte: uso de vidro apropriado e único para essa finalidade, lavagem adequada de frascos, tubos de ensaios e provetas após utilização no preparo da solução;
- (xiv) em caso de contato do Nital com roupas, pele ou cabelo, retirar toda a roupa contaminada e enxaguar a pele com água abundante e corrente;
- (xv) em caso de incêndio, utilizar pó químico seco, CO₂, jato d'água ou espuma resistente a álcool;
- (xvi) assegurar equipamentos de proteção coletiva, como chuveiros de emergência e lava olhos com limpeza semanal e manutenção no máximo em sete dias por meio de testes; e
- (xvii) o laboratório deve manter desobstruído o acesso a extintores de incêndio, acionadores do sistema de detecção e alarme de incêndio, hidrantes, caixas de primeiros socorros, saídas de emergência, iluminação de emergência e áreas de circulação.

As informações coletadas a partir do trabalho de campo desta pesquisa – entrevistas, visitas ao laboratório e processo da Comissão de Sindicância instituída na época do acidente estudado nesta pesquisa – permitiram analisar o uso do Nital no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ. O Nital é preparado com frequência no laboratório e em diferentes concentrações, por ser um reagente muito utilizado nos laboratórios de metalografia para verificação do teor de carbono e da microestrutura em materiais de aço carbono. É considerado um reagente coringa pela sua ampla possibilidade de utilização em qualquer tipo de aço carbono.

A concentração volumétrica frequentemente utilizada e solicitada para o preparo de Nital varia de 1% a 5% de ácido nítrico em relação à 95% de álcool para o preparo de soluções de 100 ml de Nital. No trabalho de campo desta pesquisa, foram relatadas

situações que utilizam outras concentrações de ácido nítrico no Nital, embora raras: (i) concentrações de 10% para análises macroscópicas que permitem extrair informações sobre a cristalografia dos grãos sem necessidade de microscópio; e (ii) concentrações de 10% a 50% para processos de decapagem, que são processos de corrosão de superfície para retirada de alguma camada, por exemplo, retirada de cromo do aço com ou sem utilização de corrente elétrica.

Quando essas situações ocorrem, as soluções são preparadas para uso imediato, em recipiente aberto na capela com exaustor ligado, e descartadas logo em seguida. Porém, segundo relato do técnico responsável pelo laboratório, o Nital é utilizado basicamente para a etapa de ataque nas peças e, há bastante tempo, essa solução não é utilizada nos processos de decapagem, visto que existem outros métodos de decapagem mais modernos com utilização de outros reagentes.

Em relação às dinâmicas que ocorrem para o preparo de solução de Nital pelos técnicos, a mais comum é a de preparo imediato, sem agendamento prévio, ao ser solicitada por algum aluno. A peça é trazida pelo aluno para ser atacada com Nital na capela do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas logo após o preparo da solução. Podem, também, ocorrer outras situações menos frequentes relacionadas ao preparo do Nital: (i) agendamento prévio do aluno com o técnico para levar a peça ao laboratório, com preparo da solução no mesmo momento para ataque na própria capela do laboratório; (ii) solicitação do aluno ao técnico de preparo imediato da solução, que é levada pelo aluno para seu próprio laboratório, em cuja capela a peça é atacada; e (iii) solicitação do aluno ao técnico de preparo posterior da solução, com coleta e transporte futuro da solução pelo aluno para seu próprio laboratório, em cuja capela a peça é atacada.

O Nital, por ter ampla aplicação na etapa de ataque químico, é utilizado em alguns outros laboratórios do PEMM, como no Laboratório de Corrosão. O técnico desse laboratório prepara a solução para ataque à peça e posterior análise do material no microscópio.

A aluna envolvida no acidente objeto desta pesquisa costumava solicitar solução de Nital com ácido nítrico a 5%, segundo sua orientadora. Também, segundo o professor responsável pelo laboratório, é pouco frequente a solicitação aos técnicos de ácido nítrico por alunos. O técnico servidor e o contratado preparavam a solução de Nital há aproximadamente 20 anos, mas desconheciam todos os riscos associados ao preparo da

solução, como também o professor responsável pelo laboratório, a orientadora da aluna envolvida no acidente e a própria aluna.

5.3 ATIVIDADES PRINCIPAIS DO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS DO PEMM

O Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ é um laboratório multiusuário de práticas diversas, que funciona tanto para a realização de aulas práticas das disciplinas ministradas pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, quanto para suporte aos alunos de graduação, pós-graduação, pesquisadores e professores em suas respectivas pesquisas. Além disso, presta apoio a outros laboratórios na preparação de reagentes usados para análises metalográficas de materiais.

O objetivo da análise metalográfica é a observação da microestrutura dos metais. Para isso, a amostra do metal deve ser cortada, lixada, polida e atacada com reagente químico, de forma a revelar sua microestrutura. Atualmente, tais práticas não são apenas restritas aos metais, podendo envolver outros materiais como polímeros, cerâmicos e compósitos.

De forma geral, as principais atividades do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas são:

- (i) análise metalográfica de materiais, com corte, embutimento, lixamento, polimento, preparo de soluções para ataque (em que geralmente se usa o Nital) e para análise da microestrutura por microscopia ótica;
- (ii) ensaios mecânicos de impacto de tração e compressão, de Charpy e de medidas de dureza em amostras de materiais; e
- (iii) aulas práticas de análise metalográfica e de ensaios mecânicos de impacto para alunos da graduação.

A Figura 14 mostra o diagrama esquemático do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM, localizado no Bloco F do CT com entrada pelas portas F-215 e F-217, onde ocorrem as atividades supracitadas.

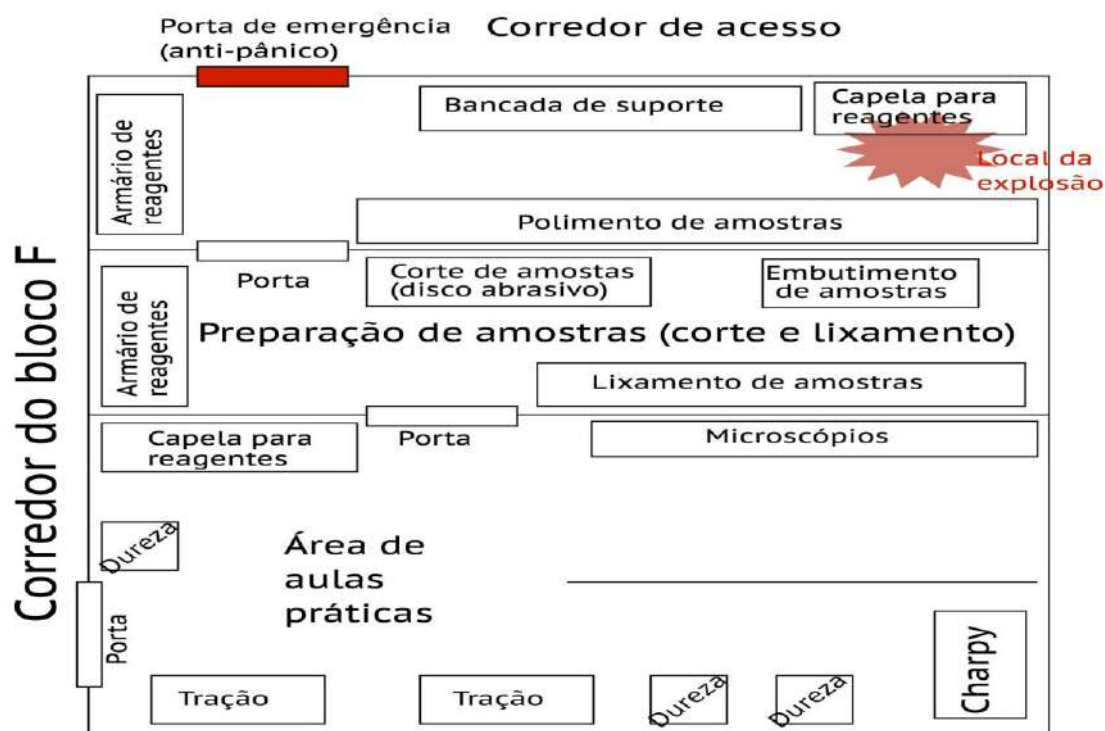


Figura 14 - Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

O laboratório, conforme mostra a Figura 14, é dividido em duas grandes áreas. A primeira é utilizada na preparação de amostras metalográficas para caracterização de sua microestrutura por meio de microscópios óticos e testes mecânicos. Essa área é interligada por uma porta interna à segunda área do laboratório, destinada aos ensaios mecânicos e às aulas práticas de análise metalográfica e ensaios mecânicos para estudantes de graduação em cursos de engenharia da UFRJ. O acesso ao laboratório pode ocorrer pelas entradas F-215 e F-217.

A F-215 leva a um corredor que permite acesso a: (i) o Laboratório de Microscopia Ótica, onde ficam o técnico servidor e o contratado; (ii) o Laboratório de Polímeros; (iii) o Laboratório de Eletroquímica Aplicada; e (iv) o Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas. Este último é acessado por meio de uma porta de emergência, também usada como rota de fuga, que viabiliza a entrada direta à área de Preparação de Amostras.

A área de Preparação de Amostras é dividida em duas subáreas interligadas por uma porta interna. A primeira subárea, onde ocorreu o acidente objeto deste estudo, possui armários para armazenamento de reagentes, bancada de suporte, bancada para a fase de polimento das amostras e capela para preparo de reagentes. A segunda, possui um armário para armazenamento de reagentes, três bancadas destinadas a etapas do processo

de preparação de amostras metalográficas – corte, embutimento e lixamento – e uma porta interna de acesso à área de Aulas Práticas de Metalografia e Ensaaios Mecânicos.

Pela entrada F-217, é possível ter acesso à área de Aulas Práticas de Análise Metalográfica e Ensaaios Mecânicos do laboratório. Essa área possui três máquinas universais de dureza, duas máquinas universais de tração, um aparato para ensaio de impacto Charpy, uma capela para preparo de reagentes e uma bancada para o microscópio e a lupa estereoscópica.

As principais atividades que ocorrem no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM estão apresentadas no Apêndice D. As atividades de análise metalográfica, que pode ocorrer o uso do Nital, foram descritas com base nas orientações do MAPA.

5.4 O ACIDENTE NO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS DO PEMM/COPPE/UFRJ

O acidente objeto desta pesquisa ocorreu no dia 15 de agosto de 2018, por volta das 9h45min, durante a manipulação de reagentes. Uma doutoranda do Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos do PEMM – situado no Bloco I do CT –, formada em Odontologia, se dirigiu ao Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas com o intuito de solicitar o preparo do reagente Nital que costumava utilizar em sua pesquisa.

A Figura 15 mostra a posição dos técnicos e da aluna de doutorado presentes na área de Preparação de Amostras do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ no momento da explosão.

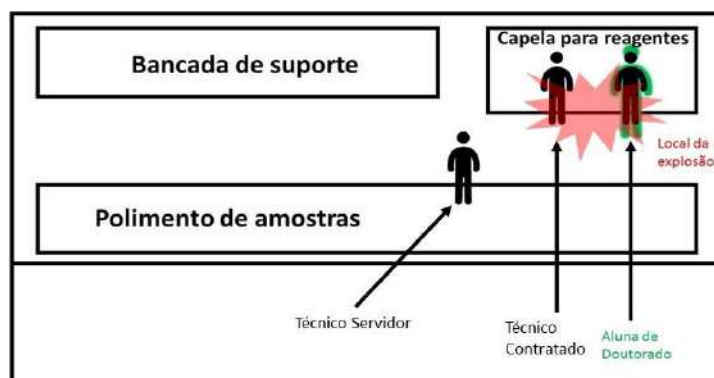


Figura 15 - Posição dos envolvidos no momento da explosão
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

A rotina no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas estava normal, com exceção da ausência do técnico responsável pelo atendimento aos alunos e do suposto pedido de 200 ml de ácido nítrico pela aluna. Segundo o técnico contratado, que a atendeu, não é comum o pedido de ácido nítrico, e o limite para entrega é de 100 ml, por ser produto químico controlado pelo Ministério do Exército. O técnico contratado é ligado diretamente ao Laboratório de Propriedades Mecânicas, situado no Bloco I do CT, e atendia prioritariamente os alunos desse laboratório. Ele apoia o Laboratório de Metalografia e Aulas Prática no atendimento de alunos quando da ausência do técnico responsável, por conta da proximidade de sua sala, e desempenha parte de suas atividades rotineiras de análise metalográfica de tubos metálicos no Laboratório de Metalografia e Aulas Prática. Tanto o técnico contratado quanto o técnico servidor, este sob responsabilidade da coordenação do PEMM, já atenderam a aluna em ocasiões anteriores, visto que ambos estão autorizados a preparar soluções.

A aluna chegou ao Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, levando um frasco escuro com capacidade de 1 litro, identificado com etiqueta de Etanol, que costumava utilizar para transporte da solução de Nital para o laboratório onde conduz sua pesquisa, o Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos. No Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, estavam o técnico contratado, que atendeu a aluna, e o técnico servidor, que utilizava a máquina de polimento, de costas para a capela. Houve problema de compreensão e comunicação entre a aluna e o técnico contratado. A aluna fez um pedido de 200 ml de algo: ou Nital ou ácido nítrico. O técnico contratado entendeu que se tratava de ácido nítrico e disse à aluna que poderia liberar somente 100 ml por ser produto controlado e por estar disponível no laboratório apenas 800 ml de ácido nítrico. O técnico servidor presenciou a informação dada pelo técnico contratado à aluna sobre a restrição de quantidade de ácido nítrico.

O técnico contratado usava jaleco e luvas, o técnico servidor, que vestia bermudas, estava de jaleco e sem luvas, pois a luva pode prender-se à máquina de polimento. A aluna usava apenas jaleco. O técnico contratado e a aluna se dirigiram à capela, e, com o equipamento semifechado, o técnico despejou com uma proveta 50 ml de ácido nítrico direto no frasco escuro levado pela aluna. Logo em seguida, despejou mais 50 ml no mesmo frasco. Cerca de 30 segundos após o fechamento do frasco, ocorreu a explosão, que ocasionou danos na capela, na luminária, no vidro da janela do laboratório e nos

armários do laboratório (Figuras 16, 17, 18 e 19), e, em consequente, ferimentos na aluna e em ambos os técnicos.



Figura 16 - Danos na capela
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).



Figura 17 - Danos na luminária
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

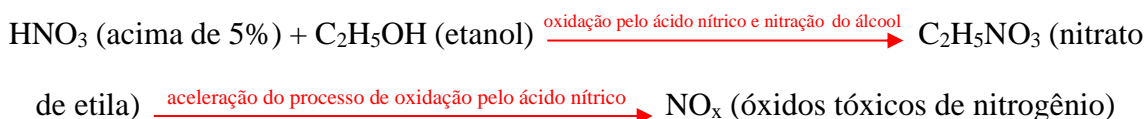


Figura 18 - Danos nos armários
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).



Figura 19 - Danos na janela e na capela
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

A reação descontrolada pode ter sido provocada pelas concentrações desproporcionais entre o ácido nítrico e o etanol. E essa reação descontrolada pode ocasionar a formação de nitrato de etila, que deflagra outras reações, gerando gases explosivos. Essa cadeia de reações químicas perigosas pode ser demonstrada da seguinte forma:



A alta concentração de ácido nítrico em relação ao etanol pode ter sido o principal fator desencadeador da explosão. O ácido nítrico é um poderoso agente oxidante e, na possibilidade de estar com concentração acima de 5% em relação ao etanol, pode ter reagido de forma violenta com o etanol, que é um agente redutor. Nessa situação, ocorre oxidação pelo ácido nítrico e nitração do etanol, formando nitrato de etila que, por sua vez, também é um poderoso oxidante, exotérmico e com potencial explosivo. Formado, o nitrato de etila pode ter deflagrado outras reações de oxidação, como a aceleração da decomposição do ácido nítrico. Essa redução do ácido nítrico, muito provavelmente, gerou óxidos tóxicos de nitrogênio – gases NO_x – altamente explosivos.

A fumaça laranja produzida pela explosão do frasco, observada por um aluno, é forte indício de que houve reação de oxidação pelo ácido nítrico que, ao ser reduzido, gera gases nitrosos tóxicos que vai da cor amarelada à castanho-alaranjada. No preparo da solução Nital com as proporções de concentração sugeridas pela norma ASTM E-407-07 (2015) não há formação de gases com vapores alaranjados.

Após o acidente, foram levantados outros fatos relevantes, como a comparação dos fragmentos da garrafa que explodiu no acidente com uma garrafa idêntica presente no laboratório em que a aluna conduzia sua pesquisa. Com isso, foi observado que a garrafa que explodiu era, supostamente, do mesmo tipo da que foi usada pela aluna para o transporte da solução e estava etiquetada como Etanol (Figuras 20 a 23). Segundo relato da aluna para a Comissão de Sindicância, ela utilizava esse mesmo frasco há dois anos em sua pesquisa, exclusivamente para o preparo da reação e seu transporte do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas para o seu laboratório de pesquisa. Outro fato levantado, relatado pela orientadora da aluna, foi o de que esse mesmo frasco utilizado pela aluna

no dia do acidente tinha sido utilizado alguns dias antes por outra aluna para solicitar uma solução de Nital ao técnico servidor do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas.



Figura 20 - Fragmentos do frasco utilizado no acidente
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

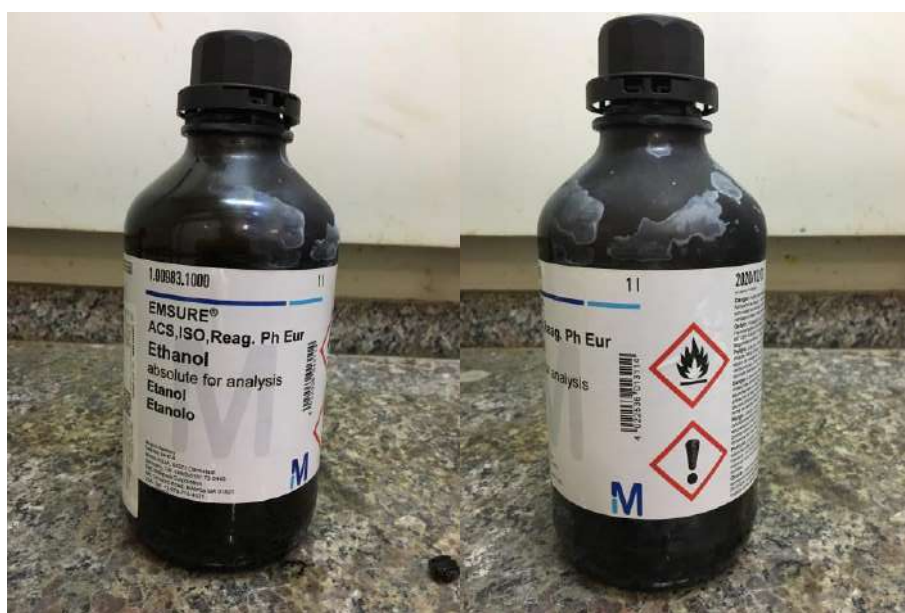


Figura 21 - Frasco presente no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).



Figura 22 - Comparação entre os frascos (1)
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).



Figura 23 - Comparação entre os frascos (2)
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

A Figura 24 demonstra os frascos presentes na capela e os fragmentos das garrafas e do vidro da capela decorrentes da explosão.



Figura 24 - Frascos e fragmentos na capela
Fonte: PEMM/COPPE/UFRJ (2018).

A explosão do frasco que continha ácido nítrico, ou Nital, causou queimaduras de 2º e 3º grau no braço e no lado direito do rosto da aluna, além de diversos cortes. O técnico contratado foi atingido no pescoço por estilhaços de vidro do frasco e da capela, que quase perfuraram sua carótida. O técnico servidor também foi atingido por fragmentos de vidro e teve um corte na perna.

As aulas aconteciam normalmente no segundo andar do Bloco F quando ocorreu a explosão. Por coincidência, o socorrista do PEMM estava chegando ao 1º andar e percebeu que havia ocorrido um acidente no 2º andar. Subiu rapidamente e encontrou uma situação de total confusão: alunos em pânico pelo corredor, alguns tentando sair do local, outros fazendo filmagens. Em meio a essa situação de desespero generalizado, o socorrista foi avisado de que havia uma pessoa ferida próximo à entrada F-215 e se dirigiu ao local para realizar o atendimento. Encontrou a aluna sentada em uma cadeira no corredor, tentando conter com as próprias mãos o sangue volumoso que escorria pelo seu rosto.

O socorrista levantou a cabeça da aluna, retirando os cabelos que cobriam seu rosto, e perguntou a ela o que tinha ocorrido. A aluna lhe disse, chorando, que houve uma

explosão. Ele observou um corte na bochecha, cortes nos dois braços e uma coloração muito escura na pele da face, do pescoço e do peito da aluna. Fez, então, uma limpeza rápida com uma gaze entre a testa e os olhos da aluna e retirou alguns cacos de vidro que estavam em sua cabeça.

As pessoas se aglomeravam ao redor do socorrista, que até o momento não sabia se havia outros acidentados. Nesse momento, a aluna começou a reclamar que sentia dor e queimação. Foi quando uma pessoa informou que havia ácido envolvido na explosão. Ao prestar os primeiros atendimentos, o socorrista também sofreu pequenas queimaduras, além de perder as roupas que usava na ocasião, pois foram danificadas devido ao ácido.

A aluna, então, entrou em estado de choque, tremendo o braço esquerdo, olhando fixamente para o teto sem piscar e suando muito. Enquanto tudo isso ocorria, várias pessoas e o pessoal da secretaria já havia chamado o Corpo de Bombeiros e a equipe da Brigada da COPPE. Ao levar a aluna para o chuveiro da Secretaria do PEMM, situada no Bloco F, o socorrista avistou o técnico contratado e o servidor, este segurando uma gaze na perna que estava para o alto. Nesse momento, o avisaram de que havia mais duas pessoas feridas; no caso, os próprios técnicos.

No chuveiro, para detectar melhor os ferimentos, o socorrista começou a banhar a aluna, direcionando a água de cima para baixo. A aluna, então, parou de tremer, se acalmou e disse, colocando a mão na barriga, que não queria morrer. Nesse momento, o socorrista soube que a aluna estava grávida. A equipe da brigada da COPPE já havia chegado e fazia os primeiros socorros no técnico servidor, enquanto o socorrista continuava a atender a aluna. Terminado o banho, o socorrista retirou a aluna do banheiro em uma cadeira e a deixou com uma professora que tinha conhecimento sobre queimaduras.

Na secretaria, o técnico contratado passou pelo socorrista, que percebeu a perfuração em seu pescoço, pediu para examinar o corte e se assustou com a profundidade do ferimento. Ele, então, colocou uma bandagem no pescoço do técnico, pedindo que a mantivesse pressionada contra o pescoço e ficasse sentado junto à Brigada da COPPE. Ao perceber que havia pessoas entrando no laboratório onde ocorreu o acidente, o socorrista se encaminhou até lá e solicitou que o local fosse bloqueado. Notou, nesse momento, um rastro de sangue no chão do laboratório, que fazia um caminho de ida e volta em relação ao lugar onde antes havia um chuveiro.

O acidente, nesse ínterim, já estava sendo divulgado na televisão, como tendo sido uma explosão que atingiu todo o corredor contíguo ao laboratório no Bloco F. Com isso, além de vários outros chamados de emergência, o atendimento entrou em grau III no quadro de mobilização do grupo de resgate do Corpo de Bombeiros, grau este que se refere a lesão grave com risco de vida.

O Corpo de Bombeiros teve dificuldades de encontrar o local do acidente. Vale ressaltar que não há no CT uma entrada rápida para os carros de segurança. Essa entrada foi exigida pelos socorristas após avaliação técnica em 1996, que recomendou construção de uma pista retilínea, e seria localizada onde, atualmente, estão quiosques de alimentação.

A dificuldade se deu, de um lado, porque os bombeiros estavam procurando por fumaça, que não havia, e de outro, pela deficiência de placas de sinalização. Houve, assim, a necessidade de que um funcionário da secretaria percorresse o perímetro do CT para localizar o carro do Corpo de Bombeiros e encaminhá-lo para a entrada correta do estacionamento.

Lá, o socorrista recebeu os bombeiros e os acompanhou até local no 2º andar onde estavam os feridos, para estes não precisassem se locomover. Nesse momento, chegou a primeira ambulância do Corpo de Bombeiros, que conduziu os técnicos feridos, acompanhados do socorrista, para atendimento de emergência no HUCFF. Em seguida, chegou a segunda ambulância, que levou a aluna acompanhada da professora com quem foi deixada anteriormente. As duas ambulâncias chegaram praticamente juntas ao HUCFF.

A aluna foi encaminhada ao atendimento de emergência do HUCFF, onde não havia a especialidade de tratamento de queimaduras químicas. A equipe médica precisou se informar com os professores do PEMM e com a orientadora da aluna, que deram orientações sobre o produto químico que tinha provocado o acidente, como também contatar especialistas de outros hospitais para proceder com o atendimento correto. Segundo relato da aluna para a Comissão de Sindicância, o médico que a atendeu se queimou com o ácido ao tocar nela, mesmo 1h30min após a ocorrência do acidente. A aluna teve alta do hospital no dia seguinte.

6 A CONSTRUÇÃO DE RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DA SEGURANÇA

Este capítulo apresenta as recomendações que foram construídas coletivamente, visando à melhoria da segurança, pela comunidade do PEMM em reunião realizada no dia 11 de dezembro de 2019, a partir de discussões sobre o acidente. Dessa reunião participaram professores, alunos e técnicos do PEMM, além da Gerência de SMS da COPPE. A dinâmica do evento ocorreu conforme etapas descritas abaixo.

- I. Apresentação sobre Cultura de Segurança e Fatores Humanos e Organizacionais da Segurança com explicação dos principais aspectos relacionados ao tema.
- II. Apresentação do acidente e aspectos da segurança do PEMM de forma geral.
- III. Trabalho em grupos para construção de recomendações.
- IV. Discussão sobre as medidas propostas.

As recomendações construídas na reunião e debatidas por todos os presentes podem ser consolidadas em seis grandes recomendações, descritas a seguir.

- I. Presença mais efetiva dos gestores da COPPE, dos programas e dos laboratórios, assim como da Gerência de SMS, nos setores e laboratórios da instituição para: (i) conhecer e acompanhar as atividades; (ii) identificar dificuldades e principais riscos das situações de trabalho; (iii) monitorar aspectos de segurança; e (iv) implementar melhorias na área de segurança.
- II. Intensificação de atividades para interação e debate sobre segurança pela comunidade do PEMM e toda a comunidade acadêmica, incluindo centros acadêmicos, sindicatos, unidades do CT, a Coordenação de Políticas de Saúde do Trabalhador (CPST) e a Decania, por meio da criação da Semana de Segurança e de uma agenda pró-segurança com palestras e discussão sobre acidentes, riscos, medidas preventivas e demais aspectos sobre segurança.
- III. Aprimoramento de métodos e controles operacionais nos laboratórios, como: (i) método para realização de procedimento com agendamento prévio e definição de responsabilidades pela condução de cada etapa do preparo; (ii) registros de controle de identificação, armazenamento, uso e descarte de produtos químicos; (iii) registros de controle e uso de EPI e EPC; e (iv)

formulário online para descrição da pesquisa com escopo, EPI, produtos químicos a serem utilizados, principais riscos, necessidades de treinamento etc.

- IV. Disponibilização de treinamentos contínuos na área de segurança para professores, alunos e técnicos.
- V. Criação de canais para resolução de questões de segurança: (i) Ouvidoria específica para assuntos de segurança; (ii) Comissão de Segurança, em cada programa da COPPE, vinculada à Gerência de SMS; e (iii) comunicação direta e facilitada com o Setor de Manutenção da COPPE.
- VI. Reuniões periódicas semestrais por Programa da COPPE em conjunto com a Gerência de SMS, para abordar os principais riscos e debater sua prevenção, como, por exemplo, os riscos de incêndio relacionados à parte elétrica.

Após o acidente, algumas medidas foram tomadas, como implementação do Formulário de Controle de Preparação de Aulas Práticas e Metalografia (Anexo), criação de disciplina obrigatória no PEMM sobre Segurança no Trabalho (COT 711), além de instalação de placas de sinalização (Figura 25) e de chuveiro (Figura 26) no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM.



Figura 25 - Placas de sinalização no laboratório e na capela
Fonte: registro da autora (2020).



Figura 26 - Chuveiro instalado no laboratório

Fonte: registro da autora (2020).

Ressalta-se que existe ainda a necessidade de discussão futura sobre as recomendações propostas, de forma que elas possam ser validadas pela comunidade para efetiva implementação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os acidentes que já ocorreram em laboratórios da UFRJ demonstram a importância que deve ser dada à segurança por todos da comunidade acadêmica. Laboratórios de instituições acadêmicas que fazem uso de produtos químicos em suas pesquisas apresentam níveis de risco elevados, que podem causar acidentes graves, como o estudado nesta pesquisa. Nesse sentido, esses acidentes demonstram a necessidade de foco da organização na identificação dos riscos críticos, os organizacionais.

Ressalta-se que na UFRJ circulam 4.200 docentes, 9.000 técnicos e 67.000 alunos. Acidentes de alta gravidade podem ter consequências inimagináveis. Os acidentes que vêm ocorrendo ao longo dos anos, e alguns casos de incêndios mais recentes, indicam a necessidade de direcionamento maior de recursos para a segurança, de forma a garantir a integridade das instalações da instituição. Muitas dessas instalações, inclusive, são patrimônios históricos.

Os resultados dos trabalhos realizados na pesquisa contribuem para a melhoria da segurança na UFRJ. O estudo quanto ao uso do Nital na prática de análise metalográfica traz as condições necessárias para seu manuseio, preparo e armazenamento, além do uso específico no Laboratório de Metalografia e Aulas Prática e em outros laboratórios do PEMM. Esse resultado é uma importante base para a discussão futura da comunidade sobre os riscos potenciais do manuseio desse produto. Em relação ao acompanhamento das atividades de análise metalográfica na visita ao Laboratório de Metalografia e Aulas Prática do PEMM, seus resultados merecem um olhar aprofundado da instituição na identificação de possíveis aspectos humanos e organizacionais que podem estar contribuindo para a ocorrência de acidentes.

A descrição do estudo de caso do acidente objeto desta pesquisa mostra um problema de comunicação entre as vítimas, uma situação de caráter humano que pode ter sido gerada por diversos fatores, como cansaço, estresse, desatenção, desinteresse, ansiedade, que acabam por potencializar a ocorrência de um acidente. Quando um acidente desse porte ocorre, é necessário que a instituição reveja seus processos organizacionais para identificar possíveis causas, aquelas latentes, que podem estar contaminando todo o sistema e facilitando a ocorrência desses eventos. Este estudo de caso serve, portanto, como instrumento de aprendizado para a instituição na prevenção

de acidentes graves a partir do entendimento de que o foco deve estar nos riscos mais críticos.

A ocorrência de um acidente traz prejuízos financeiros e humanos, muitas vezes até com perda de vidas. E, além disso, prejudica a imagem da organização perante à sociedade. Por isso, há necessidade de discussões sobre os acidentes anteriores, de forma a também aprender com eles a prevenir novas ocorrências. Muitos desastres se deram porque as organizações ignoraram os sinais de alerta de incidentes anteriores ou não aprenderam com as lições do passado (COOKE, 2003). Nesse sentido, foram também apresentados casos similares de acidentes com Nital, encontrados na literatura cinza, que podem ser observados, analisados e comparados com o acidente deste estudo para enriquecer o aprendizado sobre segurança na instituição.

A reunião da comunidade do PEMM para construção das recomendações representa um papel preponderante na prevenção de futuros acidentes. As situações vividas e as experiências de trabalho trazidas por alunos, professores e técnicos dos laboratórios, além da discussão sobre os fatos do acidente objeto desta pesquisa, viabilizaram condições para a proposição de recomendações coletivas e adequadas à realidade da atividade a ser desenvolvida, considerando os principais riscos e as dificuldades encontradas. Dessa forma, essas recomendações têm probabilidade maior de representar prevenção real de futuros acidentes, principalmente os graves.

Um fator crítico a ser considerado é o distanciamento dos gestores e a ausência de discussão sobre os riscos das atividades e sobre acidentes já ocorridos, o que pode provocar um risco ainda maior para a segurança: o silêncio organizacional. Essa falta de diálogo pode fazer com que os colaboradores, pela ausência de oportunidades de interação, não relatem dificuldades ou falhas, por receio de punições. A questão crítica é que essas falhas ativas podem esconder falhas organizacionais, latentes e presentes nos processos há tempos. Ao não serem analisadas, podem causar um acidente ainda pior do que o anterior.

Outra questão que favorece o silêncio organizacional é a falsa ilusão dos gestores de que ao se apoiarem exclusivamente em normas estarão seguros e evitarão os acidentes. As normas se proliferam a cada dia, dificultando seu seguimento, e não são todas as situações de trabalho que permitirão sua aplicabilidade sem dificultar a realização da atividade e, muitas vezes, a própria segurança. Essa falsa ilusão pode gerar impacto

desastroso ao ocorrer um acidente inesperado onde o cumprimento de normas é inexequível (DEKKER, 2003).

O espaço de debate no trabalho permite que os operadores desenvolvam suas competências e construam uma experiência coletiva. Ao fazê-lo, desenvolve a sua capacidade de apresentar respostas pertinentes em tempo real e permite-lhes aumentar o relato e tratamento de situações de risco (ROCHA *et al.*, 2015, p. 7).

A principal contribuição desta pesquisa é a construção coletiva de recomendações a partir do compartilhamento entre os colaboradores de experiências e principais riscos encontrados, destacando a proposição de debate futuro aprofundado com uso dos dados levantados nesta pesquisa. Além disso, esta dissertação também contribui para o entendimento de que acidentes graves são considerados acidentes organizacionais e de que é fundamental sair do campo da culpabilidade do colaborador para implementar práticas na organização que ajudem a desenvolver sua cultura da segurança.

Os resultados apresentados nesta pesquisa levam à mudança de foco em relação à segurança nas instituições após a ocorrência de um acidente grave, em que se deixa de lado a questão da culpabilidade, para direcionar a instituição no caminho de ações de segurança baseadas na abordagem de FHO, que envolve a interação das pessoas e a participação dos gestores a partir da promoção de espaços para debates sobre segurança, compartilhamento dos principais riscos, adoção de recomendações que foram construídas coletivamente, investimentos em segurança, participação dos colaboradores nos projetos das estações de trabalho, treinamentos, além de sistema de gestão da segurança e de outras questões técnicas. A abordagem FHO, de acordo com a literatura, é a que consegue progredir mais a segurança, já que permite que a organização crie condições favoráveis para um comportamento seguro por todos e para todos.

A literatura acadêmica é escassa em relação à análise de acidentes e explosões decorrentes de manuseio de produtos químicos em laboratórios de instituições, principalmente acadêmicas. Não foi encontrado na literatura outro trabalho sobre acidentes com produtos químicos ocorridos em laboratórios de instituições cuja análise tenha tido uma abordagem de FHO. Esta pesquisa, portanto, é inédita. E, nesse sentido, seus resultados agregarão valor expressivo ao desenvolvimento da cultura de segurança em instituições científicas, notadamente na COPPE/UFRJ.

De acordo com a literatura, a cultura de segurança na academia ainda permanece pouco desenvolvida em relação à cultura existente nos laboratórios industriais. A partir

do momento em que a segurança é reconhecida como algo importante, prioritário, fundamental e de responsabilidade de todos, uma cultura de segurança vai se internalizando e evoluindo. A construção de uma cultura de segurança em uma instituição traz benefícios não somente para a segurança, mas, também, para a imagem da instituição e para a qualidade dos serviços que são prestados. A evolução de uma cultura de segurança não é algo a ser atingido em curto prazo, depende da integração, participação e mobilização de todos em relação às questões da segurança, com discussão contínua sobre riscos, ameaças, deficiências e forças da organização (BESNARD, 2017).

Dessa forma, as recomendações construídas de forma coletiva e os resultados desta pesquisa representam um passo considerável no processo de construção de uma cultura de segurança no PEMM e na COPPE/UFRJ. Ainda, os resultados desta pesquisa podem, pelo uso da abordagem de FHO em acidentes com produtos químicos, gerar novos trabalhos acadêmicos e apresentações em congressos na área de análise de acidentes em laboratórios de instituições científicas.

Esta pesquisa não teve como propósito a análise aprofundada de causas humanas e organizacionais que influenciam a ocorrência de um acidente, mas, sim, estudar o acidente ocorrido no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas do PEMM/COPPE/UFRJ sob a ótica da abordagem de FHO, visando construir recomendações coletivas com a comunidade do PEMM para melhoria da segurança e, adicionalmente, viabilizar um debate futuro sobre os dados levantados nesta pesquisa. Nesse sentido, seguem abaixo suas principais limitações.

- I. Os resultados apresentados são limitados ao estudo do acidente objeto desta pesquisa a partir de uma perspectiva de FHO.
- II. O MAPA foi utilizado apenas como meio de orientação para aplicação das técnicas de levantamento de dados, principalmente, no acompanhamento das atividades e nas entrevistas realizadas. O modelo não foi aplicado em sua íntegra, como instrumento de análise de acidentes.
- III. O acompanhamento das atividades ficou limitado ao conhecimento das principais atividades a partir da orientação do MAPA com abordagem de FHO, não tendo sido realizada análise aprofundada de aspectos humanos e organizacionais para identificar fatores que impactam a realização da atividade dos técnicos envolvidos no acidente.

- IV. O estudo do caso do acidente objeto desta pesquisa se limitou à análise sob a ótica de FHO, não tendo sido possível uma análise mais aprofundada sobre possíveis causas organizacionais e humanas que possam ter contribuído para a ocorrência do acidente.
- V. Com o surgimento da pandemia de Covid-19, a realização de debates ficou limitada à construção coletiva das recomendações, não tendo sido, ainda, possível realizar outros debates para validação dessas recomendações e para discussão aprofundada sobre os resultados desta pesquisa com a comunidade.
- VI. As entrevistas foram feitas apenas com servidores da UFRJ, não tendo sido possível, por questões diversas, entrevistar a aluna envolvida no acidente objeto desta pesquisa.

Esta pesquisa pode ser continuada com o desenvolvimento de trabalhos como os listados abaixo.

- I. Debate com a comunidade do PEMM para validação das recomendações construídas coletivamente no decurso desta pesquisa.
- II. Debate aprofundado com a comunidade do PEMM e gestores da COPPE para discussão sobre os resultados desta pesquisa.
- III. Debate com a comunidade do PEMM e gestores da COPPE para construção de recomendações adicionais a partir da análise sobre os resultados desta pesquisa.
- IV. Debate com a comunidade do PEMM e gestores da COPPE para validação das recomendações adicionais construídas a partir da análise sobre os resultados desta pesquisa.
- V. Diagnóstico da cultura de segurança no PEMM antes da implementação das recomendações construídas e validadas coletivamente pela comunidade do PEMM e gestores da COPPE.
- VI. Acompanhamento do processo de implementação das recomendações construídas e apresentadas nesta pesquisa e das futuras recomendações decorrentes de debate aprofundado sobre os dados aqui levantados.
- VII. Acompanhamento dos gestores da COPPE e do PEMM para análise e revisão dos processos internos organizacionais, de forma a identificar e corrigir possíveis falhas latentes.

VIII. Diagnóstico da evolução da cultura de segurança na COPPE após a implementação das recomendações de melhoria da segurança no PEMM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. M.; VILELA, R. A. G. **Modelo de Análise de Acidente de Trabalho – MAPA**. Piracicaba: CEREST, 2010.

AMALBERTI, R. **Gestão da Segurança**: Teorias e práticas sobre as decisões e soluções de compromisso necessárias. Botucatu: FMB-UNESP, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E407-07 (2015)**: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. West Conshohocken: ASTM, 2015.

ANTONSEN, S. **Safety Culture**: Theory, Method and Improvement. Burlington: Ashgate, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14725-2**: Produtos Químicos: Informações sobre Segurança, Saúde e Meio Ambiente: Parte 2: Sistema de Classificação de Perigo. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16291**: Chuveiros de Emergência e Lava Olhos: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AYDOGDU, C.; YARDIMCI, E. Accidents Occurred in Elementary Science Laboratories and Teachers Behavior Manners toward these Accidents. **H. U. Journal of Education**, v. 44, p. 52-60, 2013.

BANERT, K; RICHTER, F; HAGEDORN, M. Chemical Safety Note: Explosion Hazard during the Distillation of Propargyl Thiocyanate. **Organic Process Research & Development**, v.19, n. 8, p. 1068-1070, jul. 2015.

BESNARD, D. **Safety culture means paying constant attention to the 3 pillars**. Toulouse: ICSI, 2017. Our thoughts on safety culture, n. 27.

BESNARD, D.; BOISSIÈRES, I.; DANIELLOU, F.; VILLENA, J. (Coord.). **Safety Culture**: From Understanding to Action. Toulouse: ICSI, 2018. Les Cahiers de la Sécurité Industrielle Collection, n. 2018-01.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **The Craft of Research**. 2. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 2003.

BRONDINO, M.; PASINI, M.; SILVA, S. C. A. da. Development and validation of an Integrated Organizational Safety Climate Questionnaire with multilevel confirmatory factor analysis. Springer. **Quality & Quantity**, v. 47, n. 4, jun. 2013.

CHANCE, B. S. Case study: Reaction scale-up leads to incident involving bromine and acetone. **Journal of Chemical Health & Safety**, v. 23, n. 1. p. 2-4, jan./fev. 2016.

CHERNOBYL: what is the cost of life?. Criação: Craig Mazin. Direção: Johan Renck. Produção: HBO/Sky UK. Distribuição: Warner Bros Television Distribution. Lituânia: Sister Pictures/The Mighty Mint, 2019. 1 temporada. 5 episódios.

CHURCHILL, D. G. Chemical structure and accidental explosion risk in the research laboratory. **Journal of Chemical Education**, v. 83, n. 12, p. 1798-1803, dez. 2006.

COOKE, D. L. Learning from Incidents. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 21, 2003, New York. **Anais** [...]. New York: System Dynamics Society, 2003.

COOPER, D. **Improving safety culture**: A practical guide. Londres: Wiley, 1998.

DA SILVA, E. R. **Métodos para Revisão e Mapeamento Sistemático da Literatura**. 2009. Projeto (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Industrial, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DA SILVA, E. R. **Meu Academic Workflow para Mapeamento Sistemático da Literatura**. 2014. Material da disciplina ministrada no curso de mestrado do PEP-COPPE/UFRJ.

DANIELLOU, F. **Organizational Silence**: the best enemy of safety. Toulouse: ICSI, 2017. Our thoughts on safety culture, n. 26.

DANIELLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. **Fatores Humanos e Organizacionais da Segurança Industrial**: um estado da arte. Toulouse: ICSI, 2010. Les Cahiers de la Sécurité Industrielle Collection, n. 2013-07.

DARETS, D. (Coord.). **The investigation process following major technological accidents**: State of play and avenues for improvement. Toulouse: ICSI, 2018. Les Cahiers de la Sécurité Industrielle Collection, n. 2018-04.

DEJOURS, C. **Avaliação do Trabalho Submetida à Prova do Real**: Crítica aos Fundamentos da Avaliação. São Paulo: Blucher, 2008. Cadernos de TTO, n. 2, organizadores: Laerte Idal Sznclwar e Fausto Leopoldo Mascia.

DEKKER, S. Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and safety. **Applied Ergonomics**, v. 34, n. 3, p. 233-238, mai. 2003.

DEMICHELA, M. Self-triggering reaction kinetics between nitrates and aluminum powder. **Journal of Hazardous Materials**, v. 148, n. 1-2, p. 241-252, set. 2007.

DIEN, Y.; LLORY, M.; MONTMAYEUL, R. Organizational accidents investigation methodology and lessons learned. **Journal of Hazardous Materials**, v. 111, n. 1-3, p. 147-153, jul. 2004.

DINIZ, E. P. H.; LIMA, F. de P. A.; CAMPOS, M. A.; ROCHA, R. Barragem de Rejeitos de Fundão: Um acidente organizacional?. In: PINHEIRO, T. M. M. *et al* (Org.). **Mar de Lama da Samarco na Bacia do Rio Doce**: em busca de respostas. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2019. p. 141-160.

DRUPSTEEN, L.; GULDENMUND, F W. What Is Learning? A Review of the Safety Literature to Define Learning from Incidents, Accidents and Disasters. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, v. 22, n. 2, p. 81-96, jun. 2014.

DUARTE, F.; CORDEIRO, C. A Etapa de Execução da Obra: um momento de decisões. **Produção**, n. especial, p. 5-27, dez. 1999.

EOM, S. H.; LEE, S. K. A Study on Analysis of Laboratory Accident with Root Cause Analysis. **Journal of the Korean Institute of Gas**, v. 14, n. 4, p. 1-5, 2010.

GIBSON, J. H.; SCHRODER, I.; WAYNE, N. L. A research university's rapid response to a fatal chemistry accident: Safety changes and outcomes. **Journal of Chemical Health & Safety**, v. 21, n. 4, p. 18-26, jul. 2014.

GONÇALVES F., A. P.; ANDRADE, J. C. S.; MARINHO, M. M. de O. Cultura e Gestão da Segurança no Trabalho. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 205-220, 2011.

GUÉRIN, F. *et al.* **Compreender o Trabalho para Transformá-lo: a prática da ergonomia**. São Paulo: Blucher/Fundação Vanzolini, 2001.

GULDENMUND, F. W. The Use of Questionnaires in Safety Culture Research: an evaluation. **Safety Science**, v. 45, n. 6, p. 723-743, jul. 2007.

HOPKINS, A. **Safety Culture and Risk**: The organizational cause of disasters. Sydney: CCH, 2005.

INSTITUT POUR UNE CULTURE DE SÉCURITÉ INDUSTRIELLE. **The Essentials of Safety Culture**. Toulouse: ICSI, 2017. Collection Les Essentiels de la Sécurité Industrielle.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 45001:2018**: Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional: Requisitos com orientação para uso. Genebra: ISO, 2018.

JENSEN, N.; JORGENSEN, S. B. Learning Safety Assessment from Accidents in a University Environment. **Chemical Engineering Transactions**, v. 31, p. 427-432, 2013.

LACERDA, D. P. *et al.* Algumas Caracterizações dos Métodos Científicos em Engenharia de Produção: Uma análise de periódicos nacionais e Internacionais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2007.

LAURENT, A.; PERRIN, L.; DUFAUD, O. Investigation and Analysis of an Explosion in a Research Laboratory at a French University. **Chemical Engineering Transactions**, v. 36, p. 7-12, 2014.

LEE, K. W.; LEE, J. S. A Study on the Analysis of Accident Cases in Laboratories. **Journal of the Korean Institute of Gas**, v. 16, n. 5, p. 21-27, 2012.

LIMA, F.; DUARTE, F. Integrando a ergonomia ao projeto de engenharia: especificações ergonômicas e configurações de uso. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 679-690, 2014.

LLORY, M.; MONTMAYEUL, R. **O Acidente e a Organização**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014.

LYONS, M. University Safety culture: a work-in-progress? **Australian Universities Review**, v. 58, n. 1, p. 42-53, 2016.

MAGNE, L.; VASSEUR, D. (Coord.). **Risques industriels: Complexité, incertitude et décision, une approche interdisciplinaire**. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 2006.

McGARRY, K. A *et al.* Student Involvement in Improving the Culture of Safety in Academic Laboratories. **Journal of Chemical Education**, v. 90, n. 11, p. 1414-1417, out. 2013.

MEJRI, M.; DE WOLF, D. Crisis Management: Lessons Learnt from the BP DeepWater Horizon Spill Oil. **Business Management and Strategy**, v. 4, n. 2, 2013.

MENDES, R. (Org.). **Dicionário de saúde e segurança do trabalhador**: conceitos, definições, história, cultura. Novo Hamburgo: Proteção Publicações, 2018.

PERROW, C. **Normal Accidents**: Living with High Risk Technologies. New York: Basic Books, 1984.

PIDGEON, N. F. Safety Culture and risk management in organizations. **Journal of Cross-Cultural Psychology**, v. 22, n. 1, p. 129-140, 1991.

PROENÇA JR., D.; SILVA, E. R. Contexto e Processo do Mapeamento Sistemático da Literatura no trajeto da Pós-Graduação. **TransInformação**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 233-240, mai./ago. 2016.

PROGRAMA DE ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS/COPPE/UFRJ. **Informações sobre o Acidente no Lab. de Aulas Práticas – F-215**. 2018. Arquivo digital Power Point. 15 slides.

RASMUSSEN, J. Human errors: a taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. **Journal of Occupational Accidents**, v. 4, n. 2-4, p. 311, set. 1982.

REASON, J. **Human Error**. 20. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents**. New York: Taylor & Francis, 2016. E-book.

ROCHA, R.; MOLLO, V.; DANIELLOU, F. Work debate spaces: A tool for developing a participatory safety management. **Applied Ergonomics**, v. 46, p. 107-114, jan. 2015.

ROVNER, S. L. Using accidents to educate. **Chemical & Engineering News**, v. 85, n. 18, p. 29-30, 2007.

SEDAOUI, A. **Systematic sanctions are not the best approach to change the behaviour of a person who does not respect the rules**. Toulouse: ICSI, 2015. Our thoughts on safety culture, n. 14.

SHIH, C. C.; HORNG, R. S.; LEE, S. K. Investigation of Lab Fire Prevention Management System of Combining Root Cause Analysis and Analytic Hierarchy Process with Event Tree Analysis. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2016, p. 1-12, 2016.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

STEPHENSON, A. L.; WEST S. S.; WESTERLUND, J. F.; NELSON, N. C. An Analysis of Incident/Accident Reports from the Texas Secondary School Science Safety Survey, 2001. **School Science and Mathematics**, v. 103, n. 6, p. 293-303, out. 2003.

TRAGER, R. UCLA Researcher dies after tragic lab accident. **Chemistry World**, v. 6, p. 6, 2009.

TURNER, B. A.; PIDGEON, N. F. **Man-Made Disasters**. 2. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 1997.

VIEIRA, M. A.; DA SILVA JR. A.; DA SILVA, P. O. M. Influências das políticas e práticas de gestão de pessoas na institucionalização da cultura de segurança. **Production**, v. 24, n. 1, p. 200-211, jan./mar. 2014.

WILK, H. J.; CURNOW, W.J. Lab Safety and the UCLA Accident. **Chemical & Engineering News**, Washington DC, v. 90, n. 44, p. 4-5, 2012. Letters.

APÊNDICE A: ACIDENTES OCORRIDOS NA UFRJ

Acidente no antigo Laboratório de Corrosão/PEMM/COPPE/UFRJ (1994/1995)

A aluna, hoje professora e atual orientadora da aluna envolvida no acidente do estudo de caso desta dissertação, estava realizando um procedimento de limpeza de substratos e usava solução com ácido fluorídrico. A aluna perguntou onde poderia fazer o descarte, era normal perguntar, então a mostraram uma garrafa de plástico, onde ela despejou o rejeito e a tampou em seguida, só que na garrafa já continham outros produtos, inclusive peróxido de hidrogênio. Terminou seu procedimento de limpeza do substrato, deixando a garrafa na capela e, logo depois, a garrafa explodiu. Sofreu queimaduras no braço, rosto e barriga e, no momento, foi lavada com água da mangueira do laboratório. O ácido fluorídrico retira o cálcio do corpo e pode provocar parada cardíaca. Ficou internada durante uma semana, com compressas com cálcio para repô-lo no organismo, tendo oxigênio no sangue e batimento cardíaco monitorado, e queimaduras sendo cuidadas. Em 2011, passou a ser professora e, em 2012, assumiu a coordenação do Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos.

Incêndio no Laboratório do Departamento de Engenharia Química/EQ/UFRJ (1998)

Um incêndio começou no laboratório vizinho ao LADEQ e rapidamente atingiu o teto e a parte de cima das divisórias, que eram de plástico. O laboratório ficou imediatamente sem luz. No dia do acidente, o laboratório estava sem água, mas os colaboradores conseguiram utilizar os extintores à gás. Um deles correu para procurar extintores maiores e avisar a Brigada e o Corpo de Bombeiros. Mas, a iniciativa de outro colaborador evitou uma explosão, pois no laboratório havia cilindros de hidrogênio e outros gases explosivos. Esse funcionário, quando percebeu que não daria tempo para que os bombeiros controlassem a situação, iniciou uma ação de retirada desses cilindros, mesmo sem luz e com muita fumaça. Todos os cilindros foram retirados por ele, e quando os bombeiros chegaram conseguiram controlar o incêndio. Consequências: laboratório destruído, perda de muitos equipamentos. A iniciativa do colaborador de retirar os cilindros evitou algo bem pior, que seria uma explosão no Bloco I-2000. Pode-se citar esse caso como exemplo de segurança de ação, pois o colaborador agiu rapidamente.

Acidente no Laboratório de Propriedades Mecânicas/PEMM/COPPE/UFRJ (1999)

Um técnico de laboratório estava realizando uma reação com ácido clorídrico no laboratório e, ao abrir o frasco, ocorreu uma explosão, queimando suas mãos. O socorrista lavou o técnico com água da pia do laboratório durante uns 20 minutos, molhando seus braços e mãos. O técnico foi sozinho para o hospital, sofreu pequenas queimaduras e retornou ao trabalho três dias depois. Não usava EPI, e o laboratório não tinha chuveiro.

Incêndio no IQ/UFRJ (2004)

Duas geladeiras explodiram no sexto andar do IQ, causando um incêndio. No freezer, estavam armazenados solventes e reagentes tóxicos que em 10 minutos formaram uma fumaça que se espalhou pelo ambiente. O acidente pode ter sido causado por uma reação de um dos produtos químicos. Cerca de 300 pessoas, entre alunos, professores, pesquisadores e técnico-administrativos se encontravam no local. Consequências: doze pessoas internadas, aulas e pesquisas suspensas e interdição total do Bloco A.

Incêndio no Laboratório de Vertebrados/IB/CCS/UFRJ (2006)

O incêndio matou animais silvestres que eram utilizados para estudos no laboratório. O evento ocorreu quando funcionários e professores chegavam para trabalhar e perceberam grande quantidade de fumaça que saía por baixo da porta. Bombeiros foram acionados e conseguiram controlar as chamas. Consequências: morte de animais silvestres, perda de grande quantidade de papel e equipamentos eletrônicos e destruição de parte do laboratório.

Acidente em Laboratório no Bloco F do PEMM/COPPE/UFRJ (2009)

Um professor do PEMM veio a falecer ao retirar um aparelho de ar condicionado da prateleira, que acabou caindo sobre ele, o derrubando e fazendo com que o professor batesse a cabeça em um extintor. O setor de manutenção o avisou que precisava do andaime para executar o serviço, mas o professor decidiu não esperar sua chegada. Não foi possível confirmar na pesquisa de campo o nome exato do laboratório à época do acidente.

Incêndio no Laboratório de Microbiologia/CCS/UFRJ (2014)

Um curto-circuito em um aparelho de ar condicionado provocou incêndio no laboratório. Os bombeiros conseguiram conter as chamas, e o prédio foi evacuado pelos funcionários. Consequências: o laboratório ficou totalmente destruído, não foi registrado risco de explosão ou interdição, apenas fumaça gerada pela quantidade de fogo que afetou uma bancada do laboratório.

Acidente no Laboratório de Controle Poluição da Águas/PEQ/COPPE/UFRJ (2015)

Um aluno de Iniciação Científica sofreu um acidente enquanto realizava um procedimento que envolvia dosagem de ácido sulfúrico. Ao manipular um dispensador para frascos, recebeu um esguicho de ácido diretamente no rosto, que o queimou na altura dos olhos, no lado esquerdo. Após a chegada do bombeiro e registro das informações, o aluno informou à Gerência de SST sobre o ocorrido. O Coordenador do Programa avisou a Diretoria Administrativa da COPPE, que acionou a Assessoria de Qualidade/COPPE-Q e a Gerência de SST da COPPE para que fosse formada uma equipe de trabalho entre os setores e elaborado um relatório de não conformidades para o acidente. O aluno foi

atendido por um técnico de laboratório que o levou à pia mais próxima e jogou água da torneira em sua cabeça. O bombeiro plantonista da Brigada de Emergência da COPPE foi acionado através do ramal 7777, chegou ao local e orientou a aumentar o tempo de lavagem. Após a lavagem, o aluno foi colocado em um veículo e levado para o hospital Quinta D'or, onde recebeu os cuidados para a queimadura.

Vazamento Químico no Laboratório de Avaliação e Síntese de Substâncias Bioativas/ICB/CCS/UFRJ (2015)

Três cientistas estavam no local quando um deles descobriu o vazamento: uma ampola com 10 ml de bromo estava quebrada dentro de uma geladeira do laboratório. Consequências: pesquisadores foram encaminhados ao Hospital Universitário, os laboratórios do prédio foram lacrados, a substância foi trancada em uma urna isolada e retirada do local. Além disso, 8,5 mil alunos do CCS tiveram as aulas suspensas até que fosse feita uma medição das partículas da substância, altamente tóxica, liberadas pelo prédio.

Acidente no Laboratório de Modelagem, Simulação e Controle de Processos/PEQ/COPPE/UFRJ (2016)

Após uma aluna efetuar o carregamento de um reator de polimerização de butadieno com n-hexano, usado para lavar o reator após a fase de exaustão dos produtos, o erlenmeyer de vidro que continha cerca de 500 ml de solvente se quebrou, esparramando o solvente no chão do laboratório. Ao encontrar uma superfície aquecida, o solvente entrou em combustão e provocou rápida expansão de gases. A aluna que conduzia o experimento agiu rapidamente e controlou o princípio de combustão (que poderia levar a um incêndio), mostrando estar preparada e bem treinada para o enfrentamento de situações de emergência. O extintor de incêndio estava disponível, facilmente acessível e carregado. A Brigada de Incêndio foi acionada e chegou ao local com a presteza esperada. Os alunos foram avisados e evacuados pela saída de emergência. O sistema de exaustão do laboratório foi acionado e dispersou vapores orgânicos residuais. Na saída de emergência do laboratório, foi identificada uma saliência que provocou tropeções de alguns alunos, requerendo ação para remoção e revisão de procedimentos usados para a visualização de acidentes nas vias de exaustão do laboratório. Ao saírem do laboratório pela rota de emergência, os alunos se depararam com um portão fechado a chaves no porão, o que constitui uma não conformidade grande, requerendo revisão da rotina de fechamento dos portões do porão pela Diretoria.

**Acidente no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos/PEMM/COPPE/UFRJ
(2016/2017)**

O acidente ocorreu quando uma aluna de doutorado estava fazendo uma síntese com solução de hidróxido de sódio em torno de 140° C na autoclave e pediu ajuda a uma aluna de pós-doc para abrir o equipamento, só que a aluna de doutorado esqueceu de acionar as válvulas da autoclave de forma a liberar a pressão e, então, quando conseguiram abrir, a solução saiu sob pressão e atingiu o braço da aluna de pós-doc, respingando um pouco na aluna de doutorado. A orientadora da aluna e o socorrista levaram a aluna de pós-doc para o chuveiro da secretaria. Chamaram o SAMU e levaram as alunas para um hospital na Ilha do Governador. A aluna de pós-doc foi atendida no mesmo dia e foi para casa, teve uma pequena queimadura no braço. As duas alunas usavam jaleco e luva.

**Acidente no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas/PEMM/COPPE/UFRJ
(2018)**

Acidente objeto desta pesquisa, descrito no Capítulo 5 desta dissertação.

APÊNDICE B: PROCESSO DE MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

Descrição do Processo de Mapeamento Sistemático (PROENÇA E DA SILVA, 2016; DA SILVA, 2014; DA SILVA, 2009)

Softwares

- I. Zotero: utilizado como apoio na coleta de referências das bases de dados Google Scholar, BDTD e Amazon, visto que as referências encontradas não são exportadas em formato Bibtex. O software é utilizado para importar diretamente dessas bases e depois exportar em formato Bibtex para o Mendeley.
- II. Mendeley: todo arquivo de metadados da pesquisa resultante do processo de busca foi salvo em formato Bibtex e exportado para o Mendeley que gerencia as referências.
- III. Microsoft Excel: utilizado como método de controle e registro das referências encontradas e filtradas no Mendeley e como método de compilação do resultado das obras encontradas.
- IV. Microsoft Word: utilizado para as anotações gerais (questões da dissertação, dúvidas etc.) e anotações sobre os processos decisórios: heurísticas para busca de referências até o processo de filtragem dos resultados,

Planilhas

Planilha de Controle de Mapeamento Sistemático: os dados quantitativos de cada pesquisa resultante no processo de busca nas etapas de seleção e filtragem foram registrados e controlados em uma planilha Excel. Também foi utilizada para compilação dos resultados já estratificados em categorias de temas e por tipo.

Hardware

Notebook ACER.

Fluxo de Mapeamento Sistemático

O desenvolvimento do fluxo de mapeamento sistemático tomou como base as cinco etapas do processo de realização de um Mapeamento Sistemático da Literatura, citado por Proença e Silva (2016): (i) busca por referências; (ii) coleta das referências para um repositório organizador; (iii) filtragem das referências; (iv) relato dos resultados; e (v) controle do processo.

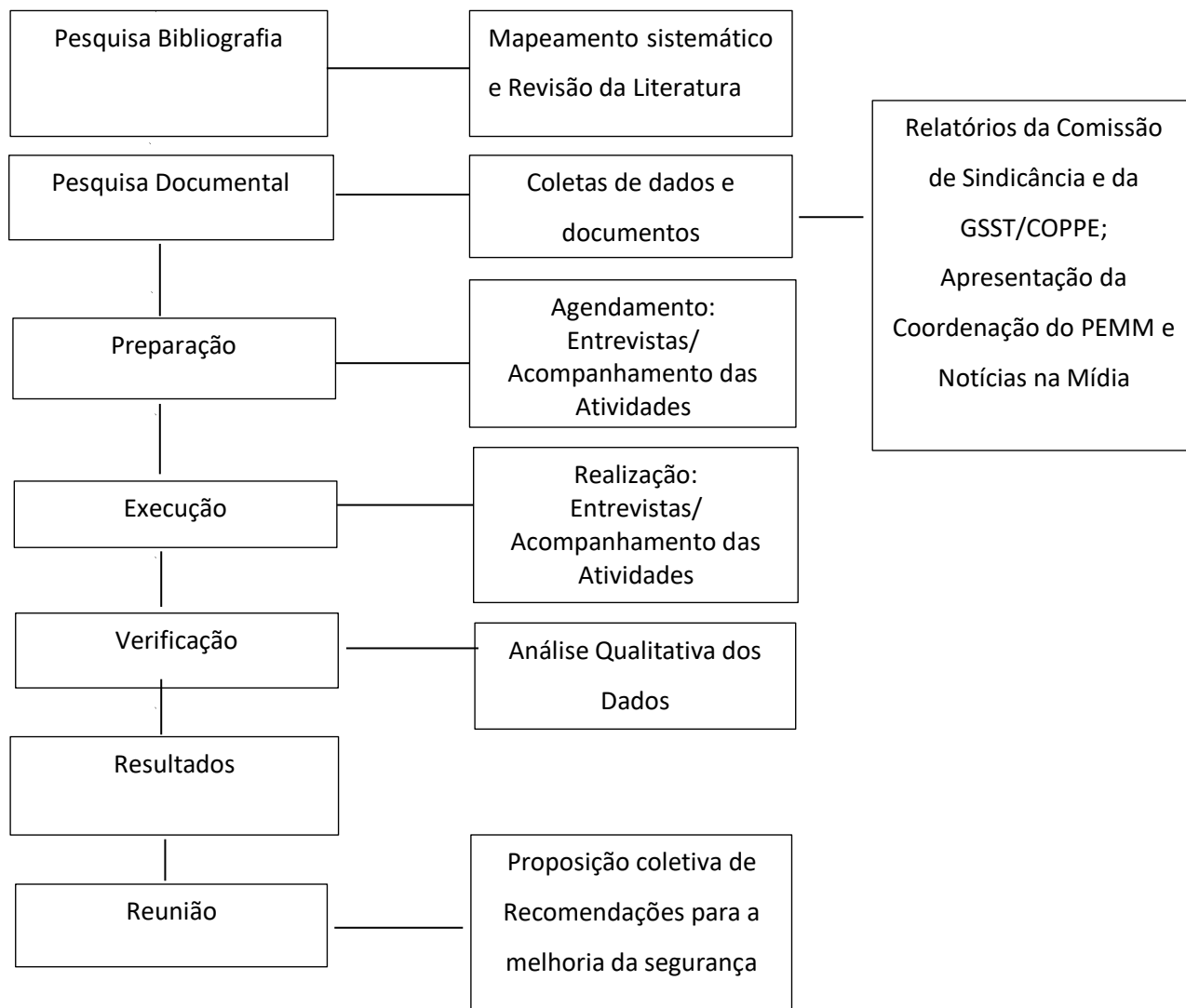
A tabela deste apêndice apresenta os resultados de todas as sementes utilizadas e heurísticas aplicadas desde a etapa de inserção dos dados no Mendeley (total de inserção dos resultados encontrados nas bases procuradas) até a etapa de filtragem das obras para leitura analítica. Para cada etapa de filtragem, conforme descrito na tabela, foram tomadas decisões e estabelecidos critérios de rejeição baseados principalmente em: (i) ausência de títulos e abstract; (ii) textos indisponíveis; (iii) casos de acidentes que eram foco de estudo nos laboratórios; (iv) acidentes que não ocorreram em laboratórios. Na etapa de leitura de inspeção para a leitura analítica, o critério de seleção foi restrito para obras que abordassem especificamente: *acidentes ocorridos em laboratórios de pesquisa em instituições acadêmicas* ou *acidentes com produtos químicos/explosões ocorridos em laboratórios de qualquer instituição*. Todas as obras selecionadas para leitura analítica foram usadas como referências.

A utilização de palavras-chave como sementes foi aplicada nas bases *ISI Web of Science*; *Google Scholar*; *Amazon*, *BDTD*, conforme mostra a tabela a seguir.

Resultado da busca de referências a partir das sementes utilizadas e etapas de filtragem (2018)

Sementes	Incluídos no Mendeley das Bases de Dados										
	Incluídos no Mendeley	Duplicatas	A filtrar	Rejected title & Abstract	Selected Title & Abstract	Texto Completo Indisponível	Texto Completo Disponível	Rejeitados Textos Completos	Selecionado Texto Completo	Lidas Inspeccional 2	A ler analítico/Usadas
Topic= (Accidents AND Labs)	254	2	251	234	17	8	11	5	6	6	6
Topic: (Accident* AND "Research Laborator*")	118	0	118	12	6	1	5	3	2	1	1
Topic: ("Accident* Analysis" AND Methodology)	166	0	166	161	5	3	2	0	2	1	0
Topic: ("Accident* Analysis" AND Research Laborator*)	13	0	13	5	8	0	8	0	8	8	8
Topic: ("Accident* Analysis" AND "Research Laborator*")	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE C: MACROFLUXO DO PROCESSO DA PESQUISA



APÊNDICE D: PRINCIPAIS ATIVIDADES DO LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA E AULAS PRÁTICAS

Em visita realizada no dia 17/07/2019, foi acompanhada a atividade de análise metalográfica de tubos metálicos realizada pelo técnico contratado do Laboratório de Propriedades Mecânicas (I-227). Já na visita realizada em 20/02/2020, foram relatadas pelo técnico responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas as principais atividades que lá ocorrem: (i) execução de todo o processo da análise metalográfica; (ii) ensaios mecânicos de impacto; e (iii) aulas práticas de análise metalográfica e de ensaios mecânicos de impacto para alunos da graduação. Durante o relato, que foi gravado, foi possível também acompanhar algumas dessas atividades.

Para a descrição sistemática da atividade de análise metalográfica, incluindo a específica do técnico contratado, foram utilizados, como um meio de orientação, os componentes do MAPA: indivíduo (I), tarefa (T), meio de trabalho ou ambiente (MT). Ressalta-se que na atividade do técnico contratado existe uso do ácido nítrico, principal componente do Nital, e na atividade de análise metalográfica pode ocorrer uso do Nital.

Atividade de análise metalográfica de tubos metálicos

A atividade de análise metalográfica de tubos (canos) metálicos é a atividade de rotina do técnico contratado pelo Laboratório de Propriedades Mecânicas e diretamente envolvido no acidente. O técnico desenvolve essa atividade no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, onde também atende alunos de outros laboratórios na ausência do técnico responsável pelo laboratório.

Descrição sistemática com base nos componentes do modelo MAPA:

a) Indivíduo (I): o técnico foi servidor da UFRJ por 35 anos, se aposentou e foi contratado para executar atividades do Laboratório de Propriedades Mecânicas (I-227). Suas atividades são executadas no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas (F-215), que é um laboratório multiusuário e, por isso, acaba atendendo diversos alunos, principalmente, com demandas que envolvem entrega de produto químico, preparo de soluções e ataques em peças.

b) Tarefa (T): as principais etapas da análise metalográfica de tubos metálicos são descritas a seguir:

- Etapa 1 - Recebimento de tubos metálicos: coleta dos tubos metálicos em partes de 4 a 6 m de aço HP no Laboratório de Ensaaios não Destrutivos, Corrosão e Soldagem (LNDC) para serem cortados na máquina de serra de fita.
- Etapa 2 - Corte dos tubos: os tubos devem ser cortados em anéis na máquina de serra de fita no LNDC. Os anéis são levados pelos técnicos para o Laboratório de Propriedades Mecânicas.
- Etapa 3 - Teste de recebimento: deve ser realizado um teste de recebimento com uma pequena parte do anel (análise metalográfica sem a etapa do forno) para testar o estado da amostra no recebimento.
- Etapa 4 - Fotografia da amostra: deve ser sempre fotografado o pedaço da amostra antes e depois da análise metalográfica.
- Etapa 5 - Forno: o anel deve ir ao forno (de 30 a 3000° C) no Laboratório de Tratamento Térmico (fundos do Bloco I) para ser monitorado de 1000 em 1000 horas, durante um ano e meio. A cada 1000 horas, um pedaço do anel, retirado do forno, vai para análise metalográfica para verificar a microestrutura da peça.
- Etapa 6 - Embutimento: deve ser realizado o procedimento na máquina de embutimento no LNDC, inserindo a peça na máquina e acrescentando o pó de baquelite. A máquina é ligada, tampando-a e controlando a pressão (200 bar) e a temperatura a 200°C – a baquelite então vai solidificar de forma a tornar o pedaço do anel manuseável.
- Etapa 7 - Lixamento: é feito no Laboratório da Metalografia e Aulas Práticas, utilizando a máquina de lixar com lixas de 100, 200, 320, 600 e 1200.
- Etapa 8 - Polimento: é feito no Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, utilizando a máquina de polimento com produto alumina 1 micron.
- Etapa 9 - Secagem: é feita com secador térmico de até 500°C.
- Etapa 10 - Verificação no microscópio: a peça de aço HP é observada no microscópio para verificar se não há mais riscos na peça.
- Etapa 11 - Ataque: se a peça estiver pronta, deve ser feito o ataque com solução de 10 ml de HNO₃, 20 ml de HCl, 30 ml de H₂O e pó de cloreto de cobre até saturar.
- Etapa 12 - Verificação final: a peça deve ser observada no microscópio para verificar se está pronta para tirar a foto final.

c) Material (M): são utilizados os seguintes materiais, substâncias e equipamentos: água, pó de baquelite, pó de cloreto de cobre, ácido clorídrico e ácido nítrico, aço HP, lixas, máquina de corte (serra de fita), forno, máquina de pressão e calor (embutimento),

máquina de lixa, máquina de polimento, secador térmico, microscópio, jaleco, luvas e óculos de proteção para algumas etapas.

d) Meio de trabalho (MT): os locais de trabalho onde a atividade é realizada são o LNDC; o Laboratório de Propriedades Mecânicas; a sala ocupada pelo técnico no corredor contíguo à F-215, onde utiliza o microscópio ótico, e o Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, especificamente, a área de Preparação de Amostras.

Atividade de análise metalográfica

A atividade de análise metalográfica é uma atividade de rotina, realizada de acordo com a demanda de alunos de graduação ou pós-graduação de qualquer laboratório do PEMM. As etapas de todo o processo foram relatadas pelo técnico responsável pelo laboratório. Ressalta-se que as etapas do processo de análise metalográfica podem ser solicitadas pelos alunos de forma independente ou combinada, sendo todo o processo ou etapas realizadas pelos técnicos do laboratório. Alunos de pós-graduação experientes podem realizar algumas das etapas com observação dos técnicos, com exceção da etapa de corte e preparo do reagente.

Descrição sistemática com base nos componentes do MAPA:

a) Indivíduo (I): técnico responsável pelo laboratório, técnico em mecânica, principal responsável pelo atendimento aos alunos do curso de graduação e pós-graduação de Engenharia Metalúrgica que frequentam o laboratório; servidor da UFRJ, lotado no laboratório desde 2011; a atividade também é desenvolvida pelos técnicos contratado e servidor.

b) Tarefa (T): as principais etapas da análise metalográfica são descritas a seguir:

- Etapa 1 - O aluno de graduação ou pós-graduação leva o material ao Laboratório de Análise Metalográfica e Aulas Práticas para realização da análise metalográfica pelo técnico.
- Etapa 2 - O técnico analisa o tamanho do material e verifica a necessidade de corte; às vezes é necessário extrair uma pequena parte da peça e, nesse caso, levar o material para a máquina de corte.
- Etapa 3 - A peça já cortada se necessário é fotografada para fins de comparação com o final do processo de análise metalográfica.
- Etapa 4 - O técnico leva a peça para a máquina embutidora para que se torne uma amostra manuseável durante o processo de análise metalográfica.
- Etapa 5 - O técnico inicia, então, a preparação da superfície da amostra a ser analisada. Lixa a amostra na máquina de lixamento, seguindo uma sequência

granulométrica de lixas, dependendo da amostra, da mais grossa para a mais fina – 100, 220, 320, 400, 600, 1200 ou 2500 –, de forma a planificar a superfície a ser analisada.

- Etapa 6 - Com a amostra já lixada e a superfície da amostra bem planificada, a amostra é lavada com água corrente e secada com secador térmico.
- Etapa 7 - Com a amostra já seca, o técnico inicia a etapa de polimento, podendo ser de três tipos: mecânico, o mais comum, que utiliza um pano de polimento e uma solução abrasiva que pode ser de alumina ou partícula de diamante; químico mecânico, com solução de alumina e ácido oxálico; e eletrolítico, raramente utilizado por ser mais complexo e envolver ácido perclórico, material explosivo se mal manuseado. O polimento serve para eliminar ao máximo a rugosidade superficial e os riscos que possam atrapalhar a visualização da microestrutura a ser analisada no microscópio.
- Etapa 8 - O acabamento superficial da amostra é analisado no microscópio.
- Etapa 9 - Inicia-se a etapa de preparo da solução para o ataque químico. Diferentes reagentes químicos, como ácidos, podem ser usados para possibilitar a análise da microestrutura da superfície da amostra, que é a análise metalográfica. A análise da amostra é realizada no microscópio, a partir de um processo de corrosão controlada. Os reagentes químicos a serem utilizados dependerão da estrutura e composição do metal, podendo ser usado uma gama de reagentes químicos, que irão corroer a amostra de maneiras diferentes. Esse processo de corrosão controlada da superfície possibilita a visualização da amostra no microscópio, ressaltando o contorno dos grãos. Normalmente, é usado o Nital, pois é considerado um reagente coringa por servir para uma variedade de aços carbono. O Nital é preparado na capela, normalmente com 2% de ácido nítrico e 98% de etanol para estruturas microscópicas ou com 10% de ácido nítrico e 90% de etanol para estruturas macroscópicas. Dependendo do metal, é necessário usar ácidos mais ou menos potentes, por exemplo, ácido fluorídrico, muito usado para ligas de titânio, ou água régia preparada com ácido clorídrico e ácido nítrico. Se para determinado metal não se sabe qual produto químico utilizar, o técnico procura na literatura. A reação é preparada na capela pelo técnico com uso de máscara, luva nitrílica e, dependendo do ácido, luva comprida.
- Etapa 10 - A amostra é atacada dentro da capela, podendo ser aplicados diferentes métodos: ataque por imersão, em que a amostra é imersa na solução; ataque por esfregamento, quando se esfrega um algodão com a solução na amostra; e ataque direto na amostra despejando a solução na amostra de forma a gerar uma corrosão controlada na superfície da amostra e, assim, possibilitar a visualização da microestrutura desejada.
- Etapa 11 - A amostra é levada ao microscópio ótico para a análise metalográfica. A fonte de luz passa pela lente objetiva e joga o feixe de luz na amostra que, por estar espelhada, o reflete, permitindo que o técnico visualize

pela lente ocular ou na câmera as propriedades mecânicas da amostra. Ou seja, ele analisa como a cadeia cristalográfica do metal se comporta. Por exemplo, o Nital ataca o contorno do grão do metal, permitindo a visualização da microestrutura do metal no microscópio. Acabando a etapa de ataque químico, se lava e seca a amostra para tirar foto no microscópio.

- Etapa 12 - O técnico analisa as fotos da amostra e entrega a amostra e suas fotos ao aluno solicitante, que as leva para seu laboratório. Em alguns casos, o aluno e o técnico de seu próprio laboratório continuam o trabalho, analisando a amostra no microscópio eletrônico de varredura. Alguns laboratórios possuem seus próprios microscópios eletrônicos de varredura e de transmissão.

c) Material (M): são utilizados os seguintes materiais, substâncias e equipamentos: água, pó de baquelite, pó de cloreto de cobre, produtos químicos, lixas, máquina de corte, máquina de embutimento, máquina de lixa, máquina de polimento, secador térmico, microscópio, jaleco, luvas e óculos de proteção.

d) Meio de trabalho (MT): o local de trabalho onde a atividade é realizada é a área de Preparação de Amostras do Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas.

Atividade de ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos são realizados pelo técnico responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas, de acordo com a demanda de alunos de graduação e pós-graduação de qualquer laboratório do PEMM. Os ensaios mecânicos podem ser diferenciados: de dureza, de Charpy, de tração e compressão, e suas dinâmicas foram relatadas pelo técnico responsável pelo laboratório em visita feita no dia 20/02/2020. Somente esse técnico procede os ensaios, com exceção do ensaio de dureza que, por ser mais simples, os alunos mais experientes podem fazer, pois não requer uso de EPI e nem marcação prévia. Para o teste, são utilizadas máquinas de dureza e indentadores.

No ensaio mecânico de Charpy, que é de impacto e alta velocidade, é utilizado um aparato específico para ensaio de impacto de Charpy, além de EPI, como bota e óculos. No ensaio de tração e compressão, são utilizadas duas máquinas universais de ensaio de tração e compressão, muito utilizadas nas atividades de rotina e nas aulas práticas. É uma atividade relativamente simples, mas, por questões de preservação dos equipamentos, que são caros, é feita apenas pelo técnico, com uso de óculos de proteção. Esse teste é agendado. Como para a realização desses ensaios não é utilizado nenhum tipo de reagente

químico, em especial o Nital, essa atividade não foi descrita em detalhes com base nos componentes do MAPA.

Aula Prática de Análise Metalográfica e Ensaaios Mecânicos

A aula prática de análise metalográfica e ensaios mecânicos é um treinamento demonstrativo, realizado pelo técnico responsável pelo Laboratório de Metalografia e Aulas Práticas e direcionado aos alunos da graduação do Departamento de Engenharia Mecânica. Ocorre na área de Preparação de Amostras do laboratório. São dois dias de treinamento, sendo que no primeiro dia é realizada a demonstração dos ensaios mecânicos – de Charpy, de tração e compressão e de dureza, sem uso de reagentes químicos – e no segundo, o técnico faz a demonstração de todo o processo de preparação de uma amostra até a fase de análise metalográfica no microscópio ótico, descrito em detalhes na atividade de análise metalográfica.

Os professores marcam a aula antecipadamente com o técnico, e os alunos precisam ir de calça jeans e tênis. Os óculos de proteção são distribuídos aos alunos pelo técnico. Na aula sobre ensaios mecânicos, o técnico inicia com teoria, explanação geral sobre as propriedades mecânicas, como elas funcionam e qual é a dinâmica de cada propriedade mecânica. Na aula de análise metalográfica, o técnico permite que os alunos executem as etapas de lixamento e polimento, mas nem todos se habilitam e nem sempre é possível, visto questões de restrição de tempo. Por isso, o técnico se coloca à disposição para que possíveis interessados possam procurá-lo posteriormente.

Durante a aula são utilizados os mesmos materiais e equipamentos das atividades de rotina de análise metalográfica e ensaios mecânicos. Como na aula de ensaios mecânicos não há uso de reagentes e na aula prática de análise metalográfica raramente é utilizado o Nital, não foram utilizados os componentes do MAPA para descrição da atividade de aula prática.

ANEXO: FORMULÁRIO DE CONTROLE DE PREPARAÇÃO DE AULAS PRÁTICAS E METALOGRAFIA

Laboratório Multiusuário de Aulas Práticas e Metalografia

Formulário de controle de preparação de soluções metalográficas

Dados do solicitante:

Nome: _____

Contato (telefone ou email): _____

Laboratório em que trabalha/estuda: _____

Função: Professor: __, Técnico: __, Graduação: __, Mestrado: __, Doutorado: __.

Obs: se for aluno, obter autorização do professor orientador:

Prof. Orientador: _____ Assinatura: _____

Descrição da solução a ser preparada (**listar os reagentes e quantidades**):

Observações importantes (leia com atenção!):

- Tanto a manipulação dos reagentes quanto a preparação da solução poderão **somente ser executadas pelo técnico metalográfico do laboratório ou por técnico ou professor qualificado para executar essa preparação;**
- **Usar os equipamentos de proteção individual** (luvas, óculos de proteção/máscara) **e realizar a preparação dentro da capela com a exaustão ligada;**
- Após o uso da solução, **a mesma deverá ser neutralizada e descartada;**
- Caso a solução vá ser transferida para uso outro laboratório, **tal atividade deve ser descrita e aprovada previamente pelo professor orientador/coordenador do laboratório de destino da mesma.** A transferência do reagente para outro laboratório deverá ser realizada **em recipiente próprio para essa operação e por pessoa qualificada para essa atividade;**
- Em caso de dúvida, observar a FISQP dos reagentes (Ficha de informações de segurança de produtos químicos);