

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Agustin Javier Diaz Cejas

**APERFEIÇOAMENTOS EM UMA *FRAMEWORK* PARA
ANÁLISE DE FOLGAS EM SISTEMAS SÓCIO-
TÉCNICOS COMPLEXOS: APLICAÇÃO EM UM
LABORATÓRIO QUÍMICO.**

Porto Alegre

2018

Agustin Javier Diaz Cejas

**Aperfeiçoamentos em uma *framework* para análise de folgas em Sistemas Sócio-técnicos
Complexos: Aplicação em um Laboratório Químico.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Tarcísio Abreu Saurin, Dr.

Porto Alegre

2018

Agustin Javier Diaz Cejas

**Aperfeiçoamentos em uma *framework* para análise de folgas em Sistemas Sócio-técnicos
Complexos: Aplicação em um Laboratório Químico.**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Tarcísio Abreu Saurin, Dr.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Dr.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Gonçalves Amaral, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Profa. Priscila Wachs, Dra. (PPGEP/UFRGS)

Profa. Naira Poerner Rodrigues, Dra. (DEQUI/UFRGS)

Dedicatória

À minha esposa Caroline e minha filha Laura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Tarcísio Abreu Saurin, pelos ensinamentos, suporte, correções e incentivos.

A esta universidade, em especial à Pró-reitoria de Pós-Graduação, pelo apoio para a realização do curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço ainda aos meus familiares e amigos e a todos aqueles que de algum modo me ajudaram nesta caminhada.

RESUMO

Medidas para gerenciamento de saúde e segurança em laboratórios são de extrema importância em laboratórios químicos. As pessoas que realizam qualquer atividade em um ambiente de laboratório estão expostas a diversos perigos e, conseqüentemente, existe o risco de ocorrência de eventos adversos para a saúde e segurança. Este trabalho foi desenvolvido em um laboratório químico de uma universidade federal tem como principal objetivo o aperfeiçoamento de uma *framework* que permite a realização de uma análise sistemática qualitativa e quantitativa das folgas presentes em um sistema sócio-técnico complexo. Ferramentas da Engenharia de Resiliência foram utilizadas para estudar o laboratório, o qual foi considerado como um sistema sócio-técnico complexo. Uma das características de um sistema resiliente é a capacidade de lidar com a variabilidade, o que pode ser obtido por meio de recursos de folgas (*slack*) no sistema. O uso da *framework* permitiu obter dados importantes para a análise do sistema e sugestões de melhorias. Os aperfeiçoamentos propostos na *framework* mostraram-se eficazes, principalmente na quantificação das folgas e variabilidades, em função da utilização do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para a análise de dados. O método AHP tornou possível substituir o uso de questionários para toda a equipe por uma avaliação direcionada a especialistas. Ao utilizar o AHP, os dados podem ser adquiridos com maior rapidez. Outro ganho obtido com o uso do método AHP foi a possibilidade de redução de uma etapa da *framework*, tornando-a mais concisa.

Palavras-chave: Sistemas sócio-técnicos complexos, Engenharia de resiliência, Folgas, Variabilidades, *Analytical Hierarchy Process*, Laboratórios químicos.

ABSTRACT

Measures for health and safety management are of paramount importance in chemical laboratories. People who perform any activity in a laboratory environment are exposed to a variety of hazards and consequently there is a risk of adverse health and safety events. This work was developed in a chemical laboratory of a federal university, and has as main objective the improvement of a framework that allows the accomplishment of a systematic qualitative and quantitative analysis of the slack present in a complex socio-technical system. Tools of Resilience Engineering were used for studying a chemical laboratory, which was considered as a complex socio-technical system. One of the characteristics of a resilient system is the ability to deal with variability, which can be obtained through slack resources in the system. This work was developed in a chemical laboratory of a federal university and consists in the improvement of a framework that allows the accomplishment of a systematic qualitative and quantitative analysis of the slack present in the system. The use of the framework allowed to obtain data important for the analysis of the system and suggestions for improvements. The improvements proposed in the framework proved to be effective, especially in the quantification of slack and variability, as a function of the AHP (Analytical Hierarchy Process) method for data collection. The AHP method made it possible to replace the use of questionnaires for the entire team by an expert team assessment. By using AHP, data can be acquired more quickly. Another gain obtained with the use of the AHP method was the possibility of reducing one stage of the framework, making it more concise.

Key words: Complex socio-technical systems, Resilience engineering, Slack, Variability, Analytical Hierarchy Process, Chemical laboratories.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relações entre as características dos sistemas complexos.....	25
Figura 2: As quatro capacidades essenciais de um sistema resiliente.	28
Figura 3: Definição de segurança.....	30
Figura 4: Fluxo de eventos de um acidente e respectivas ações protetivas.....	31
Figura 5: Abordagem de segurança tradicional.....	32
Figura 6: Diferença entra o trabalho imaginado (tarefa) e o trabalho real (atividade).....	35
Figura 7: Framework para identificação de Folgas em SSTC.....	42
Figura 8: Aplicações do método FRAM.	47
Figura 9: Função do FRAM.	48
Figura 10: Níveis do método AHP criados na decomposição do problema.....	49
Figura 11: Planta baixa do 3º andar (laboratórios).....	55
Figura 12: Planta baixa do 1º andar (central analítica e laboratório).	55
Figura 13: Alterações na aplicação da framework.	62
Figura 14: Exemplo de matrizes para avaliação das variabilidades.....	64
Figura 15: cálculo do vetor peso das variabilidades de acordo com o critério probabilidade.....	65
Figura 16: Vetor peso calculado para matrizes da Figura 14.	65
Figura 17: Risco calculado para as variabilidades dos dados da Figura 14.	66
Figura 18: Matrizes para avaliação da eficácia das folgas em relação às variabilidades.	67
Figura 19: Matriz para determinação de eficácia geral das unidades de folga.....	68
Figura 20: Matrizes com as médias geométricas dos valores preenchidos.	77
Figura 21: Matriz para cálculo da eficácia geral das unidades de folga.....	80
Figura 22: Valores médios da avaliação da eficácia das unidades de folga.....	81
Figura 23: Gráfico do EP associado ao risco das variabilidades.....	89
Figura 24: Aparato para aquecimento ôhmico 1.	91
Figura 25: Modelo FRAM do aquecimento ôhmico - trabalho normal.....	94
Figura 26: Estrutura para experimento com aquecimento ôhmico 2.....	95
Figura 27: FRAM - experimento de determinação do teor de cinzas.....	99
Figura 28: FRAM - incidente com experimento de determinação do teor de cinzas.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Princípios para projetos de SST.	21
Quadro 2: Atributos de complexidade dos sistemas.	24
Quadro 3: Visões a respeito do erro humano.	33
Quadro 4: Definições de Folga.....	36
Quadro 5: Valores para atribuição de pesos do AHP.....	51
Quadro 6: Equipamentos utilizados pelos pesquisadores do laboratório analisado.	56
Quadro 7: Perfil dos entrevistados	63
Quadro 8: Classificação das unidades de folga.....	69
Quadro 9: Fontes de dados consultadas em cada etapa da framework.....	72
Quadro 10: categorias de análise de dados e respectivas evidências.	73
Quadro 11: Características dos quatro subsistemas que compõem o SSTC estudado.	74
Quadro 12: Classificação das unidades folgas.	85
Quadro 13: Funções do modelo FRAM para aquecimento ôhmico.	92
Quadro 14: Funções do modelo FRAM para o experimento de determinação do teor de cinzas.	97
Quadro 15: Funções do modelo FRAM para o experimento de determinação do teor de cinzas em amostras.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice aleatório de consistência RI.....	52
Tabela 2: Risco relativo das fontes de variabilidade definidas.	78
Tabela 3: Eficácia das unidade de folga em relação às fontes de variabilidade e escopo.	82
Tabela 4: Eficácia das folgas.....	83
Tabela 5: Escore de Proteção das fontes de variabilidade.....	84
Tabela 6: Eficácias das folgas e risco das variabilidades associados ao aquecimento ôhmico.....	93
Tabela 8: Eficácia das folgas e risco das variabilidades em incidente com aquecimento ôhmico.....	96
Tabela 9: Eficácia das folgas e risco das variabilidades na análise de teor de cinzas.....	98
Tabela 10: Eficácia das folgas e risco das variabilidades em incidente com análise de teor de cinzas.	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEPS: Anuário Estatístico de Previdência Social

AHP: Analytical Hierarchy Process

APP: Análise Preliminar de Perigos

BIC: Bolsa de Iniciação Científica

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CDM: Critical Decision Method

CNAE: Código Nacional de Atividade Econômica

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DSR: Design Science Research

EP: Escore de Proteção

EPI: Equipamento de Proteção Individual

ER: Engenharia de Resiliência

EUf: Eficácia da Unidade de Folga

FDSR: Ficha com Dados de Segurança de Resíduos Químicos

FISPQ: Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FMEA: Failure Modes, Effects Analysis

FRAM: Functional Resonance Analysis Method

GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals

HAZOP: Hazard and Operability Study

HRO: High Reliability Organization

IC: Índice aleatório de Consistência

IEC: International Electrotechnical Commission

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INSSBT: Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo

IR: Índice de Risco

ISO: International Organization for Standardization

NAC: Número de Acoplamentos

NAJ: Número de Acoplamentos à Jusante

NAM: Número de Acoplamentos à Montante

NR: Norma Regulamentadora

NTP: Nota Técnica de Prevenção

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

RC: Razão de Consistência

RCA: Root Cause Analysis

SST: Sistema Sócio-técnico

SSTC: Sistema Sócio-técnico

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

W: Peso da Unidade de Folga

WAD: work-as-done

WAI: work-as-imagined

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. CONTEXTO	15
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.3. QUESTÃO DE PESQUISA.....	18
1.4. OBJETIVOS	18
1.5. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1. SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS (SST)	21
2.2. RESILIÊNCIA	27
2.3. ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA	28
2.4. SAFETY-I E SAFETY-II	29
2.5. VARIABILIDADE E FOLGA (SLACK).....	35
2.7.1. Classificação das Folgas	39
2.6. ANÁLISE DE FOLGAS EM SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS COMPLEXOS	41
2.7. MÉTODO DE ANÁLISE DA RESSONÂNCIA FUNCIONAL (FRAM - <i>Functional Resonance Analysis Method</i>).....	45
2.8. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS – AHP	48
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	53
3.1. ABORDAGEM EPISTEMOLÓGICA	53
3.2. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	53
3.3. APLICAÇÃO DA <i>FRAMEWORK</i>	61
3.4. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS	70
3.5. ANÁLISE DE DADOS	73
4. RESULTADOS	74
4.1. ETAPA 1 – DEFINIÇÃO DOS LIMITES E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	74
4.2. ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE VARIABILIDADE	75
4.3. ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DO RISCO DAS FONTES DE VARIABILIDADE.....	76
4.4. ETAPA 4 – IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE FOLGA.....	78
4.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DO ESCOPO E EFICÁCIA DAS UNIDADES DE FOLGA.....	80
4.6. ETAPA 6 – CLASSIFICAÇÃO DAS FOLGAS	84
4.7. ETAPA 7 – COMPARAÇÃO DAS FOLGAS COM A LEGISLAÇÃO, NORMAS E BOAS PRÁTICAS	86

4.8. ETAPA 8 – ANÁLISE GERAL DO RISCO <i>VERSUS</i> ESCORE DE PROTEÇÃO DAS UNIDADES DE FOLGA: OPORTUNIDADES DE REDESENHO	89
4.9. ETAPA 8.1 – ANÁLISE DE EVENTOS CRÍTICOS	90
4.9.1. Experimento 1: Tratamento térmico via aquecimento Ôhmico	90
4.9.2. Experimento 2: Determinação do Teor de Cinzas Totais	97
4.10. ETAPA 9 – RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS.....	103
4.11. ETAPA 9.1 – ANÁLISE DAS MELHORIAS QUE INFLUENCIAM FOLGAS E VARIABILIDADES.....	104
4.12. ETAPA 10 – ANÁLISE DA SOLIDEZ TEÓRICA DAS RECOMENDAÇÕES	104
5. CONCLUSÕES	106

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Laboratórios químicos apresentam uma grande gama de perigos. Além dos perigos referentes à natureza dos produtos usados, há também aqueles perigos relacionados aos procedimentos e equipamentos. A abordagem do assunto segurança em laboratórios sempre esteve em segundo plano nos currículos das universidades. A prioridade pelo ensino de química, bioquímica e biologia fez com que o tema de segurança ficasse como uma nota de rodapé nos procedimentos de experimentos laboratoriais (HILL e FINSTER, 2010). A probabilidade de ocorrência de acidentes aumenta significativamente quando há funcionários ou estudantes inexperientes e que não estão cientes dos perigos (riscos) associados à maioria dos produtos químicos dos laboratórios. Mesmo trabalhadores experientes podem estar em risco ao manipularem produtos químicos perigosos (ADANE e ABEJE, 2012).

No ano de 2016 havia no Brasil mais de 23.800 estudantes de pós-graduação executando atividades em laboratórios químicos (GEOCAPES - Sistema de Informações Georreferenciadas CAPES). Do mesmo modo, em 2015, um número superior a 393.400 discentes estavam matriculados em cursos de graduação que possuem aulas ministradas em laboratórios químicos (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP/MEC).

Em 2015, foram registrados 413 acidentes típicos nesses laboratórios, associados ao Código Nacional de Atividade Econômica/CNAE 72.10-0 – Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências físicas e naturais (Anuário Estatístico de Previdência Social - AEPS 2015). Esses registros tratam somente de trabalhadores contribuintes da Previdência Social, portanto não contemplam os estudantes de nível superior que atuam em laboratórios com trabalhos de pesquisa. Deve-se observar que não existem dados relacionados a acidentes com alunos ocorridos em aulas ou trabalhos em laboratórios químicos.

Ambientes de laboratórios químicos podem ser considerados sistemas sócio-técnicos complexos (SSTC). Um sistema sócio-técnico é qualquer sistema em que há relações de trabalho entre pessoas e tecnologia (máquinas, plantas e matérias-primas). A tecnologia provoca mudanças na estrutura de trabalho influenciando as propriedades sociais e psicológicas existentes (COOPER; FOSTER, 1971). Laboratórios apresentam todas as características de sistemas complexos propostas por Saurin e Sosa (2013): (i) grande número

de interações dinâmicas, (ii) diversidade de elementos, (iii) variabilidades não previstas, e (iv) resiliência. Por exemplo, a diversidade de elementos fica evidente no laboratório quando consideradas as pessoas com formação diversa (graduação, pós-graduação, pós-doutorado, docentes) realizando experimentos que envolvem grande variedade de produtos químicos e equipamentos. As interações que ocorrem são muito dinâmicas, visto que as condições (tais como experimentos e pessoas simultaneamente trabalhando) são sempre variáveis.

Segundo Perrow (1984), os sistemas podem ser lineares ou complexos e possuir interações com acoplamento forte ou fraco. Sistemas lineares seguem uma sequência em cadeia com relação causal entre os eventos. Por outro lado, um sistema complexo possui interações não lineares dinâmicas que ocorrem entre os elementos ou entre esses e o ambiente, bem como nem sempre podem ser previstas ou imediatamente compreendidas (LEVESON, 2002). Sistemas com acoplamento fraco são aqueles em que os processos têm flexibilidade e contam com variações e alternativas. Esses sistemas, devido ao fraco acoplamento, possuem folgas intrínsecas aos processos. Por outro lado, sistemas fortemente acoplados apresentam pouca possibilidade de variação em seus processos e não possuem folgas intrínsecas (PERROW, 1984).

Os SSTCs em estudo, laboratórios químicos, apresentam forte acoplamento em função de aspectos como: a proximidade física entre os elementos, o que facilita interações não antecipadas; a própria natureza dos experimentos e reações químicas, que após desencadeadas não podem ser facilmente revertidas; o uso de insumos padronizados como reagentes e equipamentos. Nesses casos, as folgas necessárias para tornar o sistema resiliente devem ser projetadas para atuar sobre as variabilidades possíveis.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Organizações de alta confiabilidade (*HRO - High Reliability Organization*), as quais são conhecidas por manterem excelentes níveis de segurança mesmo atuando em sistemas altamente complexos, têm entre suas principais características a presença de redundância e folgas (SAUNDERS et al., 2016).

Folgas são um conjunto de recursos de uma organização que excede o mínimo necessário para que se possa atingir um determinado nível de produção (NOHRIA e

GULATI, 1996). Embora as folgas permitam que as organizações de alto risco operem de forma segura e confiável, elas também podem adicionar gastos desnecessários, complexidade e uma falsa sensação de segurança (PERROW, 1984). Os recursos de folga devem ser planejados de maneira que sejam eficientes para a organização. Por isso, torna-se necessário estabelecer uma maneira de quantificar e medir as folgas e, assim, encontrar um ponto ótimo de aplicação.

O estudo dos recursos de folga, na literatura, geralmente está associado a reservas financeiras, estoques de material ou disponibilidade de mão de obra. (MARCH, 1962; BOURGEOIS, 1981; SINGH, 1986; CHENG e KESNER, 1997; LAWSON, 2001; AZADEGAN et al, 2013). Já na perspectiva da segurança, o conceito é utilizado de modo mais restrito, com ênfase em redundâncias técnicas (por exemplo, válvulas de segurança).

Dentro da área da Engenharia de Resiliência (ER), existe um amplo campo de estudo para folgas associadas à segurança. A ER é um novo paradigma para o gerenciamento de segurança que se concentra em como lidar com a complexidade para alcançar o sucesso (WOODS et al. 2006). A ER reconhece a necessidade de estudar a segurança como um processo, fornecendo novas formas de monitorar os sistemas e novas formas de intervir para melhorar a segurança (WOODS e HOLLNAGEL, 2006a). As aplicações da ER para fins de segurança também adotam o princípio de *Safety II*, o qual postula que para garantir a segurança de um sistema é necessário entender porque os resultados positivos são obtidos, ao invés de apenas aprender a partir da análise de falhas. Esse pensamento é complementar ao modo tradicional de ver a segurança (*Safety I*) em que se prioriza o estudo das falhas (HOLLNAGEL, 2014). A visão de segurança sob a perspectiva de *Safety-II* não é dirigida somente para as falhas: o trabalho normal com as variabilidades do dia a dia também é alvo de estudo. Isso possibilita maiores oportunidades de aprendizado visto que as mesmas variabilidades estão presentes tanto no trabalho normal quanto nas falhas (SUJAN et. al, 2016).

Na literatura, são poucos os modelos ou *frameworks* para análise mais ampla, sob uma perspectiva sócio-técnica e não apenas técnica, dos recursos de folga com aplicação voltada para segurança, sendo ainda mais raras as abordagens com ênfase em *Safety-II*.

Saurin e Werle (2017) desenvolveram uma *framework* para análise de folgas em SSTCs, a qual foi aplicada em uma maternidade. Em que pesem resultados positivos, a versão

original da *framework* tem limitações, tais como um grande número de etapas de aplicação (treze etapas) e a necessidade de avaliar parâmetros de risco e eficácia das folgas com base em questionários aplicados a uma quantidade grande de respondentes, que permitisse análises estatísticas relevantes. Essa limitação é importante quando da aplicação em ambientes com poucos potenciais respondentes, ou quando esses não têm disponibilidade. Além disso, como a *framework* havia sido utilizada em um único ambiente, possíveis dificuldades de aplicação da mesma decorrentes de outros contextos poderiam não ter sido identificadas. Deste modo, o presente trabalho visa aperfeiçoar a *framework* em relação às limitações mencionadas, por meio de sua aplicação em outro SSTC, um laboratório químico. Conforme mencionado, esse ambiente oferece perigos relevantes e possui características de complexidade, o que o torna propício para uma nova aplicação da *framework* criada por Saurin e Werle (2017). Para a coleta e análise de dados utilizou-se o método AHP, devido a algumas características: (i) facilidade de aplicação; (ii) método amplamente testado e aplicado, (iii) permite a análise de dados a partir da opinião de especialistas; e (iv) permite a avaliação de situações complexas pela comparação pareada de critérios.

1.3. QUESTÃO DE PESQUISA

A partir da consideração de que o ambiente composto por um laboratório químico é um SSTC, bem como das limitações da *framework* anteriormente mencionadas, a questão principal que guia essa dissertação pode ser enunciada como segue: como aperfeiçoar uma *framework* para análise de recursos de folga em sistemas sócio-técnicos complexos? Duas questões secundárias também são apresentadas: (a) quais as particularidades, dificuldades e oportunidades da análise de folgas em laboratórios químicos? (b) que outros métodos, além dos questionários aplicados originalmente por Saurin e Werle (2017), podem ser utilizados para quantificar folgas e variabilidades no contexto da *framework*?

1.4. OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é o refinamento, por meio da aplicação em um ambiente de laboratório químico, de uma *framework* (SAURIN; WERLE, 2017) para análise de folgas em sistemas sócio-técnicos complexos. Os objetivos específicos são: (i) identificar

particularidades, dificuldades e oportunidades da análise de folgas em laboratórios químicos;
(ii) testar alternativas para quantificação de folgas e variabilidades.

1.5. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

A pesquisa foi desenvolvida em um ambiente específico, isto é, um laboratório químico de uma Universidade Federal, utilizado para pesquisa de graduação e pós-graduação. Outra delimitação é que, embora o contato com laboratórios vizinhos seja possível (embora raro), não foram estudadas essas possíveis interações entre laboratórios.

Considerando a utilização do método AHP, o número de fontes de variabilidades utilizadas foi elevado. Devido a isso, em alguns casos foi necessário repetir o preenchimento das matrizes maiores (9x9). Segundo Saaty (1990), baseado nos estudos de Miller (1956), as pessoas tendem a ficar confusas quando um número elevado de informações é processado simultaneamente. Conforme Miller (1955) o valor limite para uma pessoa processar informações de maneira clara é 7 ± 2 .

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

A apresentação deste trabalho é composta por cinco capítulos. Na introdução, primeiro capítulo, são relatadas as informações de natureza mais ampla acerca do tema que será abordado. Neste capítulo também são descritos o problema de pesquisa que será tratado ao longo do trabalho, assim como a questão de pesquisa, objetivos e delimitações.

Durante o segundo capítulo, referencial teórico, é discutida toda a fundamentação teórica do trabalho. São descritos conceitos básicos com ampla discussão na literatura, tais como sistemas sócio-técnicos, sistemas sócio-técnicos complexos, resiliência e engenharia de resiliência. Outros temas centrais para o trabalho são destacados, são eles: folgas, *safety-I*, *safety-II*, risco e variabilidade. A *framework* utilizada como espinha dorsal deste estudo é apresentada detalhadamente. Os métodos AHP e FRAM (*Functional Resonance Analysis Method*), que serão utilizados como ferramenta de análise ao longo do trabalho, também se encontram no referencial teórico.

O método de pesquisa é apresentado no terceiro capítulo. Estratégia e classificação da pesquisa são abordadas, assim como a metodologia da coleta dos dados. Neste capítulo destaca-se a metodologia de aplicação da *framework* nas diversas etapas que a compõem.

No quarto capítulo são apresentados os resultados do estudo. Seguindo as etapas da *framework*, os dados são discutidos passo a passo. Na parte inicial são identificadas as fontes de variabilidade e as unidades de folga. Com base nessa identificação é desenvolvido todo o trabalho baseado métodos FRAM e AHP.

Por fim, no quinto capítulo, encontra-se a conclusão do trabalho. A análise final dos resultados é realizada. Apresentam-se sugestões para trabalhos futuros e limitações encontradas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS (SST)

O termo sistema pode ter definido como o arranjo de partes (componentes, pessoas, funções, subsistemas), que interagem entre si intencionalmente ou não, tendo em vista alcançar determinados objetivos (HOLLNAGEL, 2004). Já um SST constitui qualquer sistema de produção que requer o uso de tecnologia (máquinas, layout de instalações ou matérias primas) associada a operadores humanos. Um sistema sócio-técnico possui funções que podem ser executadas por máquinas, pessoas ou até mesmo organizações (TIAN et al., 2016).

Os sistemas sócio-técnicos possuem quatro subsistemas: (i) subsistema técnico; (ii) subsistema de pessoas; (iii) ambiente externo; e (iv) organização do trabalho. Esses quatro subsistemas interagem uns com os outros, de modo que uma mudança em qualquer subsistema afeta os outros (HENDRICK e KLEINER, 2001; HENDRICK, 2002). As principais características dos subsistemas encontram-se descritas no Quadro 1.

Quadro 1: Princípios para projetos de SST.

Subsistema Técnico	Pode ser definida de diferentes maneiras: (i) pelo modo de produção, ou tecnologia de produção; (ii) pela ação que os indivíduos executam em um objeto para modificá-lo, ou tecnologia baseada no conhecimento; (iii) pela maneira de reduzir a incerteza ou a estratégia para reduzir a incerteza; e (iv) pelos graus de automação, rigidez do fluxo de trabalho e especificidade das atividades.
Subsistema de Pessoas.	Existem pelo menos três características principais: (i) o grau de profissionalismo, (ii) características demográficas; e (iii) aspectos psicossociais da força de trabalho.
Subsistema de ambiente externo	Como sistemas abertos, as organizações exigem mecanismos de monitoramento e <i>feedback</i> para acompanhar e detectar mudanças em seus ambientes externos para poder efetuar ajustes oportunos e responsivos.
Subsistema de organização do trabalho.	Refere-se à estrutura do sistema de trabalho de uma organização e aos processos criados para atingir os objetivos da organização. Possui três dimensões centrais: complexidade, formalização e centralização.

Fonte: Própria.

O projeto de um SST é dependente dos objetivos da organização. Todas as organizações são sistemas sócio-técnicos. Para a melhoria de projetos e desempenho de novos

sistemas, é necessário que os aspectos sociais e técnicos sejam vistos de maneira interdependente (CLEGG, 2000). Clegg (2000) propôs 19 princípios para o projeto de sistemas sócio-técnicos com base nos nove princípios estabelecidos anteriormente por Cherns (1976).

As organizações interagem continuamente com seu ambiente externo. Toda organização capta insumos de seu ambiente e os transforma em resultados desejados que são exportados para o ambiente (CLEGG, 2000). As organizações utilizam dois fatores principais para efetuar esse processo de transformação: tecnologia (sob a forma de um subsistema técnico) e pessoas (sob a forma de um subsistema de pessoas). O projeto do subsistema técnico define principalmente as tarefas a serem executadas, enquanto que o projeto do subsistema de pessoas descreve a forma como as tarefas são realizadas (HENDRICK, 2002). Para esse autor, os dois subsistemas interagem em todas as interfaces: humano-trabalho, humano-máquina e humano-software. Os subsistemas técnicos e de pessoas são interdependentes e sofrem influência do ambiente externo. Desse modo, alterando um subsistema e ajustando o segundo de acordo com as mudanças, obtêm-se uma otimização do sistema de trabalho como um todo.

Complexo não é o mesmo que complicado. Um sistema complicado pode ter um grande número de partes e interações entre as partes, mas pode ser descrito e compreendido completamente (HEYLIGHEN et. al, 2007). Para sistemas complicados é possível desenvolver modelos matemáticos para capturar todos os estados possíveis do sistema. O reducionismo é uma estratégia útil para entender pelo menos grandes partes de sistemas complicados (DEKKER, 2011). Pode-se dividir o sistema para observar como funcionam as partes separadamente e, por sua vez, como contribuem para o bom ou mau funcionamento de outras partes ou sistemas.

Complexidade refere-se então ao grau de diferenciação e integração que existe dentro do sistema de uma estrutura de trabalho. Diferenciação trata do número e variedade de partes em que o sistema de trabalho é dividido. Integração se relaciona com número e tipos de mecanismos que são utilizados para integrar as partes segmentadas, para os propósitos de comunicação, coordenação e controle (HENDRICK, 2002). Para Cilliers (2002), não há como compreender um sistema complexo analisando apenas as partes, porque não se pode prever o resultado da interação entre os componentes do sistema e a interação entre o sistema

e o meio ao seu redor. Essa interação pode resultar em propriedades emergentes, as quais são propriedades novas e imprevisíveis na maior parte dos casos.

Segundo Perrow (1984), os sistemas podem apresentar interações lineares ou complexas. Interações lineares predominam em todos os sistemas, embora mesmo sistemas lineares também possuam algumas interações complexas. Sistemas lineares têm relação direta de causa e efeito entre os subsistemas (HOLLNAGEL, 2012a). Sistemas complexos apresentam menor tolerância a problemas de qualidade ou mau funcionamento de equipamentos porque possuem grande especialização do trabalho e a possibilidade de substituição de pessoas ou equipamentos é limitada, ao contrário dos sistemas lineares. (PERROW, 1984). Segundo esse autor, os sistemas apresentam acoplamentos que podem ser de natureza forte ou fraca, independentemente da complexidade ou linearidade.

De acordo com Cilliers (2005), os sistemas complexos apresentam algumas características: (i) os sistemas complexos são sistemas abertos (sofrem influência do ambiente externo); (ii) operam em condições de não equilíbrio (imprevisibilidade, turbulência); (iii) os sistemas complexos são compostos por muitos componentes, os quais podem ser simples (aumento de interações); (iv) os *outputs* dos componentes são uma função dos *inputs*. Pelo menos algumas dessas funções devem ser não lineares; (v) as interações são dinâmicas, ou seja, elas mudam no decorrer do tempo; (vi) os sistemas complexos exibem um comportamento que resulta da interação entre os componentes e não de características inerentes aos próprios componentes (fenômenos emergentes); (vii) a organização temporal, espacial e funcional é desenvolvida, mantida e se adapta através de processos dinâmicos internos. A estrutura se mantém mesmo que seus componentes sejam substituídos ou renovados (resiliência); (viii) diferentes descrições, com diversos graus de complexidade, podem representar o sistema; isso significa que a complexidade depende também do observador e da forma de representar o sistema, não apenas do sistema em si.

A definição de complexidade sempre foi difícil de ser estabelecida. Apesar disso, o conceito de complexidade é amplamente utilizado, usualmente sem definição, em todos os campos da ciência, da biologia à filosofia. Uma maneira de definir complexidade é mediante o oposto de simplicidade. Alguma coisa é simples se envolve algumas partes e se as relações entre as partes podem ser entendidas. Quando algo é complexo, envolve muitas partes e as relações entre essas partes não são diretas. A partir de uma abordagem mais formal, pode-se definir complexidade como a medida do número de possíveis estados que um sistema pode

atingir (HOLLNAGEL, 2011). Werle e Saurin (2017) caracterizaram complexidade a partir de quatro atributos estudados por Saurin e Sosa (2013), apresentados no Quadro 2. Saurin e Sosa (2013) chegaram a esses atributos desenvolvendo dois tipos de estudo: (i) ênfase na complexidade de SST (PAGE, 2007; SWEENEY, 2006; KURTZ AND SNOWDEN, 2003; PERROW, 1984), e (ii) ênfase na complexidade sob a perspectiva epistemológica (Èrdi, 2008; Vesterby, 2008; Cilliers, 2005).

Quadro 2: Atributos de complexidade dos sistemas.

Atributos	Características do atributo
Grande número de elementos com interações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> - o sistema muda constantemente - as interações são não lineares. - as interações ocorrem entre elementos fortemente acoplados.
Ampla diversidade de elementos	<ul style="list-style-type: none"> - os elementos são diferenciados de acordo com categorias, como níveis de hierarquia ou especialização. - a natureza das relações entre os elementos é variada, em relação a alguns aspectos como grau de cooperação e compartilhamento de objetivos.
Variabilidade Inesperada	<ul style="list-style-type: none"> - incerteza, resultado da riqueza de interações entre os elementos bem como do fato de que os elementos recebem informações de fontes indiretas ou inferenciais. - Sistemas complexos são abertos, ou seja, interagem com o meio. - emergências são manifestações da variabilidade inesperada. Um fenômeno emergente surge da interação entre os elementos, independentemente de qualquer controle central ou design.
Resiliência	<ul style="list-style-type: none"> - é habilidade do sistema de ajustar seu funcionamento, antes, durante, ou depois de mudanças ou distúrbios; assim o sistema pode manter as operações necessárias em condições esperada e inesperadas. - ajuste de desempenho para preencher lacunas de procedimentos, qualquer que seja a razão ou extensão, como uma subespecificação para uma situação esperada ou inaplicabilidade em uma situação inesperada. - ajuste de desempenho é guiado por <i>feedback</i> de eventos recentes e história anterior da organização. - Auto-organização que permite ao sistema complexo desenvolver espontaneamente uma mudança adaptativa na estrutura para lidar com o ambiente.

Fonte: Adaptado de Righi e Saurin, 2015.

As características dos sistemas sócio-técnicos complexos (SSTC), estudadas por Saurin e Sosa (2013), relacionam-se entre si de acordo com a representação da Figura 1. O grande número de elementos que interagem dinamicamente e a ampla diversidade de elementos estão associados principalmente a duas propriedades dos elementos que formam o

sistema: quantidade e diversidade. A resiliência e variabilidade inesperada relacionam-se principalmente com a forma como o sistema funciona.



Figura 1: Relações entre as características dos sistemas complexos.
 Fonte: Adaptado de Saurin e Sosa, 2013.

O grande número de elementos com interações dinâmicas e a ampla diversidade de elementos são características paradoxais. Embora elas ajudem a criar variabilidade inesperada, que pode ser um problema, elas também podem ajudar a enfrentá-lo, ao fornecer recursos para a resiliência. Quando a interação dinâmica de um grande número de elementos diversos não pode ser totalmente descrita e prevista, ela é uma fonte de variabilidade inesperada. No entanto, o grande número de elementos que interagem dinamicamente é um recurso para a resiliência, uma vez que pode proporcionar folgas e pode facilitar o ajuste de desempenho, devido às interações (SAURIN e GONZALEZ, 2013). Além disso, a grande diversidade de elementos pode fornecer diferentes perspectivas e alternativas para orientar o ajuste de desempenho, auto-organização e, portanto, resiliência (RIGHI e SAURIN, 2015).

Saurin et al. (2013) definiram seis diretrizes básicas para o gerenciamento de sistemas sócio-técnicos complexos:

- **Dar visibilidade aos processos e resultados:** em vez de apenas enfatizar as anormalidades, também deve ser dada visibilidade às práticas de trabalho informais que provocam resultados positivos e, ao longo do tempo, podem tornar-se parte do trabalho normal. Isso é necessário, uma vez que os mecanismos que levam a resultados bem sucedidos são geralmente os mesmos que conduzem a anormalidades;
- **Incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão:** é positivo aproveitar a diversidade de agentes e relações em um sistema complexo para combater a incerteza e, portanto, a complexidade. A tomada de decisão em situações complexas requer o trabalho de uma equipe formada por agentes que possuam habilidades complementares. Esta diretriz tem como limitação o tempo, visto que não é rápido o acionamento de uma equipe multidisciplinar;
- **Antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças:** a não linearidade e alta interação entre os elementos de um sistema complexo implica em que as otimizações locais podem ter resultados globais indesejados. Pequenas mudanças podem gerar grandes impactos quando lidamos com sistemas complexos. As organizações devem definir seus próprios critérios em relação a quais pequenas mudanças devem ser antecipadas e monitoradas, e também devem definir o que conta como uma pequena mudança. Caso contrário, existe o risco de sobrecarga de informações e desperdício de tempo monitorando mudanças irrelevantes;
- **Projetar folgas:** destina-se principalmente a absorver os efeitos da variabilidade. Folga significa recursos de reserva disponíveis, de qualquer tipo, que podem ser solicitados em momentos de necessidade. O papel da folga é vital onde os acidentes podem ter resultados catastróficos. Nessas situações, a gerência não deve estar tão focada em pequenos ganhos de eficiência, pois isso pode levar o sistema para um estado crítico de segurança. A escolha do tipo certo e da quantidade de folga é limitada pelas particularidades de cada sistema. Vale ressaltar que a folga pode ter um efeito colateral prejudicial em duas das outras diretrizes da gestão de SSTC. Primeiro, a folga pode contribuir para manter os problemas ocultos, uma vez que os efeitos indesejados não serão imediatamente percebidos. Segundo, o projeto da folga pode disfarçar pequenas mudanças no sistema, tornando a antecipação e monitoramento mais difíceis;

- **Monitorar as diferenças entre o trabalho prescrito e o real:** o uso de procedimentos operacionais padronizados é uma estratégia bem conhecida para reduzir a complexidade, na medida em que reduz a variabilidade imprevista. Porém, é impossível para abranger todas as situações possíveis e sempre haverá lacunas em procedimentos padronizados. O preenchimento dessas lacunas pelos usuários deve ser visto como uma oportunidade de aprendizagem;
- **Criar um ambiente favorável à resiliência:** embora a resiliência seja uma propriedade inerente de um sistema complexo, ele pode ser suportado ou dificultado pelo projeto do sistema. O uso das prescrições discutidas anteriormente é um meio de criar um ambiente que suporte a resiliência. Outras medidas podem ser tomadas de acordo com as particularidades do sistema.

2.2. RESILIÊNCIA

O termo resiliência foi inicialmente utilizado na área da biologia, no estudo de sistemas ecológicos. A definição de resiliência tem sido usada por pesquisadores de diversas áreas como biologia, psicologia, organizacional e segurança para descrever a capacidade adaptativa de organismos, espécies, grupos e organizações (NEMETH, HOLLNAGEL, DEKKER, 2009).

A capacidade resiliente de uma organização é a propriedade de assumir uma situação específica, robusta e realizar ações transformadoras na ocorrência de acontecimentos inesperados e significativos que têm o potencial de pôr em perigo a sobrevivência da organização (LENGNICK-HALL e BECK). Para Hollnagel (2014), um sistema é dito resiliente se pode ajustar o seu funcionamento antes, durante ou após a ocorrência de alterações e distúrbios, e, assim, manter as operações necessárias em condições esperadas e inesperadas. Woods (2015) estabeleceu quatro perspectivas do conceito de resiliência: (i) resiliência como resposta a um trauma e retorno ao equilíbrio; (ii) resiliência como sinônimo de robustez; (iii) resiliência como o oposto de fragilidade; e (iv) resiliência como uma rede que pode sustentar a capacidade de se adaptar à futuras surpresas como as condições de evoluir.

Conforme Westrum (2006), resiliência tem três significados importantes que podem ser observados de maneira conjunta ou separada: (i) resiliência é a capacidade de impedir que algo de ruim aconteça; (ii) ou a capacidade de impedir que algo ruim se torne pior; (iii) ou a capacidade de se recuperar de algo ruim, uma vez que já aconteceu.

Resiliência é mais do que a habilidade do sistema de manter-se em funcionamento em situações de estresse ou grandes distúrbios, já que isso poderia ser alcançado através do isolamento do próprio sistema. O funcionamento da organização ou sistema deve ser mantido mediante ajustes ou mudanças do sistema ao invés de se manter inalterado. Esses ajustes podem ser realizados após a ocorrência dos distúrbios - ação reativa - ou, antes da ocorrência dos distúrbios - ação pró-ativa - (HOLLNAGEL, 2009). Para o autor, a resiliência fundamenta-se em quatro capacidades essenciais (Figura 2): (i) saber o que fazer: como o sistema responde a distúrbios, mantendo o funcionamento normal; (ii) saber o que procurar: monitoramento do que acontece dentro do sistema, assim como no ambiente; (iii) saber o que esperar: como o sistema se antecipa em relação a ameaças futuras; (iv) saber o que ocorreu: aprender com acontecimentos passados (experiência).

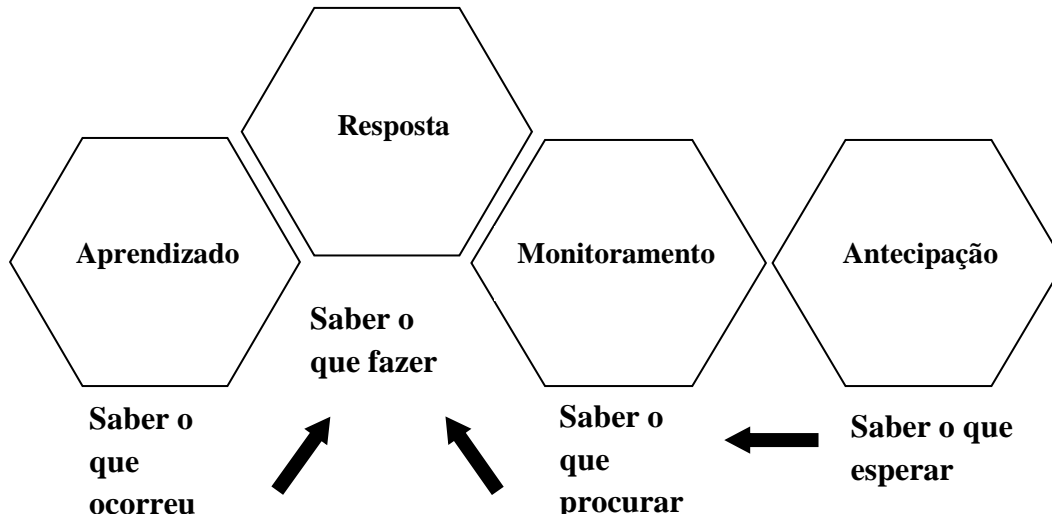


Figura 2: As quatro capacidades essenciais de um sistema resiliente.
Fonte: Adaptado de Hollnagel, 2009.

2.3. ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA

Engenharia de resiliência é um paradigma para a gestão da segurança, concentrando-se em tratar com a complexidade. Ele contrasta fortemente com o conceito atual de segurança,

qual seja o da contagem de erros, seguido por intervenções para reduzir o número de erros. Uma organização resiliente trata a segurança como um valor fundamental, e não como uma mercadoria que pode ser contada. Sob a perspectiva da engenharia de resiliência, a segurança mostra-se pelos eventos que não acontecem. Uma medida da resiliência é, portanto, a capacidade de antecipar mudanças geradoras de riscos antes que a falha ocorra. Os passos iniciais para o desenvolvimento de uma prática de engenharia de resiliência concentraram-se em métodos e ferramentas para analisar, medir e monitorar a resiliência das organizações no seu ambiente operacional (WOODS e HOLLNAGEL 2006b).

Para Woods (2006), monitorar e gerenciar a resiliência, ou sua ausência (fragilidade) é compreender como o sistema se adapta a distúrbios do meio ambiente por meio de propriedades como: (i) capacidade de absorção: tamanho ou tipo de perturbações às quais o sistema pode adaptar-se e absorver sem sofrer um colapso no desempenho ou na estrutura fundamental; (ii) flexibilidade versus rigidez: a capacidade do sistema se reestruturar em resposta a alterações ou pressões externas; (iii) margem: quão perto o sistema está operando atualmente em relação a um determinado limite de desempenho; (iv) tolerância: como um sistema se comporta perto de um limite, ou seja, se o sistema normalmente permanece funcionando à medida que aumentam o estresse e pressão ou desmorona rapidamente quando a pressão excede a capacidade de adaptação.

2.4. SAFETY-I E SAFETY-II

Segundo Perrow (1984), um acidente é um dano inesperado a pessoas ou a objetos que venham a afetar o funcionamento do sistema. Para o autor, um sistema é dividido em quatro partes: (i) sistema; (ii) subsistema; (iii) parte; e (iv) unidade. Quando a unidade ou a parte são afetadas, existe um incidente, já quando a avaria ocorre no subsistema ou sistema, há um acidente. Danos a pessoas sempre são considerados acidentes.

O risco expressa uma probabilidade de possíveis danos dentro de um período específico de tempo ou número de ciclos operacionais. Segundo Kaplan e Garrick (1981) o risco depende da frequência ou probabilidade e da severidade do dano. Assim, pode-se concluir que $Risco = Probabilidade \times Dano$.

Todos os sistemas cognitivos são finitos (pessoas, máquinas, ou combinações) e, em situações de mudança ou incerteza, são falíveis (WOODS e HOLLNAGEL, 2006a). A definição de segurança tradicionalmente aceita é a de que segurança é a ausência de riscos inaceitáveis. De acordo com essa definição, um acidente ocorre devido a um evento indesejado associado à falta de proteções ou defesas, Figura 3. A segurança pode ser obtida a partir de três caminhos: (i) eliminação do risco; (ii) prevenção da ocorrência de eventos indesejados; e (iii) proteção contra possíveis resultados indesejados (HOLLNAGEL, 2009).

Conforme Hollnagel (2007), risco e segurança são ligados tanto conceitualmente e pragmaticamente. A ligação conceitual ocorre porque risco é normalmente definido como a probabilidade de que algo indesejado pode ocorrer e, do mesmo modo definido, segurança é definida como a ausência de eventos indesejados. Portanto, segurança é, essencialmente, a ausência de riscos. A ligação pragmática aparece na reciprocidade dos conceitos. Segurança, ou a falta dela, geralmente é medida através do número de eventos indesejados que ocorrem, tais como acidentes e incidentes. Um elevado nível de segurança é equivalente a uma menor ocorrência de tais acontecimentos e, portanto, a um nível mais baixo de risco. Uma vez que, na prática, é impossível evitar completamente que haja eventos indesejados, ou seja, eliminar completamente os riscos, as duas abordagens são utilizadas em conjunto.

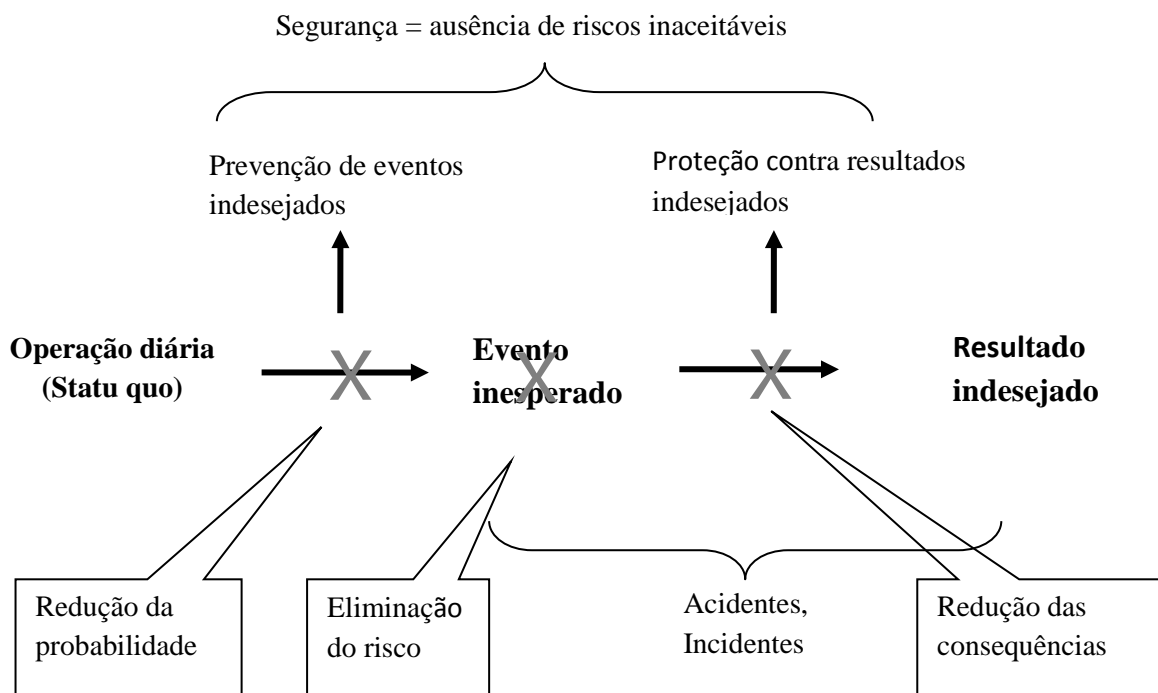


Figura 3: Definição de segurança.
Fonte: Adaptado de Hollnagel, 2007.

Para Rasmussen et al. (2000), o controle eficaz de uma fonte de perigo depende da própria fonte de perigo e da natureza do sistema no qual o processo está inserido. Um evento crítico que representa a libertação de um perigo é precedido por uma árvore de potenciais causas de libertação e seguido por uma árvore de potenciais caminhos de consequências. A segurança depende de ações protetivas, isto é, dos meios para interromper ou desviar o fluxo de eventos acidentais que podem ocorrer, dependendo da fonte de perigo e das características do processo. A Figura 4 representa uma cadeia de eventos e as respectivas ações protetivas.

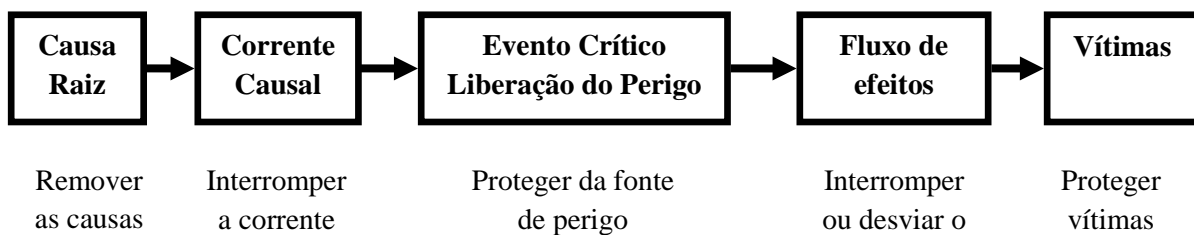


Figura 4: Fluxo de eventos de um acidente e respectivas ações protetivas
Fonte: Adaptado de Rasmussen et al., 2000.

Na abordagem de sistemas trata-se a segurança como uma ação sobre uma propriedade emergente que surge quando os componentes do sistema interagem dentro de um ambiente. As propriedades emergentes são controladas por um conjunto de restrições relacionadas ao comportamento dos componentes do sistema. Os acidentes resultam de interações entre componentes que não são contidas por essas restrições, ou seja, falta de restrições apropriadas nas interações. A segurança pode ser vista como um problema de controle. Os acidentes ocorrem quando as falhas de componentes, distúrbios externos e/ou interações disfuncionais entre componentes do sistema não são atendidas adequadamente pelo sistema de controle (LEVESON, 2002).

Todos os tipos de indústrias direcionam os recursos relacionados com a segurança principalmente para a prevenção. O foco principal se encontra em eventos reais, relacionado a acidentes que aconteceram, e o objetivo é evitar a repetição ou recorrência deles. Os esforços de segurança deveriam, no entanto, também considerar os eventos potenciais, ou seja, olhar para o que pode acontecer no futuro. Como a abordagem de segurança normalmente fundamenta-se em acidentes e incidentes ocorridos, as medidas tomadas podem ser categorizadas de acordo com a Figura 5 (HOLLNAGEL, 2008).

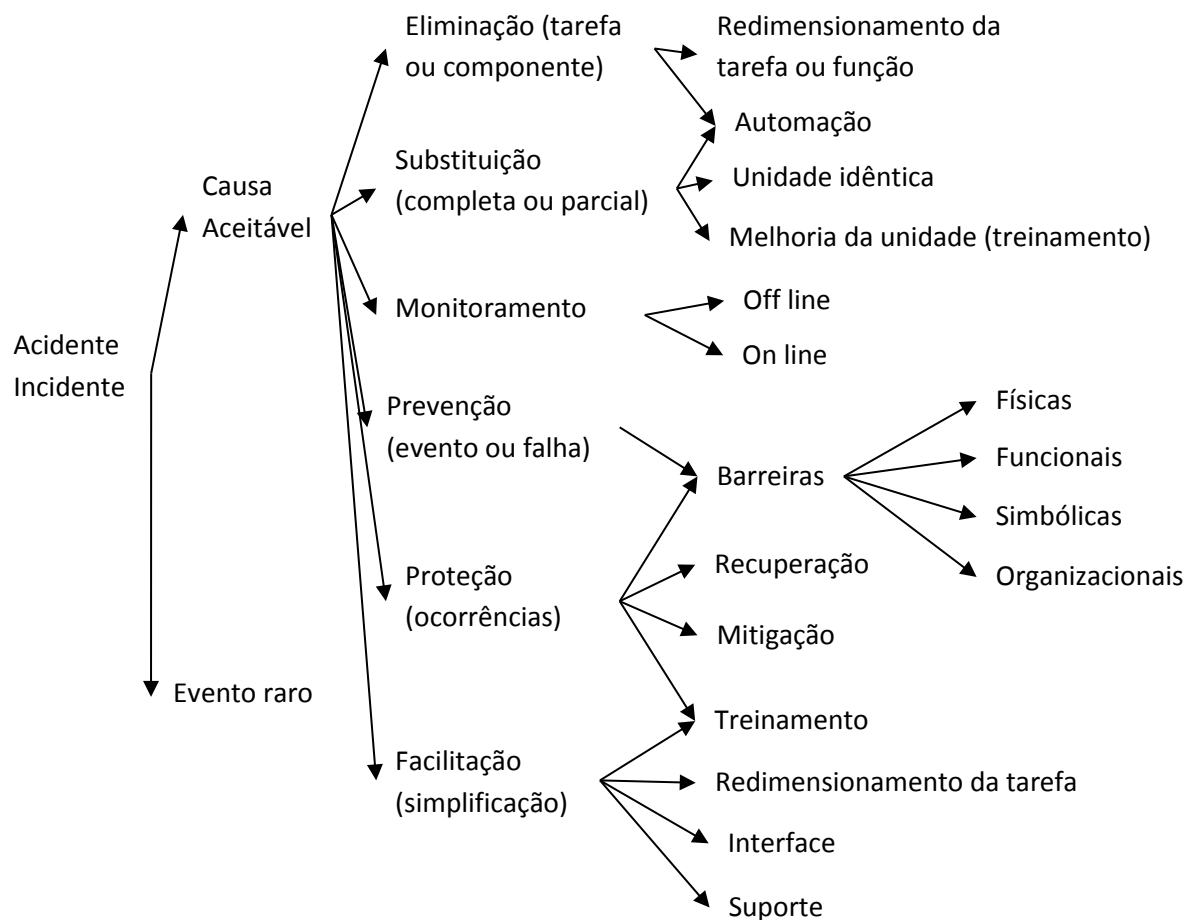


Figura 5: Abordagem de segurança tradicional.
 Fonte: Adaptado de Hollnagel, 2008.

De acordo com Dekker (2007), há duas visões em relação ao erro humano: (i) antiga visão; e (ii) nova visão ou visão de sistemas. A visão antiga observa o erro humano como causador de todo incidente. Para prevenir incidentes sempre são tomadas medidas contra uma pessoa especificamente - acusações, suspensões, reciclagens, advertências - ou contra um grupo de pessoas - automação, enrijecimento do trabalho, criação de novas regras e procedimentos. A visão sistêmica trata o erro como um sintoma e não como uma causa. Para tomar uma ação sobre o erro humano é necessário fazer mudanças no sistema em que as pessoas trabalham - design de equipamentos, procedimentos, conflitos entre metas e pressão sobre as pessoas. No Quadro 3 destacam-se as observações de Dekker (2006) sobre as visões do erro humano em situações positivas e negativas de segurança.

Quadro 3: Visões a respeito do erro humano.

Antiga visão do erro humano quando "alguma coisa está errada"	Nova visão do erro humano quando "alguma coisa está errada"
O erro humano é a causa do problema	O erro humano é um sintoma de problemas internos do sistema
Para explicar a falha, deve-se procurar que falhou	Para explicar a falha não se deve procurar a pessoa que errou
Devem-se encontrar maus julgamentos e decisões erradas,	Devem-se encontrar circunstâncias e ações que provocaram erros de julgamento ou decisões
Antiga visão do erro humano quando "deve-se acertar"	Nova visão do erro humano quando "deve-se acertar"
Sistemas complexos são basicamente seguros	Sistemas complexos não são basicamente seguros
Regras e regulamentos, seres humanos não confiáveis	Sistemas complexos são <i>trade-offs</i> entre segurança e eficiência
Para ter sistemas seguros a contribuição humana deve ser restrita (procedimentos, automação, supervisão)	Pessoas tem que criar segurança mediante participação em todos os níveis da organização

Fonte: Adaptado de Dekker, 2006.

Em um ambiente dinâmico, as fontes de perigo e as necessidades de controle mudam frequentemente e a gestão de risco já não pode estar baseada em respostas a acidentes e incidentes passados, deve ser cada vez mais pró-ativa (RASMUSSEN et al., 2000).

O conceito de segurança sob o olhar de *Safety-I* exige que haja concentração no que está errado. A solução geral é "encontrar e corrigir", isto é, olhar para as falhas, tentar encontrar as suas causas. O objetivo quando se utiliza a perspectiva de *Safety-I* é que o número de resultados adversos - acidentes, incidentes ou quase acidentes - sejam tão baixos quanto possível. Tenta-se garantir que as coisas não vão mal, seja por eliminar as causas das anomalias e riscos, ou por conter seus efeitos - barreiras. Por outro lado, quando se aplica o conceito de *Safety-II*, o objetivo a ser alcançado pela organização é que o número de resultados positivos seja tão alto quanto possível, sob as condições variáveis do sistema. O foco de *Safety-II* é certificar-se de que as coisas vão bem, em vez de impedir que haja erros (HOLLNAGEL et al., 2015).

Hollnagel (2014) afirma que um estudo científico da segurança deve ser direcionado sobre situações em que nada dê errado, isto é, onde há segurança, em vez de em situações em que algo dá errado - onde não há segurança. A ciência da segurança deve estudar o que realmente existe em um sistema, e não aquilo que não está lá. Deve-se estudar a operação segura ou como trabalhar com segurança, o que corresponde à definição de *Safety-II*. Deve estudar como as pessoas trabalham, individual e coletivamente, e a influência do trabalho nas organizações.

O conceito de *Safety-I* parte de duas premissas. A primeira é que os sistemas podem ser decompostos em partes menores. Supõe-se que com essa decomposição se pode compreender os sistemas. A segunda premissa é que os sistemas somente podem funcionar de duas maneiras: maneira correta ou maneira errada; isto é, os componentes do sistema são normalmente concebidos ou modificados para fornecer uma função específica e, quando isso não acontece, tem-se a falha ou mau funcionamento. Esse raciocínio é válido para os sistemas tecnológicos e seus componentes, porém apresenta difícil aplicação para sistemas sócio-técnicos ou para componentes humanos e organizacionais (HOLLNAGEL et al., 2015).

Para Hollnagel et al. (2015), sob a ótica de *Safety-II*, a maneira de pensar da segurança tem foco na maneira como o trabalho é executado (*work-as-done* - *WAD*) e não em como o trabalho foi imaginado (*work-as-imaginated* - *WAI*). Guerin et al. (2001) definem o trabalho imaginado, isto é, o trabalho prescrito como tarefa, já o trabalho real é definido como atividade. O trabalho real é sempre diferente do trabalho imaginado porque nas atividades diárias são continuamente feitos ajustes e adaptações (HOLLNAGEL et al., 2013).

Coisas que vão bem e coisas que vão mal podem acontecer da mesma maneira. As pessoas, no entanto, são capazes de trabalhar de forma eficaz porque se ajustam continuamente o seu trabalho e às condições do ambiente. De acordo com este ponto de vista, deve-se evitar tratar falhas como eventos únicos, individuais, e sim vê-los como uma expressão da variabilidade do desempenho diário. Entender como ocorrem resultados aceitáveis é a base necessária para a compreensão de como os resultados adversos podem ocorrer. Por isso, quando um incidente ou acidente acontece, deve-se começar tentar entender como ele normalmente não ocorre, em vez de procurar causas específicas que só explicam a falha, Figura 6. Resultados adversos acontecem mais frequentemente devido a combinações de variabilidade de desempenho de atividades vistas como irrelevantes para a segurança, do que a falhas específicas e avarias (HOLLNAGEL et al., 2015).

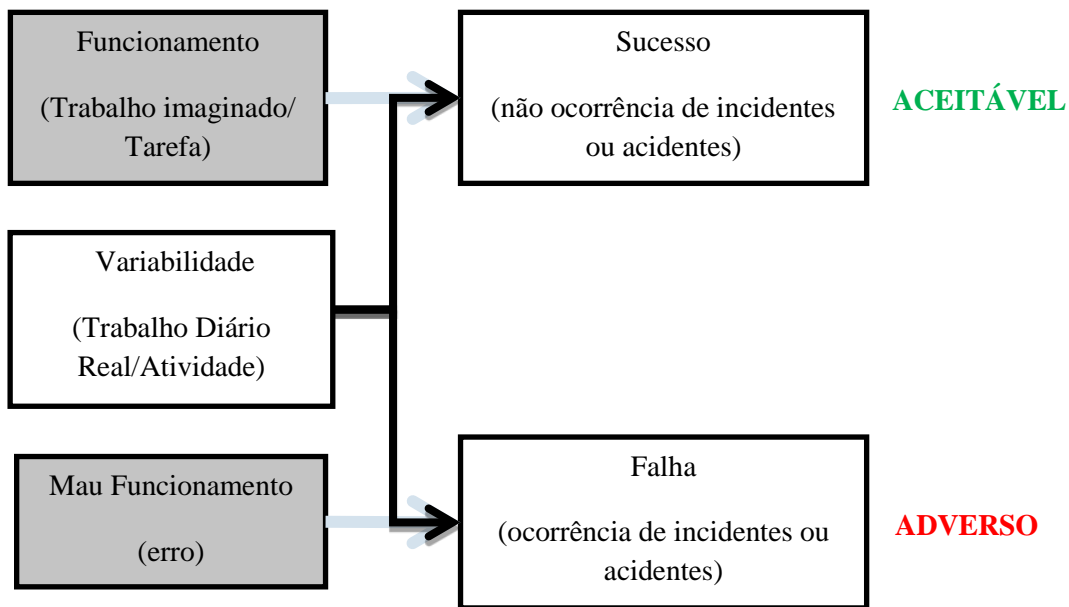


Figura 6: Diferença entre o trabalho imaginado (tarefa) e o trabalho real (atividade)
 Fonte: Adaptado de Hollnagel et al. (2015).

2.5. VARIABILIDADE E FOLGA (SLACK)

Abordagens mais antigas de segurança sempre focaram na identificação da probabilidade de falha de um componente do sistema. Essa visão se justifica ao avaliar sistemas puramente tecnológicos, em que o desempenho de uma função depende de componentes específicos. Por outro lado, quando há funções humanas ou funções de um sistema sócio-técnico, a operação do sistema não pode ser vista apenas em relação ao funcionamento isolado dos seus componentes. O sistema sócio-técnico não apresenta somente o comportamento “normal” ou a “falha”, há uma variabilidade no funcionamento. O importante é definir se com essa variabilidade no funcionamento do sistema os resultados são aceitáveis, para determinada situação. Deve-se entender qual a probabilidade de ocorrência da variabilidade no desempenho do sistema e como a variabilidade de múltiplas funções pode interagir para produzir resultados inesperados, geralmente indesejados. Todas as funções são variáveis e o importante é saber se a variabilidade é tão grande que possa tornar a função incapaz de fornecer os resultados desejados. Isso pode ocorrer devido à variabilidade de uma única função ou, provavelmente, à combinação da variabilidade de múltiplas funções ao longo do tempo. Naturalmente, haverá casos (mesmo em sistemas sócio-técnicos complexos), onde a variabilidade de uma única função (ou única atividade) é grande e isso faz com que o resultado indesejado será inevitável. Porém, mesmo nesse caso, é temeroso dizer que somente

aquela função ou componente falhou e calcular a probabilidade de que isso aconteça. Na maioria dos casos, os resultados (indesejados) são decorrentes de interações entre funções individuais e, portanto, combinações dos efeitos de sua variabilidade. Por isso, é necessário encontrar formas de identificar o potencial de variabilidade e analisar de que forma como isso pode combinar-se para produzir efeitos indesejáveis (HOLLNAGEL, 2012b).

Folga, ou *Slack*, pode ser definido como o excesso de capacidade de qualquer tipo, não utilizado, ao qual pode se recorrer em caso de necessidade (LAWSON, 2001). Para Nohria e Gulati (1995), folga é o conjunto de recursos em uma organização que é superior ao mínimo necessário para alcançar um determinado nível de produção organizacional. Outras definições de folga foram compiladas por Basso (2016) e encontram-se apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Definições de Folga.

Conceito	Autor
Pagamentos aos membros, em excesso daqueles requeridos para mantê-los na organização; oferta de recursos não comprometidos.	Cyert e March (1963)
Margem ou excedente que permite aos membros de uma organização, adotar arranjos estruturais de acordo com suas preferências.	Child (1972)
Diferença entre os recursos existentes e a demanda efetiva.	March e Olsen (1976)
Recursos que uma companhia adquiriu e que não estão comprometidos com um gasto necessário, ou seja, são recursos que podem ser utilizados de maneira livre.	Dimick e Murray (1978)
Recursos que permitem à empresa adaptar-se às mudanças no ambiente, fornecendo os meios para alcançar flexibilidade e buscar oportunidades. Recursos de folga são mantidos como um seguro contra perdas futuras potenciais.	Greenley e Oktemgil (1998)
Tempo disponível (ou dinheiro para comprar esse tempo) que não esteja engajado na entrega do produto ou serviço principal da organização.	Lawson (2001)
Recursos de folga relacionam-se a flexibilidade da organização par adaptação ao dinamismo ambiental.	Anand e Ward (2004)
Recursos que tornam a organização resiliente, podendo responder rapidamente ou até redesenhar-se em situações adversas.	Westrum (2006)
Recursos que proporcionam flexibilidade e, assim, evitam rupturas na cadeia de suprimentos, ocasionando valorização da organização no mercado.	Hendricks et. al. (2009)
Recurso valioso porque tanto pode servir como reserva para uso em situações inesperadas quanto para avaliar o desempenho (oportunidade de melhoria).	Hollnagel (2009)

Fonte: Adaptado de Basso, 2016

Para Bourgeois e Singh (1983) a folga é composta por três dimensões inter-relacionadas, mas conceitualmente distintas: folga disponível, folga recuperável e folga potencial. A folga disponível consiste em recursos que ainda não foram assimilados pelo sistema ou organização. A folga recuperável consiste em recursos que já foram absorvidos pelo sistema e que podem ser recuperados durante períodos adversos. A folga potencial consiste na capacidade da organização de gerar recursos extras a partir do ambiente.

Schulman (1993) afirma que há três variedades de folga: folga de recursos, folga conceitual e folga de controle. A folga de recursos é o excedente de tempo, dinheiro, pessoal, etc., que não está comprometido com projetos ou atividades organizacionais em andamento. A folga de recursos pode ser vista negativamente como uma ineficiência da organização, uma alocação inadequada dos meios disponíveis para os fins desejados. Por outro lado, se não for analisada somente a racionalidade organizacional global, a folga de recursos aparece positivamente como uma proteção contra o inesperado. O tipo de folga conceitual refere-se às divergências nas perspectivas analíticas entre os membros de uma organização sobre teorias, modelos ou situações pontuais sobre tecnologias ou processos de produção. A folga de controle implica graus individuais de liberdade na atividade organizacional, ações individuais sem restrições provocadas por estruturas formais de coordenação ou comando. A folga de controle tem sido vista negativamente como uma falta de clareza na capacidade de resposta de uma organização, ou como um limite para o poder de coordenação de uma organização. Porém, a folga de controle também é vista, positivamente, como uma fonte de flexibilidade organizacional e uma proteção contra as disfunções da autoridade centralizada.

Folga é um conceito chave para a engenharia de resiliência, uma vez que pode fornecer recursos para lidar com a variabilidade esperada e inesperada. Contudo, em sistemas complexos, a folga interage com outros elementos, o que pode acarretar impactos inesperados, que podem não ser benéficos para a segurança e eficiência (SAURIN, 2015).

Conforme Hollnagel (2009), a folga é valiosa porque fornece recursos que podem ser usados se surgir uma demanda não prevista. A folga também permite pensar sobre o desempenho, isto é, oferece uma oportunidade para melhorar e aprender.

Em sistemas fortemente acoplados, com mais interações planejadas e não planejadas, quando há falta de folga, erros podem propagar-se rapidamente em cadeia e provocar acidentes graves. Os sistemas complexos caracterizam-se por apresentar processos fortemente

acoplados (PERROW, 1984). Por outro lado, sistemas mais fracamente acoplados podem contar com mais tempo para parar reagir a pequenos erros e impedir a propagação em cadeia, prevenindo danos maiores. Com o acoplamento forte e complexidade há pouca oportunidade de improvisar quando as coisas não correm de acordo com o esperado. Conseqüentemente, a segurança e a confiabilidade devem ser planejadas ou projetadas para a concepção geral do sistema e seus processos operacionais rígidos (SMART e TRANFIELD, 2003).

A folga pode tornar os sistemas mais fracamente acoplados, uma vez que pode absorver os impactos da variabilidade esperada e inesperada, proporcionando tempo e outros recursos que podem suportar o ajuste do desempenho. A capacidade de absorver variações é uma característica essencial dos sistemas resilientes. Ao proporcionar múltiplas barreiras e processos de dissociação, a folga pode diminuir a velocidade de propagação da variabilidade ou bloqueá-la completamente. Quando um sistema é altamente otimizado em torno de pressões de economia e competição, é o momento de perguntar se há alguma margem para absorver ou ajustar interrupções de pequenos eventos. Se não houver, o sistema encontra-se em uma situação crítica, e pequenas perturbações podem desencadear grandes eventos. Isso significa que não devemos ficar tão obcecados com pequenos ganhos de eficiência que empurramos um sistema para um estado crítico. Sem folga, não há possibilidade de absorver nem mesmo pequenas interrupções, e pequenas mudanças podem desencadear uma cascata de outras maiores, provocando um evento em larga escala. Situações rotineiras, em que há tempo para refletir, parar, recomeçar, podem absorver facilmente adaptações e improvisações, mesmo que estas não estejam realmente entre os procedimentos planejados (DEKKER, 2011).

Para Lawson (2001), otimizar completamente um sistema complexo é indesejável porque a falta de folga e margem para ajustes podem transformar pequenas perturbações em grandes eventos. No entanto, a folga tem suas próprias desvantagens. Por exemplo, pode esconder pequenas mudanças e riscos latentes que podem ter efeitos não lineares. Além disso, a folga mal concebida, mal utilizada ou excessiva pode constituir desperdício. Uma série de métodos de melhoria de processos está focada na eliminação da folga para diminuir desperdício. Do ponto de vista desses métodos, a necessidade de folga é uma consequência de processos não confiáveis e instáveis e, portanto, a suposição é que a folga pode ser gradualmente reduzida à medida que os processos se estabilizam. Qualquer recurso físico ou virtual tem a possibilidade de comportar-se como folga, dependendo somente do contexto em que se encaixa.

Muitas organizações que diminuem as folgas e tentam manter níveis seguros de desempenho. A confiabilidade resultaria de um conjunto constante, certo e previsível de desempenhos. Todas as condições do sistema seriam totalmente especificadas e antecipadas. Os gerentes tentam gerar confiabilidade mediante a implementação de procedimentos formalizados e sistemas de controle baseados em hierarquias. Assim procuram promover um comportamento pouco variável, reduzindo ainda mais algumas formas de folga organizacional que podem ajudar a promover a própria confiabilidade procurada. A menos que os gerentes tenham a certeza de que não há riscos ocultos no estudo que origina os procedimentos, os esforços para assegurar o forte acoplamento organizacional podem levar a organização a trabalhar com exposição a um perigo considerável (SCHULMAN, 1993).

2.7.1. Classificação das Folgas

Conforme Saurin e Werle (2017), as folgas podem ser classificadas em nove categorias:

- **Origem:** a folga pode ser projetada ou oportunista. A folga projetada ocorre geralmente em sistemas fortemente acoplados e corresponde a recursos como tempo, pessoal ou equipamentos. Já a folga oportunista aparece em sistemas de acoplamento frouxo, muitas vezes é intrínseca à sua natureza. A folga oportunista são iniciativas isoladas e informais por parte do pessoal em momentos de necessidade. Por isso, a folga projetada surge da resiliência organizacional pró-ativa, enquanto a folga oportunista depende da resistência individual e da equipe reativa, que é frequentemente usada em excesso;
- **Natureza dos Recursos:** alguns recursos de folga são facilmente identificáveis, tais como pessoas, tempo, materiais, recursos financeiros, espaço físico. Há também folgas de difícil identificação e quantificação, por exemplo aquelas relacionadas a graus de liberdade em processos ou capacidade de resolução de problemas.
- **Disponibilidade:** a disponibilidade da folga é importante na medida em que afeta o tempo de ação sobre determinada variabilidade. O recurso pode estar disponível imediatamente ou não. Ou seja, quando há necessidade de uso do recurso de folga, o acesso pode ser imediato ou não.

- **Estratégia de implementação:** identificaram-se cinco estratégias gerais para o desenvolvimento de folgas:
 - (i) Redundância, a qual pode ser dividida em diferentes categorias centradas em redundância humana: redundância ativa quando função redundante desempenhada pela pessoa envolvida na tarefa; redundância *standby* quando a pessoa que desenvolve a função redundante não está presente e deve ser acionada em caso de necessidade; redundância de duplicação de funções quando a mesma função é desempenhada por duas pessoas, redundância de sobreposição funcional quando há algumas tarefas em comum entre pessoas; e redundância de substituição uma pessoa pode substituir outra no desempenho de uma função (CLARKE, 2005). Para Clarke (2005) ainda há a redundância multimodal que é a combinação dos tipos citados anteriormente;
 - (ii) Estoque em processos, estratégia amplamente utilizada em fábricas. Quanto mais instável for, maior será o estoque;
 - (iii) Margens de manobra, há três tipos: primeiro, a estratégia defensiva, caracterizada por manter a margem local, restringindo as ações de outras unidades ou tomando a margem de outras unidades; segundo, a estratégia autônoma, responsável por criar margem através da reorganização local ou expandindo a capacidade de uma unidade de regular sua margem e; terceiro, a estratégia cooperativa que se refere à ação coletiva coordenada gerenciar ou criar recursos comuns no qual duas ou mais unidades possam se beneficiar (STEPHENS et al., 2011).
 - (iv) Flexibilidade conceitual ou diversidade cognitiva, que se refere a uma divergência nas perspectivas analíticas entre os membros de uma organização (SCHULMAN, 1993);
 - (v) Folga de controle, presença de graus individuais de liberdade na atividade organizacional dentro das estruturas formais de coordenação ou comando (SCHULMAN, 1993).
- **Visibilidade:** é o quanto visível é o status das folgas para os usuários. O usuário deve poder ver como se encontra o recurso de folga, ou seja, se está esgotado, acessível, disponível (total ou parcialmente), etc.. A situação das folgas deve ser visível para que, quando preciso, possam ser rapidamente acessadas ou acionadas;

- **Efeitos colaterais:** sempre é necessário avaliar os efeitos da introdução de folgas em sistemas sócio-técnicos complexos. A interdependência desses sistemas é muito alta e sempre haverá impactos de natureza operacional, de segurança ou financeira;
- **Durabilidade:** é o tempo de duração de dado recurso de folga, isto é, o tempo pelo qual a folga permanece com as propriedades originais. Esta categoria está relacionada à natureza dos recursos;
- **Escopo:** O escopo é a abrangência das folgas em relação às variabilidades, ou seja, qual é o número de variabilidades que têm cobertura de um recurso de folga. Por exemplo, recursos financeiros podem proporcionar folga para diversas variabilidades e dispositivos de segurança vão agir sobre variabilidades específicas. Por isso, o escopo relaciona-se também com a natureza da folga;
- **Exigência Legal:** diversos recursos de folga podem ser obrigatórios segundo a legislação e/ou normas técnicas vigentes no país.

2.6. ANÁLISE DE FOLGAS EM SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS COMPLEXOS

Existem poucos registros na literatura acerca do estudo das folgas em SSTCs. Os estudos encontrados não estão focados diretamente na análise das folgas. Wiengarten et al. (2017), por exemplo, analisaram a relação entre folga com a segurança em organizações de alta complexidade, porém é um estudo estatístico que classifica a folga em dois grupos (operacional e financeira) sem maior detalhamento.

Saurin e Werle (2017) apresentaram como solução o uso de uma *framework* composta por 13 etapas (Figura 7). Essa *framework* é uma ferramenta que permite um estudo estruturado das folgas e das variabilidades associadas. Além disso, há possibilidade de verificar a aplicação prática dos recursos de folga e estabelecer propostas de redesenho do sistema.

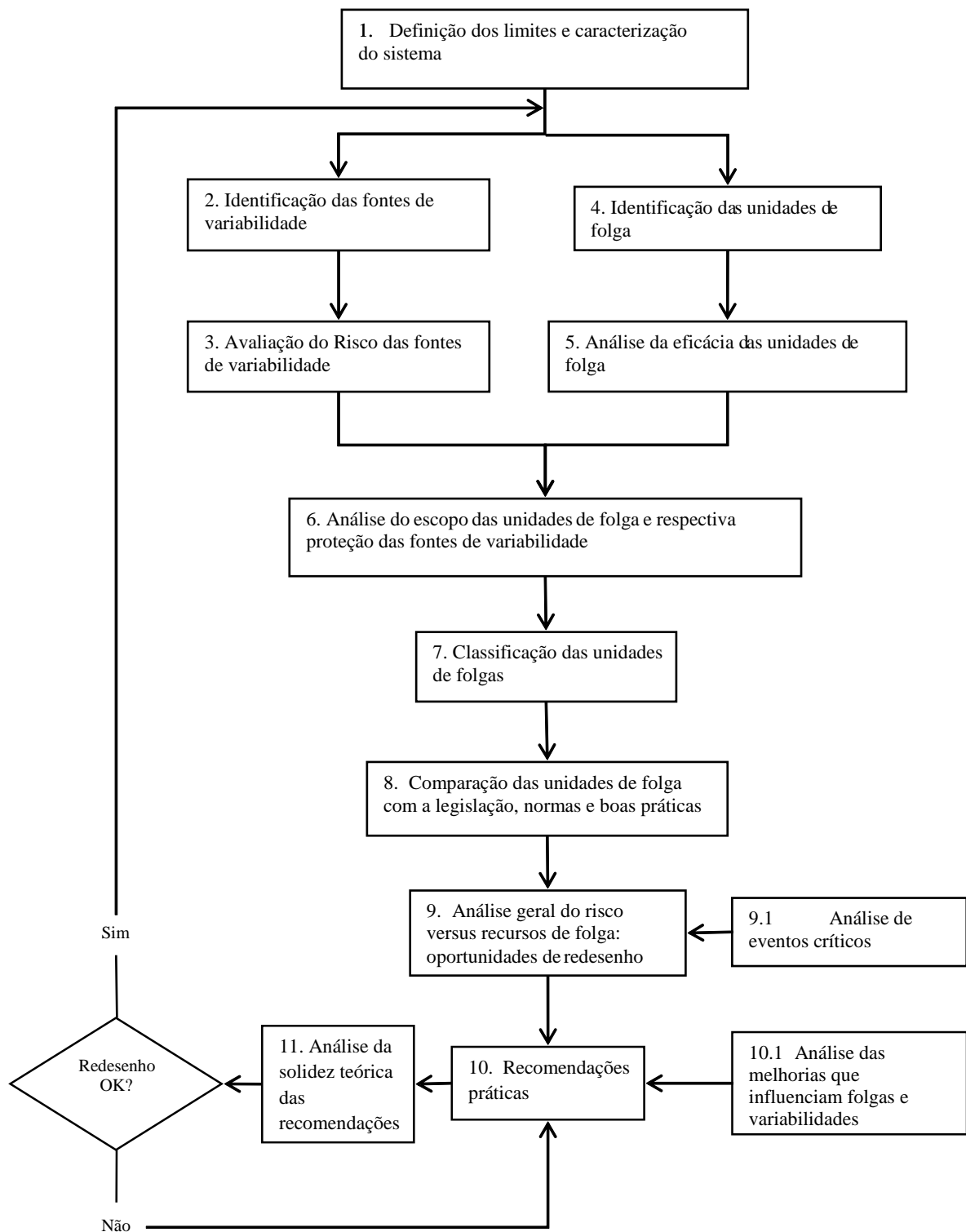


Figura 7: Framework para identificação de Folgas em SSTC.

Fonte: Adaptado de Saurin e Werle (2017).

A descrição das etapas definidas por Saurin e Werle (2017) é a seguinte:

Etapa 1 – Definição dos limites e caracterização do sistema: definição dos limites do sistema, sob a perspectiva estrutural e funcional. A caracterização funcional pode ser feita

mediante uso de fluxogramas e mapas de processo. A definição estrutural baseia-se na identificação dos elementos pertencentes aos quatro subsistemas dos sistemas sócio-técnicos: sociais, técnicos, organização do trabalho e ambiente externo;

Etapa 2 – Identificação das fontes de variabilidade: tem por objetivo a identificação de fontes de variabilidade. Analisa-se o trabalho real segundo visão dos trabalhadores da linha de frente, observando o uso do seu conhecimento tácito e estratégias informais para lidar com a complexidade;

Etapa 3 – Avaliação do risco das fontes de variabilidade: concentra-se no cálculo de um índice de risco associado a cada fonte de variabilidade. Embora esse cálculo possa ser obtido através de diferentes métodos, devem-se levar em consideração as percepções dos trabalhadores de diferentes níveis hierárquicos.

Etapa 4 – Identificação das unidades de folga: cada conjunto de recursos semelhantes que compartilham um mesmo propósito corresponde a uma unidade de folga. Na medida do possível, os mesmos dados usados para a identificação de fontes de variabilidade devem ser usados para a identificação das unidades de folga;

Etapa 5 – Análise da eficácia das unidades de folga: esta análise deve descrever as percepções dos trabalhadores de diferentes níveis hierárquicos, de forma semelhante à etapa 3.

Etapa 6 – Análise do escopo das unidades de folga e respectiva proteção das fontes de variabilidade: é realizada uma análise da proteção de cada fonte de variabilidade e do alcance de cada unidade de folga. Com base nos dados coletados nas etapas anteriores, os resultados podem ser atribuídos inicialmente por um pesquisador e depois revisados por representantes do sistema estudado.

Etapa 7 – Classificação das unidades de folga: as unidades de folga devem ser classificadas de acordo com o item 2.4.1.

Etapa 8 – Comparação das unidades de folga com a legislação, normas e boas práticas: comparação das unidades de folga com os requisitos legais, as melhores práticas de outros sistemas e as melhores práticas do sistema estudado, considerando a possibilidade de disseminação para outros subsistemas. A comparação destina-se a esclarecer se a natureza e a quantidade de recursos de folga atendem aos requisitos das regulamentações.

Etapa 9 – Análise geral do risco versus recursos de folga: oportunidades de redesenho: é o ponto principal para a priorização de fontes de variabilidade menos cobertas por recursos de folga. Permite detectar a diferença entre o risco e a proteção para cada fonte de variabilidade mediante o cálculo do Escore de Proteção (EP). O EP representa a cobertura das folgas sobre cada fonte de variabilidade. Quanto maior o valor do EP, maior é a proteção exercida pelas unidades de folga. Valores próximos de zero ou negativos indicam baixa proteção das variabilidades pelas unidades de folga.

Etapa 9.1 – Análise de eventos críticos: nesta etapa, alguns eventos críticos que ocorreram no sistema estudado devem ser analisados, com a finalidade de detectar como as folgas interagiram entre si e com outras funções do sistema. Esta análise destina-se a esclarecer em que medida as funções específicas são afetadas pela variabilidade e cobertas pelas folgas, complementando assim a análise realizada no passo 9. Os eventos críticos devem ser identificados a partir de entrevistas com profissionais, usando o método de decisões críticas (*Critical Decision Method* – CDM). Um modelo de como cada evento se desenrola pode ser desenvolvido usando o método FRAM (*Functional Resonance Analysis Method*). Devem-se considerar as seguintes etapas: (i) identificar e descrever as funções que desempenharam um papel no evento, de acordo com os seis aspectos de cada função, ou seja, entrada, saída, pré-condição, recurso, controle e tempo; (ii) analisando a variabilidade da saída de cada função no evento, tanto em termos de tempo quanto de precisão; e (iii) identificar acoplamentos entre funções, isto é, situações em que a saída de uma função forneceu um aspecto para outras funções. Os acoplamentos indicam propagação de variabilidade em todas as funções. Para cada modelo, as pontuações globais dos riscos associados às fontes de variabilidade e a efetividade dos recursos de folga implantados podem ser calculados e comparadas. Assim, de forma semelhante ao indicado na etapa 9, a diferença entre a proteção e o risco pode ser calculada. É possível estimar a diferença entre a proteção e a folga em uma escala menor, no contexto de um evento específico. Em geral, se o evento descrito teve um resultado bem-sucedido, o índice de proteção esperado seria maior que o escore do risco. No entanto, como as pontuações adotadas são médias, as variações não são consideradas nas instâncias, na versão atual da estrutura. O uso de escores de variabilidade estática pode ser enganador, especialmente para funções humanas e organizacionais.

Etapa 10 – Recomendações Práticas: etapa que trata das consequências práticas da avaliação realizada nas etapas anteriores. Assim, uma série de oportunidades de melhoria

provavelmente serão identificadas, com foco nas maiores lacunas negativas identificadas no passo 9. As diretrizes para a definição de medidas práticas consistem em: (i) considerar formas de reduzir a pontuação de risco, em caso de variabilidade desprotegida; (ii) realocar os recursos de folga para as fontes de variabilidade desprotegidas. Nesse caso, assumindo que algumas folgas são recursos financeiros podendo ser usados para enfrentar diferentes fontes de variabilidade; e (iii) Criar novas folgas, somente se as duas estratégias anteriores não funcionarem. A adição de folgas em processos pode criar desperdícios e aumentar a possibilidade de interações inesperadas e indesejadas.

Etapa 10.1 – Análise das melhorias que influenciam folgas e variabilidades: preocupação com a análise de como as iniciativas de melhoria dos processos podem afetar intencionalmente ou não as variabilidades e os recursos de folga. Essas iniciativas devem ser contabilizadas ao elaborar as recomendações práticas.

Etapa 11 – Análise da solidez teórica das recomendações: envolve uma avaliação da teórica que embasa as recomendações práticas; isso pode evitar consequências não intencionais decorrentes das medidas de redesenho. Essa avaliação deve considerar o alinhamento teórico das recomendações às seis diretrizes para o gerenciamento de SSTC desenvolvidas por Saurin et al. (2013): (i) dar visibilidade aos processos e resultados; (ii) incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão; (iii) antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças; (iv) projetar folgas; (v) monitorar as diferenças entre o trabalho prescrito e o real e; (vi) criar um ambiente favorável à resiliência. Uma vez que as recomendações forem consideradas suficientemente pertinentes, devem ser implementadas. Isso deve afetar a variabilidade e a folga no sistema, um novo ciclo de aplicação da estrutura se inicia, conforme indicado na Figura 7. Cabe salientar que a estrutura não se limita a qualquer tipo específico de recurso de folga. As etapas propostas não têm pressupostos iniciais sobre quais tipos de recursos de folga existem ou devem existir em um determinado sistema.

2.7. MÉTODO DE ANÁLISE DA RESSONÂNCIA FUNCIONAL (FRAM - *Functional Resonance Analysis Method*)

O método FRAM baseia-se em quatro princípios: (i) identificar e descrever as funções mais importantes do sistema e caracterizá-las usando as seis características básicas, essas

funções constituem o modelo; (ii) caracterizar a variabilidade potencial das funções, bem como a possível variabilidade real em uma ou mais funções; (iii) determinar a possibilidade de ressonância funcional baseada em dependências e/ou acoplamentos entre funções, devido à sua variabilidade potencial e real; e (iv) desenvolver recomendações sobre como monitorar e influenciar a variabilidade, atenuando a variabilidade que pode levar a resultados indesejáveis ou melhorando a variabilidade que pode levar aos resultados desejados (HOLLNAGEL et al., 2014).

Conforme Woods e Hollnagel (2006), quando uma nova tecnologia ou mudança organizacional atinge uma atividade, muitos impactos ocorrem, entre os quais: (i) novas capacidades, que aumentam as demandas e criam novas complexidades; (ii) novas complexidades quando opções tecnológicas são usadas equivocadamente; (iii) adaptações feitas por iniciantes para explorar capacidades ou complexidades com o fim de cumprir as metas operacionais; (iv) complexidades e adaptações que surgem como efeitos colaterais inesperados, não incluídos no projeto; (v) falhas que ocasionalmente rompem essas adaptações incompletas, pobres, ou frágeis; e (vi) adaptações feitas por profissionais que escondem as complexidades e julgam que as falhas ocorrem em decorrência de erro humano.

Hollnagel et al. (2014) estabelecem que a finalidade de uma análise com uso do FRAM é descrever como um sistema deve funcionar para atingir seus objetivos (trabalho cotidiano) e entender como a possível variabilidade de funções, isoladas ou combinadas, pode afetar a funcionalidade. Para isso, é necessário primeiro construir um modelo FRAM do sistema e, em seguida, analisar uma série de cenários ou situações do modelo. O método FRAM é diferente de outros mais tradicionais e conhecidos como: Análise de Causa Raiz (*Root Cause Analysis - RCA*), Análise de Modos de Falha e Efeitos (*Failure Modes, Effects Analysis - FMEA*), Análise de Árvores de Falhas, Análise Preliminar de Perigos (APP) ou Estudos de Perigos e Operabilidade (*Hazard and Operability Study - HAZOP*). O método FRAM tem aplicação em análise de eventos, em avaliações de risco ou para análises de projetos/reprojetos. Essas três aplicações potenciais do FRAM encontram-se representadas na Figura 8.

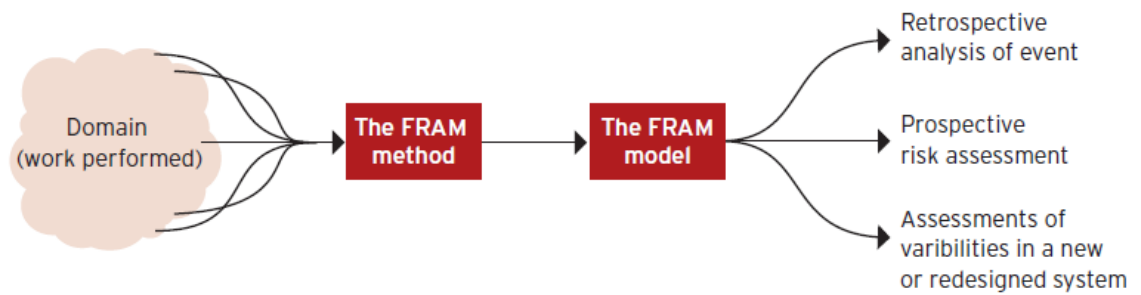


Figura 8: Aplicações do método FRAM.
 Fonte: Hollnagel et al. (2014).

Hollnagel et al. (2014) estabelecem que o FRAM é baseado em quatro princípios ou premissas: (i) princípio da equivalência (sucessos e fracassos), segundo o qual diferentes tipos de consequências não necessariamente exigem diferentes tipos de causas; (ii) princípio de ajustes aproximados, ou seja, as pessoas fazem ajustes continuamente para adequar as ações às condições; (iii) fenômenos emergentes, reconhecimento de que nem todos os resultados podem ser explicados como tendo uma causa específica e identificável, muitas vezes são resultados de interações; e (iv) princípio da ressonância, aplica-se nos casos em que não é possível basear explicações no princípio de causa e efeito, a ressonância funcional pode ser usada para descrever e explicar interações e resultados de sistema não lineares.

O FRAM é uma ferramenta de análise que se relaciona com os conceitos de Engenharia de Resiliência e *Safety-II*. O desenvolvimento do FRAM coincidiu com o desenvolvimento da Engenharia de Resiliência como alternativa ao pensamento de segurança tradicional. O FRAM pode ser visto como uma ferramenta para esse novo enfoque sobre a segurança.

Cada função do FRAM é representada graficamente por um hexágono, onde cada vértice corresponde a um aspecto, conforme apresentado na Figura 9. Não há uma orientação obrigatória para os hexágonos, visto que a análise FRAM deve ser baseada na descrição verbal em vez da representação gráfica (HOLLNAGEL, 2012b). Os seis aspectos do modelo são:

- Input (I): o que a função processa ou transforma ou o que inicia a função.
- Saída (O): qual é o resultado da função, uma entidade ou uma mudança de estado.
- Pré-condições (P): condições que devem existir antes que uma função possa ser realizada.

- Recursos (R): o que a função precisa quando é executado (condição de execução) ou o que se consome para produzir a saída.
- Tempo (T): restrições temporais que afetam a função (tempo para início, tempo para término ou duração).
- Controle (C): como a função é monitorada ou controlada.

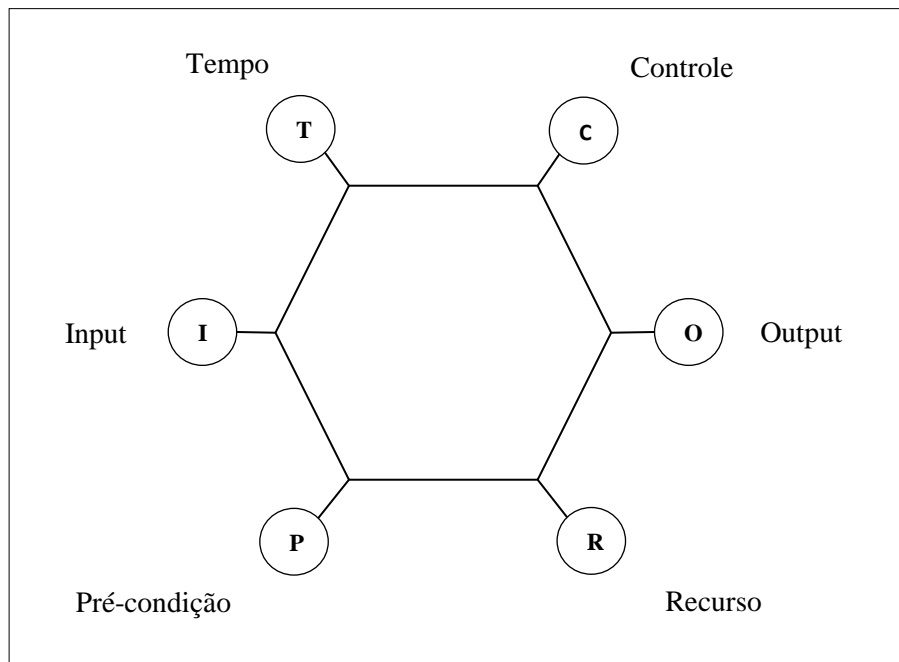


Figura 9: Função do FRAM.
 Fonte: Adaptado de Hollnagel (2012).

2.8. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS – AHP

O método foi desenvolvido por Saaty (1977) e tem como princípio a comparação pareada de dados em matrizes, com base em múltiplos critérios pré-definidos. O Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchy Process – AHP) tem aplicação em diversas áreas do conhecimento devido à sua flexibilidade na estruturação dos problemas. O método pode ser aplicado para tomada de decisões considerando diferentes ambientes políticos, sociais, econômicos e tecnológicos (SAATY; VARGAS, 1982). A natureza prática do método, adequada para tomada de decisão em casos complexos e difíceis, levou a aplicações em áreas muito diversas e criou uma volumosa literatura (ZAHEDI, 1986).

O AHP relaciona conhecimento das ciências matemáticas e comportamentais ao permitir relacionar eventos físicos e psicológicos em tomadas de decisão. O evento físico

pode ser medido e é objetivo. O evento psicológico relaciona-se com a forma como interpretamos e percebemos determinado evento, ou seja, é subjetivo. (SAATY, 1983). Segundo Saaty e Vargas (2012), o método foi projetado para selecionar a melhor de uma série de alternativas avaliadas em relação a critérios diversos, utilizando a análise racional e o pensamento intuitivo. Nesse processo, o tomador de decisão realiza simples julgamentos de comparação em pares que são usados para desenvolver prioridades gerais e classificar as alternativas. O AHP permite a identificação de inconsistências nos julgamentos e fornece um meio para melhorar a consistência.

Para Saaty (1983) existem três etapas necessárias para a solução de problemas: (i) decomposição; (ii) julgamento comparativo; e (iii) síntese das prioridades. A etapa de decomposição compreende a definição do problema mediante uma hierarquia dividida em níveis (problema, critérios e alternativas). Apresenta-se na Figura 10, um exemplo com “n” critérios e “m” alternativas.

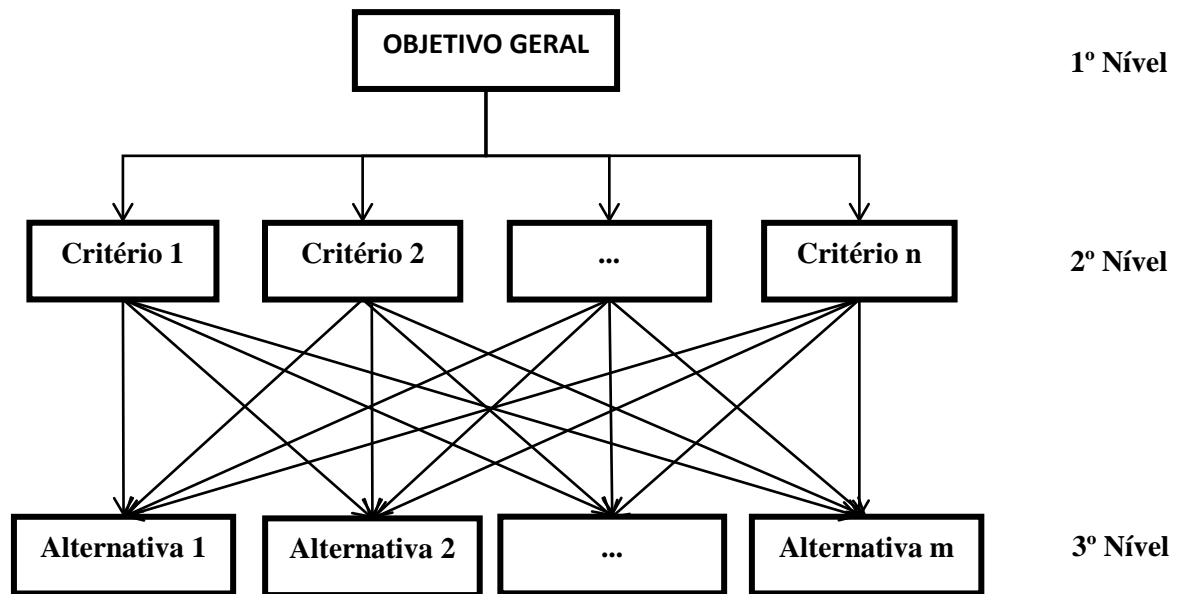


Figura 10: Níveis do método AHP criados na decomposição do problema.
Fonte: Própria.

O julgamento comparativo é efetuado mediante o uso de uma matriz onde os elementos são comparados de maneira pareada. Desse modo, a matriz é quadrada do tipo $A = (a_{ij})_{n \times n}$, sendo $a_{ij} > 0$.

$$A = \begin{matrix} \text{Elemento 1} \\ \text{Elemento 2} \\ \dots \\ \text{Elemento n} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Cada termo da matriz (a_{ij}) representa o quociente entre os pesos (p) dos elementos em relação a cada um dos critérios, ou seja:

$$a_{ij} = \frac{p_i}{p_j}$$

Assim, a matriz A corresponde a:

$$A = \left(\frac{p_i}{p_j} \right)_{n \times n} = \begin{bmatrix} \frac{p_1}{p_1} & \frac{p_1}{p_2} & \dots & \frac{p_1}{p_n} \\ \frac{p_2}{p_1} & \frac{p_2}{p_2} & \dots & \frac{p_2}{p_n} \\ \frac{p_3}{p_1} & \frac{p_3}{p_2} & \dots & \frac{p_3}{p_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{p_n}{p_1} & \frac{p_n}{p_2} & \dots & \frac{p_n}{p_n} \end{bmatrix}$$

A diagonal principal da matriz apresenta valores unitários, pois são os pontos onde ocorre a comparação do elemento com ele próprio.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{p_1}{p_1} & \frac{p_1}{p_2} & \dots & \frac{p_1}{p_n} \\ \frac{p_2}{p_1} & \frac{p_2}{p_2} & \dots & \frac{p_2}{p_n} \\ \frac{p_3}{p_1} & \frac{p_3}{p_2} & \dots & \frac{p_3}{p_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{p_n}{p_1} & \frac{p_n}{p_2} & \dots & \frac{p_n}{p_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

A atribuição dos pesos deve ser feita de acordo com os valores do Quadro 5.

Quadro 5: Valores para atribuição de pesos do AHP.

Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Dois atividades contribuem da mesma maneira para atingir determinado objetivo
3	Pouca importância	Experiência e análise indicam que uma atividade tem pouca importância em relação à outra para atingir o objetivo
5	Significativa importância	Experiência e análise indicam que uma atividade tem importância significativa em relação à outra para atingir o objetivo
7	Muita importância	Experiência e análise indicam que uma atividade é predominante em relação à outra para atingir o objetivo
9	Absoluta importância	Experiência e análise indicam que uma atividade tem total importância em relação à outra para atingir o objetivo
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Podem ser utilizados

Fonte: Saaty (1977).

Para cada matriz de pesos é possível obter um vetor de pesos “P”, equivalente ao autovetor da matriz “A”, e um autovalor “ λ_{max} ” tal que:

$$A \times P = \lambda_{max} \times P$$

Conforme Saaty (1977), a matriz deve, para ser consistente, apresentar a propriedade da reciprocidade, ou seja, $a_{ij} = 1/a_{ji}$. A consistência perfeita da matriz de comparações ocorre quando $\lambda_{max} = n$ (matrizes de ordem “n”). Quando não ocorre a consistência perfeita, observa-se que $\lambda_{max} > n$ (SAATY, 1980). O autor indica a determinação de um índice de consistência (IC) que permite a avaliar a inconsistência e poder melhorar a consistência dos julgamentos. O IC é definido por:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Saaty (1980) também propõe a determinação da razão de consistência (RC) das matrizes de julgamento a partir do IC e de um índice aleatório de consistência (RI):

$$RC = \frac{IC}{RI}$$

O índice RI corresponde ao valor médio derivado de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas aleatoriamente usando a escala (1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9). Os valores de RI para matrizes de diferentes ordens podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Índice aleatório de consistência RI

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Saaty (1980).

Pode-se trabalhar com uma inconsistência inferior a 10%, isto é, são aceitáveis valores de RC inferiores a 0,1. Quando RC apresenta valores maiores que 10%, faz-se necessário revisar os julgamentos.

Nos casos em que a tomada de decisão é conjunta, há duas maneiras utilização do método: (i) consenso do grupo; ou (ii) média geométrica das avaliações individuais (SAATY; VARGAS, 2006). Existem situações em que não é possível reunir os membros do grupo para chegar a um consenso nas avaliações. Quando os grupos são muito numerosos em que um consenso demandaria muito investimento de tempo em discussões, pode-se optar por agregar as opiniões dos especialistas com o uso da média geométrica dos julgamentos individuais (SAATY; VARGAS, 2012b).

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1. ABORDAGEM EPISTEMOLÓGICA

Utilizou-se como estratégia de pesquisa a *Design Science Research* (DSR) que envolve a construção, pesquisa e avaliação de artefatos inovadores (por exemplo: estruturas, modelos, métodos) com a finalidade de resolver problemas práticos (WINTER et al., 2010). A utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato devem ser comprovadas mediante métodos de avaliação detalhados. A avaliação é um componente crucial do processo de pesquisa (HEVNER et al., 2004). Este trabalho de aplicação da *framework* em um laboratório químico corresponde à etapa de avaliação prevista na estratégia DSR.

3.2. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Os locais de pesquisa científica em universidades, especialmente os laboratórios químicos, são ambientes ricos para estudos relacionados à segurança. Isso ocorre devido tanto aos perigos relacionados à natureza dos produtos e experimentos quanto ao número de pessoas que desenvolvem atividades dentro de um laboratório.

A universidade federal à qual pertence o laboratório em estudo é de grande porte e possuía, no ano de 2016, aproximadamente 33000 estudantes de graduação, 12000 estudantes de pós-graduação *stricto sensu*, 2700 docentes e 2600 técnicos. Dentro da universidade, aproximadamente 300 laboratórios são usados para ensino e pesquisa nas áreas de ciências químicas, físicas e biológicas. O número de laboratórios químicos na universidade encontra-se em torno de 80.

Este trabalho foi desenvolvido em um laboratório do departamento de Engenharia Química, no qual se efetuam pesquisas relacionadas ao processamento de alimentos. O departamento de Engenharia Química é composto por 18 laboratórios e conta com aproximadamente 200 alunos de pós-graduação, 600 alunos de graduação, 27 docentes e 12 técnicos.

A universidade possui um departamento específico que atua na gestão de saúde e segurança do trabalho, porém este apenas trata apenas fatos relacionados a servidores e/ou contratados. Esse departamento não possui registros de acidentes ou incidentes relacionados a alunos ou pesquisadores de pós-doutorado. O laboratório pertence a uma unidade da

universidade, unidade essa que possui uma comissão interna responsável pela saúde e ambiente de trabalho. A comissão é pouco atuante em relação às atividades desenvolvidas por alunos e pesquisadores.

O laboratório ocupa duas salas do terceiro pavimento de um prédio (Figura 11) e uma sala do primeiro piso (Figura 12). O prédio é composto por três andares e possui um total de 20 (vinte) laboratórios, 14 (quatorze) gabinetes e 6 (seis) salas de uso diverso. Há, no prédio, laboratórios e salas pertencentes a diferentes departamentos da universidade. As atividades executadas nos laboratórios têm muito pouca interação com outros laboratórios do mesmo departamento e rara interação com departamentos diferentes.

Nas salas que ocupam o terceiro andar encontram-se a maioria dos equipamentos vidrarias e reagentes usados. No primeiro andar da edificação está localizada outra sala pertencente ao laboratório e a central analítica a qual é um laboratório com equipamentos de análise de uso comum, pois é frequentada por alunos e pesquisadores da maioria dos laboratórios do departamento. Na sala do primeiro pavimento há poucos equipamentos.

Como os laboratórios mais utilizados são aqueles que estão localizados no 3º andar e a central analítica no 1º andar, é muito frequente a circulação de pessoas transportando reagentes, amostras, vidrarias, acessórios, água destilada (recipientes de 5, 10 ou 20 litros). O transporte dos materiais ocorre pelas escadas, visto que não há elevadores no prédio.

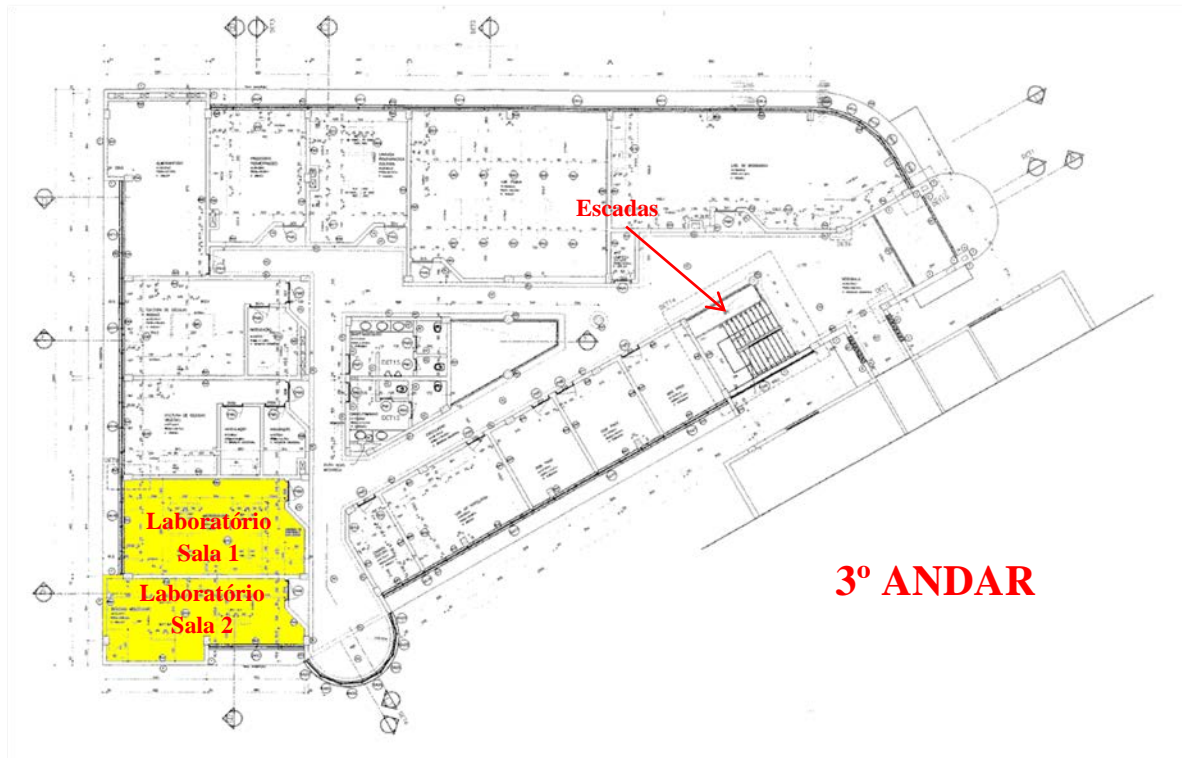


Figura 11: Planta baixa do 3º andar (laboratórios).
Fonte: Laboratório.

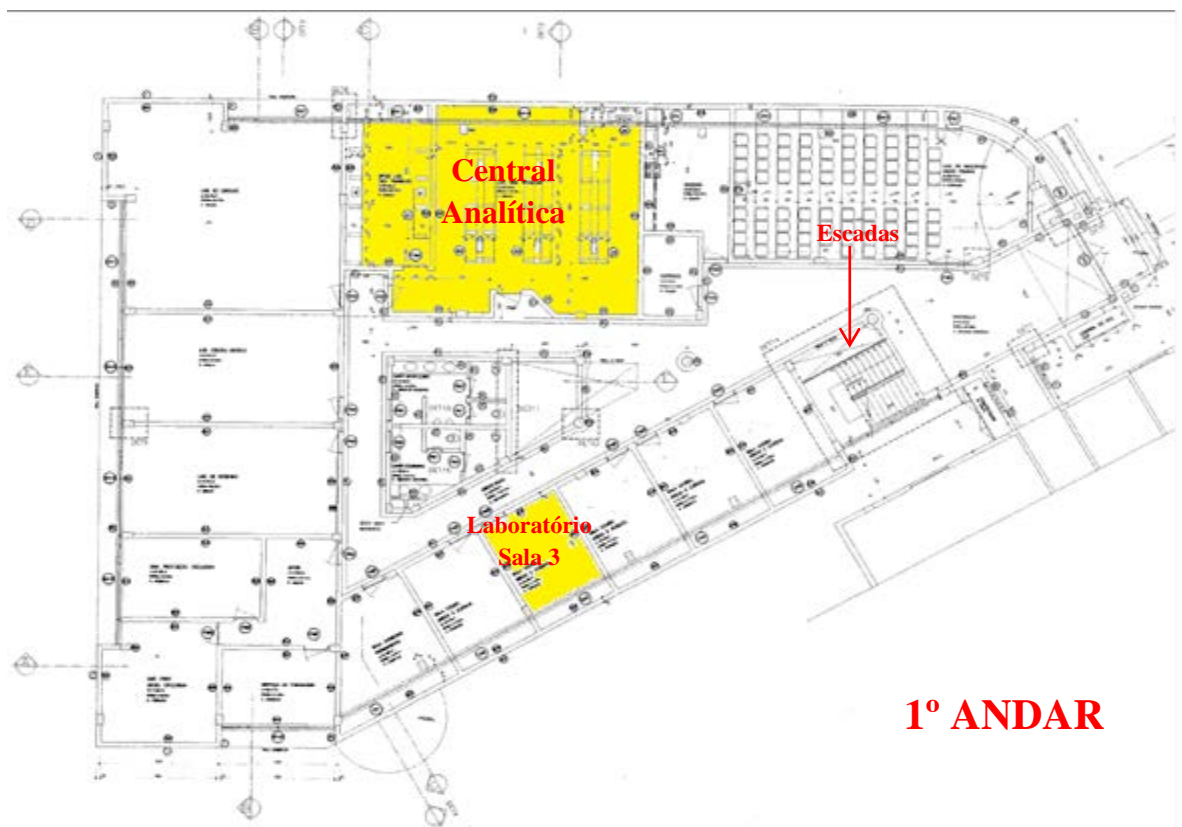




Figura 12: Planta baixa do 1º andar (central analítica e laboratório).
Fonte: Laboratório.



O laboratório estudado serve como base para pesquisadores com nível de pós-doutorado, doutorado, mestrado e graduação (iniciação científica ou atividades do trabalho de conclusão de curso - TCC). Os discentes de pós-graduação têm variadas formações acadêmicas e experiências profissionais. Os bolsistas de iniciação científica geralmente estão frequentando o início do curso e, por isso, trabalham juntamente com os alunos da pós-graduação (mestrado, doutorado e pós-doutorado) que possuem maior vivência em atividades de laboratório.





O horário normal de funcionamento do laboratório está compreendido entre 08:00 e 18:00 horas de segunda a sexta-feira. Durante esse período, vários experimentos podem ser executados simultaneamente pelos alunos. O trabalho com equipamentos é constante, além do uso de vidrarias de laboratório e produtos químicos diversos. Utilizam-se com mais frequência, dentro do laboratório, equipamentos tais como: capela de exaustão de gases, sistema de aquecimento ôhmico (aplicação de campo elétrico moderado), ultrassom tipo sonda, banhos termostatizados, medidores de pH, condutivímetros, balanças analíticas, refratômetro, espectrofotômetro, agitadores (mecânicos e magnéticos), bomba de vácuo, liofilizador, módulo de destilação osmótica e sistema de eletrodialise. Na central analítica encontram-se os equipamentos de uso comum, sendo os mais utilizados pelos alunos do laboratório em estudo: centrífugas, estufas, mufla, shaker, medidor de atividade de água, cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC), cromatógrafo gasoso (GC), calorímetro diferencial de varredura (DSC) e espectrofotômetro UV-VIS. A descrição e localização dos principais equipamentos pode ser vista no Quadro 6.

Quadro 6: Equipamentos utilizados pelos pesquisadores do laboratório analisado.

Equipamento	Descrição	Perigos intrínsecos	Manutenção	Localização
Banho termostatizado 	Usado para banhos de refrigeração e aquecimento com temperatura controlada	Choque elétrico Queimaduras com água quente	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3º andar)

Equipamento	Descrição	Perigos intrínsecos	Manutenção	Localização
Centrífuga concentradora	Utilizada para remover solventes de extratos	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3° andar)
Bomba de vácuo	Bomba para uso geral	Choque elétrico	Reposição de óleo	Laboratório (3° andar)
Centrífuga	Uso para centrifugação de amostras	Choque elétrico Impacto por quebra do equipamento	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3° andar)
Condutivímetros 	Utilizados para medir a condutividade de amostras e pH	Choque elétrico	Limpeza do eletrodo	Laboratório (3° andar)
Agitador magnético com aquecimento	Equipamentos usados para agitação de amostras dentro da qual se coloca barra magnética	Choque elétrico Queimaduras	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3° andar)
Balança analítica	Balança de alta precisão	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3° andar)

Equipamento	Descrição	Perigos intrínsecos	Manutenção	Localização
Capela de exaustão	Capela para exaustão de gases e vapores produzidos durante experimentos ou manipulação de reagentes	Postura inadequada Inalação de vapores (falha na exaustão)	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3º andar)
Sistema de Aquecimento Ôhmico 	Sistema de aquecimento ôhmico pela aplicação de campo elétrico moderado	Choque elétrico Queimaduras com água dos banhos	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3º andar)
Ultrassom tipo sonda 	Equipamento usado para tratamento mecânico de amostras	Choque elétrico Ruído	Somente manutenção corretiva	Laboratório (3º andar)
Ultra freezer	Freezer para baixas temperaturas (até -40°)	Choque elétrico.	Limpeza do condensador	Laboratório (1º andar)
Liofilizador	Equipamento usado para remoção de água das amostras	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Laboratório (1º andar)

Equipamento	Descrição	Perigos intrínsecos	Manutenção	Localização
Estufas	Estufas de uso geral	Choque elétrico Queimaduras Inalação de vapores	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Forno Mufla 	Tipo de estufa que atinge elevadas temperaturas controladas	Choque elétrico Queimaduras Inalação de vapores	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Centrífuga	Equipamento para centrifugação de amostras	Choque elétrico Impacto por quebra do equipamento	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Medidor de atividade da água 	Usado para medir atividade da água de alimentos	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
DSC (<i>Differential scanning calorimetry</i>) 	Equipamento para calorimetria exploratória diferencial	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Espectrofotômetro UV-VIS 	Usado para análise de amostras a partir da interação com a luz nas frequências do ultravioleta e visível	Choque elétrico	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)

Equipamento	Descrição	Perigos intrínsecos	Manutenção	Localização
Cromatografia gasosa (GC)	Análises de cromatografia gasosa	Choque elétrico Vazamento de gases	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC)	Análises de cromatografia líquida de alta performance	Choque elétrico Vazamento de gases Vapores dos solventes utilizados	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Cromatografia Líquida (LC)	Equipamento de cromatografia líquida	Choque elétrico Vazamento de gases Vapores dos solventes utilizados	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)
Shaker	Aparelho para agitação e controle de temperatura de amostras	Choque elétrico Cortes, por de quebra de vidraria.	Somente manutenção corretiva	Central analítica (1º andar)

Fonte: Própria.

A manutenção corretiva dos equipamentos é feita por empresas terceirizadas. Não existe um plano de manutenção preventiva dos equipamentos. Quando algum aparelho apresenta defeitos ou mau funcionamento é chamada uma empresa para efetuar a manutenção

corretiva. Atividades mais simples como a reposição de óleo das bombas de vácuo são feitas por alguns pesquisadores, porém sem planejamento ou regularidade. A falta de manutenção preventiva, em alguns casos, pode ser causa de quebra de equipamentos com maior frequência e maior significância. Isso impacta diretamente no tempo em que os equipamentos permanecem parados afetando variabilidades como, por exemplo, ocupação do laboratório e trabalho fora do horário normal.

A utilização dos aparelhos é feita mediante uma escala com reserva. A escala dos equipamentos que pertencem ao laboratório é gerenciada por um pesquisador de pós-doutorado. O uso dos equipamentos da central analítica é gerenciado pelos técnicos de laboratório responsáveis pela central. Todas as reservas são feitas de maneira manual. Como regra geral não há uso prioritário de equipamentos.

3.3. APLICAÇÃO DA *FRAMEWORK*

Nesta seção é apresentada em detalhes a aplicação das etapas da *framework* para o cenário de estudo. Devido ao uso do método AHP para obtenção dos resultados quantitativos, foi possível propor mudanças em relação à *framework* original. Além do uso do próprio método AHP, também foi possível fundir a etapa 5 com a etapa 6 e assim tornar a *framework* mais enxuta.

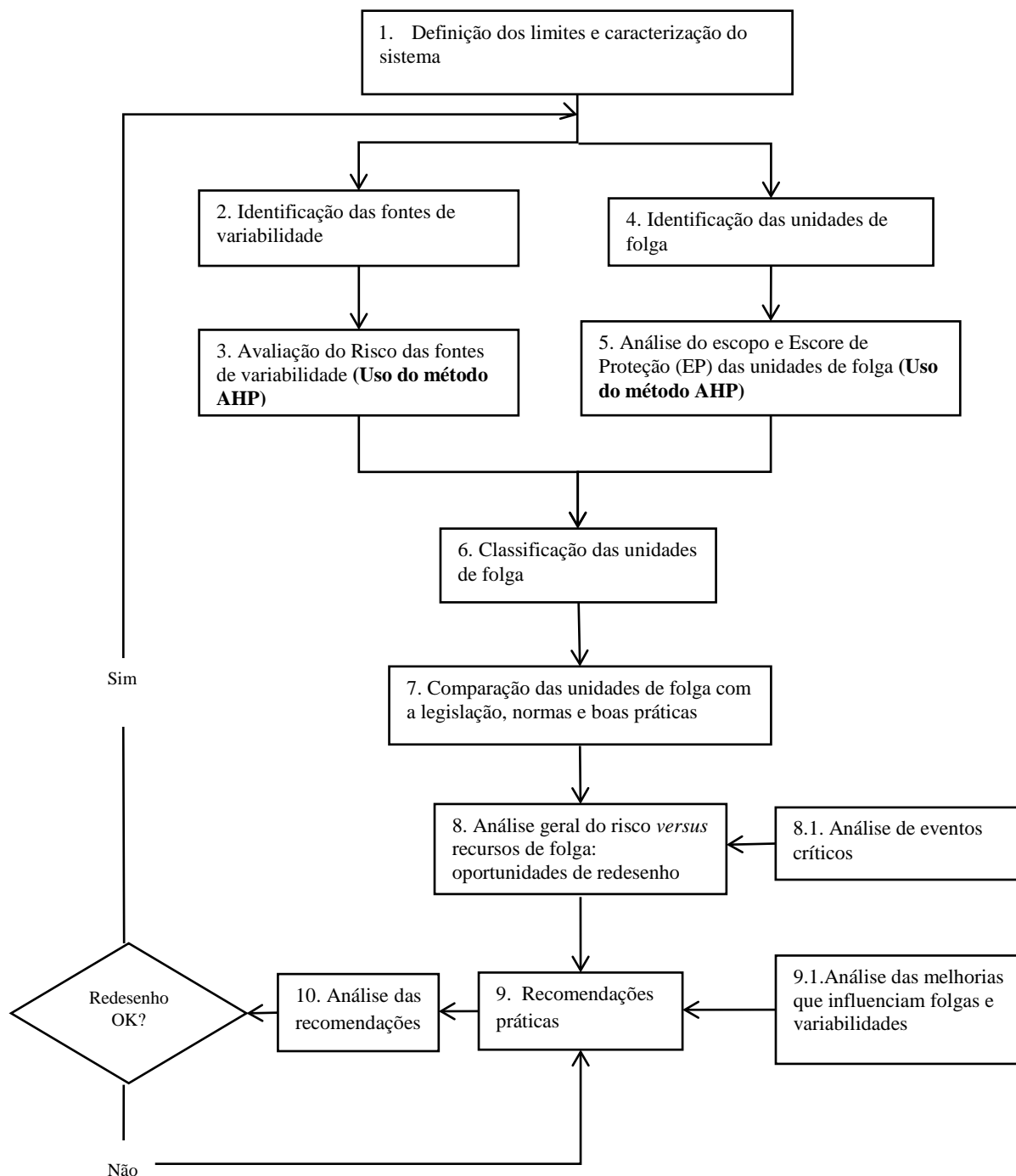


Figura 13: Alterações na aplicação da framework.
 Fonte: Adaptado de Saurin e Werle (2017).

Etapa 1 – Definição dos limites e caracterização do sistema: devido à grande especificidade dos diferentes laboratórios pertencentes ao departamento da universidade, optou-se por trabalhar de maneira aprofundada em um único laboratório. O principal critério usado para a escolha do laboratório foi a facilidade de acesso dada pela chefia do departamento e a presença de pessoas com mais de um ano de trabalho no laboratório. O

sistema apresenta limites funcionais e estruturais, ou seja, a operação normal do laboratório ocorre com pessoas, equipamentos e infraestrutura específica. Não ocorre a troca de pessoas e equipamentos entre laboratórios. A caracterização do sistema foi realizada mediante a identificação dos quatro subsistemas que compõem um SST: técnico, de pessoas, ambiente externo e organização do trabalho.

Etapa 2 – Identificação das fontes de variabilidade: considerou-se como fonte de variabilidade qualquer distúrbio, esperado ou não, que afeta a segurança e/ou objetivos do trabalho. Após a observação das atividades e rotinas do laboratório e discussão com todos os envolvidos no laboratório, foram identificadas nove fontes de variabilidade: (i) trabalho fora do horário normal; (ii) problemas de estrutura física/abastecimento; (iii) falta de recursos para o laboratório; (iv) alta ocupação do laboratório; (v) rotatividade de alunos e bolsistas; (vi) uso de equipamentos da central analítica; (vii) novas análises (métodos e reagentes novos); (viii) separação e armazenamento dos resíduos; e (ix) perigos intrínsecos. As fontes de variabilidade encontradas foram validadas com a pesquisadora de pós-doutorado mais experiente. Para esta e todas as demais etapas do estudo, entrevistaram-se onze pessoas com o perfil indicado no Quadro 7.

Quadro 7: Perfil dos entrevistados

Função no laboratório	Número de entrevistados	Perfil
Pós-doutorado	1	Pesquisador de Pós- doutorado com ampla experiência em laboratórios
Doutorado	4	Todos são alunos de doutorado há mais de dois anos no laboratório analisado
Mestrado	4	Dois alunos em fase de conclusão do curso de graduação em Engenharia Química Dois alunos em fase inicial, porém alunos de graduação e ex-bolsistas de iniciação científica (BIC) no mesmo laboratório
Bolsista de iniciação científica (BIC)	2	Estudantes de graduação atuando como bolsistas há mais de um ano no laboratório

Fonte: Própria.

Etapa 3 – Avaliação do risco das fontes de variabilidade: o risco é avaliado a partir da análise da probabilidade de ocorrência e do possível impacto das variabilidades. O método utilizado para a quantificação do risco foi o AHP. Devido ao uso desse método, os valores

obtidos são relativos. Os onze respondentes (alunos e pesquisadores) que trabalham no laboratório preencheram duas matrizes pareadas de comparação das variabilidades definidas na Etapa 2. Optou-se pelo preenchimento individual das matrizes visto que o objetivo era obter a opinião de todos os envolvidos com trabalhos no laboratório. Posteriormente, foi calculada a média geométrica dos valores de todas as matrizes. Em uma matriz utilizou-se como critério a probabilidade de ocorrência de variabilidade e, na outra matriz, usou-se o critério impacto dessa variabilidade. Conforme o método, ao preencher a matriz, o avaliador faz uma comparação de uma variabilidade em relação às outras atribuindo um peso que varia de 1 a 9 (detalhado Quadro 5 do item 2.10). Para facilitar o preenchimento das matrizes utilizaram-se somente os números ímpares (1, 3, 5, 7, e 9). Na Figura 14 observam-se os dados preenchidos por um dos entrevistados. O preenchimento de cada célula da matriz consiste em atribuir um peso na comparação de cada uma das variabilidades da linha em relação às que estão nas colunas. Esse peso deve ser dado sempre considerando o critério em análise. Por exemplo, o primeiro valor preenchido na matriz (peso 3) significa que o trabalho fora do horário normal tem peso um pouco maior em relação aos “problemas de estrutura física/abastecimento”, considerando o critério probabilidade. Na diagonal principal o valor é unitário porque trata a comparação da variabilidade com ela mesma. Abaixo da diagonal principal os valores correspondem ao inverso dos valores preenchidos pelos avaliadores, por isso são automaticamente atribuídos pelo software (Excel). Não houve necessidade de construir uma matriz para análise dos critérios, pois se considerou que ambos possuem o mesmo peso.

CRITÉRIO: PROBABILIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica	Novas análises (métodos e reagentes novos)	Separação e Armazenamento dos Resíduos	Perigos Intrínsecos
Trabalho fora do horário normal	1,00	3,00	3,00	0,20	0,33	0,11	3,00	3,00	1,00
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,33	1,00	1,00	0,20	0,33	0,14	3,00	3,00	0,20
Falta de recursos para o laboratório	0,33	1,00	1,00	0,20	0,33	0,11	1,00	1,00	0,14
Alta ocupação do laboratório	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	0,20	5,00	7,00	3,00
Rotatividade de alunos e bolsistas	3,00	3,00	5,00	0,20	1,00	0,20	3,00	3,00	0,33
Uso de equipamentos da central analítica	9,00	7,00	5,00	5,00	5,00	1,00	9,00	9,00	1,00
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,3	1/3	0,33	0,20	0,33	0,11	1,00	3,00	0,20
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,3	0,33	1,00	0,14	0,33	0,11	0,33	1,00	0,20
Perigos Intrínsecos	1,00	5,00	7,00	0,33	3,00	1,00	5,00	5,00	1,00

CRITÉRIO: SEVERIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica	Novas análises (métodos e reagentes novos)	Separação e Armazenamento dos Resíduos	Perigos Intrínsecos
Trabalho fora do horário normal	1,00	5,00	5,00	1,00	3,00	1,00	5,00	5,00	3,00
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,20	1,00	5,00	1,00	3,00	0,33	3,00	3,00	0,33
Falta de recursos para o laboratório	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,11	0,33	1,00	0,20
Alta ocupação do laboratório	1,00	1,00	5,00	1,00	3,00	0,20	7,00	9,00	0,20
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,33	0,33	5,00	0,33	1,00	0,14	3,00	3,00	0,20
Uso de equipamentos da central analítica	1,00	3,00	9,00	5,00	7,00	1,00	9,00	9,00	1,00
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,20	0,33	3,00	0,14	0,33	0,11	1,00	3,00	0,20
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,20	0,33	1,00	0,11	0,33	0,11	0,33	1,00	0,20
Perigos Intrínsecos	0,33	3,00	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	5,00	1,00

Figura 14: Exemplo de matrizes para avaliação das variabilidades.

Fonte: Própria.

Após o preenchimento, foi necessário calcular o vetor peso o qual indica um valor para cada variabilidade em relação ao critério definido. Para cada variabilidade definida obteve-se um valor numérico de probabilidade de ocorrência e um valor para o possível impacto. Também com o uso de software excel, calculou-se a razão de consistência conforme descrito no item 2.10, que permite verificar a validade dos dados coletados. Os valores de razão de consistência (RC) iguais ou inferiores a 0,1 são considerados aceitáveis de acordo com Saaty (1980). Assim, com os resultados obtidos a partir das duas matrizes, foi possível calcular o risco mediante a multiplicação dos valores numéricos atribuídos para a probabilidade e impacto. Para as matrizes mostradas na Figura 14, seguindo os passos do método, o vetor peso das matrizes, de acordo com os critérios probabilidade e severidade, apresentou os valores mostrados na Figura 16. O valor de RC foi 0,09 para o critério probabilidade e 0,10 para severidade. Como exemplo, na Figura 15 é apresentada a metodologia de cálculo do vetor peso das variabilidades segundo o critério “probabilidade”.

CRITÉRIO: PROBABILIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica	Novas análises (métodos e reagentes novos)	Separação e Armazenamento dos Resíduos	Perigos Intrínsecos	
Trabalho fora do horário normal	1,00	3,00	3,00	0,20	0,33	0,11	3,00	3,00	1,00	
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,33	1,00	1,00	0,20	0,33	0,14	3,00	3,00	0,20	
Falta de recursos para o laboratório	0,33	1,00	1,00	0,20	0,33	0,11	1,00	1,00	0,14	
Alta ocupação do laboratório	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	0,20	5,00	7,00	3,00	
Rotatividade de alunos e bolsistas	3,00	3,00	3,00	0,20	1,00	0,20	3,00	3,00	0,33	
Uso de equipamentos da central analítica	9,00	7,00	9,00	5,00	5,00	1,00	9,00	9,00	1,00	
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,33	0,33	1,00	0,20	0,33	0,11	1,00	3,00	0,20	
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,33	0,33	1,00	0,14	0,33	0,11	0,33	1,00	0,20	
Perigos Intrínsecos	1,00	5,00	7,00	0,33	3,00	1,00	5,00	5,00	1,00	
Soma	20,33	25,67	31,00	7,48	15,67	2,99	30,33	35,00	7,08	

CRITÉRIO: PROBABILIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica	Novas análises (métodos e reagentes novos)	Separação e Armazenamento dos Resíduos	Perigos Intrínsecos	Vetor
Trabalho fora do horário normal	0,05	0,12	0,10	0,03	0,02	0,04	0,10	0,09	0,14	0,07
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	0,10	0,09	0,03	0,04
Falta de recursos para o laboratório	0,02	0,04	0,05	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
Alta ocupação do laboratório	0,25	0,19			0,32	0,07				0,21
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,15	0,12			0,06	0,07				0,08
Uso de equipamentos da central analítica	0,44	0,27			0,32	0,33				0,34
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02	0,04				0,03
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03	0,02
Perigos Intrínsecos	0,05	0,19	0,23	0,04	0,19	0,33	0,16	0,14	0,14	0,17

$a_{ij}/soma_{in} = 3/25,67$ Média da linha

Figura 15: cálculo do vetor peso das variabilidades de acordo com o critério probabilidade.

Fonte: Própria.

VARIABILIDADES	VETOR PESO (critério: probabilidade)	VETOR PESO (critério: severidade)
Trabalho fora do horário normal	0,07	0,21
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,04	0,08
Falta de recursos para o laboratório	0,03	0,02
Alta ocupação do laboratório	0,21	0,13
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,08	0,06
Uso de equipamentos da central analítica	0,34	0,25
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,03	0,04
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,02	0,02
Perigos Intrínsecos	0,17	0,19

Figura 16: Vetor peso calculado para matrizes da Figura 14.

Fonte: Própria.

A partir do resultado obtido para as nove variabilidades segundo os critérios probabilidade e severidade foi possível calcular o risco dessas variabilidades mediante a multiplicação e normalização. Para o exemplo apresentado na Figura 14, o risco calculado para cada uma das variabilidades pode ser visto na Figura 16. Como todos os valores resultantes da aplicação do método AHP são normalizados, estabeleceu-se um Índice de Risco (IR) que é obtido pela normalização do risco calculado. Os resultados do cálculo do IR também encontram-se na Figura 16.

	Trabalho fora do horário normal (Demanda por resultados)	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica	Novas análises (métodos e reagentes novos)	Separação e Armazenamento dos Resíduos	Riscos de Incidentes
Probabilidade	0,07	0,04	0,03	0,21	0,08	0,34	0,03	0,02	0,17
Severidade	0,21	0,08	0,02	0,13	0,06	0,25	0,04	0,02	0,19
Risco (P*S)	0,016	0,004	0,001	0,027	0,005	0,084	0,001	0,001	0,031
Índice de Risco	0,09	0,02	0,00	0,16	0,03	0,50	0,01	0,00	0,18

Figura 17: Risco calculado para as variabilidades dos dados da Figura 14.

Fonte: Própria.

Etapa 4 – Identificação das unidades de folga: do mesmo modo que na etapa 2, realizou-se a identificação mediante a observação do trabalho no laboratório e da discussão com os envolvidos. Encontraram-se seis unidades de folga: (i) expertise dos alunos; (ii) orientação para trabalhar acompanhado; (iii) equipamento de proteção individual (EPI); (iv) procedimentos operacionais; (v) improvisações; e (vi) uso de recursos próprios. A validação das unidades de folga identificadas foi feita com a pesquisadora de pós-doutorado mais experiente.

Etapa 5 – Análise do escopo e eficácia das unidades de folga: o escopo é um dos critérios de classificação das unidades de folga. Nesta etapa se avaliou, inicialmente, quais variabilidades possuem cobertura pelas unidades de folga. Para obtenção da proteção das variabilidades pelas folgas, novamente se lançou mão do método AHP. Foi construído um número de matrizes pareadas igual ao número de variabilidades encontradas. Em cada matriz usou-se como critério para preenchimento uma das variabilidades definidas anteriormente e as unidades de folga atuantes sobre a respectiva variabilidade (escopo). Desse modo, cada participante teve como opinar sobre a ação das folgas para cada fonte de variabilidade. Utilizou-se a média geométrica das avaliações para o cálculo final. Na Figura 18 estão apresentados os dados preenchidos por um dos entrevistados. Por exemplo, na primeira matriz, a unidade de folga “procedimentos operacionais” tem igual importância (valor 1) em relação à “expertise dos alunos” considerando a variabilidade “trabalho fora do horário

normal”. Abaixo da diagonal, a comparação contrária também possui valor unitário, automaticamente preenchido.

Para cada uma das matrizes foi obtido um vetor peso que permitiu, utilizando o risco das variabilidades como critério, calcular um valor de eficácia para cada unidade de folga.

Critério: Trabalho fora do horário normal	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	0,33	0,33	1,00	3,00
Orientação para trabalhar acompanhado	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00
EPI	3,00	0,33	1,00	1,00	1,00
Procedimentos operacionais	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Improvisações	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00

Critério: Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Expertise dos	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos
	alunos	operacionais		próprios
Expertise dos alunos	1,00	0,33	0,20	5,00
Procedimentos operacionais	3,00	1,00	0,33	7,00
Improvisações	5,00	3,00	1,00	5,00
Uso de recursos próprios	0,20	0,14	0,20	1,00

Critério: Falta de recursos para o laboratório	Expertise dos	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos
	alunos	operacionais		próprios
Expertise dos alunos	1,00	3,00	1,00	3,00
Procedimentos operacionais	0,33	1,00	0,33	3,00
Improvisações	1,00	3,00	1,00	5,00
Uso de recursos próprios	0,33	0,33	0,20	1,00

Critério: Alta ocupação do laboratório	Expertise dos	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	7,00	3,00	1,00
EPI	0,14	1,00	1,00	1,00
Procedimentos operacionais	0,33	1,00	1,00	0,33
Improvisações	1,00	1,00	3,00	1,00

Critério: Rotatividade de alunos e bolsistas	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	5,00	7,00	7,00
Orientação para trabalhar acompanhado	0,20	1,00	0,33	0,33
EPI	0,14	3,00	1,00	1,00
Procedimentos operacionais	0,14	3,00	1,00	1,00

Critério: Uso de equipamentos da central analítica	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	5,00	5,00	1,00
Orientação para trabalhar acompanhado	0,20	1,00	1,00	1,00
EPI	0,20	1,00	1,00	0,33
Procedimentos operacionais	1,00	1,00	3,00	1,00

Critério: Novas análises (métodos e reagentes novos)	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	0,33	0,33	3,00
EPI	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00
Procedimentos operacionais	1,00	3,00	1,00	1,00	5,00
Improvisações	0,33	0,33	0,33	0,20	1,00

Critério: Separação e Armazenamento dos Resíduos	Expertise dos	EPI	Procedimentos
	alunos		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	3,00	1,00
EPI	0,33	1,00	0,33
Procedimentos operacionais	1,00	3,00	1,00

Critério: Riscos de Incidentes	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais		próprios
Expertise dos alunos	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00	5,00
Orientação para trabalhar acompanhado	0,20	1,00	1,00	1,00	0,33	5,00
EPI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	5,00
Procedimentos operacionais	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00
Improvisações	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	5,00
Uso de recursos próprios	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00

Figura 18: Matrizes para avaliação da eficácia das folgas em relação às variabilidades.
Fonte: Própria.

Nesta etapa também fez-se a avaliação da eficácia geral das folgas, ou seja, determinou-se o peso de cada uma das unidades de folga em relação a todo o sistema. A determinação também foi feita com o uso do método AHP, com uma matriz pareada, conforme exemplo preenchido por um dos participantes (Figura 19). Foram avaliadas todas as unidades de folga tendo como critério a eficácia.

EFICÁCIA DAS FOLGAS	Expertise dos alunos	Orientação para trabalhar acompanhado	EPI	Procedimentos operacionais	Improvisações	Uso de recursos próprios
Expertise dos alunos	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00	5,00
Orientação para trabalhar acompanhado	0,20	1,00	1,00	1,00	0,33	5,00
EPI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	5,00
Procedimentos operacionais	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00
Improvisações	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	5,00
Uso de recursos próprios	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00

Figura 19: Matriz para determinação de eficácia geral das unidades de folga
Fonte: Própria.

O escore de proteção das fontes de variabilidade foi calculado pela equação definida por Saurin e Werle (2017):

$$EP_i = \sum EUF_j \times W_i$$

onde,

EP é o Escore de Proteção da fonte de variabilidade i;

EUF_j é a eficácia da Unidade de Folga j. Corresponde aos valores de eficácia calculados em relação a cada fonte de variabilidade;

W_i é o peso da folga em relação às variabilidades, ou seja, equivale à eficácia geral das folgas.

Após a determinação do EP e do IR de cada uma das fontes de variabilidade, é possível estabelecer um *gap* para avaliar a ação das unidades de folga. O *gap* é dado por:

$$gap_i = EP_i - IR_i$$

onde,

EP é o Escore de Proteção da fonte de variabilidade i;

IR é o Índice de Risco da fonte de variabilidade i.

Etapa 6 – Classificação das unidades de folga: as unidades de folga identificadas foram classificadas de acordo com os critérios abordados no referencial teórico. Em relação ao escopo, os recursos foram classificados em folgas de baixo escopo, médio escopo e grande escopo (SAURIN; BASSO, 2017) e estabeleceu-se: (i) grande escopo, cobertura igual ou superior a 80%; (ii) médio escopo, cobertura igual ou superior a 40% e menor que 80%; e (iii) baixo escopo, abrangência inferior a 40%. Quanto à disponibilidade, estabeleceu-se a classificação em imediata e não imediata. Referente à visibilidade das folgas, utilizou-se a classificação proposta por Saurin e Werle (2017): (i) visibilidade alta, quando o status da folga é visível em tempo real; (ii) visibilidade média, quando o conhecimento a respeito do status da folga necessita de comunicação verbal com no mínimo uma pessoa; e (iii) visibilidade baixa, quando o status da folga não pode ser conhecido ou os atributos de visibilidade média não são atendidos. Os critérios de classificação encontram-se no Quadro 8.

Quadro 8: Classificação das unidades de folga

Classificação	Tipo de folga
Origem	<ul style="list-style-type: none"> • Projetada • Oportunista
Natureza	<ul style="list-style-type: none"> • Pessoas • Procedimentos • Tempo • Equipamentos • Recursos Financeiros
Disponibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Imediata • Não imediata
Estratégia de Implantação	<ul style="list-style-type: none"> • Redundância: ativa; <i>stanby</i>; de duplicação; de substituição; multimodal • Estoque em processos • Margens de manobra: estratégia defensiva; estratégia autônoma; estratégia cooperativa • Diversidade Cognitiva • Folga de controle
Visibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Alta • Média • Baixa
Efeitos colaterais	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação caso a caso
Durabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de duração
Escopo	<ul style="list-style-type: none"> • Grande • Médio • Baixo

Fonte: Própria.

Etapa 7 – Comparação das unidades de folga com a legislação, normas e boas práticas: realizou-se uma pesquisa sobre a legislação brasileira aplicada a laboratórios químicos. Observaram-se também normas internacionais relacionadas com a área de estudo. Com isso, foi possível comparar os recursos de folgas com referência a essas normas nacionais e

internacionais como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), Normas Regulamentadoras (NRs), *Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo* (INSSBT - Espanha) e *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA - EUA).

Etapa 8 – Análise geral do risco versus unidades de folga: oportunidades de redesenho: ao comparar o risco encontrado com a eficácia das unidades folgas, foi possível identificar oportunidades de redesenho do sistema. Os resultados obtidos para risco e eficácia das folgas estão todos normalizados e a comparação pode ser feita mediante a simples subtração.

Etapa 8.1 – Análise de eventos críticos: este passo serve de suporte para a etapa 8. Eventos de maior gravidade narrados pelos entrevistados foram descritos e analisados detalhadamente. Utilizou-se o método FRAM para ilustração e sequenciamento. Durante as entrevistas houve oportunidade de explorar eventos críticos presenciados por alguns dos entrevistados. Escolheram-se dois eventos e para a análise a entrevista foi realizada com base no método de decisões críticas (*Critical Decision Method – CDM*). Esse método permite identificar habilidades técnicas e não técnicas usadas durante uma situação crítica (CRANDALL et al., 2006). O CDM possui quatro etapas: (i) identificação do incidente, (ii) linha do tempo e identificação dos pontos de decisão, (iii) aprofundamento e, (iv) questionamentos “e se”.

Etapa 9 – Recomendações Práticas: etapa onde são definidas sugestões aplicáveis de melhoria para o laboratório.

Etapa 9.1 – Análise das melhorias que influenciam folgas e variabilidades: esta etapa corresponde a um passo paralelo à etapa 9 e visa à análise de modificações em andamento que possam influenciar o estudo em desenvolvimento.

Etapa 10 – Análise da solidez teórica das recomendações: A ideia aqui é analisar as recomendações segundo as 6 diretrizes de gestão de SSTC apresentadas na revisão bibliográfica.

3.4. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados foram obtidos basicamente mediante a observação direta das atividades que se desempenham e comportamentos no laboratório, tais como: horários de execução de tarefas, rotinas, horário de funcionamento, relatos de situações adversas não comuns, uso de EPI, improvisos, procedimentos seguidos.

Um total de onze pessoas envolvidas no laboratório foram entrevistadas e tiveram os trabalhos acompanhados. Foram selecionadas todas as pessoas que possuíam vínculo superior a um ano com o laboratório em estudo. Os alunos e bolsistas com ingresso recente no laboratório foram considerados apenas para análise de rotatividade e comportamento, isto é, não foram entrevistados individualmente nem preencheram as matrizes. As entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas. Utilizou-se o método CDM para registro de duas entrevistas em que os envolvidos concordaram em narrar eventos críticos. Durante o acompanhamento e observação das atividades fez-se um registro fotográfico e o preenchimento de um diário de campo. Documentos como procedimentos operacionais escritos, manuais e instruções existentes no laboratório foram também consultados. Observou-se que no laboratório não há documentação referente a registros de eventos nem investigações de acidentes.

Inicialmente fez-se um primeiro contato para acompanhamentos do trabalho e conversas informais com os onze entrevistados. Numa segunda etapa foi feita uma entrevista semiestruturada com apresentação das matrizes para preenchimento e uma descrição do método AHP. Posteriormente foi marcado um encontro, também individual, para entrega das matrizes preenchidas. A partir das entrevistas foram identificadas duas situações críticas e, assim, agendou-se uma entrevista posterior (individual) com essas duas pessoas em que se usou o método CDM. As entrevistas CDM foram realizadas com um aluno de mestrado e com um bolsista de iniciação científica. No Quadro 9 encontram-se as fontes de obtenção de dados em cada etapa da *framework* aplicada em o total de tempo utilizado.

Quadro 9: Fontes de dados consultadas em cada etapa da framework.

Fonte de dados Etapa da framework	Revisão da Literatura	Observações	Entrevistas CDM (2 pessoas)	Entrevistas e reuniões para preenchimento de matrizes (11 pessoas)	Análise documental
1 – Definição dos limites e caracterização do sistema	X	X			
2 – Identificação das fontes de variabilidade	X	X	X	X	X
3 – Avaliação do risco das fontes de variabilidade	X			X	
4 – Identificação das unidades de folga		X	X		X
5 – Análise da eficácia das unidades de folga				X	
6 – Análise do escopo das unidades de folga e respectiva proteção das fontes de variabilidade				X	X
7 – Classificação das unidades de folga	X				X
8 – Comparação das unidades de folga com a legislação, normas e boas práticas	X				X
9 – Análise geral do risco versus recursos de folga: oportunidades de redesenho		X		X	
9.1 – Análise de eventos críticos			X		
10 – Recomendações Práticas					
10.1 – Análise das melhorias que influenciam folgas e variabilidades:					X
11 – Análise da solidez teórica das recomendações	X				
Tempo Total (horas)	-	18	2	6	-

Fonte: Própria.

3.5. ANÁLISE DE DADOS

Toda estratégia analítica tem como objetivo o tratamento das evidências a partir das categorias de dados definidas (YIN, 2001; GIL, 2008). No Quadro 10 são apresentadas as categorias de análise de dados definidas com as respectivas evidências. As fontes de evidências foram entrevistas, observações e análise documental.

Quadro 10: categorias de análise de dados e respectivas evidências.

Categorias de Análise de Dados	Meios para Obtenção das Evidências
Sistemas	Processos existentes, organização do trabalho documentada e observada.
Perigos/Riscos	Observações e entrevistas, procedimentos documentados.
Folgas e Variabilidades	Identificação em observações e entrevistas, procedimentos documentados, normas atendidas.
Eventos críticos	Narrativas em entrevistas, procedimentos escritos.

Fonte: Própria.

As análises quantitativas foram realizadas com suporte do método AHP. Para todas as matrizes usadas nos cálculos observou-se o valor da razão de consistência (*RC*). Esse valor deve ser inferior a 0,1 (10%) para manter a confiabilidade dos resultados (SAATY, 1980). Quando foi necessário o cálculo de médias no método AHP, usou-se a média geométrica que é a mais indicada para a aplicação do método (SAATY; VARGAS, 2006). Para o preenchimento das matrizes foram marcados encontros individuais, nos quais foram dadas as instruções de preenchimento. Após o preenchimento, os dados foram analisados e, nos casos em que se identificaram inconsistências, foi preciso que o entrevistado revisasse as matrizes.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos encontram-se descritos de acordo com as etapas da *framework*.

4.1. ETAPA 1 – DEFINIÇÃO DOS LIMITES E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de estudo, definido como um SSTC, é um laboratório químico composto por duas salas localizadas lado a lado no terceiro andar, além de outra uma sala no primeiro pavimento do prédio (Figuras 11 e 12). Considerou-se como parte do sistema uma sala de uso comum entre diversos laboratórios (central analítica) no primeiro andar do mesmo prédio, Figura 12. Há pouca interação entre atividades e pessoas dos diferentes laboratórios localizados no edifício e, por isso, esse aspecto foi desconsiderado. As características principais dos subsistemas analisados estão descritas no Quadro 11.

Quadro 11: Características dos quatro subsistemas que compõem o SSTC estudado.

Subsistema	Principais características
Técnico	A estrutura física é composta por duas salas contíguas do 3º andar do prédio, com aproximadamente 42m ² e 34m ² ; uma sala no primeiro andar com 18 m ² ; e uma sala de uso comum no primeiro piso com aproximadamente 105m ² . Há equipamentos diversos de laboratório. Há computadores com acesso a rede interna, onde são compartilhadas informações como, por exemplo, os procedimentos operacionais e manuais de equipamentos. Todos os usuários do laboratório têm acesso às informações.
Social	Equipe composta por: um professor coordenador, dois pesquisadores de pós-doutorado, quatro alunos de doutorado, quatro alunos de mestrado e quatro bolsistas de iniciação científica.
Organização do trabalho	O horário normal de funcionamento do laboratório é entre 08:00 horas e 18:00 horas, de segunda a sexta-feira. Os mestrandos e doutorandos possuem metas individuais de trabalho. Os bolsistas de iniciação científica e alunos de graduação têm metas definidas pelos mestrandos e/ou doutorandos.
Ambiente externo	O prédio encontra-se em um campus dentro de uma área residencial da cidade. O laboratório em estudo é um dos 18 laboratórios instalados num prédio com 3 pavimentos. No mesmo prédio, além de laboratórios há salas de aula, escritórios e salas de trabalho administrativo e restaurante. O laboratório recebe recursos oriundos das agências de fomento (CNPq, Capes e FAPERGS) destinados ao apoio à pós-graduação ou de projetos de pesquisa do professor coordenador. A prestação de contas a respeito dos recursos recebidos é feito junto às agências e também juntos à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade.

Fonte: Própria.

4.2. ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE VARIABILIDADE

Foram identificadas nove fontes de variabilidade no sistema cujas principais características são descritas a seguir:

- (i) **Trabalho fora do horário normal:** frequentemente ocorrem trabalhos à noite ou em finais de semana, devido aos prazos para apresentar resultados. Sempre que isso ocorre, há possibilidade de trabalhar sozinho no laboratório, visto que nem todos os alunos e pesquisadores têm as mesmas demandas. A chave do laboratório está disponível na portaria do prédio e pode ser obtida pelo aluno ou pesquisador em qualquer dia e horário. Sob outra perspectiva poderia ser considerada com uma unidade de folga que atua sobre a variabilidade relacionada à alta ocupação do laboratório;
- (ii) **Problemas de Estrutura Física/Abastecimento:** na estrutura atual observam-se alguns problemas de acesso (ex: falta de elevador), desabastecimento de água e energia, problemas na estrutura predial (ex: rede elétrica antiga). Esses problemas podem afetar de maneira significativa o andamento do trabalho e a segurança;
- (iii) **Falta de recursos para o laboratório:** recursos federais podem atrasar ou sofrer redução ocasionando: falta de reagentes ou materiais consumíveis, demora no conserto de equipamentos. Essa situação de escassez de recursos, ou a possibilidade da falta, faz parte do cotidiano. O laboratório não presta serviço para setor privado, isto é, não há recursos privados que possam ser utilizados;
- (iv) **Alta ocupação do laboratório:** há períodos em que ocorre o aumento de pessoas executando simultaneamente atividades no laboratório. Um número de seis pessoas trabalhando simultaneamente já pode ser considerado como excesso, devido ao uso de equipamentos e reagentes que são necessários para os diferentes experimentos. Como os prazos e demandas são diferentes, há oscilação na ocupação do laboratório. Quando consideramos a alta ocupação deve-se ter em mente que mesmo quando as pessoas não estão presentes no laboratório, os aparatos, reagentes e vidrarias permanecem sobre as bancadas ou dentro dos *freezers*. Alguns experimentos podem durar dias ou meses e os materiais utilizados pelos diversos alunos dividem o espaço do laboratório;
- (v) **Rotatividade de alunos e bolsistas:** sempre que um novo aluno ou bolsista ingressa, é necessário um período de adaptação e treinamento. O período de permanência de um

aluno cursando mestrado é aproximadamente dois anos, no caso de um doutorando esse período é de quatro anos. Pós-doutorandos permanecem, em média, cinco anos. Bolsistas de iniciação científica permanecem por períodos entre seis meses e dois anos. Alunos desenvolvendo o trabalho de conclusão de curso realizam experimentos por períodos de três a seis meses. Portanto, existe uma grande rotatividade de pessoas no laboratório;

- (vi) **Uso de equipamentos da central analítica:** há necessidade de deslocamento, assim como o transporte de materiais e amostras quando as análises são realizadas em equipamentos da central analítica. A central analítica encontra-se no primeiro pavimento do prédio, enquanto a parte principal do laboratório está localizada no terceiro. Frequentemente é necessário subir e descer as escadas várias vezes ao longo do dia. Isso é intensificado, por exemplo, quando há amostras instáveis em que a leitura pelo equipamento deve ser feita imediatamente após o preparo;
- (vii) **Novas análises (métodos e reagentes novos):** novas análises requerem o uso de materiais com os quais não se trabalha normalmente. Os reagentes devem ser estudados acerca da toxicidade, volatilidade, compatibilidade química, geração de resíduos e armazenamento;
- (viii) **Separação e Armazenamento dos Resíduos:** resíduos de reagentes podem ser armazenados ou descartados incorretamente (ex: descarte de reagentes em pias ou mistura de compostos resíduos incompatíveis). Deve-se considerar também o descarte de embalagens e EPI contaminado;
- (ix) **Perigos Intrínsecos:** considera incidente qualquer tipo de evento que possa colocar em risco a saúde das pessoas, interromper as atividades ou provocar a perda de material ou danos em equipamentos. Eventos desse tipo frequentemente são ignorados, visto que não há procedimentos estabelecidos para o seu registro e investigação.

4.3. ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DO RISCO DAS FONTES DE VARIABILIDADE

As fontes de variabilidade foram inicialmente avaliadas em relação à probabilidade de ocorrência e ao possível impacto (severidade), com uso do método AHP. Os onze entrevistados fizeram a avaliação preenchendo as matrizes de comparação pareada mostradas na Figura 14. O resultado final foi obtido calculando-se a média geométrica de cada uma das

avaliações individuais e construindo uma matriz de valores agregados para cada critério estabelecido (probabilidade e impacto), apresentado na Figura 20. A consistência dos dados das matrizes de valores agregados foi avaliada mediante o cálculo do RC. O valor de RC para a matriz de avaliação das fontes de variabilidade com o critério de probabilidade de ocorrência foi 0,04. Para a matriz de avaliação das fontes de variabilidade, com o uso do critério impacto, o valor de RC calculado foi 0,03. Esses valores de RC são aceitáveis, pois são inferiores a 0,1 (Saaty, 1980). Considerando que a razão de consistência foi inferior a 0,1 para ambos os critérios, deu-se seguimento à aplicação do método.

CRITÉRIO: PROBABILIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica
Trabalho fora do horário normal	1,00	1,60	1,54	1,38	0,89	1,81
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,62	1,00	1,09	1,10	1,66	0,62
Falta de recursos para o laboratório	0,65	0,92	1,00	0,83	1,08	0,50
Alta ocupação do laboratório	0,72	0,91	1,20	1,00	1,47	1,00
Rotatividade de alunos e bolsistas	1,13	0,60	0,93	0,68	1,00	0,71
Uso de equipamentos da central analítica	0,55	1,60	2,02	1,00	1,40	1,00
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,46	0,35	0,76	0,59	0,53	0,70
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,60	0,42	1,12	0,62	0,51	0,64
Riscos de Incidentes	0,78	0,24	0,54	0,25	0,42	0,39

CRITÉRIO: SEVERIDADE	Trabalho fora do horário normal	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Falta de recursos para o laboratório	Alta ocupação do laboratório	Rotatividade de alunos e bolsistas	Uso de equipamentos da central analítica
Trabalho fora do horário normal	1,00	0,79	0,68	0,51	1,26	1,20
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	1,26	1,00	0,92	1,23	2,27	2,69
Falta de recursos para o laboratório	1,47	1,09	1,00	0,48	1,72	2,04
Alta ocupação do laboratório	1,94	0,81	2,09	1,00	1,79	2,09
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,79	0,44	0,58	0,56	1,00	1,58
Uso de equipamentos da central analítica	0,83	0,37	0,49	0,48	0,63	1,00
Novas análises (métodos e reagentes novos)	1,10	0,35	0,70	0,60	0,51	0,54
Separação e Armazenamento dos Resíduos	1,26	0,41	1,00	0,57	0,88	0,96
Riscos de Incidentes	0,47	0,67	0,84	0,90	0,77	0,89

Figura 20: Matrizes com as médias geométricas dos valores preenchidos.
Fonte: Própria.

A partir das matrizes com os valores médios, Figura 20, calcularam-se os vetores peso para as fontes de variabilidade com base nos dois critérios estabelecidos (probabilidade e severidade). Pela multiplicação dos vetores obteve-se risco relativo das variabilidades. Os resultados encontrados para o risco foram normalizados para obter o índice de risco (IR) cujos valores estão descritos, em ordem decrescente, na Tabela 2.

Tabela 2: Risco relativo das fontes de variabilidade definidas.

Fonte de Variabilidade	Probabilidade (RC=0,04)	Severidade (RC=0,03)	Risco (P*S)	Índice de Risco (IR)
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,15	0,17	0,026	0,22
Alta ocupação do laboratório	0,13	0,16	0,021	0,18
Trabalho fora do horário normal	0,15	0,10	0,016	0,14
Falta de recursos para o laboratório	0,10	0,13	0,012	0,10
Uso de equipamentos da central analítica	0,14	0,08	0,011	0,10
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,11	0,10	0,011	0,10
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,09	0,08	0,007	0,06
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,08	0,08	0,006	0,06
Perigos Intrínsecos	0,05	0,09	0,005	0,04

Fonte: Própria.

Segundo a opinião dos pesquisadores e alunos, as variabilidades de maior risco têm relação com problemas estruturais e alta ocupação do laboratório. Isso se deve a que são variabilidades que estão no dia a dia do laboratório e possuem elevado potencial de impacto.

Ao observar os resultados para o critério probabilidade é possível notar que algumas variabilidades estão incorporadas ao trabalho normal. Conforme os conceitos de *Safety II*, é importante avaliar a adaptação do sistema, em seu funcionamento normal, com as variabilidades presentes.

4.4. ETAPA 4 – IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE FOLGA

As unidades de folgas identificadas, de acordo com os critérios anteriormente definidos no item 3.3, foram:

- (i) **Expertise dos alunos:** diz respeito ao conhecimento explícito e tácito dos alunos, bem como a experiência de trabalho em laboratório. Essa folga inclui treinamentos informais e acompanhamentos nas análises dados pelos doutorandos e mestrands aos novos alunos e/ou Bolsistas de Iniciação Científica;

- (ii) **Orientação para trabalhar acompanhado:** instrução informal, repassada pelos professores e alunos mais experientes, para que os usuários evitem trabalhar sozinho e fora do horário normal;
- (iii) **Equipamento de Proteção Individual (EPI):** recurso relacionado à disponibilidade e/ou uso de EPI. Existe EPI à disposição dos alunos para uso nas atividades. Os equipamentos mais comuns utilizados, tais como luvas, óculos, protetores auriculares e máscaras estão em armários no laboratório. Não há cobrança rigorosa em relação à utilização dos equipamentos. Em geral, o uso do equipamento fica a critério do aluno ou pesquisador.
- (iv) **Procedimentos operacionais:** disponibilidade de procedimentos escritos de uso de equipamentos e dos protocolos de análise, incluindo os procedimentos de separação de resíduos desenvolvidos pelo departamento de gestão de resíduos da universidade. É de extrema importância que os procedimentos operacionais sejam seguidos nos laboratórios. O laboratório estudado possui procedimentos escritos que podem ser consultados. Para Wright e McCarthy (2003) há uma lacuna entre o procedimento e a prática, a qual é preenchida pela experiência e criatividade do operador. Os procedimentos são recursos que podem ser usados em situações diversas, em conjunto com outros recursos (CARIM et al., 2016);
- (v) **Improvisações:** modificações de equipamentos, desenvolvimento de mecanismos ou improvisações efetuadas no laboratório. Por exemplo, foi verificado o uso de quadro de válvulas com mangueiras ou protetor de plástico para eletrodo pelo qual passa a corrente elétrica em equipamento de aquecimento ôhmico. O quadro de válvulas e mangueiras foi desenvolvido por alunos de pós-graduação para efetuar a troca de banhos com agilidade permitindo o controle de temperatura nos experimentos. O protetor plástico é improvisado com um canudo de refrigerante.
- (vi) **Uso de recursos próprios:** uso de recursos próprios de professores, pesquisadores ou alunos para custear consertos de equipamentos e compra de materiais, tais como EPI e consumíveis de laboratório.

4.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DO ESCOPO E EFICÁCIA DAS UNIDADES DE FOLGA

O escopo de proteção foi definido pela avaliação de quais unidades de folga agem sobre cada variabilidade. A eficácia das unidades de folga foi também determinada com o uso do método AHP. Os entrevistados avaliaram as unidades de folga mediante o preenchimento das matrizes conforme descrito no item 3.3 (etapa 5). O resultado final foi obtido mediante a média geométrica das avaliações individuais, Figura 21, a partir do qual foi calculada a eficácia geral das unidades de folga (Tabela 4). Para cada uma das matrizes obteve-se um vetor peso e a consistência foi avaliada com o cálculo do RC. Com os vetores definidos e usando os valores do risco das variabilidades como critério, foi possível calcular um escore para cada unidade de folga, de acordo com o respectivo escopo (Figura 22). O escopo das unidades de folga foi calculado pela soma do valor da eficácia frente a cada variabilidade. Os valores de eficácia das unidades de folga obtidos para as variabilidades e o respectivo escopo encontram-se na Tabela 3.

A eficácia geral das folgas foi avaliada pelo preenchimento de uma matriz com valores médios conforme a Figura 23. Assim determinou-se o peso de cada uma das unidades de folga atuantes no sistema. A partir do valor da eficácia geral das folgas e do escopo foi possível determinar o Escore de Proteção (EP) das unidades de folga (Tabela 5).

EFICÁCIA DAS FOLGAS	Expertise dos alunos	Orientação para trabalhar acompanhado	EPI	Procedimentos operacionais	Improvisações	Uso de recursos próprios
Expertise dos alunos	1,00	3,91	2,30	2,44	2,44	1,64
Orientação para trabalhar acompanhado	0,26	1,00	1,10	0,60	1,34	1,00
EPI	0,44	0,91	1,00	1,80	1,11	1,24
Procedimentos operacionais	0,41	1,67	0,56	1,00	3,00	2,44
Improvisações	0,41	0,75	0,90	0,33	1,00	3,64
Uso de recursos próprios	0,61	1,00	0,81	0,41	0,27	1,00

Figura 21: Matriz para cálculo da eficácia geral das unidades de folga.

Fonte: Própria.

Critério: Trabalho fora do horário normal	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	1,00	1,68	1,06	3,64
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	1,00	0,60	1,51
EPI	0,60	1,00	1,00	1,00	3,64
Procedimentos operacionais	0,94	1,66	1,00	1,00	1,00
Improvisações	0,27	0,66	0,27	1,00	1,00

Critério: Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	Expertise dos	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos
	alunos	operacionais		próprios
Expertise dos alunos	1,00	1,00	2,05	1,15
Procedimentos operacionais	1,00	1,00	1,00	1,00
Improvisações	0,49	1,00	1,00	1,00
Uso de recursos próprios	0,87	1,00	1,00	1,00

Critério: Falta de recursos para o laboratório	Expertise dos	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos
	alunos	operacionais		próprios
Expertise dos alunos	1,00	0,83	1,42	1,19
Procedimentos operacionais	1,20	1,00	1,00	0,80
Improvisações	0,70	1,00	1,00	1,00
Uso de recursos próprios	0,84	1,25	1,00	1,00

Critério: Alta ocupação do laboratório	Expertise dos	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	1,00	0,90	3,16
EPI	1,00	1,00	1,00	3,68
Procedimentos operacionais	1,11	1,00	1,00	1,00
Improvisações	0,32	0,27	1,00	1,00

Critério: Rotatividade de alunos e bolsistas	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	1,00	2,67	2,29
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	1,00	1,29
EPI	0,37	1,00	1,00	1,00
Procedimentos operacionais	0,44	0,78	1,00	1,00

Critério: Uso de equipamentos da central analítica	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	1,00	0,58	1,00
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	1,00	1,73
EPI	1,71	1,00	1,00	0,76
Procedimentos operacionais	1,00	0,58	1,32	1,00

Critério: Novas análises (métodos e reagentes novos)	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais	
Expertise dos alunos	1,00	1,00	0,64	0,60	2,54
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	1,00	1,32	2,04
EPI	1,55	1,00	1,00	1,00	3,41
Procedimentos operacionais	1,66	0,76	1,00	1,00	1,00
Improvisações	0,39	0,49	0,29	1,00	1,00

Critério: Separação e Armazenamento dos Resíduos	Expertise dos	EPI	Procedimentos
	alunos		operacionais
Expertise dos alunos	1,00	1,00	0,91
EPI	1,00	1,00	1,00
Procedimentos operacionais	1,10	1,00	1,00

Critério: Riscos de Incidentes	Expertise dos	Orientação para	EPI	Procedimentos	Improvisações	Uso de recursos próprios
	alunos	trabalhar acompanhado		operacionais		
Expertise dos alunos	1,00	1,00	1,00	1,45	1,55	1,75
Orientação para trabalhar acompanhado	1,00	1,00	1,00	0,36	2,41	3,94
EPI	1,00	1,00	1,00	1,00	2,41	4,14
Procedimentos operacionais	0,69	2,81	1,00	1,00	1,00	1,48
Improvisações	0,64	0,42	0,42	1,00	1,00	1,00
Uso de recursos próprios	0,57	0,25	0,24	0,68	1,00	1,00

Figura 22: Valores médios da avaliação da eficácia das unidades de folga.

Fonte: Própria.

Tabela 3: Eficácia das unidade de folga em relação às fontes de variabilidade e escopo.

Variabilidade (Critério)	Trabalho fora do horário normal RC=0,04	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento RC=0,02	Falta de recursos para o laboratório RC=0,07	Alta ocupação do laboratório RC=0,08	Rotatividade de alunos e bolsistas RC=0,10	Uso de equipamentos da central analítica RC=0,09	Novas análises (métodos e reagentes novos) RC=0,03	Separação e Armazenamento dos Resíduos RC=0,05	Perigos Intrínsecos RC=0,07	Escopo das unidades de Folga
Expertise dos alunos	0,37	0,38	0,34	0,32	0,32	0,35	0,32	0,42	0,27	100%
Orientação para trabalhar acompanhado	0,20	-	-	-	-	-	0,13	-	0,16	33%
EPI	0,13	-	-	-	-	-	0,23	0,22	0,19	44%
Procedimentos operacionais	0,23	0,23	0,24	0,32	0,27	0,15	0,24	0,36	0,24	100%
Improvisações	0,07	0,15	0,19	0,25	0,22	0,27	0,08	-	0,10	89%
Uso de recursos próprios	-	0,24	0,24	0,11	0,19	0,22	-	-	0,05	67%

Fonte: Própria.

Tabela 4: Eficácia das folgas.

Unidade de Folga	Eficácia (RC=0,02)
Expertise dos alunos	0,34
Procedimentos operacionais	0,27
Equipamentos de Proteção Individual (EPI)	0,14
Improvisações	0,10
Orientação para trabalhar acompanhado	0,09
Uso de recursos próprios	0,07

Fonte: Própria.

Nota-se que as unidades de folga referentes à expertise dos alunos e aos procedimentos operacionais apresentaram eficácia muito superior aos demais (0,34 e 0,27; respectivamente). Isso é coerente, visto que atuam sobre um maior número de variabilidades, ou seja, possuem maior escopo. As unidades de folga relacionadas a uso de recursos próprios possui menor eficácia geral na avaliação, isso ocorre porque não é um recurso muito utilizado no laboratório.

O Escore de Proteção para as fontes de variabilidade foi calculado de acordo com a equação: $EP_i = \sum EUF_j \times W_i$.

Por exemplo, o EP da variabilidade "trabalho fora do horário normal" é calculado assim: $EP = (0,37 \times 0,34) + (0,20 \times 0,09) + (0,13 \times 0,14) + (0,23 \times 0,27) + (0,07 \times 0,10) + (0 \times 0,07) = 0,23$. Os resultados para todos os valores de EP encontram-se na Tabela 5.

Os valores de EP calculados têm resultados próximos, indicando relativa proteção. O maior EP encontrado é aquele relacionado à separação e armazenamento de resíduos, atividade que possui um procedimento criado por um departamento específico da universidade. O valor mais baixo de EP é aquele referente ao uso de equipamentos da central analítica, que foi apontados pelos entrevistados como um ponto crítico devido, principalmente, ao deslocamento e transporte de materiais.

Tabela 5: Escore de Proteção das fontes de variabilidade.

Fonte de Variabilidade	Escore de Proteção (EP)
Trabalho fora do horário normal	0,23
Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,22
Falta de recursos para o laboratório	0,22
Alta ocupação do laboratório	0,23
Rotatividade de alunos e bolsistas	0,22
Uso de equipamentos da central analítica	0,20
Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,23
Separação e Armazenamento dos Resíduos	0,27
Perigos Intrínsecos	0,21

Fonte: Própria.

4.6. ETAPA 6 – CLASSIFICAÇÃO DAS FOLGAS

A classificação das unidades de folga foi realizada de acordo com os critérios citados no item 3.3 (Quadro 8). A seguir, encontra-se no Quadro 12 a classificação de todas as unidades de folga. A classificação das unidades de folga é importante para identificar características que permitam verificar como as folgas agem no sistema e como é possível otimizar a sua ação. Observa-se que somente a metade das folgas é de origem projetada, indicando grande dependência de recursos oportunistas. Analisando as folgas de grande escopo, nota-se que somente aquela relacionada aos procedimentos operacionais é de origem projetada, as demais são oportunistas. Somente a expertise é de alta disponibilidade, embora também seja de origem oportunista. Não há folgas com alta visibilidade.

Quadro 12: Classificação das unidades folgas.

Classificação Folga	Origem	Natureza	Disponibilidade	Estratégia de Implantação	Visibilidade	Efeitos Colaterais	Durabilidade	Escopo
Expertise dos alunos	Oportunista	Pessoas	Imediata	Diversidade Cognitiva	Média	Ações excessivamente baseadas na experiência dos alunos	N/A	Grande
Orientação para trabalhar acompanhado	Projetada	Procedimentos	Imediata	Redundância <i>standby</i>	Média	Incentivo ao trabalho fora do horário normal	N/A	Baixo
EPI	Projetada	Equipamentos	Não imediata	Estratégia autônoma	Média	Desconforto para efetuar atividades	N/A	Médio
Procedimentos operacionais	Projetada	Procedimentos	Imediata	Estratégia autônoma	Média	Aumento no tempo de execução das atividades	N/A	Grande
Improvisações	Oportunista	Pessoas	Não imediata	Estratégia autônoma	Média	Efeitos das modificações podem ser imprevisíveis	N/A	Grande
Uso de recursos próprios	Oportunista	Recursos Financeiros	Não imediata	Estratégia autônoma	Baixa	Nem sempre é possível obter esses recursos	N/A	Médio

Fonte: Própria.

4.7. ETAPA 7 – COMPARAÇÃO DAS FOLGAS COM A LEGISLAÇÃO, NORMAS E BOAS PRÁTICAS

No Brasil não existem normas específicas relacionadas à segurança em laboratórios químicos. Para laboratórios de análises clínicas, por exemplo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou uma norma específica para abordar o assunto segurança, a ABNT NBR 14785:2002 (Laboratório clínico - Requisitos de segurança). Existe a NBR 13035:1993 (Planejamento e instalação de laboratórios para análises e controle de águas - Procedimento) que trata superficialmente sobre segurança em laboratórios para análise de água. Em relação à qualidade das análises, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) efetua a acreditação de laboratórios químicos com base na NBR ISO/IEC 17025:2017 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração). Porém, a norma NBR ISO/IEC 17025:2017 não trata de segurança em laboratórios. A acreditação de laboratórios clínicos baseia-se na NBR ISO 15189:2015 (Laboratórios clínicos - Requisitos de qualidade e competência).

As normas da ABNT mais usadas em laboratórios são a NBR 14725 (Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente) e a NBR 16725 (Resíduo químico - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR) e rotulagem). A NBR 14725 possui quatro partes e cumpre com a determinação do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS - *Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals*). Essas normas tratam da classificação e rotulagem de produtos químicos (reagentes e resíduos) e estão de acordo com a Norma Regulamentadora nº 26 (NR 26 - Sinalização de Segurança).

As normas regulamentadoras (NR) relacionadas à segurança e saúde do trabalho, da Portaria nº 3214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego foram observadas. Consultaram-se também para esta etapa do trabalho as normas do *Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo - INSSBT* (Espanha) e da *Occupational Safety and Health Administration - OSHA* (EUA). A seguir serão detalhadas as observações das unidades de folga em função da legislação e normas:

- (i) **Expertise dos alunos:** não foi estabelecido por parte da administração um treinamento formal ou documentado relacionado à segurança ocupacional. A NBR ISO/IEC17025 cita a necessidade de treinamento, porém com foco sempre na qualidade dos resultados e não em segurança. Observa-se na norma NBR-ISO15189 a exigência de treinamento para todo o pessoal de laboratório em processos, procedimentos, saúde e segurança, porém sem estabelecimento de carga horária ou conteúdos mínimos necessários. A Norma Regulamentadora nº 1 - NR1 (Disposições Gerais) estabelece que o empregador deve informar os riscos aos quais o trabalhador está exposto, os meios de prevenir e limitar esses riscos e as medidas adotadas pela empresa
- (ii) **Orientação para trabalhar acompanhado:** embora não haja uma norma que estabeleça obrigatoriedade do trabalho acompanhado em laboratórios, é uma boa prática amplamente conhecida. Em laboratórios onde se efetua pesquisa acadêmica, os pesquisadores e, em especial, os estudantes de pós-graduação, tendem a trabalhar horários incomuns devido aos prazos para a submissão de teses e dissertações (FURR, 2000).
- (iii) **Equipamento de Proteção Individual (EPI):** a utilização desses equipamentos está regulamentada pela Norma Regulamentadora nº 6 – NR6 (Equipamento de Proteção Individual – EPI). Nessa norma está definido que empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco e em pleno estado de conservação e funcionamento. Do mesmo modo, o Anexo 11 (Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho) da NR15 (Atividades e Operações Insalubres) ressalta a necessidade de uso de luvas e EPI para proteção do corpo no manuseio de agentes químicos que possam ser absorvidos pela pele. Outro aspecto importante descrito na NR6 refere-se ao Certificado de Aprovação – CA, expedido pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Todo EPI deve possuir CA para ser comercializado seja de fabricação nacional ou importado. O *INSSBT* possui as notas técnicas NTP 517 (*Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos de protección individual (I): aspectos generales*) e a NTP 518 (*Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos protección individual (II): gestión*) com um detalhamento a respeito do uso de EPI em laboratórios. A *OSHA* também apresenta normas de uso de EPI no *Laboratory Safety Guidance (The Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in*

Laboratories standard - 29 CFR 1910.1450) nas quais são indicados os tipos de EPI para cada perigo existente nos laboratórios.

- (iv) **Procedimentos operacionais:** não existe no Brasil uma norma que exija a criação de procedimentos operacionais para a realização das tarefas em laboratórios. Tanto a NM-ISO/IEC17025 quanto a NBR-ISO15189 salientam os procedimentos operacionais com foco na qualidade dos resultados. A OSHA, no *Laboratory Safety Guidance*, estabelece como controle da exposição a perigos em laboratórios químicos o desenvolvimento de procedimentos de higiene e segurança, assim como de procedimentos operacionais padrão. O INSSBT, na NTP 432 (*Prevención del riesgo en el laboratorio. Organización y recomendaciones generales*), salienta a importância dos procedimentos operacionais como forma de aumentar a segurança nos laboratórios. Os procedimentos de manuseio e armazenamento de resíduos químicos também são muito discutidos nas normas do INSSBT e da OSHA. O procedimento de separação de resíduos existente no laboratório cumpre com as determinações de rotulagem da NBR 16725:2014. Do mesmo modo, as (Ficha de Informação sobre Produtos Químicos) FISPQs dos reagentes usados nos experimentos estão à disposição de todos os usuários do laboratório conforme determina a NR 26 e a NBR 14725.
- (v) **Improvisações:** a NR12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos) esclarece que não devem ser feitas modificações que alterem as proteções mecânicas e/ou dispositivos de segurança de máquinas ou equipamentos.
- (vi) **Uso de recursos próprios:** utilizar recursos próprios não tem previsão normativa ou legal, é uma folga oportunista que visa ao andamento do trabalho.

É importante salientar que a legislação previdenciária e trabalhista não se aplica às pessoas cujas atividades foram estudadas porque os alunos e pesquisadores não possuem vínculo empregatício, seja celetista ou estatutário.

4.8. ETAPA 8 – ANÁLISE GERAL DO RISCO *VERSUS* ESCORE DE PROTEÇÃO DAS UNIDADES DE FOLGA: OPORTUNIDADES DE REDESENHO

Calculou-se nesta etapa o *gap* entre o EP e o IR associado a cada uma das variabilidades, ambos determinados nas etapas anteriores. Os resultados são apresentados graficamente na Figura 23. Observa-se que não há valores negativos, porem há fontes de variabilidade que necessitam de ações prioritárias. A variabilidade relacionada a estrutura física, por exemplo, apresenta um *gap* com valor zero. As fontes de variabilidade associadas à ocupação do laboratório e ao trabalho fora do horário normal possuem um *gap* baixo, indicando necessidade de melhoria. Algumas ações de melhoria são mais fáceis de serem tomadas e podem ser priorizadas. Por exemplo, pode-se agir mais facilmente sobre a variabilidade referente ao trabalho fora do horário normal que sobre a variabilidade associada a problemas de estrutura física. Medidas administrativas que dependem unicamente da gerência do laboratório podem elevar o *gap* relacionado à variabilidade trabalho fora de horário. Por outro lado, aumentar a cobertura sobre a variabilidade problemas de estrutura física, são necessárias medidas que envolvem a alta administração da universidade a solicitação de recursos públicos federais. A alta ocupação do laboratório também é uma variabilidade que pode ter a cobertura aumentada com medidas gerenciais.

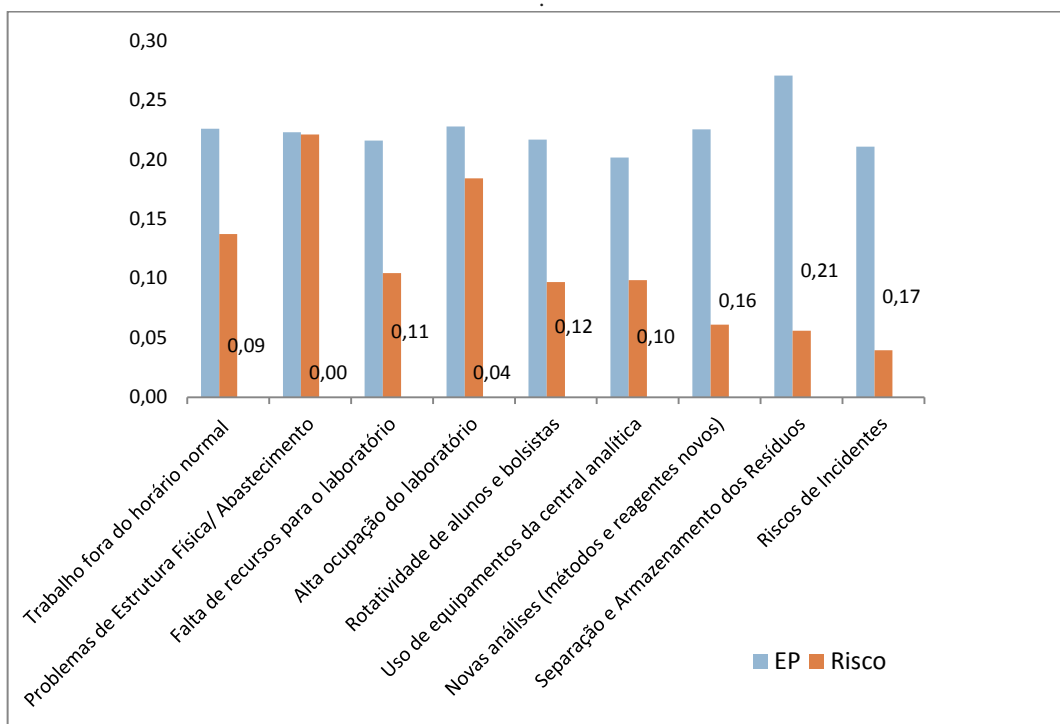


Figura 23: Gráfico do EP associado ao risco das variabilidades
Fonte: Própria.

4.9. ETAPA 8.1 – ANÁLISE DE EVENTOS CRÍTICOS

Nesta etapa utilizou-se o método FRAM para descrever experimentos em que, durante a execução, ocorreram situações críticas. Ou seja, situações em que a atividade saiu da normalidade e houve ativação dos recursos de folga disponíveis. Escolheram-se dois experimentos em ocorreram incidentes narrados durante as entrevistas por um mestrando e um bolsista de iniciação científica, são esses: (i) tratamento térmico via aquecimento ôhmico; e (ii) determinação do teor de cinzas totais.

4.9.1. Experimento 1: Tratamento térmico via aquecimento Ôhmico

4.9.1.1. Trabalho diário (everyday work)

O experimento consiste no aquecimento de uma amostra no interior de um recipiente (célula ôhmica) com uso de um campo elétrico gerado no interior da amostra por meio de dois eletrodos. Uma tensão produzida entre os dois eletrodos provoca a geração do campo elétrico e conseqüente aquecimento. A célula ôhmica possui uma camisa por onde circula a água dos banhos termostáticos; um banho é usado para aquecimento e outro para resfriamento da amostra. Para alternância entre os banhos quente e frio durante a execução do experimento é utilizado um quadro de válvulas e mangueiras desenvolvido e construído no próprio laboratório. Antes da construção desse quadro era utilizado somente um banho no qual se fazia a redução da temperatura com adição de água fria ou gelo. Isso limitava muito a faixa de temperatura utilizada. O laboratório possui dois equipamentos para experimentos com aquecimento com campo elétrico, um dos conjuntos pode ser visualizado na Figura 23. O banho de aquecimento é normalmente utilizado com temperatura entre 70 e 98°C e o de resfriamento é ajustado de acordo com cada condição definida. A tensão de trabalho gerada pelo equipamento e controlada pelo variador de tensão entre 25 e 200V.

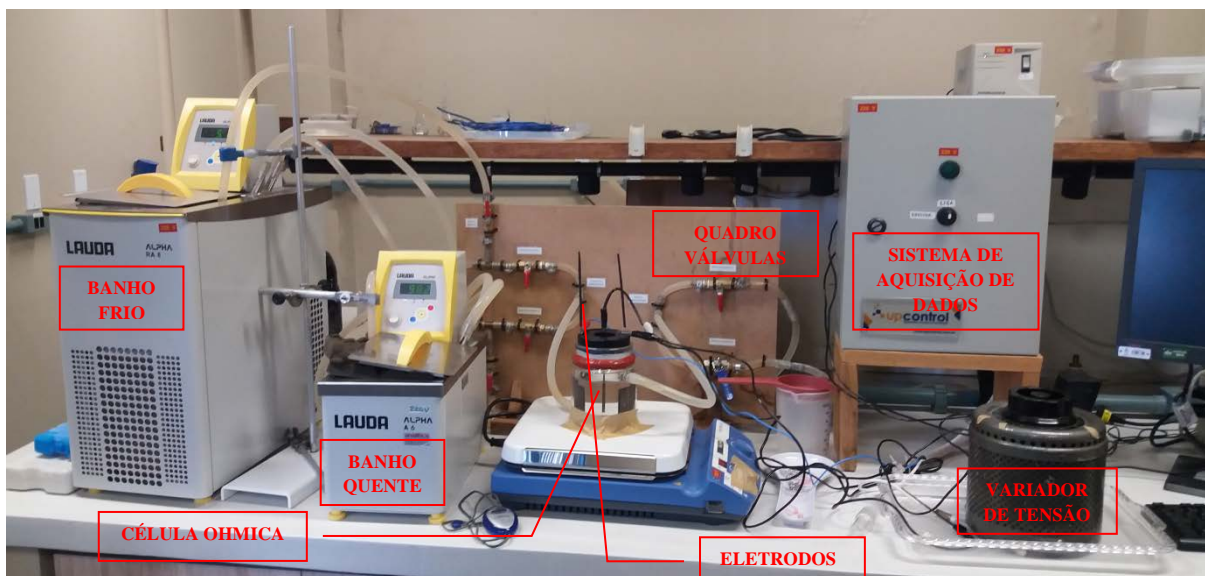


Figura 24: Aparato para aquecimento ôhmico 1.

Fonte: Própria.

Foi elaborado um modelo FRAM para ilustrar o trabalho rotineiro durante o experimento (Figura 26). O FRAM das atividades normais do experimento de aquecimento ôhmico possui 13 funções, apresentadas no Quadro 13. Para cada uma das funções, de acordo com o modelo, foi destacado o tipo de função, a saída e o potencial de variabilidade. A representação de uma onda dentro das funções indica a presença de variabilidade significativa no *output*. Também destacou-se o número de acoplamentos de cada função (NAC), identificando os acoplamentos à montante (NAM) e os acoplamentos à jusante (NAJ). Funções com elevado NAM são mais influenciadas pelas variabilidades porque dependem de um maior número de funções. Geralmente as funções críticas são aquelas que apresentam elevado NAJ, pois acionam diversos recursos.

Quadro 13: Funções do modelo FRAM para aquecimento ôhmico.

Nº	Função	Tipo	Saída	NAC		Potencial Variabilidade
				NAM	NAJ	
1	Colocar amostra na célula ôhmica	Humana	Amostra para aquecimento	0	1	n/a
2	Preparar banho termostático a 98°C	Humana	Banho a 98°C	1	1	n/a
3	Preparar banho termostático 5°C	Humana	Banho a 5°C	1	1	n/a
4	Controle de Temperatura	Tecnológica	Temperatura controlada	0	2	n/a
5	Conectar pinças nos eletrodos	Humana	Ligar equipamento	2	1	n/a
6	Colocar proteção plástica dos eletrodos	Humana	Proteção plástica dos eletrodos	0	1	n/a
7	Iniciar circulação de água na célula	Humana	Banho para amostra	2	1	Tempo: a tempo Precisão: acionamento manual com uso do quadro de válvulas
8	Manter toalha para vazamentos	Humana	Toalha para vazamentos	0	1	n/a
9	Iniciar aquecimento ôhmico	Tecnológica	Início do experimento	3	1	Tempo: a tempo Precisão: inicia a passagem de corrente elétrica no sistema.
10	Acompanhar experimento e medições	Humana	Aquecimento programado	0	2	n/a
11	Trocar os banhos	Humana	Banho para amostra	2	1	Tempo: a tempo Precisão: necessidade de uso do quadro de válvulas
12	Manipular quadro para troca de banho	Humana	Usar quadro para troca de banho	0	1	n/a
13	Manter aquecimento ôhmico	Tecnológica	Encerrar aquecimento	3	0	Tempo: a tempo Precisão: Impreciso: manutenção do sistema energizado

Fonte: Própria.

Considerando a Figura 26, as funções de número 6, 8 e 12 (em azul) representam recursos de folga tratados como improvisações. As funções 7, 9, 11 e 13, em vermelho, são aquelas que apresentam variabilidade. As outras funções são consideradas de controle (amarelo) e normais sem variabilidade (cinza). A partir da definição das variabilidades e recursos de folga presentes durante a atividade, foi possível determinar em que medida o peso das folgas é superior ao peso das variabilidades. Na Tabela 6 encontram-se a descrição das unidades de folga consideradas atuantes durante a atividade e, da mesma maneira, as variabilidades presentes com o respectivo risco associado.

Tabela 6: Eficácias das folgas e risco das variabilidades associados ao aquecimento ôhmico.

Unidades de Folga	Eficácia da Folga	Fontes de Variabilidade	Índice de Risco
Expertise dos alunos	0,35	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,22
EPI	0,05	Alta ocupação do laboratório	0,18
Procedimentos operacionais	0,25	Rotatividade de alunos e bolsistas	0,10
Improvisações	0,17	Perigos Intrínsecos	0,04
Total (eficácia total das folgas)	0,82	Total (risco total)	0,54

Fonte: Própria.

A diferença entre os valores das unidades de folga e do índice de risco foi de 0,28 para a realização do experimento nas condições atuais do laboratório. A margem de cobertura não é muito significativa, principalmente se observarmos que o peso da expertise dos alunos e de improvisos são responsáveis por mais de 70% do total. Pode-se notar que o bom andamento das atividades depende principalmente do comportamento e conhecimento dos alunos e pesquisadores. Isso está de acordo com os relatos dos entrevistados que efetuam essa análise, indicando que houve casos de queimaduras com água quente dos banhos e choques ao tocar os eletrodos energizados. Os procedimentos operacionais também apresentam um peso importante, segundo a avaliação. O segundo equipamento para aquecimento ôhmico, Figura 26, funciona de maneira semelhante e as improvisações também ocorrem. Como exemplo de improvisações temos a toalha, a proteção plástica dos eletrodos ou a fita adesiva prendendo a célula ao agitador.

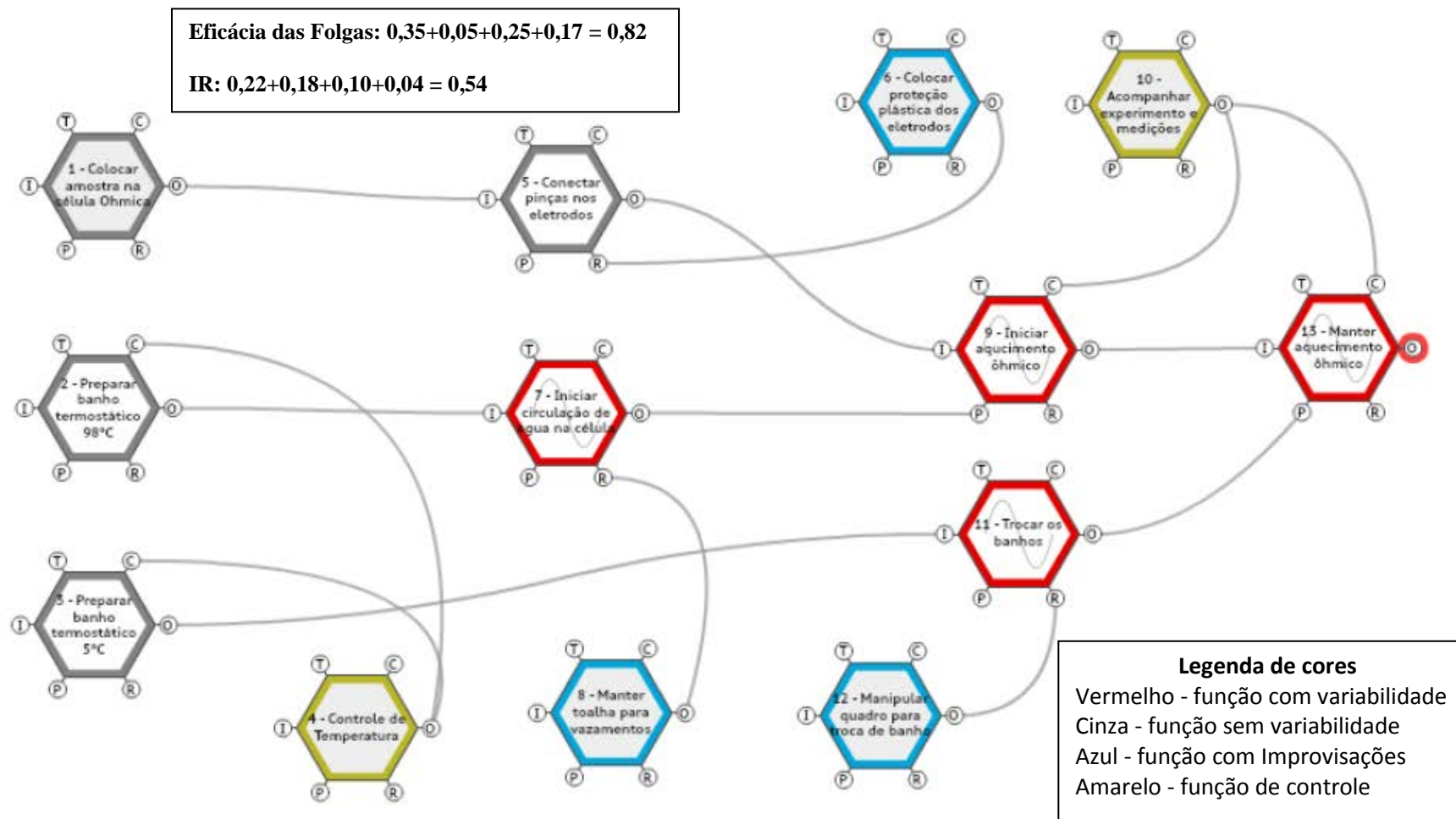


Figura 25: Modelo FRAM do aquecimento ôhmico - trabalho normal.
 Fonte: Própria.

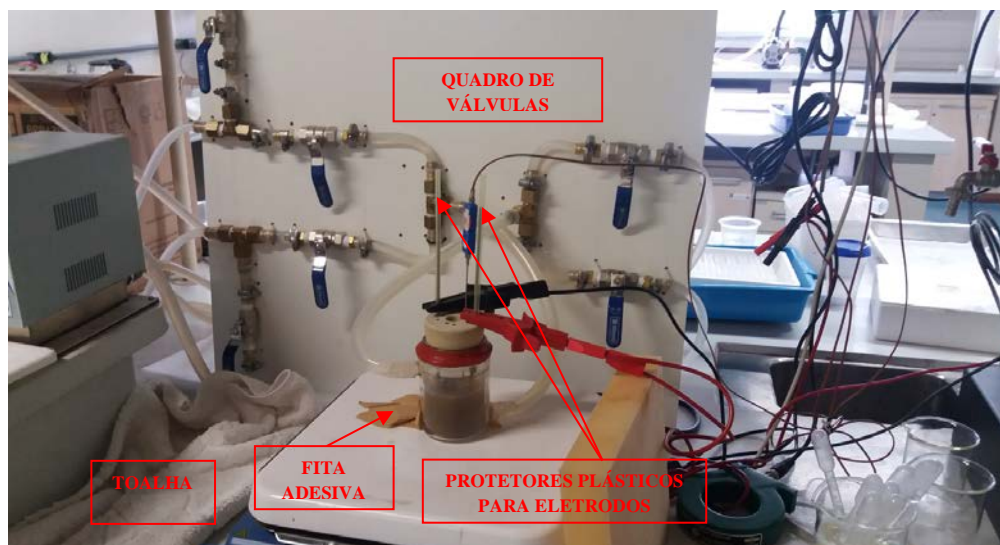


Figura 26: Estrutura para experimento com aquecimento ôhmico 2.

Fonte: Própria.

4.9.1.2. Incidente com Aquecimento Ôhmico

Ao realizar o experimento podem ocorrer mudanças de procedimentos ou comportamentos que tendem a reduzir o valor do gap calculado anteriormente, como poderá ser visto no incidente descrito a seguir.

Durante as entrevistas, um bolsista de iniciação científica (Bolsista 1) narrou um incidente de vazamento de água quente durante experimento realizado por um aluno de mestrado (Mestrando 1). O mestrando acabou sofrendo queimaduras leves e o vazamento foi contido sem prejuízos maiores.

O Bolsista 1 não estava participando da execução do experimento, apenas estava presente no laboratório: “... *ao chegar no laboratório de manhã, o Mestrando 1 já estava no laboratório sozinho e fazendo experimento com o aquecimento ôhmico*”. Durante a atividade, quando o banho usado estava na temperatura de 98°C, uma das mangueiras escapou. O Mestrando 1 tentou reconectar a mangueira mesmo com a circulação de água. O Bolsista 1 agiu ao observar que o Mestrando 1 enfrentava dificuldade com a situação: “... *eu estava do outro lado da bancada lavando vidrarias do outro dia, quando vi que, mesmo com a mangueira escapada, ele ficou tentando encaixar para continuar o experimento*”; “*na mesma hora corri para ajudar e desligar todo o sistema, pois não tinha como encaixar a mangueira de volta ao painel*”. Mesmo com a ação do Bolsista 1, houve demora no

fechamento da válvula que dava vazão à água quente: “... *eu tinha usado o painel do aquecimento ôhmico uma ou duas vezes só, então a falta de experiência fez com que demorasse a acertar qual das válvulas parava o fluxo de água ...*”. O Mestrando 1 sofreu queimaduras sem gravidade que foram tratadas no local: “...*indiquei para ela colocar a mão em água corrente e gelada, por sorte ela também tinha uma pomada para queimaduras*”.

Não foi necessária a construção de um novo modelo FRAM para descrever o incidente, pois não houve alteração na atividade normal. O acontecimento imprevisto não se iniciou por alterações no procedimento de análise. Na descrição do incidente observou-se que a unidade de folga correspondente a EPI não foi acionada, visto que o Mestrando 1 não usava luvas durante a execução do experimento. Cabe destacar que existe um procedimento para os experimentos, porém não há procedimento para as situações adversas. Neste caso, a unidade de folga relacionada a procedimentos não teve ação sobre o acontecimento não previsto. Sem o uso de EPI e sem procedimento definido para ação no caso ocorrido, a diferença entre a eficácia das folgas e o risco diminui, conforme Tabela 8. Considerando que as unidades de folga "EPI" e "procedimentos operacionais" não tenham agido, a diferença entre a eficácia das folgas que agiram e o risco das variabilidades é $-0,37$ ($0,17 - 0,54 = -0,37$). Considerou-se também que a folga “expertise” não teve ação, isso torna-se evidente quando o bolsista não identifica qual das válvulas deveria ser fechada.

Nota-se que a ação das folgas é muito dependente da expertise de dos procedimentos e, assim, pessoas com menor experiência naturalmente fazem com que a eficácia das folgas seja diminuída drasticamente.

Tabela 7: Eficácia das folgas e risco das variabilidades em incidente com aquecimento ôhmico.

Unidades de Folga	Eficácia da Folga	Fontes de Variabilidade	Índice de Risco
Expertise dos alunos	0,35	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,22
EPI	0,05	Alta ocupação do laboratório	0,18
Procedimentos operacionais	0,25	Rotatividade de alunos e bolsistas	0,10
Modificações de equipamentos/ Improvisos	0,17	Perigos Intrínsecos	0,04
Total (eficácia total das folgas)	0,17	Total (risco total)	0,54

Fonte: Própria.

4.9.2. Experimento 2: Determinação do Teor de Cinzas Totais

Cinzas são resíduos inorgânicos obtidos a partir da queima da matéria orgânica em temperaturas em torno de 550°C. O procedimento consiste em pesar 5 a 10g de amostra em um cadinho previamente aquecido em mufla até 550°C e resfriado em dessecador até a temperatura ambiente. A amostra deve ser carbonizada com bico de Bunsen e depois incinerada em mufla a 550°C. Após, deve-se aguardar o resfriamento em dessecador até a temperatura ambiente e pesar.

Como no laboratório em estudo não há equipamentos para esse tipo de análise, foi necessário usar o forno mufla, bico de Bunsen e cadinhos da central analítica.

4.9.2.1. Trabalho diário (*everyday work*)

Construiu-se um FRAM, Figura 28, com base no procedimento padrão para determinação do teor de cinzas. Portanto, o FRAM representa o trabalho como imaginado (*work-as-imaginated - WAI*). O modelo é composto por nove funções descritas no Quadro 14.

Quadro 14: Funções do modelo FRAM para o experimento de determinação do teor de cinzas.

Nº	Função	Tipo	Saída	NAC		Potencial Variabilidade
				NAM	NAJ	
1	Ligar Mufla	Humana	Mufla aquecida	1	1	n/a
2	Controlar Temperatura	Tecnológica	Mufla em 550°C	0	3	n/a
3	Incineirar cadinhos	Humana	Cadinhos limpos	2	1	n/a
4	Levar amostras para a Central Analítica	Humana	Amostras não pesadas	0	1	Tempo: a tempo Precisão: Impreciso
5	Pesar e colocar amostras nos cadinhos	Humana	Amostras pesadas nos cadinhos	2	1	n/a
6	Acender bico de Bunsen	Humana	Bico de bunsen aceso	0	1	Tempo: a tempo Precisão: Impreciso
7	Carbonizar as amostras	Humana	Amostras carbonizadas	2	1	Tempo: a tempo Precisão: Impreciso
8	Colocar amostras na Mufla	Humana	Cadinhos com cinzas das amostras	2	1	Tempo: a tempo Precisão: Impreciso
9	Pesar cadinho com cinzas	Humana	Cadinho para limpeza	1	0	n/a

Fonte: Própria.

As folgas e variabilidades envolvidas durante o experimento de determinação do teor de cinzas estão apresentadas na Tabela 9. A diferença entre a eficácia das folgas e o risco

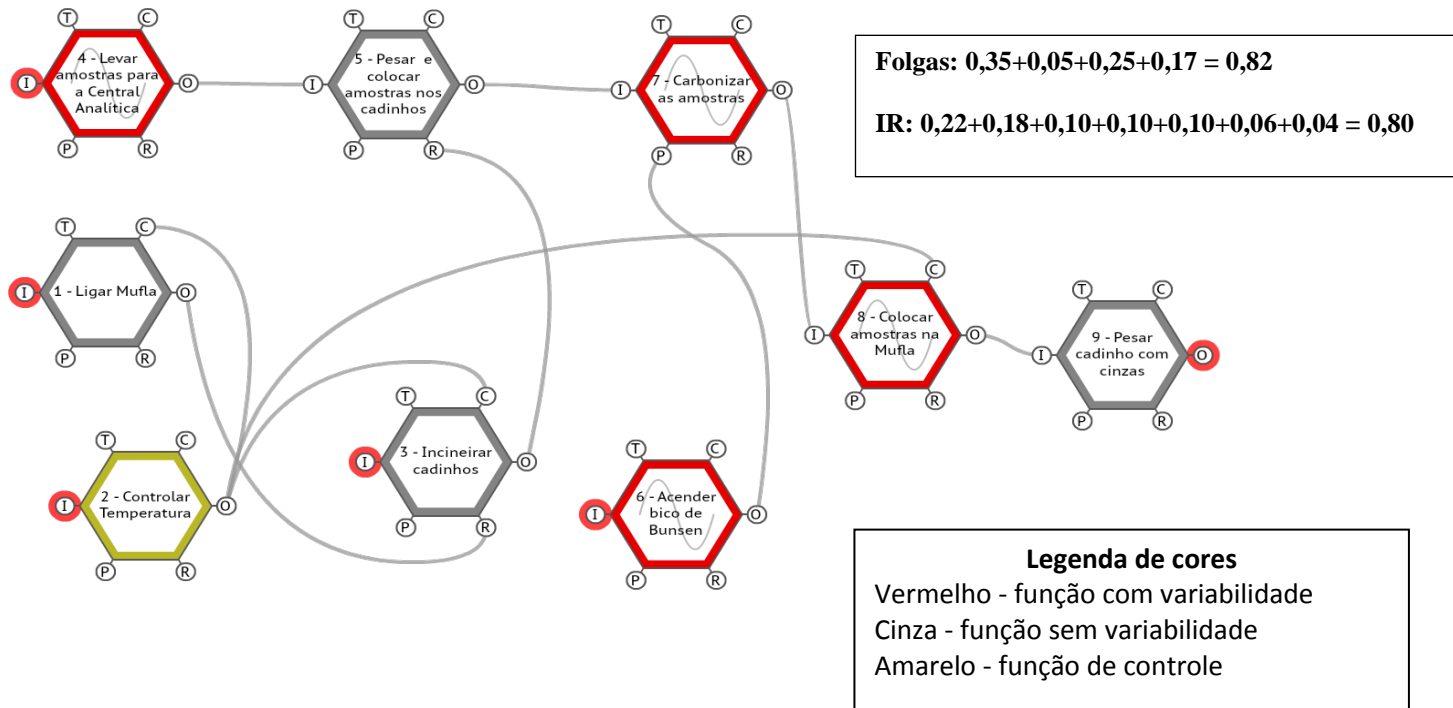
relacionado às fontes de variabilidade é muito próximo de zero (0,02), indicando que a proteção das folgas está no limite da ação. Nota-se a grande dependência da expertise dos alunos e dos procedimentos para o bom andamento do trabalho.

Tabela 8: Eficácia das folgas e risco das variabilidades na análise de teor de cinzas..

Unidades de Folga	Eficácia da Folga	Fontes de Variabilidade	Índice de Risco
Expertise dos alunos	0,35	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,22
EPI	0,05	Alta ocupação do laboratório	0,18
Procedimentos operacionais	0,25	Falta de recursos para o laboratório	0,10
Improvisações	0,17	Uso de equipamentos da central analítica	0,10
-	-	Rotatividade de alunos e bolsistas	0,10
-	-	Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,06
-	-	Perigos Intrínsecos	0,04
Total (eficácia total das folgas)	0,82	Total (risco total)	0,80

Fonte: Própria.

Figura 27: FRAM - experimento de determinação do teor de cinzas



Fonte: Própria.

4.9.2.2. Incidente com a determinação do teor de cinzas totais

O incidente foi narrado por um aluno de mestrado (Mestrando 2) durante uma das entrevistas. O fato ocorreu na central analítica, laboratório de uso comum localizado no primeiro andar do prédio. O Mestrando 2 teve a necessidade de realizar o experimento de determinação do teor de cinzas em amostras relacionadas ao seu trabalho. Esse não era, na época do acontecimento, um experimento efetuado normalmente no laboratório e tampouco por esse aluno. Como no laboratório em estudo não há equipamentos para esse tipo de análise, foi necessário usar a mufla e cadinhos da central analítica.

Por tratar-se de um experimento não corriqueiro para o laboratório, não havia um procedimento escrito que pudesse ser consultado. Antes de iniciar a análise, o Mestrando 2 consultou a metodologia padrão existente na literatura. Não foi criado um procedimento específico que deveria ser revisado e adequado para o laboratório e equipamentos disponíveis.

A partir da metodologia disponível em um artigo, o Mestrando 2 decidiu realizar o experimento na central analítica. Pela manhã foi feita a incineração do cadinho na mufla a uma temperatura de 550°C. O aluno relatou que foi difícil retirar os cadinhos da mufla porque estavam muito quentes. “... *eu nunca tinha feito... deveria ter deixado baixar a temperatura antes de tirar e colocar no dessecador...*”. À tarde (por volta das 17:00 horas) o Mestrando 2 pesou as amostras e as colocou no forno mufla. As amostras ficariam até o outro dia no equipamento. Antes de sair, o Mestrando 2 foi avisado por um dos técnicos da central analítica de que havia muita fumaça preta saindo da mufla e que havia sido desligada. As amostras contendo grande quantidade de matéria orgânica, que deveria ter sido previamente removida com bico de Bunsen em capela de exaustão de gases, foram queimadas diretamente na mufla a 550°C provocando a liberação de grande quantidade de gases. “... *a amostra incendiou dentro da mufla ... eu deveria ter incinerado essa matéria orgânica antes, no bico de Bunsen e depois levar à mufla, mas isso não estava no artigo ... o problema foi não conhecer o procedimento e não consultar a fonte certa*”.

Para elaboração do modelo FRAM (Figura 29), utilizaram-se as funções descritas no Quadro 15.

Quadro 15: Funções do modelo FRAM para o experimento de determinação do teor de cinzas em amostras.

Nº	Função	Tipo	Saída	NAC		Potencial Variabilidade
				NAM	NAJ	
1	Ligar Mufla	Humana	Mufla aquecida	1	1	n/a
2	Controlar Temperatura	Tecnológica	Mufla em 550°C	0	2	n/a
3	Incineirar cadinhos	Humana	Cadinhos limpos	2	1	n/a
4	Levar amostras para a Central Analítica	Humana	Amostras não pesadas	0	1	Tempo: a tempo Precisão: transporte de amostras pelas escadas
5	Pesar e colocar amostras nos cadinhos	Humana	Amostras pesadas nos cadinhos	2	1	n/a
6	Colocar amostras na Mufla	Humana	Cinzas das amostra	2	1	Tempo: a tempo Precisão: manipulação de material em forno quente (> 500°C)
7	Pesar cadinho com cinzas	Humana	Cadinho para limpeza	1	0	n/a

Fonte: Própria.

A eficácia das unidades de folga e o risco das fontes de variabilidade são apresentados na tabela 10. A diferença entre a eficácia das folgas e o risco é de -0,58 indicando a falta de proteção sobre as variabilidades existentes. As duas unidades de folga com maior peso segundo os pesquisadores e alunos do laboratório (expertise e procedimentos operacionais) não foram acionadas neste caso. Mesmo tratando-se de uma análise nova, houve falta de expertise por parte do Mestrando 2 ao não considerar que a matéria orgânica deveria ter sido removida antes de colocar o cadinho na mufla. Do mesmo modo, a falha no procedimento fez com que essa unidade de folga importante ficasse sem ação.

Tabela 9: Eficácia das folgas e risco das variabilidades em incidente com análise de teor de cinzas.

Unidades de Folga	Eficácia da Folga	Fontes de Variabilidade	Risco
Expertise dos alunos	0,35	Problemas de Estrutura Física/ Abastecimento	0,22
EPI	0,05	Alta ocupação do laboratório	0,18
Procedimentos operacionais	0,25	Falta de recursos para o laboratório	0,10
Improvisações	0,17	Uso de equipamentos da central analítica	0,10
-	-	Rotatividade de alunos e bolsistas	0,10
-	-	Novas análises (métodos e reagentes novos)	0,06
-	-	Perigos Intrínsecos	0,04
Total (eficácia total das folgas)	0,22	Total (risco total)	0,80

Fonte: Própria.

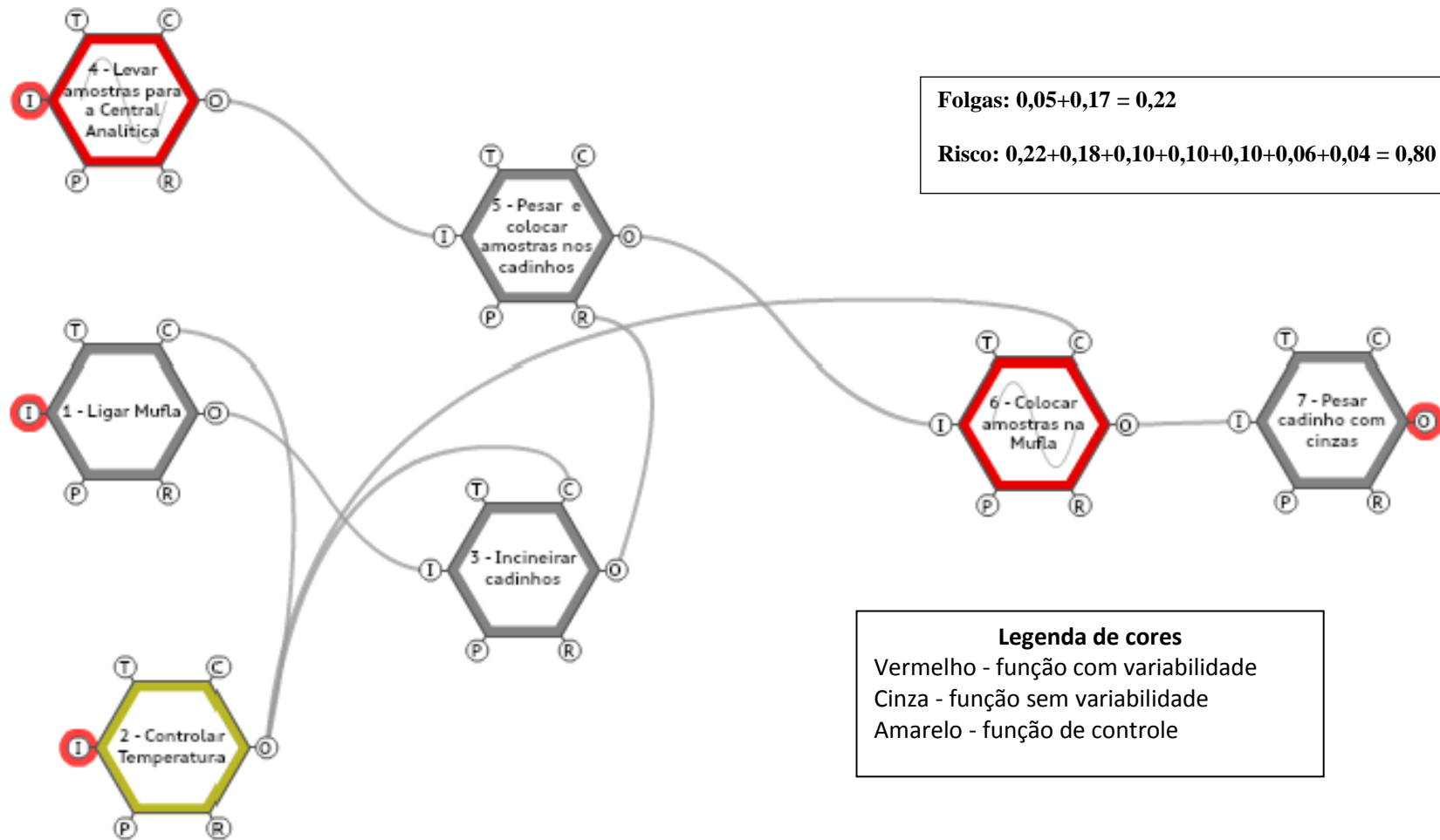


Figura 28: FRAM - incidente com experimento de determinação do teor de cinzas
 Fonte: Própria.

4.10. ETAPA 9 – RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Nesta etapa da aplicação da *framework* é possível apresentar sugestões de melhoria, tais como:

- (i) visto que a unidade de folga relacionada à *expertise* dos alunos e pesquisadores apresentou maior escore nas avaliações, sugeriu-se um treinamento formal para os ingressantes no laboratório. O sistema na configuração atual é muito dependente dessa unidade de folga e, por isso, observou-se uma oportunidade de mantê-la eficaz ao longo do tempo. Como a rotatividade de bolsistas e alunos é elevada, o conhecimento deve ser mantido no laboratório. Também foi indicada a elaboração de treinamentos periódicos e em casos de realização de novas análises;
- (ii) outra unidade de folga com escore elevado são os procedimentos operacionais. Sugeriu-se revisar os procedimentos para analisar como as improvisações realizadas podem afetar o trabalho real. A unidade de folga relacionada a improvisações está sempre presente e deve ser considerada;
- (iii) estabelecer controle de fornecimento e utilização de EPI. Indicar a importância do uso em placas e procedimentos. O EPI é outra unidade de folga com grande influência sobre as variabilidades;
- (iv) ampliar a aplicação da *framework* para os demais laboratórios do departamento e, posteriormente, para os demais da universidade. A ferramenta (*framework*) mostrou-se prática e de fácil aplicação.
- (v) Instituição de normas com necessidade de aprovação formal para trabalhos excepcionais fora do horário regular de funcionamento do laboratório;
- (vi) Criação de procedimento para registro e análise de incidentes e acidentes.

4.11. ETAPA 9.1 – ANÁLISE DAS MELHORIAS QUE INFLUENCIAM FOLGAS E VARIABILIDADES

Uma das salas que compõem o laboratório foi dividida para criação de uma sala com computadores. Isso provocou uma diminuição de aproximadamente 20% na área dessa sala para uso em atividades laboratoriais. Consequentemente a variabilidade "alta ocupação do laboratório" pode sofrer alteração.

Também ocorreu uma reforma significativa na rede elétrica que poderá alterar a variabilidade relacionada com a estrutura física. As melhorias na rede elétrica podem influenciar a avaliação dos respondentes. Como as modificações ocorreram após a coleta de dados, não foram consideradas no trabalho. Não foi realizada uma avaliação posterior para identificar o possível impacto das melhorias na avaliação dos respondentes.

4.12. ETAPA 10 – ANÁLISE DA SOLIDEZ TEÓRICA DAS RECOMENDAÇÕES

O embasamento teórico das melhorias sugeridas, segundo as diretrizes do gerenciamento de SSTC citadas no item 2.6, encontra-se a seguir:

- (i) Embora a *expertise* seja um recurso de folga de natureza oportunista, o treinamento padronizado pode gerar ações preventivas e corretivas mais eficazes. O aumento da eficácia da unidade de folga *expertise* a partir de treinamentos obedece à algumas diretrizes: a) incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão; b) antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças; c) criar um ambiente favorável à resiliência; d) monitorar as diferenças entre o trabalho prescrito e o real;
- (ii) A indicação por meio de placas e avisos acerca do uso de EPI específico na utilização de equipamentos ou experimentos pode alterar a visibilidade da folga da situação atual “média” para “alta”. Atualmente não há rigor na utilização dos equipamentos de proteção individual e por isso a disponibilidade dessa unidade de folga foi classificada como “não imediata”. O controle na entrega e obrigatoriedade de uso pode modificar a classificação para “imediata”. Exposição de informações a respeito do uso de EPI e controle no fornecimento e utilização atendem às seguintes orientações elaboradas por Saurin et al. (2013): a) dar visibilidade aos processos e resultados; b) projetar folgas; c) criar um ambiente favorável à resiliência;

- (iii) A ampliação da aplicação da *framework* para toda a instituição atende a diretriz que se refere à criação de um ambiente favorável à resiliência;
- (iv) O controle na execução de atividades em horários alternativos, ou seja, quando o laboratório estaria fechado. A necessidade de autorização para trabalhar fora do horário regular evitará que pessoas estejam desacompanhadas e expostas a riscos. Por outro lado, o controle poderá fazer com que o número de pessoas que trabalham no horário normal aumente e, assim, a variabilidade “alta ocupação do laboratório” poderá ter maior influência no sistema. O controle do trabalho fora do horário normal está associado à diretriz de criação de um ambiente favorável á resiliência;
- (v) Registros e análises de acidentes e incidentes não provocam mudanças das folgas e variabilidades em curto prazo. Porém, ao longo do tempo, será possível detectar novas fontes de variabilidade ou mudanças naquelas já existentes. Poderão ser implementados novos recursos de folga ou priorizar os que atualmente existem. Um procedimento para registro e investigação de acidentes e incidentes atende aos princípios do gerenciamento de SSTC: a) antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças; b) projetar folgas; c) monitorar as diferenças entre o trabalho prescrito e o real; d) criar um ambiente favorável à resiliência.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho tinha como objetivo principal o refinamento, por meio da aplicação em um ambiente de laboratório químico, de uma *framework* (SAURIN e WERLE, 2017) para análise de folgas em sistemas sócio-técnicos complexos. O objetivo foi cumprido mediante a aplicação em um ambiente diferente do utilizado pelos autores. Três aperfeiçoamentos foram realizados:

- (i) A unificação das etapas 5 e 6 da *framework*, tornando mais simples a sua aplicação. Essa melhoria foi possível porque, devido ao uso do AHP, a análise realizada na etapa 6 (proteção das variabilidades e escopo das unidades de folga) serve como critério para determinação da eficácia das unidades de folga (etapa 5);
- (ii) uso do método AHP para avaliação do risco associado às fontes de variabilidade e avaliação da eficácia das folgas. Essa estratégia tornou desnecessária a aplicação de questionários para diversos respondentes. Este aperfeiçoamento tem grande significância em ambientes onde há muitas pessoas e a aplicação de questionários pode demandar muito tempo e trabalho;
- (iii) utilização do método FRAM de para descrever eventos críticos, possibilitando a visualização dos processos em que as unidades de folga atuam ou não frente às variabilidades do sistema. O FRAM foi usado para descrever as diferenças entre o trabalho diário (*WAD*) e o trabalho imaginado (*WAI*) e observar o comportamento das variabilidades e a ação das folgas.

O ambiente de um laboratório químico foi detalhadamente estudado com o uso da *framework*, atendendo a um dos objetivos específico que era: identificar particularidades, dificuldades e oportunidades da análise de folgas em laboratórios químicos. As particularidades encontradas em laboratórios químicos estão na qualificação específica das pessoas envolvidas e nos perigos intrínsecos decorrentes das atividades e no tipo de materiais, procedimentos e equipamentos utilizados. Uma das dificuldades no estudo desses ambientes é que o pesquisador necessita de certo conhecimento de química e laboratórios químicos para facilitar a compreensão das atividades e riscos associados. A oportunidade de realizar estudos relacionados à segurança neste tipo de laboratório é significativa ao considerar os riscos existentes e o grande número de pessoas que fazem algum tipo de trabalho nesses locais. Em

se tratando de universidades federais, a oportunidade é ainda maior, visto que há pouco investimento em saúde e segurança ocupacional.

Outro objetivo específico que tratava do teste do método AHP para quantificação de folgas e variabilidades foi, do mesmo modo, atingido. O método AHP mostrou-se prático evitar a utilização de questionários, como era previsto na aplicação original da *framework*. O método FRAM permitiu ilustrar de maneira muito clara algumas situações críticas identificadas durante as entrevistas. Os valores calculados com o método AHP juntamente com as funções do método FRAM tornou possível calcular o escore das folgas e variabilidades nas situações críticas relatadas.

Pode-se concluir que o presente trabalho apresenta uma contribuição teórica em relação à *framework* aplicada e também uma contribuição prática relacionada à melhoria de saúde e segurança no trabalho em laboratórios.

A principal limitação do trabalho é que sugestões de melhoria que envolvam modificações na estrutura física ou aumento de investimentos financeiros dificilmente serão implementadas, visto que se trata de uma universidade federal. Ações de redesenho de sistemas em órgãos públicos tendem a ser mais difíceis em função da legislação.

Para trabalhos futuros apresenta-se como sugestão a ampliação do estudo para os demais laboratórios da universidade, visto que a aplicação da *framework* mostrou fácil. Desse modo poderiam ser criadas folgas de maior abrangência com ação em diversos laboratórios.

Outra indicação para estudos futuros, visto que o trabalho foi desenvolvido em um laboratório de pesquisa em uma universidade federal, é a aplicação da *framework* em laboratórios químicos de pesquisa em universidades particulares. Universidades privadas possuem diferente gestão dos recursos humanos e financeiros e isso pode proporcionar outras perspectivas a respeito da aplicação *framework* e seus desdobramentos.

Também, para futuras pesquisas, pode-se definir uma maneira de relacionar as unidades de folga à utilização de recursos financeiros. Desse modo, por exemplo, poderia ser estimado o custo das folgas e identificar a quantidade de recursos necessária para ter cobertura ótima de folgas ou o montante de recursos ociosos em casos onde há excesso de cobertura de folgas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13035: Planejamento e instalação de laboratórios para análises e controle de águas - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 11. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14785: Laboratório clínico - Requisitos de segurança**. Rio de Janeiro, p. 23. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14725-4: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPO)**. Rio de Janeiro, p. 25. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16725: Resíduo químico — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente — Ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR) e rotulagem**. Rio de Janeiro, p. 16. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15189: Laboratórios clínicos - Requisitos de qualidade e competência**. Rio de Janeiro, p. 60. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro, p. 60. 2017.
- ADANE, L.; ABEJE, A. Assessment of familiarity and understanding of chemical hazard warning signs among university students majoring chemistry and biology: A case study at Jimma University, Southwestern Ethiopia. **World Applied Sciences Journal**, v. 16, n. 2, p. 290–299, 2012.
- ANAND, G.; WARD, P. T. Fit, Flexibility and Performance in Manufacturing: Coping with Dynamic Environments. **Production and Operations Management**, v. 13, n. 4, p. 369–385, 2004.
- AZADEGAN, A.; PATEL, P. C.; PARIDA, V. Operational slack and venture survival. **Production and Operations Management**, v. 22, n. 1, p. 1–18, 2013.
- BOURGEOIS, L. J. On the Measurement of Organizational Slack. **The Academy of Management Review**, v. 6, n. 1, p. 29–39, 1981.
- CARIM, G. C. et al. Using a procedure doesn't mean following it: A cognitive systems approach to how a cockpit manages emergencies. **Safety Science**, v. 89, p. 147–157, 2016.
- CHENG, J. L. C.; KESNER, I. F. Organizational Slack and Response to Environmental Shifts: The Impact of Resource Allocation Patterns. **Journal of Management**, v. 23, n. 1, p. 1–18, 1997.
- CHERNS, A. Principles of Socio-Technical Design. p. 1–16, 1976.
- CILLIERS, P. **Complexity and Postmodernism**. London. 2002
- CLEGG, C. W. Sociotechnical Principles for Systems Design. **Applied Ergonomics**, v. 31, n. February, p. 464–477, 2000.

- COOPER, R.; FOSTER, M. Socio-technical systems. **American Psychologist**, v. 26, n. 5, p. 467–474, 1971.
- CRANDALL, B.; KLEIN, G.; HOFFMAN, R. **Working Minds: a Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis**. London. 2006.
- FURR, A. K. **CRC Handbook of Laboratory Safety**. 5TH. ed. London. 2000.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Ed. Atlas. São Paulo. 2008.
- HENDRICK, H. W.; KLEINER, B. M. **Macroergonomics: Theory, Methods, and Applications**. London. 2002.
- HENDRICKS, K. B.; SINGHAL, V. R.; ZHANG, R. The effect of operational slack, diversification, and vertical relatedness on the stock market reaction to supply chain disruptions. **Journal of Operations Management**, v. 27, n. 3, p. 233–246, 2009.
- HEVNER, A. R. et al. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.
- HEYLIGHEN, F.; CILLIERS, P.; GERSHENSON, C. Complexity and Philosophy. **Complexity, Science and Society**, p. 117–134, 2007.
- HILL, R. H.; FINSTER, D. C. **Laboratory safety for chemistry students**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- HOLLNAGEL, E. Coping with complexity: Past, present and future. **Cognition, Technology and Work**, v. 14, n. 3, p. 199–205, 2012a.
- HOLLNAGEL, E. **FRAM: The Functional Resonance Analysis Method Modelling Complex Socio-technical Systems**. London 2002.
- HOLLNAGEL, E. **Safety-I and Safety-II The Past and Future of Safety Management**. London. 2014.
- HOLLNAGEL, E.; BRAITHWAITE, J.; WEARS, R. L. **Resilient health care**. London. 2013.
- KAPLAN, S; GARRICK, B. J. **On the Quantitative Definition of Risk**. Irvine. 1980.
- LAWSON, M. B. In praise of the of slack : essence Time is. **The Academy of Management Executive**, v. 15, n. 3, p. 125–135, 2001.
- LEVESON, N. System Safety Engineering: Back to the Future. n. June, 2002.
- MARCH, JAMES G. THE BUSINESS FIRM AS A POLITICAL COALITION. p. 784–787, 1962.
- MILLER, G. The Magic Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. **The Psychological Review**, v. 63, n. 2, p. 81–97, 1956.
- NOHRIA, N.; GULATI, R. Is slack good or bad for innovation? **Academy of Management Journal**, v. 39, n. 5, p. 1245–1264, 1996.
- PERROW, C. **Normal accidents: Living with high-risk technologies**, 1984.

- RIGHI, A. W.; SAURIN, T. A. Complex socio-technical systems: Characterization and management guidelines. **Applied Ergonomics**, v. 50, p. 19–30, 2015.
- SAATY, T. Priority Setting in Complex Problems. **Ieee Transactions on Enigneering Management**, v. 3, n. Aug 1983, p. 140–155, 1983.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill.1980.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **The Logic of Priorities Applications in Business, Energy, Health, and unansportation**. Pittsburgh: Springer Science Business Media New York, 1982.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **DECISION MAKING WITH THE ANALYTIC NETWORK PROCESS: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks**. Pittsburgh. 2006.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models , Methods , Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. New York. 2001.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. The possibility of group choice: Pairwise comparisons and merging functions. **Social Choice and Welfare**, v. 38, n. 3, p. 481–496, 2012b.
- SAUNDERS, F. C.; GALE, A. W.; SHERRY, A. H. Responding to project uncertainty: Evidence for high reliability practices in large-scale safety critical projects. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1252–1265, 2016.
- SAURIN, T. A.; GONZALEZ, S. S. Assessing the compatibility of the management of standardized procedures with the complexity of a sociotechnical system: Case study of a control room in an oil refinery. **Applied Ergonomics**, v. 44, n. 5, p. 811–823, 2013.
- SAURIN, T. A.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. A complex systems theory perspective of lean production. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 19, p. 5824–5838, 2013.
- SAURIN, T. A.; WERLE, N. J. B. A framework for the analysis of slack in socio-technical systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 167, n. December 2016, p. 439–451, 2017.
- SAURIN, T.; WERLE, N. A framework for the assessment of slack in socio-technical systems. v. 167, n. December 2016, p. 439–451, 2017.
- SINGH, J. V. Performance, Slack, and Risk Taking in Organizational Decision Making. **Academy of Management Journal**, v. 29, n. 3, p. 562–585, 1986.
- SUJAN, M. A.; HUANG, H.; BRAITHWAITE, J. Learning from incidents in health care: Critique from a Safety-II perspective. **Safety Science**, 2016.
- TIAN, J. et al. FRAMA: A safety assessment approach based on Functional Resonance Analysis Method. **Safety Science**, v. 85, p. 41–52, 2016.
- WIENGARTEN, F. et al. The differing impacts of operational and financial slack on occupational safety in varying market conditions. **Journal of Operations Management**, v.

52, p. 30–45, 2017.

WINTER, R.; ZHAO, J. L.; AIER, S. **BOOK - Global Perspectives on Design Science Research**. Berlin. 2010.

WOODS, D. D.; HOLLNAGEL, E.; LEVESON, N. G. **Resilience Engineering: Concepts and Precepts**. London. 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman. Porto Alegre. 2001.

ZAHEDI, F. The Analytic Hierarchy Process—A Survey of the Method and its Applications. **Interfaces**, v. 16, n. 4, p. 96–108, 1986.