



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ANDRÉ HILMÁRIO DE OLIVEIRA SIQUEIRA

A INFLUÊNCIA DOS FATORES SÓCIO TÉCNICOS NOS ACIDENTES E NA
PREVENÇÃO DE RISCOS INDUSTRIAIS

Rio de Janeiro

2017



UFRJ

André Hilmário de Oliveira Siqueira

**A INFLUÊNCIA DOS FATORES SÓCIO TÉCNICOS NOS ACIDENTES E NA
PREVENÇÃO DE RISCOS INDUSTRIAIS**

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

Orientador: Professor Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

Rio de Janeiro

2017

S618 Siqueira, André Hilmário de Oliveira.

A influência dos fatores sócio técnicos nos acidentes e na prevenção de riscos industriais / André Hilmário de Oliveira Siqueira. – 2017.

135 f.: il. 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Bibliografia: f. 98-105.

Orientador: Isaac José Antonio Luquetti dos Santos.

1. Confiabilidade humana. 2. Segurança. 3. Investigação de acidentes. I. Santos, Isaac José Antonio Luquetti dos. II. UFRJ. III. Título.

CDD 620.8



UFRJ

André Hilmário de Oliveira Siqueira

A INFLUÊNCIA DOS FATORES SÓCIO TÉCNICOS NOS ACIDENTES E NA
PREVENÇÃO DE RISCOS INDUSTRIAIS

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

Aprovada pela Banca

Presidente: Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc, COPPE/UFRJ

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc, COPPE/UFRJ

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc, COPPE/UFRJ

Prof. Guilherme Dutra Gonzaga Jaime, D.Sc, COPPE/UFRJ

Rio de Janeiro

2017

AGRADECIMENTOS

À minha empresa, Petrobras, pela oportunidade de concretizar este desafio.

Ao ilustre engenheiro Luiz Claudio Silva, que sempre me incentivou e me proporcionou flexibilidade aos estudos e desafios profissionais.

Ao meu orientador, Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, pela continuidade na orientação deste estudo, após ter superado desafio pessoal a ele imposto.

À minha família – meus filhos Murilo, Bruno e Luana e minha inspiradora esposa, Andreia; minha mãe querida e guerreira e ao meu inesquecível pai.

RESUMO

SIQUEIRA, André Hilmário de Oliveira. **A influência dos fatores sócio técnicos nos acidentes e na prevenção de riscos industriais**. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A influência dos fatores sócio técnicos nos grandes acidentes tem motivado especialistas e investigadores a compreender melhor sobre o ocorrido. Este trabalho utilizou estudo de caso baseado em anomalia típica de segurança de processo, ou seja, com perda de contenção, e buscou identificar as influências do sistema sócio técnico baseando-se em análise das variáveis da metodologia de Hollnagel (1998), denominada Método de Análise de Falha e Confiabilidade Cognitiva (Cognitive Reliability and Error Analysis Method - CREAM), com atuação no modo retrospectivo, de forma a compará-la com metodologia tradicional da indústria de óleo e gás - Análise de Causa Raiz. Cabe ressaltar o quase ineditismo prático sobre estudos divulgados para análise do CREAM no seu modo retrospectivo com a utilização de software específico para as análises pertinentes à luz da metodologia. O estudo demonstrou capacidade aprimorada do CREAM retrospectivo, ratificou a influência dos fatores sócio técnicos na análise do estudo de caso, expondo características de difícil abordagem nos modelos tradicionais, como, por exemplo, um melhor detalhamento e compreensão das causas raízes e comprovou, após comparativo das causas raízes entre as metodologias, possuir maior refinamento, detalhamento e pragmatismo com o tema. Por apresentar maior facilidade na compreensão do contexto, a metodologia Análise de Causa Raiz pode ser relevante aliada do CREAM na busca de dados mais refinados e na complementação da análise de acidentes industriais em sistemas sócio técnicos.

Palavras-chave: Confiabilidade Humana. Segurança. Investigação de Acidentes.

ABSTRACT

SIQUEIRA, André Hilmário de Oliveira. **A influência dos fatores sócio técnicos nos acidentes e na prevenção de riscos industriais.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The influence of socio-technical factors on major accidents has motivated specialists and researchers to better understand what happened. This work used a case study based on a typical process safety anomaly, that is, with loss of containment, and sought to identify the influences of the socio-technical system based on analysis of the variables of the methodology of Hollnagel (1998), denominated Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), acting in retrospective mode, in order to compare it with a traditional methodology of the oil and gas industry - Root Cause Analysis. It is noteworthy the almost unpublished practice of studies published for the analysis of CREAM in its retrospective way with the use of specific software for the pertinent analyzes in light of the methodology. The study demonstrated the improved capacity of the retrospective CREAM, ratified the influence of socio-technical factors in the analysis of the case study, exposing characteristics of difficult approach in the traditional models, such as a better detailing and understanding of root causes and proved, after comparative of the root causes among the methodologies, to have greater refinement, detail and pragmatism with the theme. Because it is easier to understand the context, the Root Cause Analysis methodology can be relevant allied to CREAM in the search for more refined data and in complementing the analysis of industrial accidents in socio-technical systems.

Keywords: Human Reliability. Safety. Accidents Investigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas relacionadas com os fatores humanos e organizacionais	16
Figura 2 - Estrutura para compreensão das ações humanas não seguras	36
Figura 3 - Classificação das ações humanas não seguras	38
Figura 4 - Metodologias utilizadas	45
Figura 5 - Sistema Organizacional RCA.....	50
Figura 6 - Estrutura sugerida para eventos do Diagrama de Fator Causal.....	52
Figura 7 - Processo para desenvolvimento do Diagrama de Fator Causal.....	53
Figura 8 – Mapa de Causa Raiz.....	57
Figura 9 - Fatores Humanos	58
Figura 10 - Níveis do Mapa de Causa Raiz.....	59
Figura 11 - Taxonomia Tecnologia - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade	63
Figura 12 - Taxonomia Organização - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade	64
Figura 13 - Taxonomia Pessoas - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade	64
Figura 14 - Dimensões do fenótipo.....	67
Figura 15 - Coluna C-501 (MNT), equipamentos e dispositivos	80
Figura 16 - Desempenho da temperatura da C-501	81
Figura 17 - Alinhamentos de vapor ao trocador de calor.....	82
Figura 18 - Furo na sede da válvula (horário 6h) da linha de by-pass.....	83
Figura 19 - Tempo de indução do MNT	84
Figura 20 - Início do estudo de caso com uso dos apêndices.....	91
Figura 21 - Algoritmo CREAM.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Documentos de análise - CREAM retrospectiva	27
Quadro 2 - Documentos de análise - CREAM HRA	29
Quadro 3 - Exemplos de Sharit	37
Quadro 4 - Classificação dos PSF	41
Quadro 5 - CPCs.....	42
Quadro 6 - Dependências entre CPCs.....	43
Quadro 7 - Aplicabilidade das metodologias	49
Quadro 8 - Antecedentes gerais e específicos para fenótipos	66
Quadro 9 - Fatores Causais e Causas Raízes.....	88
Quadro 10 - CPC e MTO – visão no software CREAM.....	89
Quadro 11 - Causas Terminais e Raízes	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de documentos encontrados em universidades	26
Gráfico 2 - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição Base de Pesquisa.....	25
Tabela 2 – Ação na hora errada.....	67
Tabela 3 - Ação do tipo errado	68
Tabela 4 – Ação do objeto errado.....	68
Tabela 5 – Ação no lugar errado	69

LISTA DE SIGLAS

ACH	Análise Confiabilidade Humana
API	American Petroleum Institute
API RP	American Petroleum Institute Recommended Practice
ASEP	Accident Sequence Evaluation Program
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCD	Condições Comuns de Desempenho
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CF	Causal Factor
CPC	Common Performance Conditions
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
CSB	United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board
DCS	Distributed Control System
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPG	Equipment Performance Gaps
ETTO	Efficiency – Thoroughness Trade-Off
FAD	Fatores que Afetam Desempenho
FCC	First Chemical Corporation
FHOS	Fatores Humanos Organizacionais de Segurança Industrial
FLPPG	Front Line Personnel Performance Gaps
FONCSI	Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle
FRAM	Functional Resonance Analysis Method
GRH	Gestão de Recursos Humanos
HAZOP	Hazard and Operability Study
HRA	Human Reliability Analysis
HSE	Health and Safety Executive
MNT	Mono Nitro Tolueno
MORT	Management Oversight and Risk Tree
MTO	Man - Technology - Organization
NTSB	National Transportation Safety Board
NUREG	US Nuclear Regulatory Commission
OSHA	Occupational Safety and Health Administration

PEA	Programa de Engenharia Ambiental
PSF	Performance Shaping Factor
PSV	Pressure Safety Valve
PUC	Pontifícia Universidade Católica
RCA	Root Cause Analysis
SICOMERCIO	Sindicato do Comércio Varejista
SPAC	Standard, Policy and Administrative Controls
STAMP	Systems-Theoretic Accident Model and Processes
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	19
1.3	OBJETIVOS DO ESTUDO.....	21
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos Específicos	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1	PESQUISAS NAS BASES DE DADOS	24
2.1.1	Descrição do Levantamento de Documentos.....	24
2.1.2	Análise de Conteúdo dos Documentos e Definição dos Documentos mais Relevantes.....	26
2.2	ANÁLISE E SELEÇÃO DOS TEXTOS PESQUISADOS NAS BASES DE DADOS	27
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
3.1	A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES.....	32
3.2	COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS SÓCIO TÉCNICOS	33
3.3	AÇÕES HUMANAS NÃO SEGURAS	35
3.4	CONFIABILIDADE HUMANA	39
4	METODOLOGIA	44
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA METODOLÓGICA	44
5	DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS ANÁLISE CAUSA RAIZ (RCA) E MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHA E CONFIABILIDADE COGNITIVA (CREAM).....	47
5.1	MÉTODO ANÁLISE CAUSA RAIZ (ROOT CAUSE ANALYSIS – RCA).....	47
5.1.1	Diagrama de Fator Causal - Causal Factor Chart.....	51
5.1.2	Mapa de Causa Raiz (Root Causal Map).....	56
5.2	MÉTODO DE ANÁLISE DE ERRO E CONFIABILIDADE COGNITIVA (COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD – CREAM).....	60
5.2.1	Esquema de classificação e princípios básicos	62
5.2.2	Classificação dos Grupos	66
5.2.2.1	Modos de Falha	66
5.2.3	Relações entre Consequente-Antecedente	69
5.2.3.1	Fenótipos (Modos de Falha).....	69
5.2.3.2	Genótipos	70
5.2.3.2.1	Genótipo (relação a pessoas).....	71
5.2.3.2.2	Genótipo (relação tecnológica)	72
5.2.3.2.3	Genótipo (relação organizacional)	73
5.3	ANÁLISE RETROSPECTIVA – MÉTODO CREAM.....	73
5.3.1	Resumo da Metodologia Retrospectiva CREAM.....	75
5.3.2	Modos de Falha Possíveis	75
5.3.3	Causas Prováveis	76
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	77
6.1	IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	77
6.1.1	Instalações da FCC	77
6.1.2	Processo Mono Nitro Tolueno	78
6.1.3	Descrição do Evento	79
6.1.4	Detalhamento do Evento.....	82

6.1.4.1	Teste de Integridade da C-501	85
6.1.4.2	Casa de Controle - Construção e Locação	86
6.1.4.3	Sistema de Notificação à Comunidade	86
6.1.5	Causas Raízes e Contribuintes	86
6.2	USO DA METODOLOGIA DIAGRAMA DE FATORES CAUSAIS.....	87
6.3	USO DA METODOLOGIA CREAM.....	89
6.4	COMPARATIVO DE RESULTADOS - METODOLOGIAS RCA E CREAM	95
6.5	CONCLUSÕES.....	96
6.5.1	Propostas de Novos Trabalhos	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	APÊNDICES	106
	APÊNDICE A – ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA OBSERVAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS.....	107
	APÊNDICE B - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA INTERPRETAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS.....	108
	APÊNDICE C - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PLANEJAMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS.....	110
	APÊNDICE D - CATEGORIAS PARA FUNÇÕES TEMPORÁRIAS - GENÓTIPO RELACIONADAS A PESSOAS -	111
	APÊNDICE E - CATEGORIAS PARA FUNÇÕES PERMANENTES - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS	113
	APÊNDICE F - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA TECNOLOGIA - GENÓTIPO RELACIONADO A FALHA EQUIPAMENTO.....	114
	APÊNDICE G - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROCEDIMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A FALHA EQUIPAMENTO.....	115
	APÊNDICE H - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROBLEMAS DE INTERFACE TEMPORÁRIOS - GENÓTIPO RELACIONADO A INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	116
	APÊNDICE I - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROBLEMAS DE INTERFACE PERMANENTES - GENÓTIPO RELACIONADO A INTERFACE HOMEM-MÁQUINA.....	117
	APÊNDICE J - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA COMUNICAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO.....	118
	APÊNDICE K - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA ORGANIZAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO.....	119
	APÊNDICE L – ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA TREINAMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO.....	121
	APÊNDICE M - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA CONDIÇÕES AMBIENTAIS - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO.....	122
	APÊNDICE N - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA CONDIÇÕES DE TRABALHO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO.....	123
	APÊNDICE O - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA FENÓTIPOS.....	124
	APÊNDICE P – MODOS DE FALHA POSSÍVEIS.....	126
	APÊNDICE Q - RELAÇÃO ENTRE CPCs E PRINCIPAIS GRUPOS GENÓTIPOS.....	127
	APÊNDICE R – DIAGRAMA DE FATORES CAUSAIS	128

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

O ser humano está no centro do processo de trabalho e a melhoria do seu desempenho impacta na segurança do processo, como a diminuição de ocorrência de falhas em todos os níveis da organização. A maioria das falhas humanas é propiciada por uma situação de trabalho não planejada, não considerando as limitações e variabilidades do ser humano.

A fim de manter os riscos inerentes aos processos industriais, as empresas vêm aprimorando seus controles, atuando na melhoria contínua de medidas que abrangem a confiabilidade e gerenciamento dos sistemas de segurança. A partir de 1940 foi experimentada significativa alteração no cenário desses sistemas, entretanto a evolução tecnológica vislumbrou no homem uma capacidade de atuação restrita. Hollnagel (2004) cita que os fatores humanos devem ser considerados na concepção dos sistemas, visando uma adequação nas condições de uso e na melhoria da confiabilidade e ainda referencia que. A importância da interação humana foi, no início, reconhecida apenas como parte inerente no controle dos sistemas, entretanto os estudos têm evidenciado uma importância tão representativa quanto esta ao longo de toda a vida do sistema - desde a concepção de projetos, construção e montagem, manutenção e operação - assim como nas diversas políticas da empresa, conforme sugere a entidade francesa FONCSI (Fundação por uma Cultura de Segurança Industrial) na figura 1, na qual se observa a presença de relevantes áreas como Concepção de Projetos, Compras (neste caso faz referência a licitações) e Recursos Humanos (GRH) em relação aos Fatores Humanos Organizacionais de Segurança Industrial (FHOS).



Figura 1 - Áreas relacionadas com os fatores humanos e organizacionais
 Fonte: Daniellou, Simard e Boissieres (2009).

As usinas nucleares, áreas de energia e petróleo (óleo & gás e química), aeronáutica (civil e militar e controle de voos), ferroviária, de navegação e até mesmo algumas modernas áreas da medicina (cirurgias e unidades de tratamento intensivo), lidam com uma complexidade aumentada nos sistemas de alta tecnologia, oferecendo dificuldades de compreensão aos operadores e mantenedores. Essa característica pode ofertar raras e catastróficas ocorrências de acidentes, resultantes de combinações não idealizadas, as quais são reconhecidas como condições de falhas latentes - oriundas da fase de concepção ou da própria organização. Reason (1990) cita que a influência dessas condições em sistemas que apresentam baixo risco, porém com consequências possíveis de elevada gravidade, é frequentemente vista como causa de falhas múltiplas.

Acidente é um evento ou uma sequência de eventos não desejados que possa resultar em danos físicos, lesões, mortes, impactos ao meio ambiente, prejuízos materiais e comprometimento da operação de um sistema e resultar em consequências que o caracterize como crítico ou catastrófico (SANTOS; CARVALHO; GRECCO, 2009). Para melhorar a segurança de uma planta industrial, considerando a hipótese de o homem vir a falhar, é necessário otimizar o desempenho humano de forma a diminuir a possibilidade de ocorrência de erros nos diversos níveis da organização. É importante também destacar a importância na validação da integridade das defesas, barreiras, controles ou salvaguardas, sobretudo para sistemas de alto risco.

Para minimizar os erros humanos é necessário considerar os Fatores que Afetam o Desempenho humano (FADs). Os FADS podem ser externos, internos ou estressores (SWAIN; GUTTMANN, 1983). A não combinação entre os FADs resulta num estresse que degrada o desempenho humano. Situações de trabalho adequadamente projetadas, compatíveis com as necessidades, capacidades e limitações humanas, levando em consideração os fatores que afetam o desempenho humano (FADs), podem criar condições que otimizem o desempenho do trabalhador e minimizem os erros humanos (SANTOS; CARVALHO; GRECCO, 2008).

Um conjunto de FADs que interagem entre si, continuamente, pode conduzir a uma perda ou acidente. Dentre os fatores que devem ser observados, podemos citar a tarefa, as máquinas e ferramentas, o trabalhador e suas condições, a estrutura organizacional e suas lideranças, o ambiente físico e o clima organizacional.

O termo confiabilidade humana é geralmente definido como a probabilidade de que uma pessoa execute corretamente alguma atividade exigida pelo sistema durante um determinado período de tempo (se o tempo for um fator limitante) sem realizar outra atividade

que possa degradar o sistema. Análise de Confiabilidade Humana (ACH) é uma ferramenta utilizada para melhorar o desempenho humano e estimar a confiabilidade humana, ao fornecer informações tanto qualitativas, quanto quantitativas (SANTOS; CARVALHO; GRECCO, 2008).

A maioria das abordagens de investigação de acidentes de trabalho direciona a análise para a busca da causa raiz ou causa fundamental. As causas diretas dos acidentes (ou causas fundamentais) são uma combinação de falhas destes fatores somados a eventos externos ao sistema. Cabe ressaltar a distinção entre análise e investigação de acidentes - o objetivo da análise de acidentes é procurar por eventos e condições que conduziram às consequências, ou seja, encontrar as prováveis causas (HOLLNAGEL, 1999). De acordo com o Energy Institute (2008), a investigação de acidentes coleta informações, reconstrói eventos e cenários, utilizando a linha do tempo, para que a análise seja coerente. É uma revisão sistemática e detalhada das informações para identificar as causas raízes.

A American Petroleum Institute (API) 770 - Reducing Human Errors - destaca dados cognitivos históricos, como por exemplo, em 190 acidentes ocorridos em plantas químicas, 34% foram atribuídos a conhecimento insuficiente, 32% a falha de projeto, 24% a falhas procedimentais e 16% a falhas operacionais. Logo, em sistemas onde o elevado nível de redundância dos sistemas minimiza as consequências de simples falhas de componentes, as falhas humanas podem comprometer mais que 90% da probabilidade de falha do sistema (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2001).

Em levantamento analisado por Silva (2003, p. 81), de 247 anomalias ocorridas em refinarias de petróleo, 54 estão associadas a falhas humanas, ou seja, 21,86% delas. O órgão regulador nacional inglês para assuntos relacionados à saúde e segurança laboral, Health and Safety Executive (HSE), divulgou, entre 2001 e 2002, que 28% das causas dos acidentes offshore eram provenientes de falha humana.

Diante de todas as interferências e condições citadas, é fundamental que a empresa aprimore, reconheça e compreenda as influências do ser humano nas atividades diárias. Entender melhor o papel do fator humano nos acidentes oportuniza desenvolver o trabalho de analisá-los, qualificar medidas preventivas e melhorar o sistema produtivo como um todo. Acidentes referem-se a eventos adversos, incluindo os “quase acidentes”.

1.2 JUSTIFICATIVA

Esse estudo está centrado no uso de métodos de análise de confiabilidade humana com enfoque retrospectivo, ou seja, abordará a análise de evento e a influência do fator humano em acidente ocorrido em sistema sócio técnico. Segundo Hollnagel (2003 apud ALMEIDA, 2008), a utilização da análise retrospectiva busca as causas plausíveis, trilhando o caminho das relações de causa-efeito (antecedente-consequente) em função do evento observado, considerando o contexto de trabalho e as relações existentes entre os principais atores.

Ao longo do tempo surgiram várias iniciativas ou técnicas de análise de acidentes. Tais ferramentas foram desenvolvidas através de modelos de barreiras, que tentam explicar a casualidade dos acidentes. No modelo sequencial o acidente é percebido como uma sequência de eventos paralelos ou em série que acontecem em razão de algumas causas fundamentais, desenhando uma relação de causa e efeito bem definida. Os modelos sequenciais, como a Teoria do Dominó (Heinrich, 1941), são concepções teóricas e metodológicas muito utilizadas na análise de acidentes no ambiente industrial, sendo que sua difusão é relacionada à fácil compreensão proporcionada pela visão gráfica das relações causa-efeito, explicando os acidentes como decorrência de uma sequência de eventos. Na maioria das situações acidentais ocorridas no Brasil, o artigo de Almeida e Jackson Filho (2007, p. 8) destaca:

[...] os fatores identificados como mais importantes nas conclusões das análises se referem principalmente a comportamentos de trabalhadores, ações ou omissões situadas pouco antes do desfecho do acidente. Esses comportamentos costumam ser descritos e discutidos com o uso de categorias como atos e condições inseguros ou abaixo de padrão, falhas humanas ou outras abordagens de formato ramificado que adotam como pressuposto a ideia de existência de uma forma ideal de realizar aquela ação que seria previamente conhecida do operador envolvido e que, no contexto do acidente, teria deixado de ser usada como resultado de uma escolha consciente, originada em aspectos do próprio indivíduo, talvez de sua personalidade descuidada, indisciplinada ou equivalente.

O mesmo ainda afirma que com essas conclusões, tais acidentes também são vistos como fenômenos individuais ou, no máximo, restritos a um dos componentes do sistema sócio técnico envolvido na atividade que era desenvolvida e alvo das recomendações de prevenção. Consequentemente, a organização em que ocorreu a anomalia é diagnosticada com ausência de problemas organizacionais e o acidente deixa de ser compreendido como sinal de disfunção sistêmica ou como revelador. Esse cenário se repete diariamente, não se usufruindo de possível aprendizado organizacional e caminhos para aperfeiçoamento desse sistema.

No modelo epidemiológico os acidentes são tratados como se fossem “epidemias” que ocorrem devido à interação de diversos fatores, sendo alguns no sistema e outros na forma latente. As fragilidades ou eventos no sistema podem ser associadas a buracos nas barreiras ou defesas, entretanto resultam em algo a mais além da simples fragilização diante de um buraco - cada fragilidade pode proporcionar impactos ou fragilizar processos distintos do sistema, praticamente contaminando outras áreas do mesmo, vizinhas ou não. O acidente resulta da interação entre “hospedeiro” (pessoa), agente (ferramentas, sistemas tecnológicos, etc.) e ambiente de trabalho (físico e social). Considerando que os acidentes em sistemas sócio técnicos são o resultado da complexa interação entre múltiplos eventos de falha, diferentes grupos de causas ou fatores certamente estarão presentes em uma cadeia acidental de eventos, onde se incluem: as causas tecnológicas, as humanas e as organizacionais.

As análises relacionadas à confiabilidade humana foram iniciadas na década de 1990, com a utilização de análises de primeira geração, que se caracterizam em manter maior preocupação no fato de verificar se as pessoas obterão sucesso ou insucesso no desempenho de uma ação, refletindo uma condição binária. De forma mais recente, os métodos de segunda geração, que integram o conhecimento advindo dos modelos de processamento cognitivo dos trabalhadores, como tomadas de decisão em situações de estresse e emergência, procuram identificar os erros humanos caracterizados pelo desempenho incorreto de uma tarefa ou ação e sua influência na segurança das instalações. Hollnagel (1998) implementou o Método de Análise de Falha e Confiabilidade Cognitiva - Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), denominado de segunda geração, com o objetivo de identificar as ações humanas que requerem atividades cognitivas importantes, determinando as condições que podem constituir uma fonte de risco. Segundo Hollnagel (1998), o desempenho humano é o resultado do uso vantajoso da competência ajustada para determinadas condições de trabalho, sendo que os modos de controle desordenado, oportunista, tácito e estratégico descrevem o nível de controle que os trabalhadores têm em relação à situação descrita. Os modos de controle são determinados por um conjunto de fatores chamados de Condições Comuns de Desempenho (CCD) ou Common Performance Conditions (CPC). Os CCDs ou CPCs descrevem como o desempenho humano pode ser afetado pelo contexto da operação, ou seja, pela adequação da organização, condições de trabalho, adequação das interfaces e sistemas de suporte, disponibilidade dos procedimentos, número de objetivos simultâneos, disponibilidade de tempo, ritmo circadiano (dia e noite), adequação do treinamento, experiência, cooperação da equipe e eficiência da comunicação.

Hollnagel (2004) desenvolveu o modelo sistêmico de análise de acidentes, a partir da adaptação do modelo de Rasmussen (1997). Este modelo não evidencia a identificação de causa-efeito e adota o pressuposto de que uma determinada sequência de eventos que gerou um acidente é improvável de acontecer do mesmo modo. A variabilidade de desempenho do sistema não é função apenas da variabilidade humana, é também influenciada pela complexidade, pelas demandas do sistema. Como é impossível reduzir essa complexidade, a alternativa para prevenção é tentar geri-la.

Hollnagell (2004) propõe um método de análise de acidentes, denominado Método de Análise de Ressonância Funcional (Functional Resonance Analysis Method - FRAM), que utiliza uma analogia aos conceitos físicos de “estocástico” e “ressonância” para explicar os acidentes. A variabilidade de um sistema comporta-se conforme um modelo estocástico, ou seja, a probabilidade de que uma dada variação aconteça é aleatória e não previsível. Estas variações podem não provocar um acidente, entretanto, em função das ressonâncias, quando as variações agem simultaneamente e na mesma frequência, elas podem amplificar o risco dos acidentes.

O modelo denominado Systems - Theoretic Accident Model and Processes (STAMP) baseia-se na teoria de sistemas e os três pilares do método são: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle e modelo de processo (LEVESON, 2004). De acordo com o método, as restrições de segurança devem ser reforçadas através de controles, os quais utilizam mecanismos de realimentação e buscam garantir a segurança do sistema observando as mudanças e readaptando o controle quando necessário. O controle hierárquico significa que é possível estabelecer níveis de controle, nos quais os níveis mais baixos estão mais próximos da estrutura física onde ocorre o acidente. Cada nível acima possui mecanismos para reforçar as restrições de segurança dos níveis abaixo e ter retroalimentação para avaliar se as restrições impostas estão sendo bem-sucedidas ou falhando. Para que as ações de controle sejam possíveis, o controlador de cada nível estabelece um modelo de processo, o qual permite a identificação de como o processo deve se comportar ao ser aplicada a restrição de controle (LEVESON, 2011). Como o principal objetivo de uma análise de acidentes é a prevenção de recorrências futuras, o enfoque da análise é identificar as fragilidades do sistema.

1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

1.3.1 Objetivo Geral

O estudo busca auxiliar uma melhor compreensão das causas básicas e raiz de anomalias ocorridas em atividades industriais e subsidiar a atuação preventiva, gerando meios para tomadas de decisões gerenciais que possam proporcionar um melhor desempenho da continuidade do negócio. As abordagens objetivas deste trabalho, numa forma mais ampla, são as seguintes: difundir e articular conceitos e princípios, frutos da pesquisa em literatura sobre o tema de análise de acidentes e aplicar conhecimentos adquiridos por meio de método de análise da confiabilidade de segunda geração na análise de acidentes, na sua forma retrospectiva, possibilitando, dessa forma, determinar a influência dos fatores sócio técnicos nos prováveis cenários de acidentes.

1.3.2 Objetivos Específicos

As doutrinas habituais de segurança, como auditorias, inspeções, pesquisas de segurança, programas, campanhas e outras, se concentram no controle de obediência fiel a procedimentos e normas - abordagem análoga e realizada nas pesquisas de qualidade (LLORY, 2001, p. 297). Tais ferramentas possuem acesso para uma dimensão única do trabalho. Mas e as considerações subjetivas, como iniciativa, criatividade e domínio da circunstância? Essa parte crucial do dia a dia é suprimida e fica invisível. Faz-se necessária a utilização de formas de investigação com recursos para detectar certos tipos de desvios ou circunstâncias que regulem de forma mais apropriada a distância entre o trabalho prescrito e o real.

Para Rasmussen (1997), a análise do trabalho real mostra a variedade das situações vividas pelos operadores e não previstas nas normas de segurança vigentes, assim como as tentativas de desenvolvimento de modos operatórios que reduzam os custos humanos e aumentem a eficiência do trabalho. As ações desenvolvidas para gerir a variabilidade do trabalho são descritas por Rasmussen como adaptações locais. Elas podem resolver ou não o problema enfrentado. Muitas vezes, nessas situações, os operadores precisam fazer escolhas entre, de um lado, ações que visam retomar a produção, porém contrariam normas de segurança, e, de outro, ações que privilegiam a segurança e implicam em atraso na retomada dos trabalhos (ALMEIDA; JACKSON FILHO, 2007).

Diante das questões citadas acima, são objetivos específicos dessa dissertação:

- a) realizar análise de acidente ocorrido em sistema sócio técnico industrial, considerando os preceitos utilizados pela metodologia Análise de Causa Raiz (Root Cause Analysis - RCA), mais especificamente a técnica Diagrama de Fator Causal (Causal Factor Chart);
- b) realizar um estudo focado na análise de acidente ocorrido no sistema sócio técnico, citado anteriormente, considerando os preceitos utilizados pelo método CREAM, na sua forma retrospectiva;
- c) a partir das comparações dos resultados obtidos das duas análises de acidentes realizadas, propor melhorias na identificação e análise dos fatores sócio técnicos que podem impactar no gerenciamento de riscos de sistemas complexos da atividade estudada.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PESQUISAS NAS BASES DE DADOS

Este capítulo detalha a metodologia da pesquisa bibliográfica específica realizada sobre os temas associados à influência humana e sua relação nas análises de acidentes.

A sistemática utilizada foi resumida em três etapas:

- a) descrição do levantamento de documentos;
- b) análise de conteúdo dos documentos;
- c) definição dos documentos mais relevantes.

As pesquisas foram concebidas e direcionadas aos artigos, periódicos ou “papers”, assim como nas teses de mestrado, doutorado e pós-graduação.

A realização da pesquisa foi motivada pela busca de conhecimento sobre as abordagens dos documentos disponíveis com a metodologia específica dessa dissertação. A primeira etapa, então, determinou como realizar as buscas. A segunda etapa consistiu em analisar o conteúdo, sua aplicação e possível abrangência na dissertação. A terceira e última etapa selecionou os textos que mais se aproximaram do contexto desejado, ou seja, análise de acidentes.

2.1.1 Descrição do Levantamento de Documentos

A metodologia utilizada na busca foi a realização de pesquisas genéricas nas diversas e principais bases de pesquisa, utilizando-se diferentes palavras guias. Após algumas observações e simulações práticas, foram selecionadas as palavras chave abaixo como resultado de melhor critério aos documentos:

- a) Human Reliability Analysis (HRA)
- b) CREAM
- c) CREAM AND HRA
- d) CREAM AND Human Error
- e) CREAM AND Accident Analysis
- f) Human Factor AND Accident Analysis
- g) HRA AND Accident Analysis

A partir desta pesquisa primária foi possível identificar as principais fontes de consulta, considerando as características de cada base de dados. Assim, foram selecionadas vinte e três (23) fontes de pesquisa para a evolução da busca. Como resultado, foi registrado um total de mil e sessenta e três (1.063) artigos. A fim de especificar e refinar a pesquisa, diante do significativo quantitativo de documentos, foram utilizados filtros avançados de busca, os quais direcionaram e delimitaram o assunto e temas desejados. Finalmente foram obtidas oitenta (80) referências, as quais estão distribuídas em cinco (5) bases principais, conforme Tabela 1 a seguir. O período referenciado para a busca foi entre dezembro de 2014 e maio de 2015.

Tabela 1 – Distribuição Base de Pesquisa

BASE PESQUISA		Quant. de Documentos
1	Science Direct (http://www.sciencedirect.com)	56
2	Engineering Village (http://www.engineeringvillage.com)	7
3	Scopus (https://www.scopus.com)	6
4	IEEEExplore (http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp)	6
5	CRC Net Base (http://www.crcnetbase.com)	5
TOTAL		80

Fonte: O autor (2015).

Com relação aos textos universitários de mestrado, doutorado e pós-graduação, foram também aplicadas as mesmas condições anteriores, os mesmos termos ou palavras chave. Foi registrado um total de vinte e oito (28) documentos. A UFRJ se destacou com dezenove (19) teses – cinco (5) de doutorado e quatorze (14) dissertações de mestrado. As universidades internacionais totalizaram duas (2) teses – Universidade de Trondheim (Noruega) e Ohio State University (Estados Unidos) - ambas de mestrado. A distribuição estatística da busca nas universidades está demonstrada no Gráfico 1.

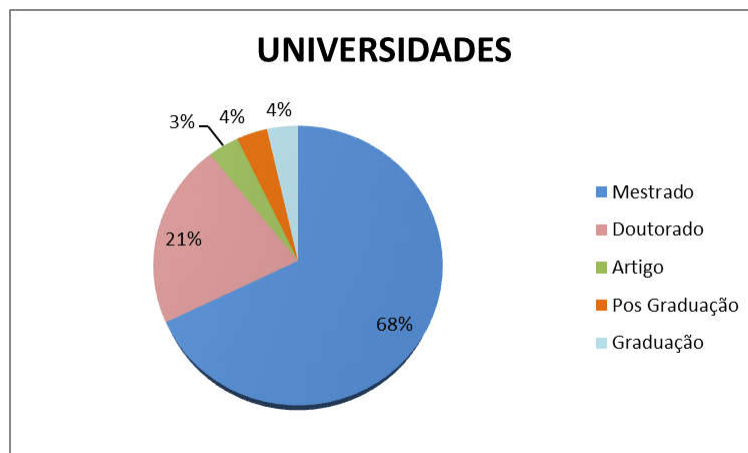


Gráfico 1 - Distribuição de documentos encontrados em universidades
Fonte: O autor (2015).

Algumas importantes considerações foram adotadas nessa fase de refinamento, quais sejam:

- a) não foram especificados períodos nem idioma dos documentos;
- b) a combinação das palavras chave, utilizando o conector “AND” facilitou as buscas e possibilitou a otimização da pesquisa;
- c) utilização de filtros de pesquisa. Essa ferramenta interna das bases possibilita buscas avançadas, nas quais foi possível se excluir, por exemplo, o documento das áreas médica, biológica e nutricional, facilmente identificadas e que não foram foco neste estudo;
- d) a região ou país emitente do estudo também não foi critério selecionado, uma vez que o interesse estava nos temas associados a estudos em sistemas complexos, preferencialmente na área industrial, e não na regionalidade do assunto;
- e) foram desconsiderados os artigos não gratuitos;
- f) foram considerados os estudos de eventos associados às áreas marítima e ferroviária, os quais utilizaram formas adaptadas pelos autores. As áreas de aviação (ou aeronáutica) e nuclear são reconhecidamente mais evoluídas nos estudos de HRA.

2.1.2 Análise de Conteúdo dos Documentos e Definição dos Documentos mais Relevantes

Identificados os textos nas bases, a etapa seguinte se resumiu em avaliar a análise da pertinência ao assunto. Uma estratégia relevante utilizada foi distinguir a abordagem

retrospectiva (objeto deste estudo) da preditiva no método CREAM. No capítulo 5 – Aplicação da Metodologia – será possível conhecer melhor as formas de atuação e características do método.

2.2 ANÁLISE E SELEÇÃO DOS TEXTOS PESQUISADOS NAS BASES DE DADOS

Após a sistemática de levantamento de textos, foram destacados os documentos mais relevantes e que efetivamente contribuem para o assunto. A estratégia para agregar conteúdo científico foi proposta de forma a segregar os textos em dois blocos. O primeiro deles considera exclusivamente os textos com referencial técnico de abordagem direta ao assunto da dissertação, ou seja, focado na metodologia CREAM retrospectiva. Os seis (6) documentos selecionados estão descritos no Quadro 1.

Base Pesquisada	Autor (es)	Título do texto
Taylor & Francis Group	R. Moura et al	<i>Human error analysis: Review of past accidents and implications for improving robustness of system design.</i>
www.unob.cz/ ..2.../Murínová _Šinovský.pdf	Murínová,L., Jan šinovský	<i>Human Reliability Control – Cognitive Approach.</i>
Engineering Village	G. Desmorat et al	<i>Pouring CREAM into natural gas: The introduction of Common Performance Conditions into the safety management of gas networks.</i>
IEEEExplore	K.Yoshimura et al	<i>Questionnaire Survey for Adapting Common Performance Conditions to Marine Accidents.</i>
SCOPUS	Roger D. Serwy & Esa M Rantanen	<i>Evaluation of a Software Implementation of the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM).</i>
Science Direct	Ross Owen Phillips	<i>What did you expect? CREAM analysis of hazardous incidents occurring on approach to rail signals.</i>

Quadro 1 - Documentos de análise - CREAM retrospectiva

Fonte: O autor (2015).

Em seguida, a pesquisa pelo assunto teve ainda considerável contribuição dos documentos com assunto inerente ao método CREAM, porém com abordagem direcionada em HRA, acidentes e/ou análise de risco (prescritiva), os quais totalizaram vinte e seis (26) papers. Os autores desses textos realizam relevantes abordagens sobre a dinâmica nos sistemas sócio técnicos. Essa segunda etapa da seleção está resumida no Quadro 2.

Base Pesquisada	Autor (es)	Título do texto
CRCNetBase	Mr. Miltos et al	<i>A Human Performance Operational Railway Index to Estimate Operators' Error Probability.</i>
CRCNetBase	G. Desmorat, et al	<i>Accidents in the gas distribution industry: Some consequences of the introduction of new analysis criteria.</i>
CRCNetBase	R. Sundaramurthi & C. Smidts	<i>Development of a simulator independent cognitive human reliability model for nuclear accident conditions.</i>
CRCNetBase	Nora Balfe & M. Chiara Leva	<i>Human Factors analysis in Risk assessment: A Survey of Methods and Tools used in Industry</i>
SCOPUS	F. Castiglia, et al	<i>Fuzzy Fault Tree analysis in modern γ-ray industrial irradiator: use of fuzzy version of HEART and CREAM techniques for human error evaluation.</i>
SCOPUS	Tim Bedford et al	<i>Screening, sensitivity, and uncertainty for the CREAM method of Human Reliability Analysis.</i>
Science Direct	Konstandinidoua et al	<i>A fuzzy modeling application of CREAM methodology for human reliability analysis.</i>
Science Direct	Xuhong He, et al	<i>A simplified CREAM prospective quantification process and its application.</i>
Science Direct	A.Monferini et al	<i>A compound methodology to assess the impact of human and organizational factors impact on the risk level of hazardous industrial plants</i>
Science Direct	S.M. Asadzadeh, A. Azadeh	<i>An integrated systemic model for optimization of condition-based maintenance with human error</i>
Science Direct	Emre Akyuz, Metin Celik	<i>Application of CREAM human reliability model to cargo loading process of LPG tankers</i>
Science Direct	Ching-Min Cheng, Sheue-Ling Hwang	<i>Applications of integrated human error identification techniques on the chemical cylinder change task</i>
Science Direct	Doytchin E Doytchev, G Szwillus	<i>Combining task analysis and fault tree analysis for accident and incident analysis: A case study from Bulgaria</i>
Science Direct	Dong S Kim et al	<i>Development and evaluation of a computer-aided system for analyzing human error in railway operations</i>

Base Pesquisada	Autor (es)	Título do texto
Science Direct	Z.S,Zhengyi Li et al	<i>Estimating Human Error Probability using a modified CREAM</i>
Science Direct	Yushi Fujita, Erik Hollnagel	<i>Failures without errors: quantification of context in HRA</i>
Science Direct	Faisal Khan	<i>Human factors special issue</i>
Science Direct	S.B. El-Ladan, O. Turan	<i>Human reliability analysis -Taxonomy and praxes of human entropy boundary conditions for marine and offshore applications</i>
Science Direct	S.G. Kariuki, K. Lowe	<i>Integrating human factors into process hazard analysis</i>
Science Direct	Fabien Belmonte et al	<i>Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: An application to railway traffic supervision</i>
Science Direct	Jan Hovden, et al	<i>Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention?</i>
Science Direct	O. Strater, et al	<i>On the way to assess errors of commission</i>
Science Direct	Erik Hollnagel	<i>Reliability analysis and operator modelling</i>
Science Direct	Tetsu Moriyama, Hideo Ohtani	<i>Risk assessment tools incorporating human error probabilities in the Japanese small-sized stablishment</i>
Science Direct	Hans Pasman, William Rogers	<i>The bumpy road to better risk control: A Tour d'Horizon of new concepts and ideas</i>
Science Direct	M.T. Baysari et al	<i>Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia</i>

Quadro 2 - Documentos de análise - CREAM HRA

Fonte: O autor (2015).

Nos seis (6) documentos referenciados no Quadro 1 não houve evidência prática do uso do CREAM na forma retrospectiva. Entretanto, conforme exposto anteriormente, estes foram os documentos de maior relevância na pesquisa desta dissertação. Com o intuito de sintetizar os textos, os mesmos se encontram resumidos a seguir.

Human error analysis: Review of past accidents and implications for improving robustness of system design.

Os aspectos tecnológicos reais e contexto organizacional são de suma importância para a segurança e confiabilidade. Este estudo aborda este problema multidisciplinar pela classificação e revisão de dados de 200 acidentes graves de companhias de seguros e autoridades reguladoras no âmbito do CREAM. Em seguida, é dedicada uma atenção específica para discutir as implicações para melhorar a robustez de projeto de sistemas e abordar os fatores e tendências que poderiam conduzir à manifestação de erros.

O paper não aborda o CREAM diretamente na sua forma retrospectiva. O autor relaciona estatística com combinações nas taxionomias do método, resultando em análise que contrasta os valores isolados (relação apenas com pessoas – 1%) dos combinados (pessoas e tecnologia – 45,5%; tecnologia e organização – 80,5%).

Human Reliability Control – Cognitive Approach

O paper visa enfatizar a análise cognitiva diante dos fatores humanos. O CREAM retrospectivo é demonstrado em exemplo prático selecionado. O autor utilizou o mesmo exemplo descrito por Hollnagel (1998, pagina 195), ou seja, acidente ferroviário ocorrido em Nova Iorque, em 1995. A descrição do método é apresentada na sua forma resumida.

A conclusão apresentada cita a complexidade da metodologia como desvantagem, entretanto destaca também a utilidade diante da influência humana como parte do sistema.

Pouring CREAM into natural gas: The introduction of Common Performance Conditions into the safety management of gas networks

O paradigma de utilizar os fatores humanos e organizacionais surgiram numa tentativa de superar limitações e habilidades de considerar a variabilidade humana na complexidade de sistemas técnicos. As Condições de Desempenho Comuns (CDC ou

Common Performance Conditions – CPC) conduzem a estrutura do método CREAM e o paper aborda análise acidente, ocorrido na França, em 2008, em empresa de distribuição de gás.

O documento demonstra ainda a utilização de CDC adaptado à realidade da empresa em questão, com desenvolvimento de protótipo estruturado para análise, porém não detalha o método na sua forma retrospectiva na forma prática.

Questionnaire Survey for Adapting Common Performance Conditions to Marine Accidents

Neste documento os autores enfatizam a utilização dos CDC no método CREAM, entretanto ressaltam sua aplicabilidade direcionada à indústria nuclear, carecendo de ajustes para aplicação na área marítima. Exatamente esta proposta é desenvolvida, ou seja, uma adaptação dos CDC à realidade das ocorrências na navegação, principalmente as colisões, através de questionário específico.

Evaluation of a Software Implementation of the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)

Os autores do Instituto de Tecnologia de Illinois, nos Estados Unidos, divulgam software desenvolvido especificamente para otimizar a utilização do método CREAM no seu modo retrospectivo. O documento descreve exemplos de análises simples ou não extensas realizadas e ainda características práticas para uso do algoritmo. Este paper foi determinante para a melhor compreensão do software e a análise do estudo de caso desta dissertação.

What did you expect? CREAM analysis of hazardous incidents occurring on approach to rail signals

O método CREAM é utilizado para identificar sinais em incidentes ferroviários ocorridos nos últimos quatro meses, cento e quinze condutores foram consultados em duas ocasiões distintas. Dez entrevistas foram selecionadas e analisadas com o CREAM. O paper detalha a análise de evento real e conclui a relevância da ferramenta na área ferroviária.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES

A aprendizagem com eventos ocorridos deve servir para que possam ser reveladas as causas ou condições latentes a serem tratadas ou remediadas para a prevenção de futuras anomalias. Em termos de terminologia, investigação e análise de acidentes podem parecer similares, entretanto a investigação possui uma maior abrangência, pois pode englobar todas as informações da anomalia, desde o planejamento da tarefa, passando por coleta de dados e informações, análise dos mesmos e recomendações geradas para cada caso. A organização deve estar preparada, ainda, para monitorar a eficácia ou efeitos e a tempestividade das recomendações sugeridas. Já a análise de acidentes direciona esforços para que se entenda o que ocorreu, com base nas informações disponíveis. Esta última é, portanto, derivada ou parte do processo de investigação de acidentes. Nesse caso a coleta de dados é analisada indiretamente e, particularmente, se está sendo utilizada regularmente na organização, sua aplicação e as restrições nas recomendações (HOLLNAGEL; SPEZIALI, 2008).

As diretrizes de segurança de processo do Center for Chemical Process Safety (CCPS, 2014) elabora abordagem sobre o fato de que o grau de rigor em cada atividade de trabalho deve ser adaptado ao risco, considerando os recursos e a cultura existente. Assim, subentende-se que o rigor citado está intimamente relacionado a questão de análise do risco.

A gestão permeia pelo assunto e deve estabelecer etapas iniciais imprescindíveis, como a definição de uma política com diretrizes claras e a elaboração e atualização de procedimento adequado, o qual devera orientar as necessidades para uma investigação bem elaborada e, portanto, coerente.

O CCPS (2014) ratifica também a necessidade de manter registros e relatórios de incidentes (também conhecidos como quase acidentes, pois não ocasionam danos a pessoas, ao meio ambiente, patrimônio ou imagem da empresa), além de uma investigação consistente. A abordagem de anomalias sem afastamentos ou incidentes, que por natureza são evidentemente de menor gravidade, independente da esfera em que se enquadrem, possuem muitas vezes forte restrição quando cogitadas para implementação, o que sugere um paradigma a ser superado. Raras são as empresas que utilizam essa característica ou orientação de forma contínua e confiável. Essa característica é influenciada pela priorização da gravidade, ou seja, pragmatismo para acompanhar a rotina normalmente acelerada; pode

ainda ser simplesmente a falta de profissionais, em número e/ou capacitação técnica; ou por desconhecimento sobre o retorno que as análises podem oferecer, já que essas práticas possuem oportunidade de baixo custo para desvendar fraquezas no sistema (CCPS, 2014).

Atualmente existem diversas metodologias de investigação e análise de acidentes e a busca inicial é sempre sobre o porquê ocorreu a anomalia. O que se tem observado é que em muitos casos enfatizam demasiadamente essa busca, deixando pouca ou nenhuma atenção a outras partes do processo.

Apesar do comportamento rotulado de se aprender com o evento ser utilizado mundialmente, essa reação é contestada por Hollnagel (2009), quando ele aborda os princípios ETTO (Efficiency – Thoroughness Trade-Off). Aqui o autor define o porquê as variações nos desempenhos, humanos ou não, não devem ser tratadas como incorretas, afinal elas ocorrem a todo instante. Em complemento, ele destaca ainda outro princípio - “Voce só encontra o que você procura” (HOLLNAGEL, 2009, p. 85). Hollnagel (2009) sugere que passemos a observar e a estudar também como e porque as tarefas ou manobras que deram certo funcionaram, e não somente a reatividade de aprender com aquilo que deu errado.

Com relação ao aprendizado, é possível fazer uma analogia da condição de anomalia ocorrida e suas consequências, independente da gravidade destas, com o cenário atual de crise política que vive o Brasil. O sociólogo José Pastore, professor do Departamento de Economia e de Administração da PUC, em palestra no Congresso Nacional do Sistema Confederativo da Representação Sindical do Comércio (SICOMÉRCIO, 2015), cita:

a crise econômica é uma grande oportunidade para promover mudanças nas relações de trabalho e na legislação previdenciária. No entanto, essas mudanças não ocorrem sozinhas, pois dependem de todos os agentes envolvidos no processo. Nos dias atuais, trata-se de uma lição de casa que pede atenção e urgência (PASTORE, 2015).

A semelhança com o aprendizado, segundo a análise do sociólogo, é muito valiosa, até mesmo na esfera econômica. A crise, apesar da característica indesejável e involuntária, assim como ocorre nos acidentes, deve desencadear novos contextos e a quebra de paradigmas.

3.2 COMPLEXIDADE DOS SISTEMAS SÓCIO TÉCNICOS

De acordo com Pierlot, Dien e Llory (2007), a introdução do termo fatores organizacionais foi manifestado no início da década de 90, quando especialistas americanos analisavam a norma da US Nuclear Regulatory Commission (NUREG), codificada pelo

número 1150, sobre acidentes de grande escala ou severos. Em 1997 James Reason explicitou, em publicação, a noção de fatores organizacionais, utilizando inclusive metáforas medicas como “agentes patogênicos”, ao se referir a condições latentes, e “período de incubação”, para sistemas de defesa. Os fatores sócio técnicos patogênicos devem abranger processos e fenômenos em diversos níveis da organização. Pierlot, Dien e Llory (2007) defendem o fato de que os fatores patogênicos são visíveis, mas não detectáveis pela organização – como se fosse em estado de incubação.

Por décadas os avanços tecnológicos e inovações têm conduzido à criação de novos sistemas homem-máquina. Isso é motivado pela busca de condições mais seguras, de confiabilidade e eficiência. Essa promoção tecnológica tem expandido a disponibilidade de opções dos sistemas, desde a concepção dos projetos à implementação dos mesmos, onde é possível se perceber maior integração, interdependência e complexidade entre homem, tecnologia e a organização. Grandes acidentes, como por exemplo, Three Mile Island, podem surpreender a alta hierarquia e operadores do sistema ou da organização (TURNER, 1978; WOODS, 1990 apud ROSNESS et al., 2010, p. 47). Charles Perrow (1999) sustenta que alguns sistemas possuem propriedades estruturais que tornam inevitáveis, na prática, acidentes desta magnitude. Perrow (1999) sugere que acidentes maiores ou relevantes são diferentes de eventos menores, os quais são tipicamente oriundos de falhas de um ou dois componentes em um sistema. Esses casos não possuem interação entre si e são reconhecidos pela linearidade. Em contrapartida, os eventos relevantes ou complexos guardam entre si interações não previstas entre as falhas ativas e latentes. Aqui reside importante parcela do problema – possibilidade de inúmeras combinações das falhas. Outro agravante nesta questão é o fato de alguns sistemas possuírem características ou propriedades que dificultem ou impossibilitem conhecer a interação entre as possíveis falhas.

Os sistemas complexos são caracterizados pela elevada interação e consequentes combinações dinâmicas entre os eventos. Nesses sistemas o controle se torna problemático, mas não somente devido aos numerosos componentes existentes, mas sim porque as interações podem não ser lineares. Estas são classificadas assim quando conduzem a sequência de eventos inesperados. Uma simples alteração em um componente pode evoluir – uma resposta positiva do sistema (ou sua autocorreção) pode ser suprimida, ou até agravada – para interações não esperadas. Assim, as interações complexas possuem difícil condição de diagnóstico e devido a tais circunstâncias podem estar ocultas às respostas das barreiras de projeto, sob o conceito de que deveriam manter o sistema estável e sob condição normal de operação.

Conforme Freitas e Porto (1997), mesmo uma interação completamente direta e linear pode se tornar não linear, através da heterogeneidade do sistema, o que os autores denominaram de “reversão circular”. A característica complexa dos sistemas sócio técnicos atribui inúmeras interações, lineares e não lineares, e termina por influenciar a filosofia de projetos, demandando mais controles, malhas, redundâncias e outros. A consequência é uma maior possibilidade da ocorrência de reversibilidade circular, algumas, por vezes, não familiares aos operadores (FREITAS; PORTO, 1997).

3.3 AÇÕES HUMANAS NÃO SEGURAS

A todo instante ocorrem tomadas de decisões, principalmente no âmbito profissional, o qual é foco de estudo nesta dissertação. A produção industrial, nos seus momentos de proeminência, requisita definições estratégicas a todo o tempo. Neste exato momento há pessoas decidindo minuciosas etapas, processos e detalhes, sempre buscando maximizar os valores esperados e que apresentem preferências consistentes ao longo do tempo. Isso significa que as decisões e preferências devem seguir uma lógica baseada em probabilidades estatísticas e devem se manter “coerentes” ao longo do tempo. Somente é possível saber se determinada escolha individual é a mais valorizada — ou seja, a mais urgente e “racional” — no momento em que ela está sendo executada (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIERES, 2009).

Em analogia ao exposto, a Ciência Econômica, ao contrário do que pregam os economistas positivistas, não pode ser enquadrada em modelos estáticos, baseados em probabilidades de classe ou frequências estatísticas, pois ela pressupõe o estudo da lógica da ação humana, que é única, proposital e se ajusta às condições do ambiente.

Daniellou, Simard e Boissieres (2009) descrevem a ação humana como dinâmica, subjetiva, envolvendo mudança, incerteza, tentativa e erro. Ela sempre objetiva um fim, uma situação mais confortável e um futuro desejado, que pode ou não ser atingido. A ação empreendida ocorre em determinado momento e rapidamente se torna passado. Ela se confunde com a percepção da passagem do tempo, com a verificação do sucesso da ação empreendida.

E sobre as tomadas de decisões citadas anteriormente? Como descrever sobre o comportamento humano nesse instante? Fazemos escolhas porque somos capazes de perceber previamente relações de causa e efeito entre determinado meio de ação e o fim objetivado.

Entretanto a incógnita permanece, pois é nesse ambiente incerto, envolto por eventos singulares, que o indivíduo busca agir propositalmente para sair de uma situação de desconforto, por vezes desafiadora, descobrindo novas relações de causa e efeito e ajustando suas ações às condições do ambiente que se alteram. Exatamente isso, os ajustes são uma premissa, um axioma, ocorrem a toda hora e são inevitáveis. O ser humano não é cem por cento (100%) racional, uma vez que as emoções, desejos e outros coexistem no ambiente decisório.

O conceito de “erro humano” nunca deve carrear a conotação punitiva ou de culpa, mas a tradução de uma condição não objetivada, a qual foi influenciada e provocada pelo contexto. Ela também introduz uma noção moral ou jurídica, que geralmente oculta ou dificulta a compreensão do que se passou e pouco contribui para a prevenção (DANIELLOU; SIMARD; BOISSIERES, 2009). Diante desta circunstância, a denominação técnica ao termo “erro humano” passa a ser referenciada como **ação humana não segura**.

Llory (2001) defende a análise das condições latentes nos acidentes sócio técnicos. De forma similar, Sharit (2006 apud NAVARRO, 2011) propõem uma estrutura que ilustra o encadeamento e interligações de condições para ocorrência de ações humanas não seguras diante do contexto e da falibilidade humana, ou seja, a sua possibilidade de vir a cometer uma ação não segura. A figura 2 foi adaptada na sua forma gráfica e apresenta a referida estrutura.

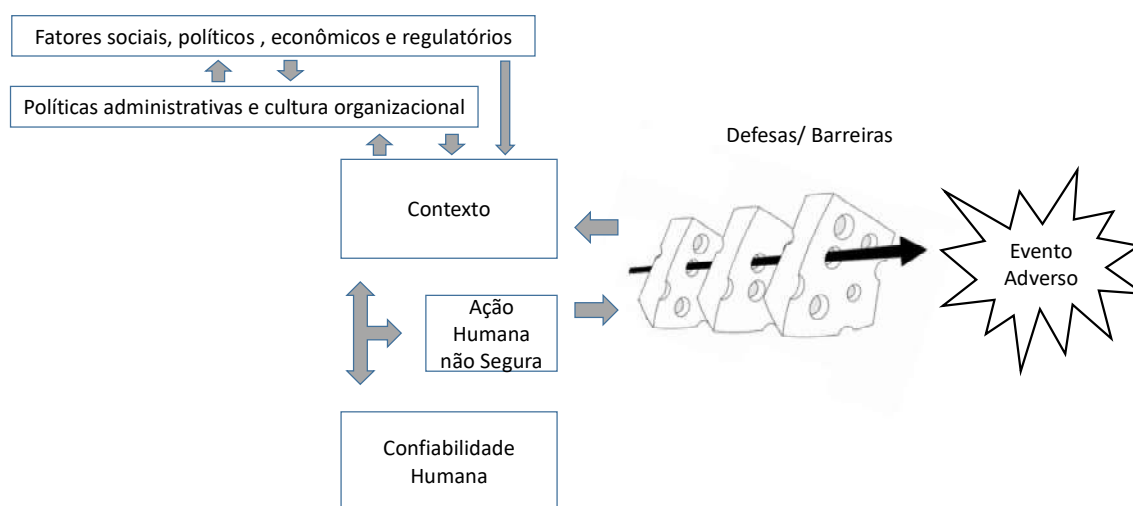


Figura 2 - Estrutura para compreensão das ações humanas não seguras
Fonte: Sharit (2006). Adaptado pelo autor.

Sharit (2006), detalha, no Quadro 3, alguns exemplos de contexto, confiabilidade humana e defesas, conforme citado na figura 2 acima. Os exemplos a seguir são expostos com relações possíveis e diretas entre todos das três partes.

CONTEXTO	CONFIABILIDADE HUMANA	DEFESAS
Restrições Temporais	Limitações sensoriais	Avisos e alarmes
Treinamento	Confusões de percepção	Barreiras físicas
Comunicação	Heurísticas e vieses	Procedimentos
Interrupções/distrações	Percepção e atitude perante	Lembretes
Apresentação e acesso de	riscos	Bloqueios de hardware e
informações	Organização de memória de	software
Frequência de eventos	longo prazo	Redundâncias
Eventos novos e não	Variabilidade psicomotora	Sensores e desligamento
antecipados	Restrições a memória de curto	automático
Carga de trabalho	prazo	Autodeteção e correção
Cultura do grupo	Expertise	
Procedimentos	Atenção e concentração	
Novas tarefas/tecnologias	Fadiga e sono	
Condições ambientais	Traços afetivos e personalidade	
	Limitações físicas	

Quadro 3 - Exemplos de Sharit

Fonte: Sharit (2006). Adaptado pelo autor.

Reason (1990) classifica as ações humanas não seguras em ações intencionais e ações não intencionais. As ações não intencionais são classificadas como deslizos, lapso e engano. A violação é exclusivamente deliberada, ou seja, é baseada em decisão consciente.

Deslizos e lapso, segundo Reason (1990), são ações humanas não seguras que resultam de falhas na execução, independentemente se o plano era adequado ou não. Deslizos são potencialmente observáveis, como a execução incorreta de uma ação, ou seja, realizar algo diferentemente do que se esperava, enquanto lapsos representariam falhas relacionadas a formas ocultas, sem necessariamente se manifestar no comportamento normal, isto é, somente se torna aparente no momento do ato – muito comum o exemplo de falhar na execução de uma ação por simples esquecimento.

De acordo com Reason (1990), enganos podem ser definidos como deficiências ou falhas no julgamento e/ou pertinência de planejamento. Como todo planejamento visa um objetivo estabelecido, esse engano inviabiliza o resultado desejado, independentemente se as ações estavam em acordo com o planejado. Reason (1990) argumenta que os enganos são mais críticos e perigosos, sendo mais difícil as suas detecções e os associa a falhas de experiência (quando um plano não é seguido ou a solução de um problema é aplicada de forma inadequada) e à falta de experiência (não possuir a rotina amadurecida ou adequada), correspondendo a uma similaridade ao descrito por Rasmussen (1983) – desempenho baseado em regras e no conhecimento. O acidente com o AAF 447 da Air France, em 2009, se encaixa

neste conceito, pois quando a situação saiu da familiaridade a equipe ficou exposta a condições cognitivas inesperadas, sem proceder da forma esperada.

As violações são desvios realizados em práticas operacionais, em procedimentos, padrões ou normas. A classificação das ações não seguras é demonstrada na figura 3 a seguir.

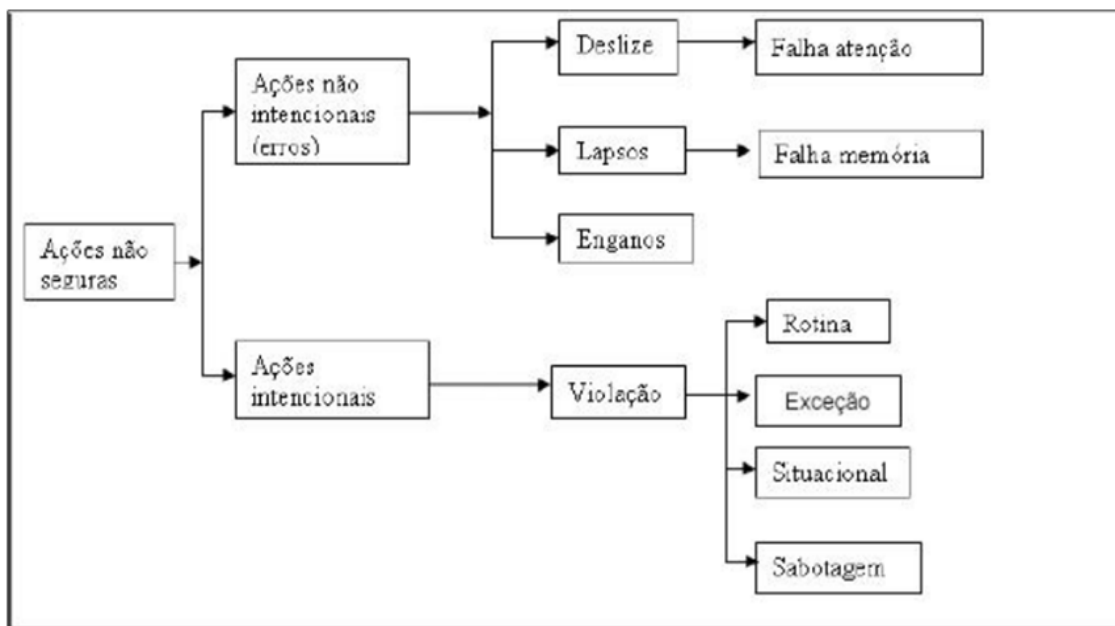


Figura 3 - Classificação das ações humanas não seguras
Fonte: Santos (2014).

A confiabilidade humana se dedica a analisar as ações não intencionais (parte superior da figura 3), procurando decifrar os fatores humanos envolvidos e possivelmente comprometidos.

Segundo Swain e Guttman (1983), as ações humanas não seguras são classificadas como:

- a) erro de omissão: ausência total ou parcial de uma tarefa;
- b) erro de comissão: caracterizado pelo desempenho incorreto de uma tarefa ou de uma ação. Os erros de comissão podem ser classificados como erros de sequência, ou seja, de realização das tarefas, erros na seleção do controle, erros no tempo da realização da ação e da qualidade na realização.

Rasmussen (1983) distingue as categorias de desempenho humano elegendo três níveis de desempenho: *skill* (habilidade), *rule* (regra) e *knowledge* (conhecimento). O homem poderia então operar um sistema em um dos três níveis, dependendo da natureza da tarefa e de sua experiência.

Rasmussen (1983) cita que o comportamento humano é teleológico por natureza, ou seja, é passível de especulações ou ajustes no decurso de uma ação ou atividade em vista de uma finalidade.

O comportamento baseado na habilidade é representado por desempenho sensorial motor, desprovido de atenção ou controle consciente, de forma intencional. As possíveis correções de controle (*feedback*) são ocasionais e os sentidos são direcionados aos aspectos do ambiente subconscientemente necessários de ajustes em seu mapa mental. Na prática é possível associar, por exemplo, com as tarefas de cunho repetitivo.

O nível seguinte, desempenho baseado em regras, se segue o prescrito, seja por procedimento ou por orientação pessoal, como em uma receita culinária. Nesta forma de controle a seleção e utilização da regra consideram a experiência similar adquirida.

O terceiro e último nível de desempenho, comportamento baseado no conhecimento, é o mais complexo e é apropriado para situações não familiares, onde o “como fazer” e as regras não estão disponíveis. Aqui o objetivo é avaliado com base nas condições locais e intenções da pessoa (RASMUSSEN, 1983). É possível de ocorrer também diante de limitações de recursos disponíveis.

3.4 CONFIABILIDADE HUMANA

Hollnagel (1998) considera a confiabilidade humana como um campo multidisciplinar, no qual permeiam as áreas da ergonomia cognitiva, psicologia e da confiabilidade e análise de sistemas.

A confiabilidade humana pode ser considerada o oposto da ação humana não segura, ou seja, ela é a probabilidade de sucesso no desenvolvimento de uma atividade. Uma das principais justificativas para o uso da HRA é a identificação de pontos frágeis na conexão entre homem e sistema, para que medidas de controle apropriadas possam ser tomadas (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2009). O conceito da influência humana nos acidentes tem mostrado que as ações humanas não seguras são organizadas socialmente e produzidas sistematicamente. A metodologia CREAM integra a lista de dezessete (17) relevantes ferramentas de HRA de um total de trinta e cinco (35) existentes, conforme Health and Safety Executive (2009). Os modelos utilizados podem ser relacionados à tarefa, sendo agrupados pelas ações, ao tempo ou ao contexto em si.

Kirwan (2005 apud BALFE; LEVA, 2014) cita a possibilidade de se analisar e priorizar no contexto os mecanismos de ações humanas não seguras, permitindo aos especialistas a identificação de áreas críticas. Ratificam a dificuldade de identificar onde uma ação humana não segura pode ocorrer sem o conhecimento das tarefas e atividades do sistema, assim como Taylor (2012 apud BALFE; LEVA, 2014), e que os fatores humanos necessitam de maior consideração nas análises de riscos e no gerenciamento da segurança industrial.

Castiglia, Giardina e Caravello (2008) descrevem que a limitação de dados quantitativos de confiabilidade humana nos estudos de análise de risco agrega incertezas e que a metodologia CREAM pode ser utilizada na redução ou melhoria do desempenho humano no contexto.

Hollnagel, Rasmussen e Swain e Guttman se destacaram na vanguarda de modelos de comportamento humano. A Técnica de Taxa de Predição para Falhas Humanas (Technique for Human Error Rate Prediction – THERP) integra os modelos de confiabilidade humana, sendo reconhecida na probabilidade das taxas de ações humanas não seguras. O modelo considera que as falhas estão diretamente relacionadas aos PSFs, os quais relacionam os fatores que influenciam o desempenho humano. Swain e Guttman (1983) categorizaram os PSF em três (3) classes (quadro 4).

PSF Externas		PSF Relativas ao estresse	PSF Internas
Características situacionais	Características da tarefa e equipamentos	Psicológicas	Características da pessoa devido às influências externas e internas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatores arquitetônicos ▪ Qualidade do meio ambiente (iluminação, barulho, limpeza, umidade, temperatura, etc) ▪ Horas de trabalho e intervalos ▪ Rotatividade ▪ Disponibilidade de ferramentas necessárias ▪ Estrutura organizacional ▪ Atitude de supervisores, sindicatos, agencias reguladoras ▪ Prêmios, reconhecimento, benefícios 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Percepção requerida ▪ Exigência do equipamento ▪ Relação entre controles de mostradores ▪ Interpretações ▪ Complexidade ▪ Frequência e repetitividade ▪ Memória de longo ou curto prazo ▪ Cálculos requeridos ▪ Feedback ▪ Dinâmica x atividade passo a passo ▪ Equipe e comunicação ▪ Interface homem-máquina 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Duração do estresse ▪ Velocidade da tarefa ▪ Quantidade de trabalho ▪ Riscos ▪ Tratamento (a falha, demissão) ▪ Trabalho monótono ▪ Longos períodos sem ação ▪ Conflitos a respeito dos motivos da obtenção do melhor resultado ▪ Distrações ▪ Falta de avisos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Experiência e treinamento ▪ Estado atual desta prática ▪ Variáveis de personalidade e inteligência ▪ Motivação e atitude ▪ Estado emocional ▪ Estresse (mental ou físico) ▪ Conhecimento do rendimento exigido ▪ Diferenças de sexo; ▪ Condição física; ▪ Atitudes baseadas na influência de grupos familiares ou outras pessoas; ▪ Identificação com a equipe.
<p>Instruções de trabalho e tarefas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Procedimentos requeridos ▪ Comunicação oral ou escrita ▪ Avisos de perigo ▪ Método de trabalho ▪ Política de trabalho 		<p>Fisiológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Duração dos níveis de estresse ▪ Fadiga ▪ Dor e desconforto ▪ Fome e sede ▪ Temperaturas extremas ▪ Radiação ▪ Pressão atmosférica ▪ Insuficiência de oxigênio ▪ Vibração ▪ Movimentos restritos ▪ Falta de exercícios físicos 	

Quadro 4 - Classificação dos PSF
Fonte: Barbarini (2012).

Hollnagel (1998) afirma que no estudo do comportamento humano, tudo o que fazemos é influenciável, mas não completamente determinado pelas condições locais de momento. Sendo assim, ele considera os PSFs como fator contribuinte e não como fator causal determinante. Diferentemente de Swain e Guttman (1983), Hollnagel (1988) propõe utilizar as Condições de Desempenho Comuns - Common Performance Conditions (CPC), permitindo conectar as condições com o desempenho, conforme a utilização da ferramenta CREAM. Segundo Hollnagel (1998) existe uma clara sobreposição entre CPC e PSFs, entretanto a diferença relevante está na forma de como são utilizados. CPCs são aplicados em estágio antecipado da análise, visando caracterizar o contexto para a tarefa como um todo, e não apenas um simples ajuste de valores probabilísticos de eventos individuais. Isso, segundo Hollnagel (1998), torna os CPCs mais apropriados para a análise de tarefas.

Konstandinidou et al. (2006) comenta a diversidade de fatores, não omitindo os organizacionais, e parâmetros que influenciam a confiabilidade humana. Os CPCs devem atuar em estágio da análise para caracterizar o contexto para a tarefa.

Os quadros 5 e 6 demonstram os CPCs de forma mais detalhada e suas relações influenciáveis, respectivamente.

CPC	Descrição	Confiabilidade Operacional
Adequação da organização	Muito eficiente	Melhora
	Eficiente	Não significativa
	Ineficiente	Reduz
	Deficiente	Reduz
Condições de trabalho	Vantajosa	Melhora
	Compatível	Não significativa
	Não compatível	Reduz
Adequação de interfaces e suporte operacional	Favorece	Melhora
	Adequada	Não significativa
	Tolerável	Não significativa
	Não apropriada	Reduz
Disponibilidade de procedimentos / planos	Apropriada	Melhora
	Aceitável	Não significativa
	Não apropriada	Reduz
Número de objetivos simultâneos	Menor que a capacidade	Não significativa
	De acordo com a capacidade	Não significativa
	Maior que a capacidade	Reduz
Tempo disponível	Adequado	Melhora
	Temporariamente inadequado	Não significativa
	Continuamente inadequado	Reduz
Ritmo circadiano (dia/noite)	Ajustado	Não significativa
	Não ajustado	Reduz
Adequação de treinamento e experiência	Adequado, alta experiência	Melhora
	Adequado, limitada experiência	Não significativa
	Inadequado	Reduz
Qualidade de cooperação da equipe	Muito eficiente	Melhora
	Eficiente	Não significativa
	Ineficiente	Não significativa
	Deficiente	Reduz

Quadro 5 - CPCs

Fonte: Santos (2015). Adaptado pelo autor.

Ainda no quadro 5, a descrição de dois adjetivos utilizados é curiosa diante da semelhança fonética: ineficiente e deficiente. Ineficiente, segundo o Dicionário Michaelis (2016), é o que não possui eficiência, mas pode também ser compreendido como falta de habilidade ou não efetivo. O deficiente é definido como falho, imperfeito, incompleto ou que apresenta alguma deficiência (MICHAELIS, 2016).

O Quadro 6 demonstra como se relacionam internamente os CPCs, demonstrando que é possível agregar melhores condições (sinal positivo) ou não (sinal negativo).

	Adequação da organização	Condições de trabalho	Adequação de interfaces e suporte operacional	Disponibilidade de procedimentos / planos	Número de objetivos simultâneos	Tempo disponível	Ritmo circadiano (dia/noite)	Adequação de treinamento e experiência	Qualidade de cooperação da equipe
Adequação da organização									
Condições de trabalho	+		+			+	+	+	
Adequação de interfaces e suporte operacional	+								
Disponibilidade de procedimentos / planos	+								
Número de objetivos simultâneos		-	-	-					
Tempo disponível		+	+	+	-		+		+
Ritmo circadiano (dia/noite)									
Adequação de treinamento e experiência	+								
Qualidade de cooperação da equipe	+							+	

Quadro 6 - Dependências entre CPCs

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

Ao citar o estado da arte da confiabilidade humana, Kariuki (2007) informa que apesar das diversas metodologias, elas não conseguem identificar certos tipos de ações humanas não seguras, mantendo ainda o foco nos resultados das ações, e complementa que as questões organizacionais, gerenciais e de cultura de segurança não possuem perfeita adequação na confiabilidade humana.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA MÉTODOLÓGICA

Uma relevante fase da pesquisa é a escolha do tema ou assunto a ser pesquisado. O tema da presente dissertação foi influenciado por fatores citados por Marconi e Lakatos (2003), dentre eles:

- relacionar o assunto com inclinações e aptidão do autor para elaborar um trabalho científico – um questionamento me persegue desde minha graduação em engenharia civil – o porquê e como ocorrem as diversas anomalias nas rotinas laborais diárias, independente das diversas categorias e gravidades;
- identificar um objeto (no caso a metodologia centrada nos fatores sócio técnicos) que mereça ser investigado cientificamente e que tenha condições de ser formulado e delimitado em função da pesquisa – a metodologia CREAM, apesar de referências práticas pouco numerosas, foi selecionada diante do delineamento da pesquisa e dos fatores motivação pessoal e exequibilidade desafiadora do assunto.

Antes de caracterizar a pesquisa metodológica é relevante registrar que a comunicação utilizada nesta dissertação utilizou dois tipos distintos, conforme citado por Gravey (1979 apud SILVA; MENEZES, 2005):

- informal, a qual representa o esforço e busca por dados para a pesquisa não visíveis aos interessados. Pode ser representada por interações não públicas, como conversas, reuniões, contatos pessoais, mensagens eletrônicas e outros.
- formal, antagônica ao modelo anterior e, portanto, caracterizada como pública e/ou oficial, ou seja, referente aos sistemas comunicativos divulgados e distribuídos a uma comunidade, com suporte digital ou físico, como periódicos, livros, dissertações, etc.

A comunicação deve ser compreendida como um dos canais da pesquisa metodológica, já que busca consistência nas informações e disseminação do conhecimento.

Marconi e Lakatos (2003) definem que uma metodologia engloba métodos de abordagem e de procedimento e técnicas para análise de determinada teoria.

Gil (apud SILVA; MENEZES, 2005, p. 26) define pesquisa como “o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

Gil (2008) defende que o marco teórico conceitual da pesquisa deve considerar a formulação do problema, a construção da (s) hipótese (s) e a identificação das relações entre as variáveis. Para isso, complementa o autor, é preciso uma definição sensata do delineamento da pesquisa, ou seja, um planejamento amplificado e que considere dimensões específicas, desde a diagramação, passando pela coleta, análise e interpretação de dados e o controle das variáveis envolvidas.

Os diversos métodos existentes nas referências teóricas classificam a pesquisa sob diversos, e por vezes distintos, aspectos ou pontos de vista.

De forma pragmática e alinhando as citações de Silva e Menezes (2005) e Gil (2005) com o delineamento da pesquisa, o diagrama a seguir demonstra, nos termos em destaque, a caracterização da metodologia utilizada nesta dissertação.

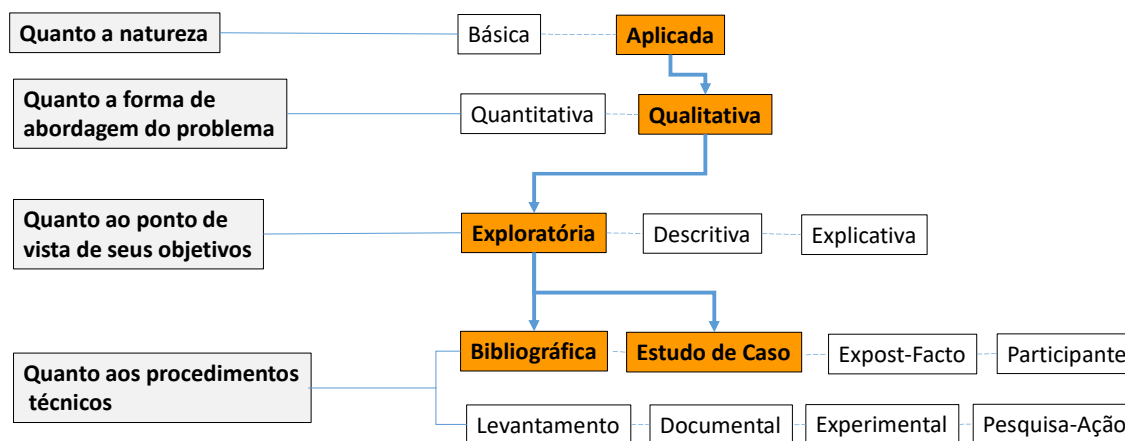


Figura 4 - Metodologias utilizadas
Fonte: Adaptado de Gutierrez (2010 apud CASTRO, 2014).

Silva e Menezes (2005) classificam a pesquisa conforme a sua natureza, podendo ser básica ou aplicada. A pesquisa utilizada foi do tipo aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e que sejam dirigidos à solução de problemas específicos. A pesquisa básica foca em novos conhecimentos de interesses mundiais, o que não se enquadrava nesta dissertação.

Ainda conforme Silva e Menezes (2005), na forma de abordagem a pesquisa qualitativa é descritiva e considera haver uma relação dinâmica entre o mundo real e o

pesquisador, ou seja, a subjetividade deste e o mundo objetivo formam um vínculo indissociável.

Quanto ao ponto de vista de seus objetivos ela é exploratória, estando de acordo com a descrição de Silva e Menezes (2005) e Gil (2008), na qual se busca maior familiaridade com o problema, com fins de torna-lo explícito ou elaborar hipóteses. Para tal utiliza-se de levantamento bibliográfico e, por exemplo, análise de exemplos que estimulem a compreensão.

A classificação das pesquisas sob o ponto de vista de procedimentos técnicos selecionou dois tipos, conforme citado por Gil (2008), sendo composta da seguinte forma:

- Pesquisa Bibliográfica: é elaborada a partir de material já publicado, como livros, artigos de periódicos, inclusive mídias eletrônicas da Internet. Conforme Marconi e Lakatos (2003), ela não deve ser encarada como uma simples repetição daquilo que já foi escrito ou abordado sob determinado assunto, e sim para proporcionar uma análise sob novo enfoque, podendo trazer novas conclusões.
- Estudo de caso: envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. O acidente industrial selecionado busca exatamente essa melhor abordagem às metodologias investigativas.

A metodologia a ser adotada depende de fatores inerentes ao pesquisador, como a natureza do objeto e abrangência a pesquisar, os recursos disponíveis e da inspiração filosófica do pesquisador (GIL, 2008). Enfim, os fatores determinantes considerados pelo autor e seu orientador direcionaram o delineamento desta dissertação.

5 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS ANÁLISE CAUSA RAIZ (RCA) E MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHA E CONFIABILIDADE COGNITIVA (CREAM)

5.1 MÉTODO ANÁLISE CAUSA RAIZ (ROOT CAUSE ANALYSIS – RCA)

Análise de Causa Raiz ou Root Cause Analysis (RCA) integra o grupo de metodologias utilizadas por Heuvel et al. (2008) na investigação de anomalias em diversas áreas de atividade e cenários, dentre eles acidentes com lesões a pessoas, incluindo os fatais, vazamentos de produtos, problemas relacionados aos temas de confiabilidade, qualidade e até financeiro.

Heuvel et al. (2008) definem causas raízes como deficiências nos sistemas de gerenciamento que permitem que os fatores causais ou contribuintes ocorram ou existam. A busca pelas causas raízes proporciona sempre debates e discussões. Rooney e Heuvel (2004) enumeram 4 características na definição das causas raízes:

- são causas latentes específicas;
- podem ser normalmente identificadas;
- devem possuir controle ou influência gerencial;
- as recomendações efetivas apontadas devem prevenir novas ocorrências.

RCA é uma metodologia que relaciona e sugere o uso de três ferramentas investigativas: Linha do Tempo (Timeline), Árvore de Causa e Efeito (Cause and Effect Tree Analysis) e Diagrama de Fator Causal (Causal Factor Chart). Segundo Rothblum et al. (2002), o método foi originalmente desenvolvido pelo Comitê Nacional de Segurança de Transportes dos Estados Unidos (National Transportation Safety Board - NTSB).

Evoluindo nas considerações sobre o RCA, Rooney e Heuvel (2004) elencam os quatro (4) passos necessários para a ferramenta:

1. coleta de dados – a definição dos fatores contribuintes e causas raízes dependem de informação completa e boa compreensão do fato ocorrido. Vale ressaltar que Rooney e Heuvel (2004) definem os fatores causais ou contribuintes (ações humanas não seguras e falhas de componentes) como aqueles que, caso fossem eliminados, poderiam ter evitado ou mitigado o evento;
2. elaborar o Diagrama de Fator Causal – o diagrama deve fornecer uma estrutura que subsidiará o investigador na organização e análise das informações coletadas, além de

identificar as deficiências e falhas no decorrer da investigação. O diagrama sequencial elaborado realiza testes lógicos que descrevem o evento e seu contexto, podendo a estrutura ser atualizada sempre que surgirem relevantes fatos;

3. identificar as causas raízes – após relacionar as causas raízes, Heuvel et al. (2008) sugerem a utilização da ferramenta Mapa de Causa Raiz (Root Cause Map). Sua aplicação é complementar, auxiliando na identificação da (s) razão (ões) ou porquê (s) para cada fator causal e relacionando causas organizacionais específicas;
4. elaboração das recomendações e implementação – as recomendações devem ser tangíveis e a implementação é imprescindível para se evitar recorrências. A Organização deve ser responsável pelo plano de ação das recomendações.

Conforme será detalhado adiante, o Diagrama de Fator Causal (Causal Factor Chart) permite evoluir a um nível investigativo satisfatório para a identificação de causas raízes. Aliado a isso, as experiências profissionais investigativas demonstraram que, quando utilizada, a ferramenta elevava o nível de detalhamento, abordando fatores sócio técnicos e oferecendo opções distintas para possíveis causas, o que não se observava nas demais metodologias utilizadas até então. Era possível concluir que o Diagrama de Fator Causal agregava tecnicamente, auxiliando a equacionar melhor a lógica e compreensão da anomalia.

Diante das características referenciadas, esta metodologia (Diagrama de Fator Causal) foi selecionada para análise comparativa ao método CREAM.

Heuvel et al. (2008) dispõem de dados comparativos entre as técnicas do RCA. Além das referências com tipos de anomalia e problema relacionados, o quadro 7 cita, de forma sumarizada, as vantagens e desvantagens de cada método.

Aplicabilidade das Técnicas de Análise			
	Árvore de Causa e Efeito	Linha do Tempo	Mapa de Fatores Causais
Incidentes Agudos	Bom	Bom	Bom
Incidentes Crônicos	Bom	apenas para incidentes típicos	apenas para incidentes típicos
Problemas em hardware e software	Melhor	Aceitável	Bom
Problemas envolvendo pessoas	Aceitável	Bom	Melhor
Incidente onde o tempo é importante	Não é útil	Bom	Melhor
Incidentes típicos	Confiabilidade, qualidade	saúde, segurança, meio ambiente, confiabilidade, qualidade e segurança patrimonial	saúde, segurança, meio ambiente e segurança patrimonial
Vantagens	Pode auxiliar a identificar múltiplos eventos para ocorrência de uma falha. Pode também mostrar erros operacionais e de projeto. Indicado para problemas no desempenho de máquinas e equipamentos	Estabelece a relação de tempo entre os eventos Ajuda a identificar lacunas na investigação relacionadas a ações ou condições associadas a atores, equipamentos e parâmetros envolvidos no acidente	Considera o tempo dos eventos e a lógica de causa e efeito (é uma combinação dos métodos). Utilizado para explicar a sequência dos eventos A lógica da árvore explica as causas desconhecidas.
Desvantagens	Não mostra o tempo dos eventos	Não incorpora a lógica da árvore de causa e efeito	Mais trabalhoso e leva mais tempo para montagem do mapa
Resumo	Árvore lógica detalhada	Linha do tempo simples	Linha do tempo melhorada

Quadro 7 - Aplicabilidade das metodologias
 Fonte: Root... (2012).

A metodologia RCA associa o funcionamento operacional de uma forma similar ao proposto por Hollnagel e demais estudiosos de HRA. A sutileza diferencial se encontra inicialmente na caracterização do tripé, onde Hollnagel o considera como homem-máquina-organização e Heuvel et al. (2008) consideram que a organização ou sistema simboliza o tripé, sendo composto pelo homem-máquina-sistema de gestão (figura 5). Cabe ressaltar que as interferências (FADs, fatores externos e suas interfaces com o sistema) são também consideradas por Heuvel et al. (2008).

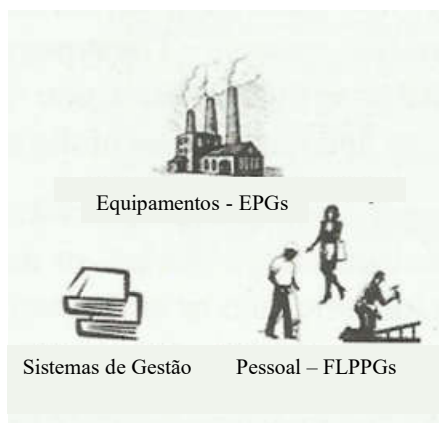


Figura 5 - Sistema Organizacional RCA
 Fonte: Heuvel et al. (2008). Adaptado pelo autor.

Como ponto de partida, a estratégia da metodologia busca identificar os “gaps” associados a equipamentos (denominados Equipment Performance Gaps – EPG) e às pessoas (Front Line Personnel Performance Gaps – FLPPGs). Heuvel et al. (2008) utilizam o termo “gap” como a diferença entre o desempenho desejado e o atual (falha).

No desenvolvimento da técnica as causas latentes do sistema de gestão, de EPG e FLPPGs devem ser identificadas, representando as causas raízes da organização.

Algumas definições utilizadas por Heuvel et al. (2008) são relevantes no objetivo desta dissertação:

Perdas (Loss Event) – podem ser eventos ou condições que descrevem a ocorrência do dano. Definem o escopo da análise, dependendo da abordagem realizada e por isso devem ser definidas de forma criteriosa. Como exemplo os autores citam que considerar como *loss event* “vazamento de 100 galões de acetona” vai conduzir a atenção exclusiva ao vazamento, porém se o termo selecionado for “x empregados hospitalizados após exposição aos vapores de acetona” o foco será o vazamento e danos aos empregados.

Fator Causal (Causal Factor - CF) – são EPGs e/ou FLPPGs que causaram a anomalia, permitiram a sua ocorrência ou permitiram que as consequências fossem agravadas. Rooney e Heuvel (2004) afirmam que o CF é caracterizado como aquele fator contribuinte que, caso fosse eliminado, a anomalia teria sido evitada ou teria sua severidade reduzida.

Causas Raiz (Root Causes) – são deficiências no sistema de gestão que permitiram a ocorrência do fator causal (CF). Integram exemplos os “gaps” associados a setores gerenciais, de suporte (engenharia, recursos humanos, compras, contratação, estoque, etc.) e outros não

aplicáveis à execução prática do chão de fábrica (FLPPG). Além disso, devem possuir controles gerenciais.

Equipment Performance Gaps (EPG) – desempenho de equipamentos (funcionamento) distinto do desempenho desejado. A definição não se refere ao desempenho conforme sua concepção, mas à falha no desempenho desejado, ou seja, é possível ainda existir um EPG mesmo com o equipamento atuando conforme projetado, caso o projeto esteja incorreto.

Front Line Personnel Performance Gaps (FLPPGs) – de forma similar ao acima, é o desempenho (aqui no caso, humano) aquém do esperado. A definição não se refere ao desempenho orientado ou direcionado, mas ao desejado. Por exemplo, o empregado pode seguir fielmente um procedimento e ainda assim ocorrer um FLPPG, pois o empregado não atuou conforme desejado (procedimento especifica método ou forma incorreta para a tarefa). Heuvel et al. (2008) consideram como “front line personnel” as atividades práticas como de operação, manutenção (mecânico, eletricista), técnicas, etc. As ações humanas não seguras são consideradas FLPPG.

5.1.1 Diagrama de Fator Causal - Causal Factor Chart

Rooney e Heuvel (2004) definem que o termo “evento” é utilizado para a identificação de ocorrências que produzem ou têm o potencial de produzir consequências ou impactos. A utilização do Diagrama de Fator Causal estabelece a relação entre os eventos lógicos relevantes na anomalia e a que tempo cada um se apresentou. Heuvel et al. (2008) citam como categorizar as informações (eventos e condições), conforme a seguir:

- danos (loss event);
- principais eventos e condições;
- razões que expliquem o porquê ocorreram;
- outros eventos significantes;
- eventos não significantes que não afetam a análise.

De forma similar a outras reconhecidas técnicas, a metodologia também é construída no fluxo inverso da anomalia, apesar da nossa leitura ocorrer no fluxo da esquerda para a

direita, sendo o “loss event” o ponto de partida e blocos (eventos ou condições) são agregados com base no tempo e na lógica sequencial.

Ao visualizar o diagrama, é importante observar que a metodologia utiliza como linha principal a central, na qual se posicionam os blocos com os principais eventos ou condições. Heuvel et al. (2008) sugerem destaque a tais blocos, como o recurso negrito nas bordas, por exemplo.

Outra referência no diagrama são os eventos e condições que se posicionam acima da linha principal média. Tal bloco deve responder à pergunta “Por que tal evento/condição ocorreu? ”. De forma complementar à estrutura central, os blocos abaixo desta são aqueles eventos ou condições com menor importância, porém oferecem detalhes adicionais ao entendimento.

Em cada evento que compõe o Diagrama de Fator Causal (Causal Factor Chart) é sugestivo que se apresente informações específicas que referenciem o fato, como tempo (quando possível) e descrição lógica do evento ou condição, conforme sugerido na figura 6.

Fonte:	# Evento:
Evento/ Condição:	
Data/ Hora:	

Figura 6 - Estrutura sugerida para eventos do Diagrama de Fator Causal
Fonte: O autor (2016).

A numeração do evento pode auxiliar na sua estruturação de apresentação vertical. Como exemplo são utilizadas letras sequenciais aos números. A sequência segue sempre a partir do evento principal ou central. Para exemplificar, digamos que se visualize o quinto evento principal e que este possua três eventos complementares – um acima e dois abaixo da linha central. Desta forma, o evento principal seria #5 e os demais #5A (acima) e #5B e #5C (abaixo).

Heuvel et al. (2008) indicam quatro regras para elaboração dos blocos:

1. utilizar sentenças completas. O detalhamento é imprescindível na investigação e análise de anomalias. Aqui os autores destacam a não utilização de termos como

“houve falta de fluxo” por “ não havia fluxo através da linha de alimentação ao compressor B”;

2. Usar apenas uma ideia por bloco e sem palavras conectoras (e, porque, então, quando, depois, etc.)
3. Ser o mais específico que puder. O tempo ocorrido em cada bloco deve ser registrado em sua parte inferior.
4. Registre a fonte de cada evento ou condição. Ajuda a solucionar as inconsistências. Incluir registro no alto do bloco.

Heuvel et al. (2008) orientam que questões podem ser adicionadas ao diagrama para identificar informações que o investigador ainda necessita conhecer. Para tal, estabeleceram duas regras específicas para as questões:

1. devem ser específicas. Documentar as informações específicas o suficiente para que o investigador possa recorrer a elas sempre que preciso ao longo da investigação;
2. documentar fontes específicas de informação que possam responder a questões, ou seja, direcionando as questões aos responsáveis e otimizando o processo investigativo.

A figura 7 ilustra a forma sequencial para o desenvolvimento da metodologia.

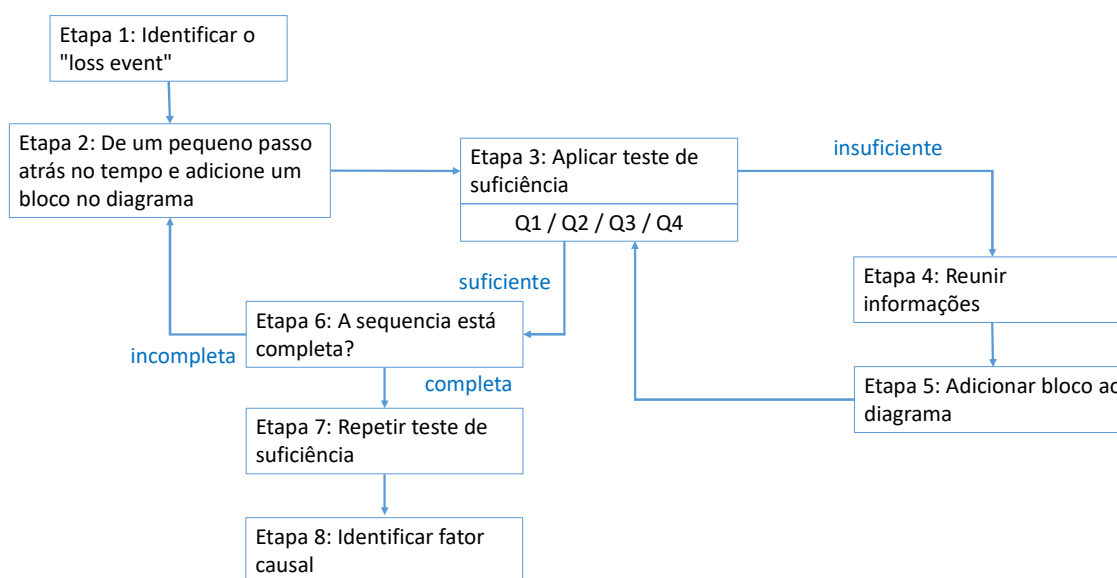


Figura 7 - Processo para desenvolvimento do Diagrama de Fator Causal
Fonte: Heuvel et al. (2008). Adaptado pelo autor.

Para cada bloco adicionado ao diagrama, cabe ressaltar ação indicada por Heuvel et al. (2008) na Etapa 2 da figura 7, destacando a importância de perguntar “o que aconteceu imediatamente antes deste evento?”. A resposta, afirmam os autores, pode ser uma ação de origem humana, de um equipamento ou um evento ou condição externa.

Para cada novo bloco, a Etapa 3 da figura 7 sinaliza a aplicação de um teste utilizando quatro perguntas (Q1 a Q4), segundo Heuvel et al. (2008), seguidas de adendos práticos à metodologia.

Q1 – Por que o evento ou condição ocorreu?

Apenas identifique as causas imediatas, as quais devem constar no diagrama (como exemplo de causas imediatas, no bloco “princípio de incêndio” é preciso analisar apenas os elementos do triângulo do fogo. O porquê de o combustível estar presente deve ser examinado em outro bloco do diagrama). Caso as causas imediatas não estejam no diagrama, o investigador deve elaborar novos blocos que as contemple. Caso a informação necessária não esteja disponível, questões devem ser desenvolvidas e adicionadas ao diagrama.

Q2 – Se os eventos e condições foram identificados em Q1, eles sempre ocorrerão?

Caso a resposta seja “não”, desenvolver bloco adicional e inseri-lo ao diagrama. Se a informação necessária não estiver disponível, desenvolver questão e adicioná-la ao diagrama. Em termos práticos, o exemplo utilizado na Q1, princípio de incêndio, teria três respostas: (1) a presença de oxigênio sempre ocorrerá? (sim); (2) a presença de comburente sempre ocorrerá? (sim); a presença de combustível sempre ocorrerá? (**não**) – item a ser desenvolvido em outro bloco.

A segunda pergunta auxilia ainda na complementação da Q1, contribuindo para que os investigadores identifiquem eventos e condições relevantes não visualizadas antes para a ocorrência da anomalia. No caso específico da Q2, a resposta esperada ou normal é um “sim”.

Q3 – Existem barreiras que poderiam ter prevenido a ocorrência do evento ou condição?

Para auxiliar a questão, Heuvel et al. (2008) exemplificam o caso com cenário de pequeno fogo que se alastra.

As barreiras identificadas devem constar no diagrama. Caso contrário, desenvolver bloco e adicioná-lo ao diagrama. O investigador verifica que havia extintor disponível e ele foi

utilizado, porém sem sucesso. O investigador inclui blocos com informação, descrevendo a tentativa de combate.

Q3 não é aplicável se o evento ou condição é desejável. Por exemplo, analisar o bloco que contemple como os bombeiros extinguiram as chamas.

As repostas a esta questão podem incluir barreiras que não estão instaladas ou em uso, mas deveriam estar. No exemplo supracitado, o investigador pode ser informado de que um sistema automático fixo (sprinkler) evitaria ou mitigaria o dano. Ele então inclui um bloco indicando que a falta de um sistema automático fixo foi um fator que contribuiu com a anomalia.

Assim como Q2, Q3 é complementar a Q1, pois o investigador pode não atentar para a presença ou não de barreiras.

Q4 – Existem outras potenciais causas do evento ou da condição?

Se há outras causas do evento ou condição, desenvolver bloco e adicioná-lo ao diagrama.

Causas potenciais que não possam ser confirmadas ou refutadas também devem ter questões elaboradas e adicionadas ao diagrama.

O principal objetivo desta última questão é deixar o investigador apto diante de diferentes formas na qual o evento poderia ter ocorrido, mesmo que óbvias. Heuvel et al. (2008) citam que muitas vezes esta passagem permite identificar barreiras não citadas na anomalia.

Heuvel et al. (2008) utilizam os “itens de nota”, citado na Etapa 9, o qual é definido como deficiências, falhas ou “gaps” no desempenho que não estejam relacionados diretamente à sequência da anomalia, mas que foram identificados ao longo da investigação. Uma causa potencial é como uma CF, todavia a sua eliminação não alteraria a magnitude das consequências da anomalia. Heuvel et al. (2008) consideram que após identificadas e não tratadas, podem originar futuros acidentes, e, desta forma, merecem atenção e recomendações dentro do processo investigativo.

Após identificados os fatores causais (CF) no Diagrama, inicia-se o processo de identificar as causas raízes no Mapa de Causas Raízes (Root Cause Map), onde é possível referenciar as justificativas para cada CF.

Dois fatores principais justificam a motivação apropriada para a utilização do Mapa de Causas Raízes neste estudo: é um recurso complementar à ferramenta Diagrama de Fatores Causais, permitindo que se evolua no conhecimento e definição de causas com cunho administrativo ou sócio técnico, e pelo fato do acidente investigado pela entidade CSB não ter utilizado o Mapa de Causa Raiz, o que adiciona possível evolução técnica na investigação

disponibilizada. Desta forma, o Mapa de Causas Raízes vislumbra enriquecer a análise técnica pautada nos objetivos descritos desta dissertação.

De acordo com Rooney e Heuvel (2004), o Mapa permite estruturar um processo de raciocínio que auxilia nas perguntas que visam desvendar o porquê cada CF ocorreu, permitindo uma melhor gestão no tratamento das causas raízes com a efetiva implementação das recomendações.

Heuvel et al. (2008) afirmam que, de uma forma geral, o desempenho individual é resultado direto do sistema de gestão e, conseqüentemente, a ausência, a negligência ou deficiências deste serão basicamente as causas raízes de possíveis anomalias.

5.1.2 Mapa de Causa Raiz (Root Causal Map)

Após identificar os fatores causais, cada um deles deve ser consultado no Mapa para identificar qual o fator causal evidencia melhor a natureza do evento.

Analisando a estrutura é possível perceber que a busca pela causa raiz é realizada partindo do topo do diagrama, onde ocorre o primeiro nível com dois tipos principais de CF: EPG e FLPPG. A terceira opção disponível “eventos externos” se refere a problemas diversos ou externos, como fenômenos naturais, sabotagem e outros. O Mapa não desdobra análise a partir desta CF, ou seja, não desenvolve a continuidade investigativa. Parte relevante do Mapa está ilustrada na Figura 8.

O segundo nível, considerando apenas EPG e FLPPG, aborda oito categorias de causas raiz. Os aspectos humanos são relacionados na “categoria de problemas” do nível seguinte e indicam diversas causas raízes possíveis (em destaque na Figura 9).

A abordagem de Heuvel et al (2008) no contexto Fatores Humanos pode ser considerada como CPCs ou FADs, os quais elencam os fatores contribuintes na alteração do desempenho humano.

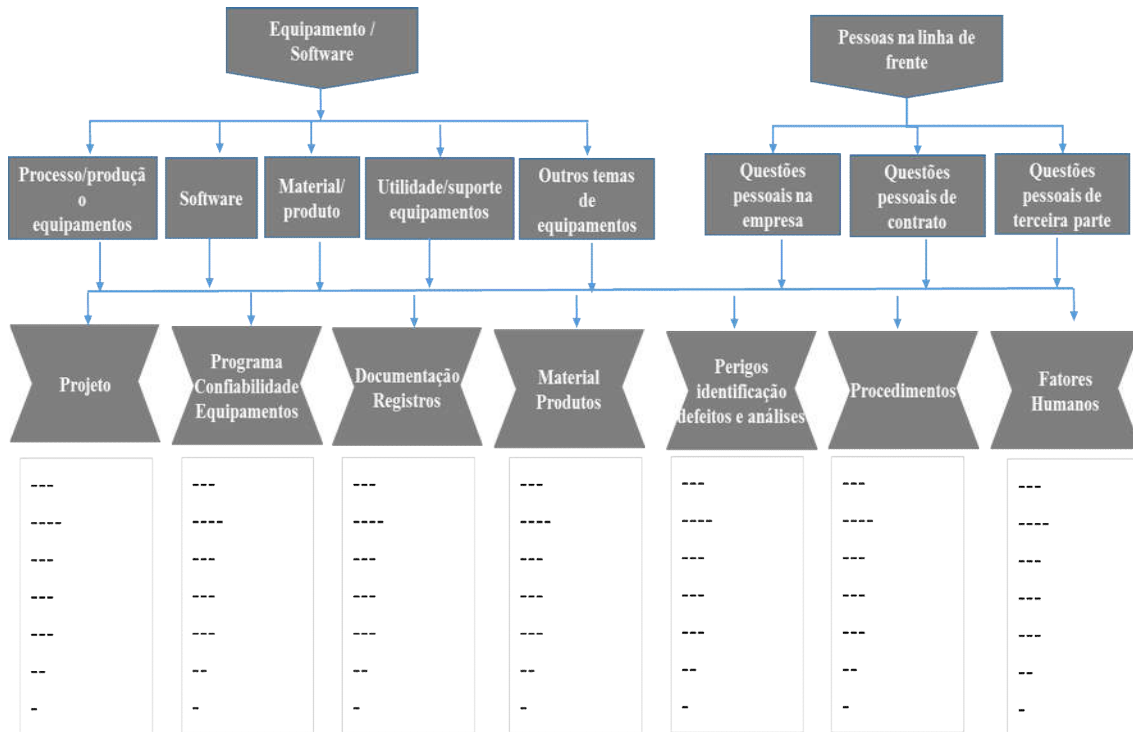


Figura 8 – Mapa de Causa Raiz
Fonte: Heuvel et al. (2008). Adaptado pelo autor.

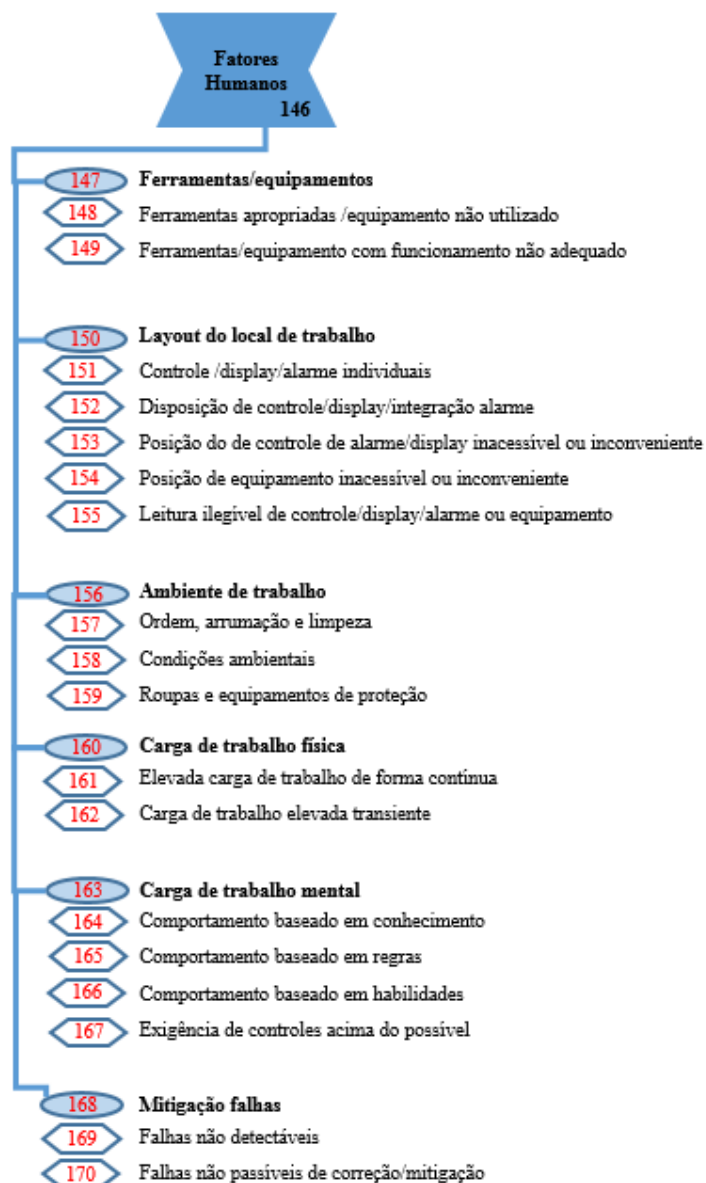


Figura 9 - Fatores Humanos
Fonte: Heuvel et al. (2008, tradução nossa)

Heuvel et al. (2008) propõem a utilização de numeração sequencial hierárquica no Mapa, obedecendo o sentido vertical (cima para baixo) e horizontal (direita para esquerda). Desta forma, a identificação numérica facilita a interpretação e localização de itens no Mapa, permitindo trilhar todo o percurso realizado na investigação para cada CF identificado.

Na disposição apresentada, os itens associados aos fatores humanos (FLPPGs) se posicionam na parte central do Mapa e os problemas com equipamentos (EPG) à esquerda. Entretanto, Heuvel et al. (2008) ressaltam que é possível haver causas raízes associados a FLPPGs no lado esquerdo do Mapa, assim como também não é improvável encontrar causas

raízes de EPGs na parte central. Essa característica demonstra como os itens possuem interação, ratificando a teoria de conexão do sistema.

Outra relevante característica citada por Heuvel et al. (2008) sobre o Mapa está na sua estrutura e terminologia, permitindo que sejam modificadas para aplicação em diferentes culturas e sistemas de gestão. Segundo Heuvel et al. (2008), a terminologia proposta no Mapa de Causa Raiz (Root Cause Map) é propositalmente genérica, possibilitando utilidade em organizações com fins distintos. A adequação da terminologia deve estar adequada ao sistema organizacional em questão, tornando-a uma ferramenta efetiva e pragmática.

Heuvel et al. (2008) propõem que se utilize Mapa de Causa Raiz (Root Cause Map) como uma lista de verificação (*checklist*), proporcionando considerações sobre outras possíveis causas raízes.

Conforme citado anteriormente, o Mapa obedece a uma hierarquia em níveis, a qual está demonstrada na Figura 10.

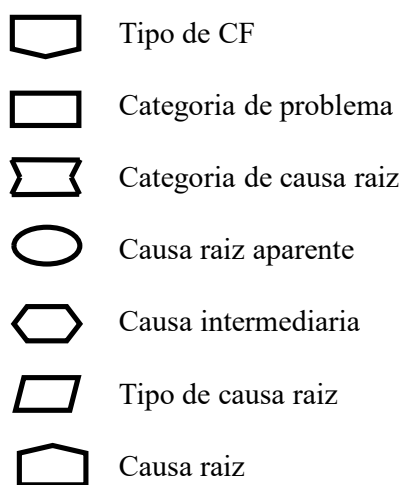


Figura 10 - Níveis do Mapa de Causa Raiz
Fonte: Heuvel et al. (2008, tradução nossa).

Ao selecionar as categorias de causa(s) raiz(es) mais apropriada(s), o nível seguinte oferece diversas causas raízes aparentes e causas intermediárias, e estas, após definidas, demarcam a próxima e última etapa. O método apresenta aptidão para definir as causas raízes após o fluxo hierárquico apresentado. No mapa esta informação está localizada no seu lado esquerdo, onde se localizam as questões referentes a padrões corporativos, política e controles administrativos (SPAC – Standard, Policy and Administrative Controls).

5.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE ERRO E CONFIABILIDADE COGNITIVA (COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD – CREAM)

Segundo Fontelles et al. (2009), um procedimento técnico, quando relacionado ao tempo, pode ser do tipo prospectivo ou retrospectivo. No prospectivo, o estudo é conduzido a partir do momento presente e caminha em direção ao futuro, como, por exemplo, na análise da confiabilidade humana baseada na predição. Já no retrospectivo, o estudo é definido para explorar fatos do passado e a análise de acidentes se enquadra neste contexto.

CREAM é, conceitualmente, um método de segunda geração que utiliza as duas abordagens citadas anteriormente. Nesta dissertação enfatizaremos a aplicação do CREAM no seu modo retrospectivo.

Segundo Kim, Seong e Hollnagel (2006), muitos métodos de confiabilidade humana considerados de primeira geração, como Technique for Human Error Rate Prediction (THERP), Accident Sequence Evaluation Program (ASEP) e Human Cognition Reliability (HCR), utilizam a premissa básica de que o homem, por possuir deficiências inerentes a sua natureza, comete falhas na execução de tarefas, igualmente como as máquinas, seus dispositivos e componentes. As análises realizadas com os métodos, na ocasião, mantinham uma consideração minoritária pelos FADs. Kim, Seong e Hollnagel (2006) afirmam que a priorização pelo ambiente e contexto nas análises foi um marco e a caracterização dos métodos da segunda geração.

Segundo Hollnagel (1998), os métodos da segunda geração utilizam modelos de cognição para organizar algumas categorias que descrevem possíveis causas e efeitos da ação humana.

O esquema de classificação utilizado é de natureza neutra, isto é, não possui relação a nenhuma categoria industrial específica (aeronáutica, naval, ferroviária, nuclear, etc.), apesar da inevitável influência da área nuclear no método.

Hollnagel (1998) defende que um dos conceitos básicos do método é reconhecer a distinção entre competência e controle – competência descreve o que o indivíduo é capaz de fazer, ao passo que controle denota como a competência é realizada. Isso demonstra que o nível de controle depende da situação ou contexto, e, logicamente, se há maior controle, a probabilidade de falhas é menor. Hollnagel (1998) afirma que não se pode garantir que uma ação seja imune a falhas, mesmo diante do cenário de controle completo. Isto se explica devido à variabilidade humana, a qual atua de forma oculta, não podendo ser eliminada.

A modelagem utilizada e seus componentes em si procuram refletir as possíveis formas de ocorrência das ações não seguras, onde o autor propõe descrições específicas na tentativa de explicá-las melhor.

Hollnagel (1998) descreve ser assumida a condição de que o desempenho humano é uma consequência do controle na competência adaptada às necessidades do contexto, e não apenas o resultado de sequências predeterminadas de respostas. O autor ainda relaciona tal afirmação ao fato das ações humanas serem intencionais e reativas, o que corresponde ao fundamental princípio dos sistemas cognitivos de engenharia.

O método utiliza a identificação de modos de controle, os quais são regidos pelos CPCs. Hollnagel (1998) descreve quatro (4) diferentes modos de controle aos quais o ser humano pode ser enquadrado perante suas condições de trabalho no momento de importantes decisões, podendo ocorrer na sua forma individual ou coletiva:

- desordenado;
- oportunista;
- tático;
- estratégico.

No gráfico 2, Hollnagel (1998) define a relação entre os modos de controle e a confiabilidade.

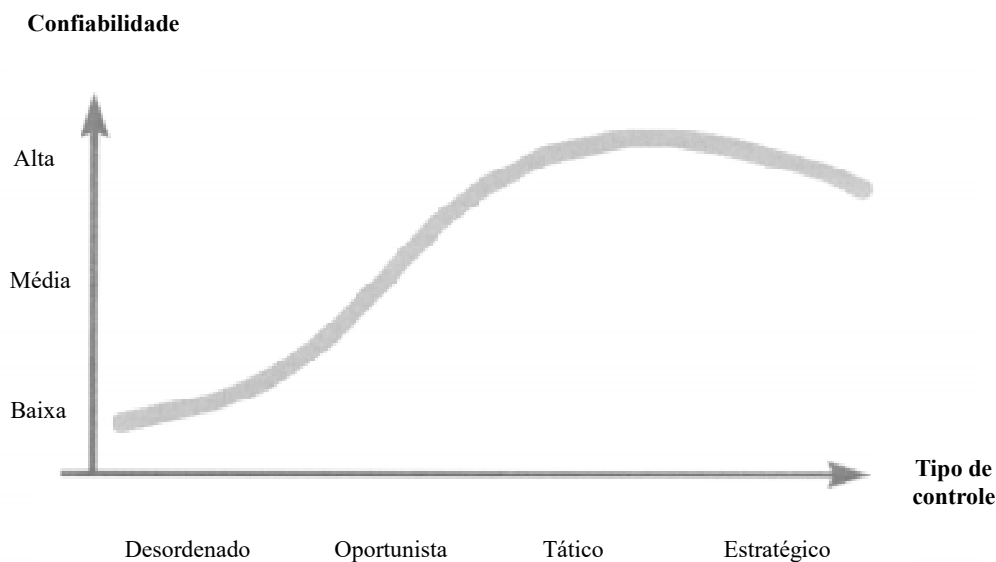


Gráfico 2 - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade
Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

A indicação de menor controle é facilmente interpretada por uma maior probabilidade de falhas, o que permite criar uma relação direta entre os modos de controle e a confiabilidade operacional. No modo desordenado há pouca ou nenhuma relação entre situação e a ação. As ações são definidas de forma aparentemente aleatória, com pouca ou nenhuma cognição envolvida (HOLLNAGEL; FUJITA, 2004).

No controle oportunista há pouco sucesso nas ações, pois apesar da existência de certo planejamento, o tempo disponível é limitado ou o contexto não é compreendido (HOLLNAGEL; FUJITA, 2004).

O modo tático corresponde a situações onde o desempenho praticamente atende as regras estabelecidas (HOLLNAGEL; FUJITA, 2004).

Por fim, o modo estratégico se caracteriza por ações que são definidas após criteriosa análise, considerando as interações e dependências entre tarefas e objetivos (HOLLNAGEL; FUJITA, 2004).

Serwy e Rantanen (2007) divulgam software específico sobre o método CREAM e citam, como justificativas para a utilização, a complexidade no desempenho humano, não podendo ser decomposta de forma mecânica, assim como a descrição de ações na forma binária – acertos e erros – não ser capaz de capturar todos os aspectos do desempenho humano. Por fim, a dificuldade na consideração de fatores contextuais, como PSFs, quando da utilização de modelos de desempenho humano simplificados e limitados para a necessidade.

Segundo Hollnagel (1998), a análise retrospectiva utiliza a forma recursiva, ou seja, sub-rotinas que podem invocar a si mesmas, gerando análises mais consistentes. O recurso de organizar sequencialmente as tarefas auxilia as caracterizações iniciais do método.

5.2.1 Esquema de classificação e princípios básicos

O esquema de classificação distingue duas características no sistema a ser estudado – causas e efeitos, ou genótipos e fenótipos, respectivamente. Os efeitos são aqueles possíveis de se observar, como ações humanas explícitas e eventos de sistemas (indicação de alarme e liberação de energia/fluido por sistema de alívio são exemplos). O início da análise é feito na identificação do fenótipo, o qual precipitou a anomalia. O esquema de classificação define a conexão entre causa e efeito e Hollnagel (1998) destaca, nesta etapa, ser crucial que seja bem definida.

O método possui tabelas que se correlacionam e oferecem diferentes possibilidades para a sequência da análise, o que pode tornar a análise um tanto subjetiva e genérica. Desta forma, se destaca a realização de adequada análise prévia do contexto, justificada por proporcionar uma menor subjetividade na estrutura de compreensão. Neste cenário do método, cabe ressaltar ainda a utilização do tripé homem, tecnologia e organização ou MTO (man-technology-organization), uma taxonomia que permeia pelas tabelas do CREAM.

Serwy e Rantenen (2007) descrevem a segregação que o método permite realizar entre manifestação e causa diante da ação humana não segura de forma pragmática. A manifestação de uma ação humana não segura seria, então, observável e mensurável. Os autores afirmam que a razão para a distinção conduz a análises mais consistentes entre as numerosas a serem possivelmente realizadas. Hollnagel (1998) complementa citando que manter as manifestações (fenótipos e genótipos) não segregadas dificulta ou inviabiliza a consistência e confiabilidade da análise.

Moura, R. et al. (2015) exemplifica em ilustração adaptada de Hollnagel (1998) a taxonomia do tripé MTO de forma agrupada nas categorias.

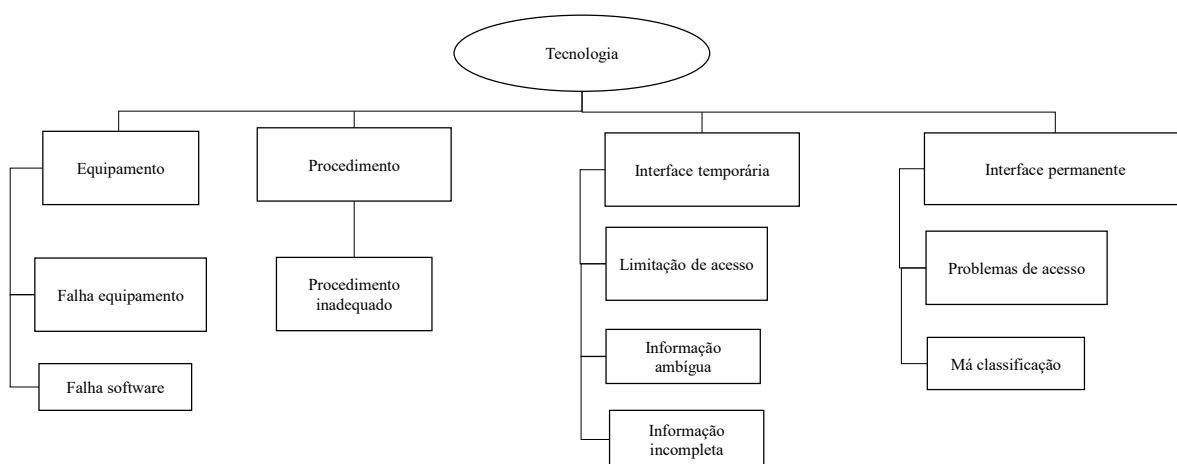


Figura 11 - Taxonomia Tecnologia - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade
Fonte: Moura et al. (2015, tradução nossa).

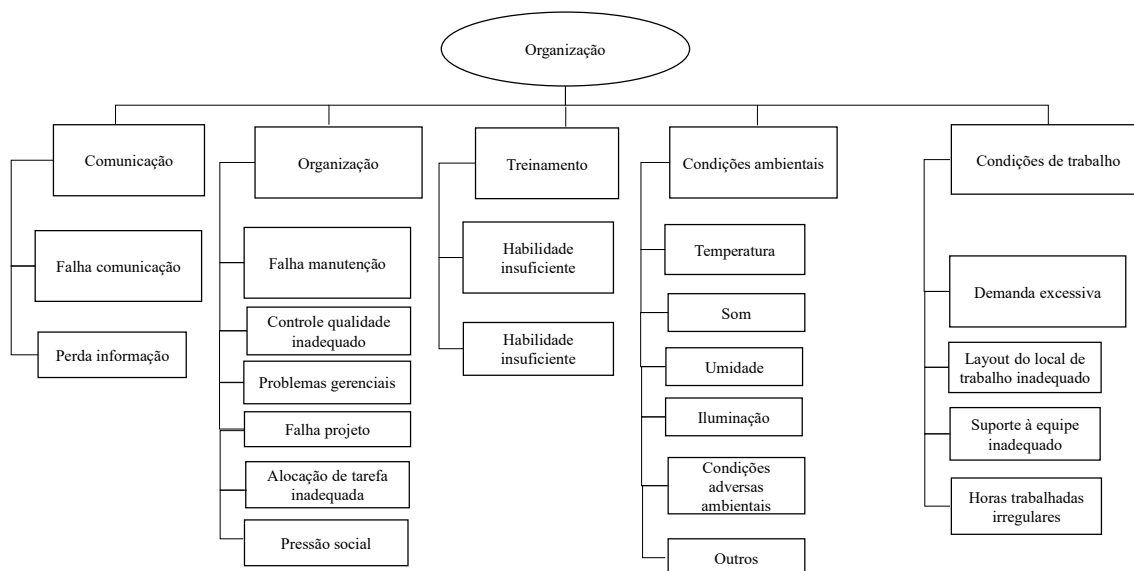


Figura 12 - Taxonomia Organização - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade
Fonte: Moura et al. (2015, tradução nossa).

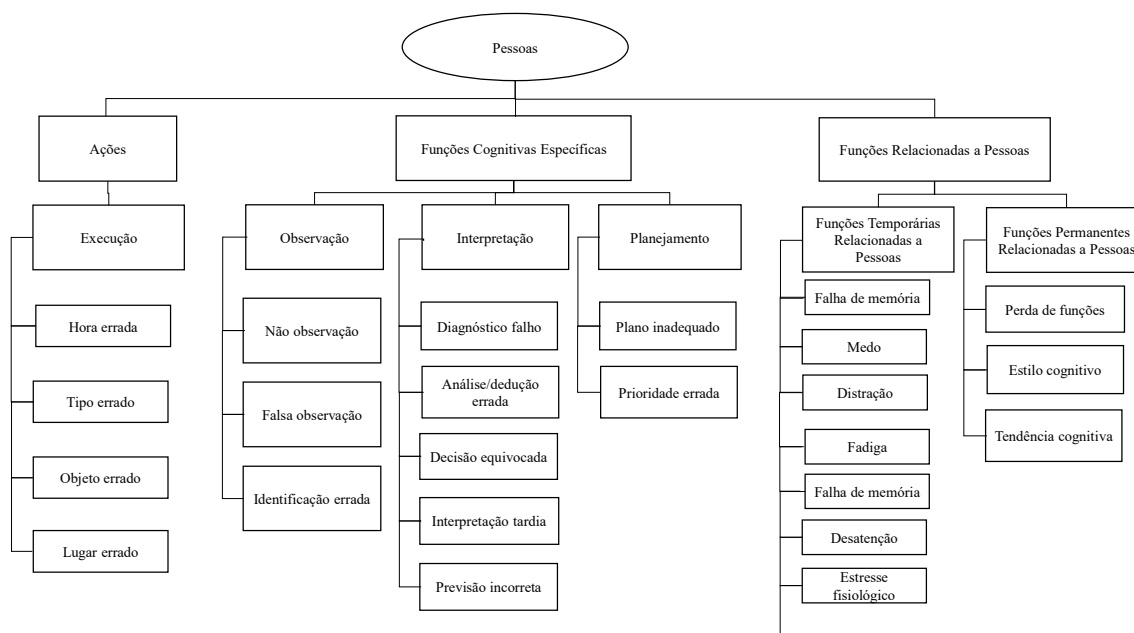


Figura 13 - Taxonomia Pessoas - Relação proposta entre modo de controle e confiabilidade
Fonte: Moura et al. (2015, tradução nossa).

De forma resumida, conforme ilustrado acima, Hollnagel dividiu a taxonomia humana em três (3) principais genótipos, a taxonomia equipamentos em quatro (4) genótipos e a organizacional em cinco (5) genótipos. Cabe destacar que os genótipos funcionam como

fatores latentes ou antecedentes (possíveis causas) menos visíveis e os fenótipos como ações humanas pré-classificáveis ou manifestações.

Uma análise realizada e adaptada às características da área ferroviária entre as conexões é proposta por Phillips e Sagberg (2014), no qual são mapeados até dezessete (17) possíveis genótipos que podem expressar ou resultar em um dos nove (9) fenótipos. O modelo de Hollnagel define doze (12) genótipos e oito (8) fenótipos para o CREAM.

Os genótipos das três categorias MTO podem ser expandidos ou melhor detalhados. Com relação à dimensão humana, Hollnagel (1998) distingue funções cognitivas específicas das funções gerais, podendo estas últimas ser do tipo permanente ou temporária. A função temporária se caracteriza, conforme denominada, em períodos de duração limitada. A função na forma permanente está presente em todas as situações, sempre influenciando o contexto. Hollnagel (1998) enfatiza que, em certas circunstâncias, as características podem gerar dúvidas na definição mais adequada, como exemplifica o autor em problemas relacionados, por exemplo, à memória, estresse e fadiga física relacionada a condições de trabalho. Essa mesma característica ocorre no caso do sistema tecnológico com as interfaces (causas permanentes ou temporárias). Essas definições serão melhor detalhadas adiante, juntamente com as tabelas propostas pela metodologia.

Uma característica no CREAM diz respeito ao conceito de hierarquia, no qual se percebe não ser considerado e isso se explica através da afirmação de que há conhecimento insuficiente sobre as ações humanas não seguras, impossibilitando uma possível hierarquização. O autor complementa que, se assim fosse, tornaria o método extremamente sequencial e limitado, descaracterizando a forma como ele sugere - que o esquema consiga melhor refletir o contexto e que uma maior disponibilidade de grupos possa proporcionar combinações na medida adequada à necessidade do contexto (HOLLNAGEL, 1998).

Cabe ressaltar a utilização das denominações antecedente e consequente relacionadas a categorização das funções. Hollnagel (1998) descreve que as mesmas evitam confusões ou conflitos quando da utilização dos grupos, sendo uma proposição o antecedente ser aquele que origina o consequente (diante das premissas disponíveis). Assim, Hollnagel (1998) obtém uma condição diferenciada de conflito na condição causa-efeito, a qual denota uma relação de início e fim.

5.2.2 Classificação dos Grupos

A motivação do esquema de classificação visa narrar como ações humanas não seguras podem ocorrer. Hollnagel (1998) define duas regras básicas para possibilitar tal narrativa:

- a) cada conseqüente descrito na classificação dos grupos deve corresponder a um ou mais antecedentes, e este(s) deve(m) aparecer ou constar nas demais classificações. Essa relação antecedente-conseqüente (ou causa-efeito) se repete no decorrer do método, possibilitando inúmeras interações, dentro, logicamente, do bom senso e da lógica. Caso essa característica não seja observada, a classificação deve ser considerada como incompleta;
- b) utilizar critério prático com dois níveis para a narrativa: específico e geral (ou genérico).

Hollnagel (1998) detalha essa distinção para conseqüentes gerais e específicos (para os genótipos) ou (no caso dos fenótipos) entre efeitos gerais e específicos. Assim, as categorias descrevem os conseqüentes que podem caracterizar o grupo, ou seja, a forma na qual os efeitos deste, como antecedentes, podem ser detectados ou identificados. A partir daqui, a diferença entre específico e geral pode ser relacionada à quantidade de informação disponível no momento – caso haja detalhes suficientes, utiliza-se o conseqüente específico, caso contrário (informação insuficiente), utiliza-se como geral.

5.2.2.1 Modos de Falha

Os modos de falha (ou fenótipos básicos) são categorias que descrevem como uma ação incorreta pode se manifestar. Os oito possíveis fenótipos referenciados são:

• Tempo	• Força
• Duração	• Direção
• Sequencia	• Velocidade
• Objeto	• Distancia

Quadro 8 - Antecedentes gerais e específicos para fenótipos
Fonte: O autor (2016).

Hollnagel (1998) segregou os oito (8) fenótipos em quatro (4) subgrupos, conforme abaixo:

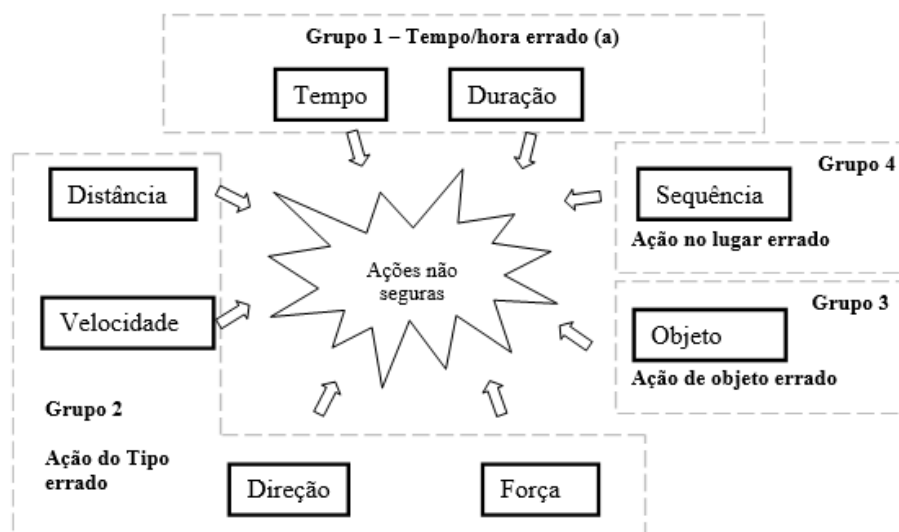


Figura 14 - Dimensões do fenótipo
Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

Os quatro subgrupos que conduzem a ações não seguras são descritos nas tabelas a seguir, entretanto, cabe ressaltar que caso a ação saia conforme o planejado, obtendo todo seu êxito, há de se utilizar a categoria “**sem ações não seguras**” em cada uma das categorias ou como outro subgrupo. (HOLLNAGEL, 1998)

Grupo 1 – Ação no tempo/hora errado (a). Ações são classificadas de forma individual e relacionadas ao tempo e duração.

Tabela 2 – Ação na hora errada

Efeitos Gerais	Efeitos Específicos	Definição/explicação
	Muito cedo	Ação iniciada muito cedo, antes de sinal ser dado ou condições serem requeridas ou estabelecidas (ação prematura).
Tempo	Muito tarde	Ação iniciada tardiamente.
	Omissão	Ação realizada de forma incompleta (diante do tempo disponível).
Duração	Muito longo	Ação continua quando deveria ser interrompida.
	Muito curto	Ação interrompida antes da hora.

Fonte: Hollnagel (1998, tradução nossa).

Grupo 2 – Ação de tipo errado. Aqui se utilizam características físicas, como força, velocidade, distancia (linear ou não). Uma pequena sutileza diferencia, por exemplo, a velocidade (Grupo 3) com a duração (Grupo 1). A velocidade se refere ao tempo de execução (de uma ação), e a duração é atrelada ao intervalo de tempo para a tarefa ser finalizada.

Tabela 3 - Ação do tipo errado

Efeitos Gerais	Efeitos Específicos	Definição/explicação
Força	Pouca	Força insuficiente
	Muita	Força em excesso, muito esforço.
Distância / magnitude	Muito longe	Movimento longo
	Muito perto	Movimento curto.
Velocidade	Muito rápido	Ação realizada com excesso de velocidade ou finalizada muito cedo.
	Muito lento	Ação realizada de forma lenta ou finalizada tardiamente.
Direção	Direção errada	Movimento na direção errada (por exemplo, mover avante ao invés de para trás).
	Movimento errado	Realizar o tipo de movimento não desejado (por exemplo, apertar um dispositivo ao inves de gira-lo).

Fonte: Hollnagel (1998, tradução nossa).

Grupo 3 - Ação de objeto errado. É a ação não segura mais frequente dentre todas. São exemplos: acionar botão ou comando errado, olhar para indicador equivocado, etc.

Tabela 4 – Ação do objeto errado

Efeitos Gerais	Efeitos Específicos	Definição/explicação
Objeto errado	Vizinho	Objeto localizado próximo àquele que deveria ser acionado.
	Objeto similar	Objeto com aparência similar àquele que deveria ser acionado.
	Objeto equivocado	Objeto utilizado por engano, mesmo não havendo relação àquele que deveria ser acionado.

Fonte: Hollnagel (1998, tradução nossa).

Grupo 4 - Ação no lugar errado. Esse subgrupo considera eventos que não atendem as etapas procedimentadas, ou seja, realização de ações fora de sequência.

Tabela 5 – Ação no lugar errado

Efeitos Gerais	Efeitos Específicos	Definição/explicação
	Omissão	Ação não realizada, incluindo a omissão de ação(ões) no fim de uma sequência.
Sequência	Pular etapas a frente	Uma ou mais ações são puladas.
	Pular etapas para trás	Uma ou mais ações prévias são realizadas novamente.
	Repetição	Ação prévia é repetida.
	Reversão	A ordem de ações sequenciais é invertida.
	Ação errada	Ação desconhecida ou irrelevante é realizada.

Fonte: Hollnagel (1998, tradução nossa).

5.2.3 Relações entre Consequente-Antecedente

As relações são descritas, ao longo do método, na sequência iniciada por fenótipos e depois genótipos (MTO). Hollnagel (1998) sugere as relações a seguir para facilitar a relação consequente-antecedente gerais com o antecedente específico (geralmente o de menor facilidade de conexão). A depender da especificidade da área a ser aplicada, como, por exemplo, aeronáutica ou ferroviária, pode ser necessária uma adequação das relações, de forma a acrescentar opções de antecedentes específicos, refletindo melhor a realidade desejada e necessária.

Os termos utilizados devem ser entendidos mantendo o bom senso interpretativo e não como termos especializados (HOLLNAGEL, 1998).

5.2.3.1 Fenótipos (Modos de Falha)

De acordo com Hollnagel (1998), os modos de falha são características observáveis de ações, sendo o ponto de partida para uma análise retrospectiva. É possível se perceber no Apêndice O a diversidade de prováveis antecedentes gerais para cada modo de falha, havendo inclusive repetições de antecedentes entre os modos de falha, justamente por serem as primeiras referências da análise. Hollnagel (1998) afirma que, do ponto de vista psicológico,

os modos de falha são considerados a ponta do iceberg, demonstrando ainda a necessidade de evolução na análise do evento.

A metodologia, segundo Hollnagel (1998) ressalta, proporciona, em uma análise mais criteriosa, que se identifique o fato de os consequentes gerais para os modos de falha ocorrerem como antecedentes gerais nos grupos dos genótipos, ratificando a relação entre os grupos e dos níveis de detalhamento necessários aos requisitos específico e geral, carecendo este último de informações mais detalhadas.

Hollnagel (1998) cita que a possibilidade de se complementar com outras opções de consequentes e antecedentes vai de acordo com a necessidade e especificidade da área em estudo, de forma que reflita melhor a realidade desejada.

5.2.3.2 Genótipos

Assim como nos modos de falha, pode haver consequentes gerais listados como antecedentes gerais nos demais grupos. Hollnagel (1998) destaca que a metodologia restringe a ocorrência de antecedente geral ser um consequente geral no mesmo grupo, resultando em análise em “loop” e sem resultados relevantes.

De acordo com Hollnagel (1998), as principais funções cognitivas aqui são observação, planejamento e interpretação. Nestas áreas ocorre uma maior concentração de pesquisas e onde diversos modelos e teorias têm sido propostos. Sendo assim, é uma área onde é mais comum se encontrar opções para os antecedentes específicos.

No Apêndice E (Antecedentes específicos e gerais para funções permanentes relacionadas a pessoas), Hollnagel (1998) justifica que o fato dos antecedentes não estarem definidos não significa que nenhum dos consequentes possui antecedentes. Perdas de função, como surdez, podem ter relação ambiental. Considerando a condição permanente, tentar identificar uma causa não enriquece a análise, complementa Hollnagel (1998).

Sobre o genótipo relacionado a tecnologia, Hollnagel (1998) cita a diversidade de antecedentes específicos propostos e exemplifica que a falha na manutenção pode ser oriunda de falha de energia, incêndio ou alagamento, entretanto nenhuma delas ocorreria caso o sistema estivesse com manutenção adequada.

Em outros genótipos relacionados à organização, igualmente ao citado no Apêndice E, há relações não definidas. Para o caso específico relacionado à organização, Hollnagel (1998)

cita haver disponíveis longas listas em literaturas, como The Management Oversight and Risk Tree (MORT) e a metodologia de análise de acidente Tripod) (ou Tripod Beta). Hollnagel (1998) associa a falta de dados relacionados à influência das análises de confiabilidade humana de primeira geração, as quais focavam apenas as áreas tecnológica e de engenharia de sistemas. O autor considera este ponto como melhoria para as futuras versões do CREAM.

5.2.3.2.1 Genótipo (relação a pessoas)

As tabelas de genótipos relacionadas a pessoas (apêndices A, B, C, D e E) abordam as principais funções cognitivas específicas: observação, interpretação e planejamento. Essas áreas possuem reconhecidos estudos e pesquisas, justificando fartas e disponíveis opções de propostas de antecedentes específicos. Os relacionados nas tabelas foram considerados mais úteis nas experiências e pesquisas (HOLLNAGEL, 1998).

As funções cognitivas podem ser categorizadas de diversas formas, entretanto a mais simples é defendida por Hollnagel e utiliza os conceitos análise e síntese. Hollnagel (1998) cita que a análise faz referência às funções que são solicitadas quando alguém tenta determinar qual será a situação, ou seja, utiliza recursos como observação, identificação, reconhecimento e interpretação. Já a síntese é referenciada por funções utilizadas quando alguém tenta decidir o que e como fazer algo, como escolhas, tomada de decisão e execução, ou seja, processos executivos.

A proposta apresentada por Hollnagel (1998) mantém as informações consequentes e antecedentes de mesmos genótipos de forma segregada, ou seja, em tabelas não agrupadas. Diante do quantitativo de tabelas a serem apresentadas nesta dissertação, elas foram organizadas de forma agrupada, por uma questão de otimização às consultas.

Conforme citado no item 5.2.1 (Esquema de classificação e princípios básicos), o autor utiliza dois grupos de funções gerais denominadas temporária e permanente. As funções gerais não estão associadas diretamente aos modelos cognitivos, mas sim às características das pessoas envolvidas naquele desempenho. Vale ressaltar que os grupos não consideram características pessoais de constituição psicológica nem antropométrica, entretanto o autor informa ser possível, de forma singela.

5.2.3.2.2 Genótipo (relação tecnológica)

Este genótipo está relacionado a partes tecnológicas de sistemas, como funcionamentos inadequados, procedimentos, deficiências dos sistemas de suporte operacional, suas interfaces e demais problemas de falhas em equipamentos relacionados a hardware e software. Hollnagel (1998) destaca que as falhas em equipamentos podem ser uma das causas imediatas em um evento, mas raramente causa contribuinte para uma ação humana não segura. Com relação ao modo de falha na interface, é possível influenciar o desempenho humano, podendo, então ser considerada como causa imediata de um modo de falha (fenótipo).

Os genótipos da categoria procedimentos são certamente estratégicos, uma vez que oferecem diretrizes guias às pessoas inerentes aos processos e sistemáticas do sistema complexo. Dependendo da organização e da criticidade, são cuidadosamente detalhados no passo a passo. Para melhor compreensão é possível citar como exemplo prático o gerenciamento de equipamentos críticos (o critério de enquadramento geralmente é definido por cada empresa). Além disso, as empresas são submetidas com frequentes inovações tecnológicas e alterações de partes das instalações, gerando uma carência de atualização dos chamados “as built” das plantas de engenharia, ou seja, atualização dos documentos de consulta técnica.

Na prática essa é uma das dificuldades para a realização de estudos de risco qualitativo, como o Hazard and Operability Study (HAZOP), o qual demanda análises detalhadas dos processos e atualização de dados operacionais da planta. As consequências podem gerar recomendações de instalações de barreiras já existentes, onerando de forma desnecessária o ativo industrial, ou a indicação de dispositivos não apropriados e, portanto, não eficazes para o contexto..

Há registros em diversas áreas de atuação que indicam como causa para ação humana não segura as deficiências em procedimentos ou discrepâncias ou incoerências entre o prescrito e a prática.

Na área da interface homem-máquina (Apêndices F,G,H e I) há significativos avanços e estudos desenvolvidos. Um sistema não amigável pode ser fonte de informação inadequada. Assim como descrito no genótipo relacionado a pessoas, o autor também utiliza aqui os conceitos de temporário e permanente, conforme as tabelas dos Apêndices H e I.

5.2.3.2.3 Genótipo (relação organizacional)

Os genótipos relacionados aqui incluem comunicação, organização, treinamento, condições ambientais e condições de trabalho, ou seja, fatores relacionados diretamente ao ambiente de trabalho. Seu detalhamento encontra-se nos Apêndices J, K, L, M e N, respectivamente.

O primeiro grupo, comunicação, aborda características da informação entre operadores, incluindo aquelas realizadas fora das salas de controle.

Os antecedentes específicos e gerais para o genótipo “organização” não são definidos por Hollnagel (1998), entretanto ele ressalta que tal fato não significa não haver causas organizacionais para o caso, pois já existem opções disponíveis propostas por estudiosos, as quais podem ser remediadas nesta metodologia.

O grupo a seguir se refere a “treinamentos” e é reconhecidamente essencial ao corpo de operadores, aprimorando conhecimento, experiência e o processo em si. Hollnagel (1998) destaca como causa frequente de ação humana não segura a falta ou insuficiência de habilidade ou conhecimento.

Os dois últimos grupos relacionados ao genótipo organizacional fazem referência às condições ambientais e condições de trabalho e possuem semelhança inegável. São exemplos de condições ambientais a temperatura, o som, a umidade e a iluminação. As condições de trabalho abordam temas como demanda excessiva de trabalho e horas trabalhadas irregulares, ou seja, relacionadas ao ritmo circadiano (trabalho em turno ou fuso horário) e outras.

5.3 ANÁLISE RETROSPECTIVA – MÉTODO CREAM

Esta dissertação utilizará a metodologia de Hollnagel com abordagem retrospectiva. Conforme destaca Hollnagel (1998), a análise da metodologia CREAM, no modo retrospectivo, busca a elaboração das possíveis relações de causa-efeito (ou antecedente-consequente) e utiliza a característica do fluxo reverso, isto é, inicia a análise a partir da anomalia. Outras reconhecidas técnicas investigativas de acidentes a fazem, como por exemplo Árvore de Causa e Efeito e o próprio Diagrama de Fator Causal, a qual será abordada e melhor detalhada adiante nesta dissertação. No caso específico do CREAM, o ponto de partida é o modo de falha e a sequência é realizada pelas conexões entre as categorias que integram a técnica.

Hollnagel (1998) ressalta que a metodologia necessita de um critério de parada (stop rule). Tal necessidade, segundo ele, se justifica pela sua dinâmica prática quando em uso, atuando em “loop” e funcionando em rede e também para garantir que os possíveis consequentes-antecedentes serão explorados, tornando o método mais uniforme e consistente.

Hollnagel (1998) definiu, diante disso, que a regra deve ser suportada pela utilização de dois termos: causas terminais e causas não terminais. Partindo da condição de que no CREAM a classificação dos grupos é definida pelos termos antecedentes geral e específico, Hollnagel (1998) complementa que os antecedentes específicos são considerados como causas terminais, significando serem suficientes por si só para o enquadramento como causa, não carecendo de análise evolutiva conectiva com antecedentes ou consequentes. Diferente das causas terminais, segundo Hollnagel (1998), as denominadas não terminais são associadas aos antecedentes gerais, o que torna possível e necessário a continuidade da análise. O princípio da continuidade se dá na correspondência de um antecedente geral de determinado grupo a um consequente geral de um ou mais grupos (essa é uma característica que define o esquema de classificação e a distinção entre consequentes e antecedentes, gerais e específicos) (HOLLNAGEL, 1998).

Hollnagel (1998) destaca que o “stop rule” ocorre quando não é possível se evoluir na análise, ou seja, não há antecedentes gerais para um determinado consequente, significando, em muitos casos, que não há antecedentes específicos. Isso força a parada a ocorrer no antecedente geral do nível anterior (que é o consequente geral do nível em parada). Hollnagel (1998) também enfatiza que nos casos em que há antecedentes específicos, mas não há antecedentes gerais, um dos antecedentes específicos pode ser selecionado, entretanto, ressalta Hollnagel (1998), deve haver informação suficiente e disponível que garanta a escolha, de forma que a análise não seja interrompida de forma prematura. De forma resumida, são duas as regras para a parada:

- se o consequente geral possuir antecedente(s) específico(s);
- se o consequente geral não estiver atribuído a um antecedente geral e este não possua antecedente específico ou caso nenhum dos antecedentes sejam apropriáveis ao contexto.

5.3.1 Resumo da Metodologia Retrospectiva CREAM

A análise retrospectiva descrita pode ser sumarizada em etapas fundamentais, para melhor compreensão e consulta ao método.

Hollnagel (1998) resume o tema em quatro (4) relevantes etapas:

1. determinação ou descrição do contexto - conforme descrito anteriormente, CREAM utiliza o CPC para análise detalhada de aspectos que podem não ser contemplados na descrição do evento;
2. descrição dos possíveis modos de falha (fenótipos) – nesta etapa Hollnagel (1998) indica a busca para se conhecer todas as possíveis ações, não se atendo a partes específicas. Utilizar referências da metodologia para selecionar os modos de falha e seus critérios específicos;
3. descrição de causas prováveis – conhecendo o contexto, é esperado que se consiga identificar as causas mais prováveis, apesar das dificuldades imputadas pelas funções cognitivas, conforme informa Hollnagel (1998). Nesta terceira etapa, ele propõe a elaboração de tabela que relacione CPCs e os genótipos MTO, onde se estimam causas possíveis (maior magnitude) e prováveis (menor magnitude);
4. desenvolver análise criteriosa das etapas das principais tarefas – nesta etapa se busca delimitar as conexões entre genótipos (antecedentes e consequentes) para cada fenótipo selecionado.

5.3.2 Modos de Falha Possíveis

A segunda etapa prática da metodologia deve descrever os possíveis modos de falha, ou seja, como as ações podem ter dado errado. Neste tópico Hollnagel (1998) destaca a importância de se considerar as interfaces, indo além da interação homem-máquina. A interface deve buscar relevantes parâmetros de controle, como, por exemplo, a atuação de comando através de painel de controle operacional, onde o operador aciona um botão. A duração da intervenção considera o tempo pelo qual o operador mantém pressionado o botão ou apenas aciona um circuito a ser ativado?

Hollnagel (1998) sugere que a análise da possibilidade sobre os modos de falha seja realizada de forma sequencial, considerando quais são impossíveis, possíveis ou muito possíveis de ocorrer. Logicamente os impossíveis devem ser desconsiderados da análise. A

atenção se volta para os dois restantes, possível e muito possível, sendo este último o primeiro a ser analisado. O Apêndice P apresenta a pontuação de cada modo de falha para o estudo de caso desta dissertação, onde já foram considerados os critérios do autor.

5.3.3 Causas Prováveis

Hollnagel (1998) indica que se descrevam nesta terceira etapa da análise retrospectiva os genótipos prováveis. Aqui se busca a identificação antecipada dos genótipos mais prováveis para uma simplificação da análise, permitindo que o analista mantenha a atenção nas causas mais propensas ao contexto.

Hollnagel (1998) utiliza uma versão de tabela que traz possíveis relações entre CPCs e os 3 grupos de genótipos. As relações são demarcadas, conforme estabeleceu o autor, utilizando um sinal marcador para indicar uma razoável relação e dois sinais marcadores para indicar uma relação mais forte. A tabela se encontra no Apêndice Q desta dissertação.

Diante de possível conflito etimológico, Hollnagel (1998) distingue possível (modo de falha) e provável (modo de causa). Quando se tem modos de falha considerados possíveis, significa que os demais são impossíveis e, logicamente, não devem ser considerados em análise. De outra forma, as causas consideradas prováveis sinalizam que pode haver outras improváveis, mas não impossíveis. Enfim, esta terceira etapa da análise utiliza a diferença na possibilidade ou probabilidade.

Assim como as demais tabelas propostas, esta também pode ser adaptada conforme a necessidade da área envolvida na questão.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

6.1 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso selecionado foi o acidente ocorrido na planta química First Chemical Corporation (FCC), na cidade de Pascagoula, no estado Mississippi, Estados Unidos, em 13 de outubro de 2002. A investigação do acidente foi realizada pela United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), a qual divulgou o relatório 2003-01-1-MS, em outubro de 2003, e utilizou como uma das metodologias investigativas a RCA.

CSB é uma organização americana, com foco científico investigativo e abrangência na esfera federal americana. Criada para atuar de forma independente, não possui atributos legais ou regulatórios, entretanto atua em parceria com o governo na investigação de acidentes com materiais perigosos nas áreas comercial e industrial, visando garantir a segurança de trabalhadores, da população e do meio ambiente. Criada em 1990 através do Clean Air Act Amedments – legislação dedicada ao controle de poluição atmosférica e dedicada a determinar as causas raízes e contribuintes nos acidentes, visando evitar recorrências, além de interagir com outras agências governamentais (principalmente a agência americana de proteção ambiental – United States Environmental Protection Agency – EPA - e o órgão federal americano de administração de saúde e segurança ocupacional - Occupational Safety and Health Administration - OSHA). Seus relatórios são públicos e leis americanas restringem sua utilização em juntadas de processos jurídicos, resguardando, assim, a sua operacionalidade imparcial.

6.1.1 Instalações da FCC

Com área de 242.811m² (equivalente a 651m x 651m), FCC possuía em seu quadro de pessoal o total de cento e trinta e sete (137) funcionários e oito (8) contratados em regime de turno (24 horas). A planta era uma das maiores produtoras de anilina (C₆H₅NH₂), além de fornecer nitro tolueno (a segunda maior fornecedora mundial e a única dos Estados Unidos, na época) e derivados a diversas indústrias locais. A empresa estava em processo de compra pela Du Pont e no entorno da região havia significantes instalações, como uma refinaria da Chevron, uma estrada e linha férrea a leste, uma planta de fertilizantes ao sul, canal navegável

denominado Cassotte – importante rota comercial de navegação – e ainda uma área residencial, ambas a oeste da FCC.

6.1.2 Processo Mono Nitro Tolueno

A coluna de destilação C-501 foi comissionada no final da década de sessenta e separava três diferentes isômeros de mono nitro tolueno (MNT), o qual era utilizado na produção de corantes, borracha e componentes agrícolas químicos. MNT é um composto aromático oriundo da reação do tolueno com os ácidos nítrico e sulfúrico. Após a reação, o inventário contendo MNT, resíduos de ácido, tolueno e água é enviado para um separador, no qual se remove o ácido concentrado residual para recirculação. O tratamento segue com os demais produtos para etapa de lavagem e, em seguida, para a remoção do tolueno residual. O MNT resultante do processo é direcionado às três colunas de destilação da unidade de separação de isômeros MNT (orto, meta e para).

Por definição, isômeros são substâncias com elementos e peso moleculares iguais, mas com propriedades distintas (MICHAELIS, 2016).

A produção na FCC era realizada tanto por batelada, ou seja, para determinada quantidade ou volume, como por produção contínua (caso da C-501). Em 1996 a FCC decidiu incluir uma coluna adicional, AS-310, na produção de MNT e esta utilizaria produção por batelada – o que significa envolver quantidades muito superiores às da produção contínua. Um pouco antes disso, em 1986, ocorreu uma explosão com incêndio no processo por batelada na FCC. O acidente envolveu reação de decomposição de inventário que gerou sobre pressão em equipamento desprovido de barreiras para mitigar a reação térmica. Uma das recomendações desta anomalia foi a realização de análise de riscos do processo como lição aprendida. Para a AS-310, FCC elaborou estudo que contemplava pesquisas de literatura sobre estabilidade térmica do MNT, além de informações sobre ocorrências prévias com MNT. Como resultado desta análise, foram incluídos limites operacionais em procedimentos internos e implementadas recomendações que resultaram em salvaguardas adicionais à produção por batelada. Uma seção específica no procedimento era destinada a itens de segurança, onde orientava a operação a interromper o fluxo de calor, caso a temperatura excedesse 205°C; não permitir que o material fosse exposto por mais de uma hora em temperatura acima de 202°C; não permitir a continuidade do fluxo de calor em caso de vácuo não estabelecido.

Em abril de 1996, FCC relacionou e enfatizou as recomendações provenientes do estudo de riscos. A ação antecipava o início da produção na AS-310. Uma das recomendações citava um intertravamento (*interlock*), caso a temperatura estivesse acima do estabelecido. A coluna possuía ainda outro intertravamento para controle de pressão.

Para a C-501 não foi evidenciada nenhuma análise de riscos ou existência de instrumentação. Sua última barreira era a válvula de segurança. Seus procedimentos não alertavam para as reações do MNT e tampouco para manobras emergenciais de controle operacional perante temperatura e pressão. Apesar de não possuir outras barreiras em seu sistema, FCC acreditava que a válvula de segurança (Pressure Safety Valve – PSV) da C-501 era efetiva.

Finalizando o contexto da ocasião, as condições aplicadas aos modelos de produção, por batelada e contínua, eram diferenciadas. As práticas gerenciais aplicadas à C-501 foram muito distintas das aplicadas à AS-310, possivelmente pelo histórico de bons resultados e menor quantidade de produto envolvida na C-501 (CSB, 2003).

6.1.3 Descrição do Evento

A operação normal de cada torre é trabalhar em vácuo para facilitar o processo de destilação, com temperatura de 177°C na corrente interna. No caso da C-501 há dois trocadores de calor para cada torre e o monitoramento operacional conta com oito indicadores de temperatura ao longo da torre e não há alarmes. As linhas de vapor para cada trocador são de três polegadas (7,62 centímetros) com válvulas manuais de bloqueio de entrada e saída, além de válvulas de controle de fluxo. A linha de fluxo variante (by-pass) possui válvula de bloqueio manual. Uma bomba remove material do fundo da torre (predominantemente para e meta MNT), o qual é direcionado para uma segunda torre para a separação dos isômeros, podendo este fluxo ser direcionado de volta. No coletor das bandejas se acumula o produto líquido orto MNT, o qual é removido por bomba de refluxo e em seguida resfriado. Em seguida é direcionado para armazenamento ou retorna para o topo da torre. A Figura 15 ilustra a torre/coluna C-501 e suas interligações a demais equipamentos e dispositivos.

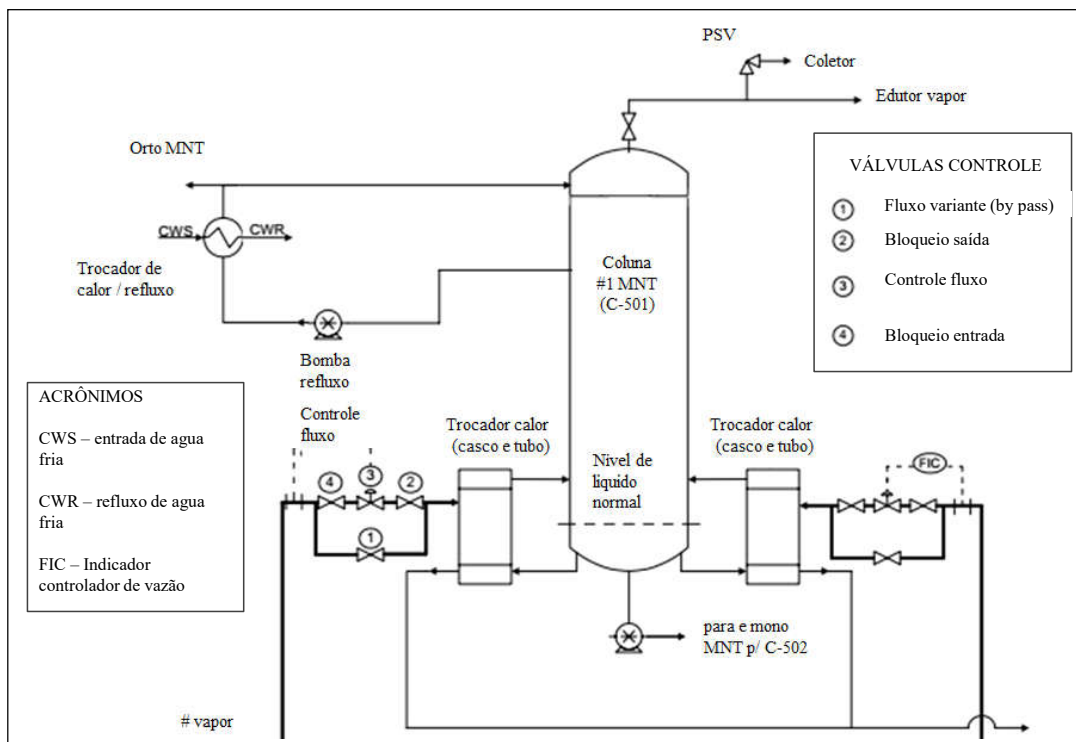


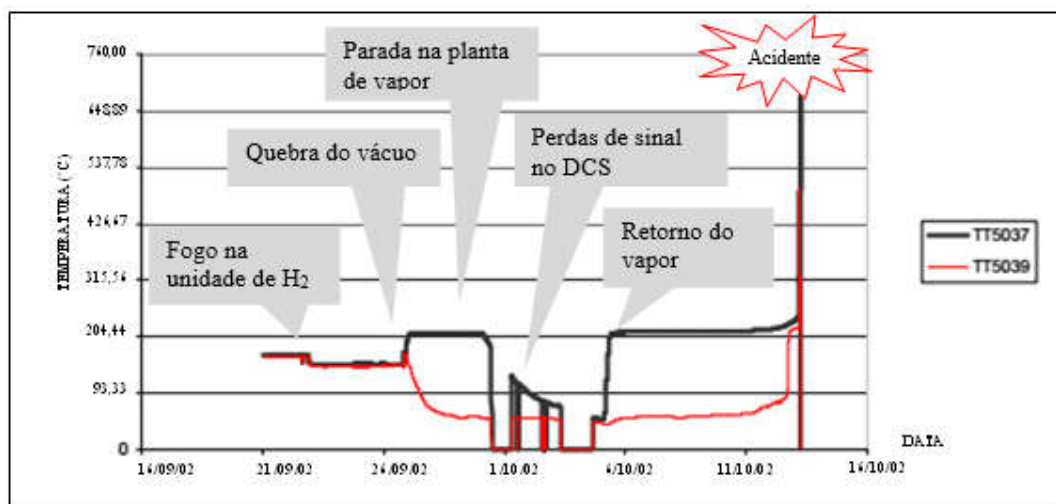
Figura 15 - Coluna C-501 (MNT), equipamentos e dispositivos
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.

Uma parada total de manutenção estava agendada para acontecer em outubro de 2002. Em 5 de setembro (cinco semanas antes do acidente) FCC apresentou dificuldades operacionais na central de ácido sulfúrico da unidade de MNT e a produção de MNT foi interrompida. O volume de MNT estimado na torre, na ocasião, era de 1.200 galões ou 4.542 litros. Devido à baixa demanda pelo produto, FCC decidiu manter as colunas em refluxo, ou seja, havia vapor circulando na torre, mas não havia alinhamento de carga, até a parada total programada ser finalizada.

Outra ocorrência registrada foi um incêndio na unidade de hidrogênio, em 22 de setembro, o qual poderia afetar o fornecimento de vapor às unidades. Prontamente a operação analisou o cenário e identificou fontes de consumo de vapor não prioritárias naquele instante, e a torre C-501 estava entre elas. As válvulas manuais foram fechadas e o Sistema de Controle Distribuído (Distributed Control System - DCS) da FCC comandou o fechamento da válvula de fluxo. O DCS é um sistema automático e utilizado no controle e monitoramento dos processos químicos (CSB, 2003).

Os investigadores perceberam nos registros do DCS, mesmo após o quinto dia de ausência de vapor na C-501 e com válvulas fechadas, que a temperatura no fundo da torre C-501 não ficou abaixo de 149°C.

Em 27 de setembro, durante preparação para manutenção no refluxo do trocador de calor (resfriador), foi quebrado o vácuo na C-501, sendo injetado nitrogênio no sistema. O dispositivo de medição apenas indicava pressão, com range de 0 a 200 milímetros de mercúrio (mmHg). Não havia dados para verificar a quebra de vácuo e a temperatura não estava sob monitoramento, apesar de haver dispositivos para tal. A Figura 16 a seguir foi obtida no próprio DCS da FCC após o acidente e adaptada com relevantes ocorrências identificadas em destaque.



O desempenho da temperatura demonstra o comportamento na parte baixa da C-501 através de dois termopares: TT5037 (linha negra), posicionado no fundo da torre e TT5039 (linha vermelha), em altura próxima a linha de entrada do trocador de calor. A planta de vapor foi parada em 29 de setembro para manutenção programada e a temperatura no fundo da C-501 estava próxima a do ambiente. Em 1 de outubro houve interrupção de energia e o DCS não registrou dados. A energia foi restabelecida no dia seguinte. No dia 3 de outubro houve perda de dados no hardware do DCS, sendo restaurado no dia seguinte.

A manutenção da planta de vapor retornara em 5 de outubro, reativando os alinhamentos. A temperatura no fundo da C-501 volta a subir, chegando a 212,78°C. Durante os próximos dias a temperatura continuou a subir, até que em 12 de outubro um alarme de nível alto das bandejas é acionado, porém é silenciado pela operação, sem tomada de ações ou providências. A boa prática de avaliação de alarmes e a análise da razão pela sua ativação não

ocorreu, demonstrando fragilidade na comunicação e/ou treinamento para lidar com situações anormais.

Em 13 de outubro, dia do acidente, a temperatura atingiu 232°C e continuava sem monitoramento, quando um operador da área da C-501 escutou um forte ruído rascante, rompendo a normalidade. Era como se a válvula de segurança fosse acionada a altas vazão e pressão. O operador, então, observou um rasgo lateral na metade superior da C-501, gerando uma grande perda de contenção. - Parecia um “charuto”, descreveu o operador. O material esbranquiçado formava uma nuvem em direção ao parque da Chevron. Poucos minutos depois ocorreu a ignição da atmosfera, seguida de violenta explosão.

6.1.4 Detalhamento do Evento

A quantidade de equipamentos e o inventário de produtos perigosos localizados na proximidade elevava o risco de agravamento da emergência de forma exponencial, como, por exemplo, cilindros de Cloro (estado gasoso) e tanques de ácido sulfúrico.

O controle da demanda de vapor à C-501 era realizado por duas estações, cada uma composta de um trocador de calor e quatro válvulas. Os testes realizados indicaram que ambas as estações permitiam a passagem de vapor, entretanto uma delas apresentou vazão de 81Kg/hora de vapor. A Figura 17 ilustra a disposição das válvulas, conforme a seguinte numeração: (1) válvula manual do by-pass; (2) válvula de saída – manual; (3) válvula de controle de fluxo automático; (4) válvula de entrada – manual.

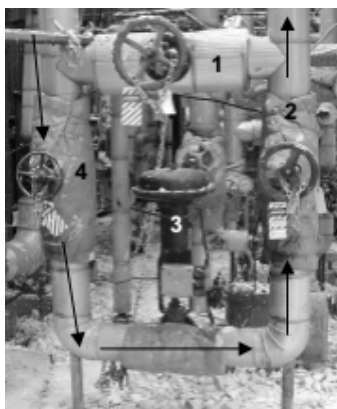


Figura 17 - Alinhamentos de vapor ao trocador de calor
Fonte: CSB (2003)

Nestas estações o vapor possuía característica dupla, ou seja, além do estado em forma de vapor, também carregava parte líquida, o que corroborava na formação de corrosão e erosão na sede da válvula. Esses agentes terminaram por produzir um pequeno orifício de passagem, por onde fluía o vapor (Figura 18). A confirmação de passagem em válvula da outra estação foi possibilitada pela presença de detritos e impurezas, que a impediam de fechar da forma esperada, mesmo sabendo da não possibilidade de vedação completa pela válvula em condições normais de operação. O sistema de práticas de manutenção da FCC estava aquém do adequado, sem evidências de avaliações anteriores nas estações.

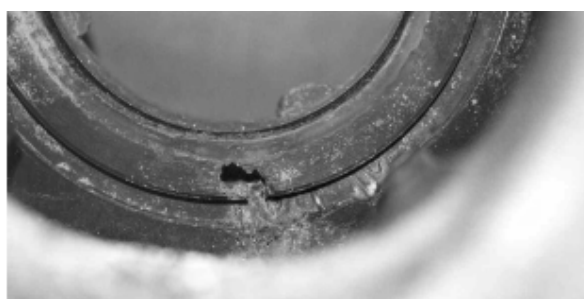


Figura 18 - Furo na sede da válvula (horário 6h) da linha de by-pass
Fonte: CSB (2003)

O contexto descrito confirma a contínua passagem de vapor, e conseqüentemente o aquecimento do material da C-501, através das válvulas manuais, apesar de estarem fechadas. As instruções técnicas não especificavam para a utilização de válvula modelo duplo bloqueio com drenagem (double block and bleed), a qual era reconhecida pela operação como ideal ou apropriada para a realização da manobra. Apesar disso, não foram utilizadas raquetes para efetivamente bloquear a energia. As informações obtidas no DCS indicam que havia fluxo mesmo após as manobras das válvulas manuais.

A passagem de vapor através de válvula manual aqueceu o MNT contido na coluna de destilação C-501 (dimensões: diâmetro=2,15m e altura= 44,20m), a qual não estava em operação e era considerada como isolada de fontes de energia. Em 13 de outubro de 2002, aproximadamente às 5h 25min, uma violenta explosão do reator C-501, devido à decomposição química do MNT (CSB, 2003) e contendo 4.542 litros (1.200 galões) de inventário, deixou três empregados feridos e projetou fragmentos por toda a vizinhança. Apesar do acidente não ter registrado fatalidades, a CSB decidiu pela investigação devido ao relevante potencial de impacto à comunidade no entorno e a possibilidade de reatividade dos produtos na instalação.

Historicamente o nitro tolueno tem sido estudado e é conhecido por sua característica de decomposição quando exposto a altas temperaturas, de forma instantânea, ou a elevadas temperaturas por um tempo contínuo. Segundo CSB (2003), a definição do termo “tempo de indução” é exatamente o tempo que o material pode ficar exposto à determinada temperatura antes de iniciar a reação exotérmica (decomposição). A Figura 19 destaca as temperaturas 213°C e 235°C – intervalo de temperaturas aproximado ao qual ficou submetido o MNT no fundo da C-501 durante alguns dias antes da explosão. Nesta condição o tempo de indução foi reduzido de trinta e cinco (35) dias (exposição a 213°C) para apenas um (1) dia (exposição a 234°C - temperatura no fundo da C-501 horas antes do acidente).

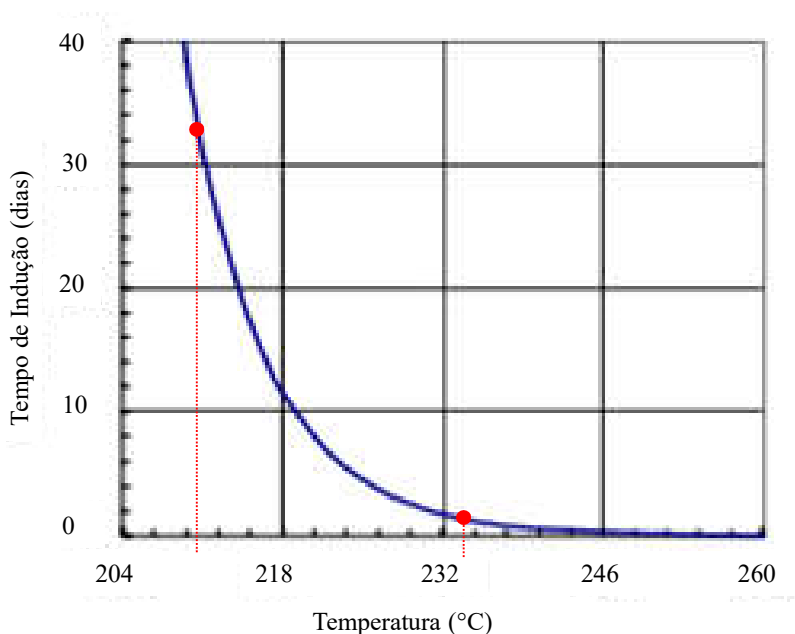


Figura 19 - Tempo de indução do MNT
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.

A decomposição produz ainda gases, podendo elevar a pressão interna do equipamento. Esse fato levou os investigadores a afirmar que a explosão da C-501 foi causada pela decomposição do MNT.

CSB (2003) informa que a temperatura na C-501 permaneceu entre 213°C e 235°C por alguns dias antes da explosão. A temperatura na manhã do acidente no fundo da C-501 era de 235°C. Ainda na CSB (2003), os investigadores afirmam que uma reação secundária foi observada devido à presença de ar no interior da C-501, catalisando o processo reativo.

6.1.4.1 Teste de Integridade da C-501

A C-501 fora projetada, fabricada e testada de acordo com a sociedade americana de engenharia mecânica – American Society of Mechanical Engineers (ASME). A PSV no topo possuía 7,62 centímetros nominais de diâmetro e atuaria com pressões maiores que 1,05 Kgf/cm².

CSB (2003) considerou também a integridade do equipamento e constatou que as paredes possuíam trinta por cento (30%) da sua espessura original, principalmente por corrosão externa, despertando a atenção dos investigadores para um possível novo fator. Dados de projeto indicavam uma pressão de trabalho de 1,05 Kgf/cm² e os resultados dos testes de estabilidade térmica (conforme estabelecem as normas da sociedade americana para testes e materiais – American Society for Testing and Materials – ASTM) estimaram que a pressão na C-501 pode ter atingido valores próximos a 262 Kgf/cm². Isso ratifica que a C-501 não suportaria a pressão oriunda da decomposição, mesmo que suas paredes estivessem íntegras ou não degradadas. Entrevistas realizadas com profissionais da FCC revelaram a crença de que a temperatura de operação da C-501 era alta o suficiente para prevenir presença de umidade sob o isolamento externo e degradações nas paredes, e por isso não monitoravam a condição.

De acordo com a CSB (2003), literaturas e informações de testes da indústria demonstram que o MNT exposto a altas temperaturas pode reagir violentamente, gerando elevados volumes de vapor. O dimensionamento adequado de PSV em sistemas de reações químicas é complexo e deve considerar o descarte de partes gasosas, líquidas e a conjugada destas, ou seja, um fluxo de duas fases. CSB (2003) comprovou, ainda através do teste de estabilidade térmica, que para as condições locais (reatividade do MNT, dimensões da C-501 e 1,05 Kgf/cm² de pressão de trabalho) a PSV não estava adequadamente dimensionada - uma PSV de 147 centímetros de diâmetro seria necessária. Diante da dimensão do dispositivo, a alternativa seria utilizar na filosofia de projeto o aumento do número de dispositivos e/ou a alteração de posicionamento no equipamento. FCC não possuía a documentação de projeto e instalação da PSV, impossibilitando a obtenção de maiores detalhes sobre o cenário considerado na ocasião. A existência de sistema de avaliação da PSV poderia ter identificado a não conformidade instalada.

6.1.4.2 Casa de Controle - Construção e Locação

Os três feridos na explosão tiveram lesões provenientes dos vidros das portas da casa de controle. O horário do evento, às 5 horas e 25 minutos da manhã, favoreceu um menor contingente de pessoas no local.

A locação da casa de controle distava quinze (15) metros da C-501. A explosão danificou suas estruturas, como paredes e telhado. Demais construções da FCC distavam cento e trinta e sete (137) metros da C-501.

As entrevistas investigativas demonstraram que operadores acreditavam existir análise de riscos que contemplasse a proximidade da casa de controle com a C-501. CSB (2003) cita a disponibilidade de consulta técnica a uma recomendação prática (RP) da norma American Petroleum Institute (API), denominada API RP 752 (Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings), orientando sobre cuidados na locação de construções em áreas industriais e quantitativo de pessoas envolvidas perante o risco inerente na região. FCC não atentou para tais orientações, assim como também não evidenciou documentação sobre locação da casa de controle no possível cenário.

A dificuldade da FCC em evidenciar documentos técnicos foi concentrada em três fatores: houve perda de conteúdo por empregados que saíram da empresa (redução de efetivo, demissões e aposentadorias), por venda de parte da empresa (quando a documentação pertinente foi cedida para avaliação externa e não retornou) e ainda por ocorrência de um furacão na época.

6.1.4.3 Sistema de Notificação à Comunidade

O alerta foi disparado e a comunicação não foi efetiva. De acordo com a CSB (2003), a comunicação eficiente proporciona apropriadas ações dos residentes e empresas vizinhas, minimizando a ansiedade local.

6.1.5 Causas Raízes e Contribuintes

O relatório investigativo CSB 2003-01-1-MS, relacionou quatro causas raízes e duas contribuintes, conforme a seguir:

Causas raízes

- FCC não possuía sistema adequado de análise de riscos do processo contínuo de MNT e não utilizou as lições aprendidas das análises de risco de processos similares nas instalações;
- FCC não possuía sistema para garantir que C-501 fosse equipada com camadas de proteção preventivas a liberações catastróficas;
- FCC não possuía sistema efetivo para garantir práticas de trabalho consistentes no isolamento de equipamentos;
- FCC não detinha programa adequado para prevenir vazamentos nas válvulas de isolamento nas linhas de interligação de vapor da C-501.

Causas contribuintes

- FCC não possuía sistema de avaliação de integridade estrutural das estruturas da casa de controle nem das instalações próximas a processos;
- a comunidade local, Jackson County, não possuía sistema efetivo para alertar moradores sobre anomalias com potencial catastrófico e para resposta apropriada.

6.2 USO DA METODOLOGIA DIAGRAMA DE FATORES CAUSAIS

A investigação da CSB utilizou o Diagrama de Fatores Causais como uma das metodologias, conforme citado anteriormente.

A análise foi traduzida e adaptada com grifos do autor (considerações destacadas).

Apesar do relatório da CSB ter registrado quatro causas raízes, não há menção de que os investigadores tenham utilizado os recursos do Mapa de Causa Raiz. Diante da constatação, foi realizada uma análise complementar dos fatores causais com o Mapa, o que permitiu identificar uma causa raiz a mais (totalizando cinco causas raízes), segundo a metodologia, entretanto este fato não representa alteração qualitativa ao resultado investigativo, mas apenas quantitativo, devido a melhor descrição evidenciada.

No quadro 9 é possível analisar a relação entre todos os fatores causais e as causas raízes (com e sem a utilização do Mapa de Causa Raiz). Cabe ressaltar que os fatores causais foram agrupados ou organizados para uma melhor adequação perante as causas raízes relacionadas.

#	Fatores Causais	Causas Raízes	Causas Raízes (Uso do Mapa)
1	<ul style="list-style-type: none"> • PSV de 3” instalada no C-501. • Salvaguardas similares não instaladas no C-501. 	<p>Análise Riscos - FCC não possuía sistema adequado para avaliação de riscos do processo com o MNT na produção contínua e não aplicou as lições aprendidas no processo similar (batelada)</p>	<p>SPAC não restrito o suficiente - Sistemas locais para aplicação de lições aprendidas nos equipamentos existentes abaixo do adequado.</p> <p>SPAC não restrito o suficiente - Sistema para avaliar perigos abaixo do adequado.</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> • Salvaguardas similares não instaladas no C-501. • C-501 não equipado com inter travamento de alta temperatura. • Entrada de ar na C-501 sem monitoramento. • Sem sistema para monitoramento da temperatura durante a parada programada. • C-501 equipado apenas c/ indicadores; sem alarmes ou intertravamentos 	<p>Camadas de Proteção - FCC não possuía sistema para garantir à C-501 as camadas de proteção suficientes para prevenir perdas de contenção.</p>	<p>SPAC não restrito o suficiente - Sistema para avaliar perigos e determinar camadas de proteção abaixo do adequado.</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> • Práticas de trabalho não induziam operadores a verificar isolamento. • Raquetes não instaladas no “by-pass” da linha principal. • Não havia procedimento para retirada MNT. 	<p>Práticas de Trabalho - FCC não tinha sistema efetivo para garantir práticas de trabalho, procedimentos e treinamentos consistentes para o isolamento de equipamentos.</p>	<p>SPAC não restrito o suficiente - Sistema para garantir práticas de trabalho no isolamento de equipamentos abaixo do adequado.</p>
4	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas 1 válvula fechada - sistema sem duplo bloqueio. • Corrosão em válvulas na linha de vapor 	<p>Manutenção - FCC não tinha programa adequado para prevenir passagem em válvulas de vapor.</p>	<p>Sem SPAC - Sistema não garantia bloqueio nas válvulas da linha de vapor.</p>

Quadro 9 - Fatores Causais e Causas Raízes
Fonte: O autor (2016).

6.3 USO DA METODOLOGIA CREAM

A utilização da metodologia CREAM foi realizada no software específico (Serwy, R. e Rantanen, E., versão 0.6.1, 2016). Seguindo o prescrito no item 5.3.1 (Resumo da Metodologia Retrospectiva CREAM), a descrição do evento e contexto devem ser relacionados com os CPCs. O quadro 10 sintetiza as considerações ao cenário, onde o software classifica o efeito no desempenho, determina o modo de controle operacional e finaliza com pontuação entre MTO nos itens de maior atenção na análise.

CREAM Cognitive Reliability Error Analysis Method Web Demonstration Version 0.6					
Mapping to the Man-Technology-Organisation (MTO) Triad					
CPC	Level	Effect on Performance	Man	Technology	Organization
1) Adequacy of organisation	Deficient	Reduced	0	0	2
2) Working conditions	Compatible	Not significant	1	2	1
3) Adequacy of MMI and operational support	Inappropriate	Reduced	1	2	1
4) Availability of procedures / plans	Inappropriate	Reduced	0	2	2
5) Number of simultaneous goals	Matching current capacity	Not significant	2	2	0
6) Available Time	Adequate	Improved	2	0	1
7) Time of day (circadian rhythm)	Night-time (unadjusted)	Reduced	1	0	0
8) Adequacy of training and experience	Inadequate	Reduced	0	2	2
9) Crew collaboration quality	Inefficient	Not significant	1	0	2

CPC Triplet:

- Improved: 1
- Not Significant: 3
- Reduced: 5

Operator Control Mode: **Opportunistic**

Likely Paths for Analysis:

Sum of reduced performances, capped at 3: (higher numbers means a more likely path)

- Man: 2
- Technology: 3
- Organization: 3

Quadro 10 - CPC e MTO – visão no software CREAM
 Fonte: O autor (2016)

Os modos de controle foram apresentados no item 5.2 (Método Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM) desta dissertação. Hollnagel (1998) comenta que os modos de controle são de grande relevância para guiar ações preventivas e análises de

confiabilidade humana com foco em modelos cognitivos, já que um controle efetivo está relacionado à habilidade para o planejamento de ações.

Apesar da condição citada, é relevante se conhecer a característica do contexto vivido no estudo de caso e quais foram as influências mais significantes. É relevante destacar que na categorização dos CPCs do estudo de caso as condições de trabalho, o número de tarefas simultâneas e tempo disponível foram consideradas favoráveis, uma vez que não havia evidência contrária nem negativa com relação aos temas.

De acordo com a classificação encontrada, modo oportunista, Hollnagel (1998) cita haver predominância característica de pouco planejamento, podendo ser devido ao contexto mal compreendido ou por tempo exíguo. Neste modo a reação humana é guiada por instintos dominantes das interfaces ou por suas experiências, mantendo sempre o critério funcional. Para finalizar a interpretação do quadro 10, os modos de controle direcionam a análise com predominância para os pilares Organização e Tecnologia.

A identificação dos modos de falha, conforme citado no item 5.3.2 (Modos de Falha Possíveis), está disponível no Apêndice P, no qual foram mapeados os modos de falha Tempo, Duração e Sequência, considerando os dados no contexto do estudo de caso.

A análise criteriosa realizada no software, entre os consequentes e antecedentes dos genótipos, será está detalhada adiante.

Antes da análise é válido ratificar que o algoritmo para o CREAM possibilita conexões entre os antecedentes e consequentes gerais. A relação entre um antecedente geral e um consequente geral no mesmo alinhamento e mesma tabela é denominado link direto (direct link - DL). Caso esta conexão específica seja realizada fora do alinhamento, na mesma tabela ou em tabela distinta, é denominado link indireto (indirect link - IL).

O algoritmo considera, de acordo com a metodologia e conforme citado anteriormente, que os antecedentes específicos (specific antecedente – SA) funcionam como critério de parada da análise. Nenhum antecedente específico pode ser reclassificado como consequente geral e a análise é iniciada sempre por um consequente específico (specific consequente – SC).

Os fenótipos básicos (ou modos de falha) possíveis, conforme definido no Apêndice P, são identificados como antecedentes gerais (general antecedente – GA). Na análise do estudo de caso, os fenótipos eleitos como possíveis - tempo, duração e sequencia – são denominados DLGA (direct link general antecedent), o que vai carecer, conforme já descrito, de uma continuidade na análise.

O evento considerado como ponto de partida no algoritmo (CREAM start) foi definido pelo autor como o acesso do vapor à C-501.

Para exemplificar a dinâmica de interação entre as tabelas do CREAM, a Figura 20 descreve a sequência com passo a passo da etapa inicial da análise, partindo do Apêndice O, conforme item 5.3.1 (Resumo da Metodologia Retrospectiva CREAM).

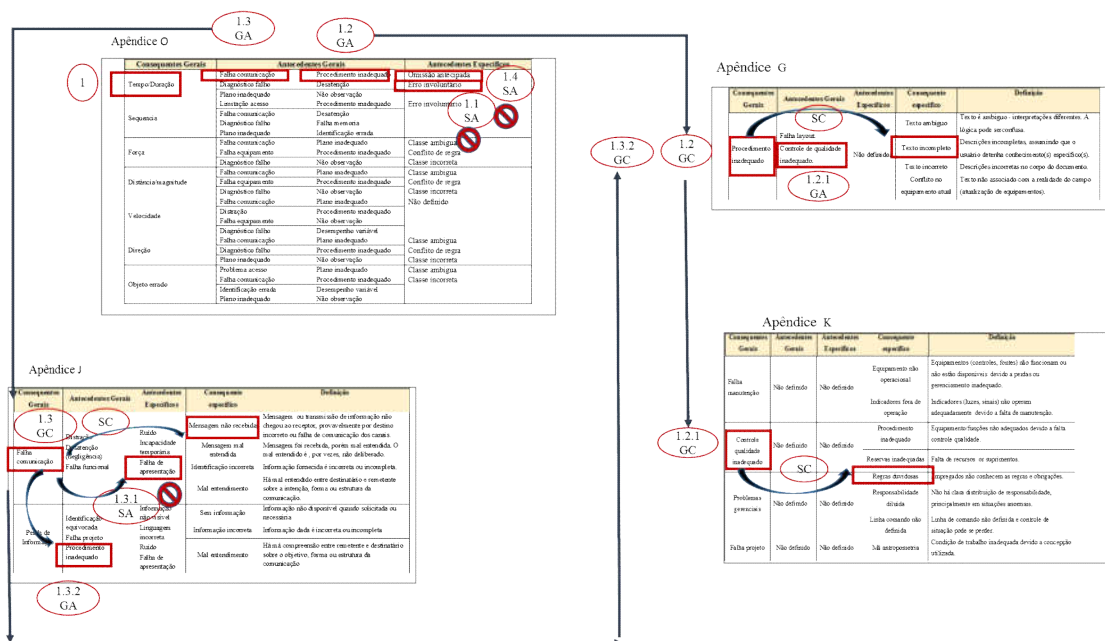
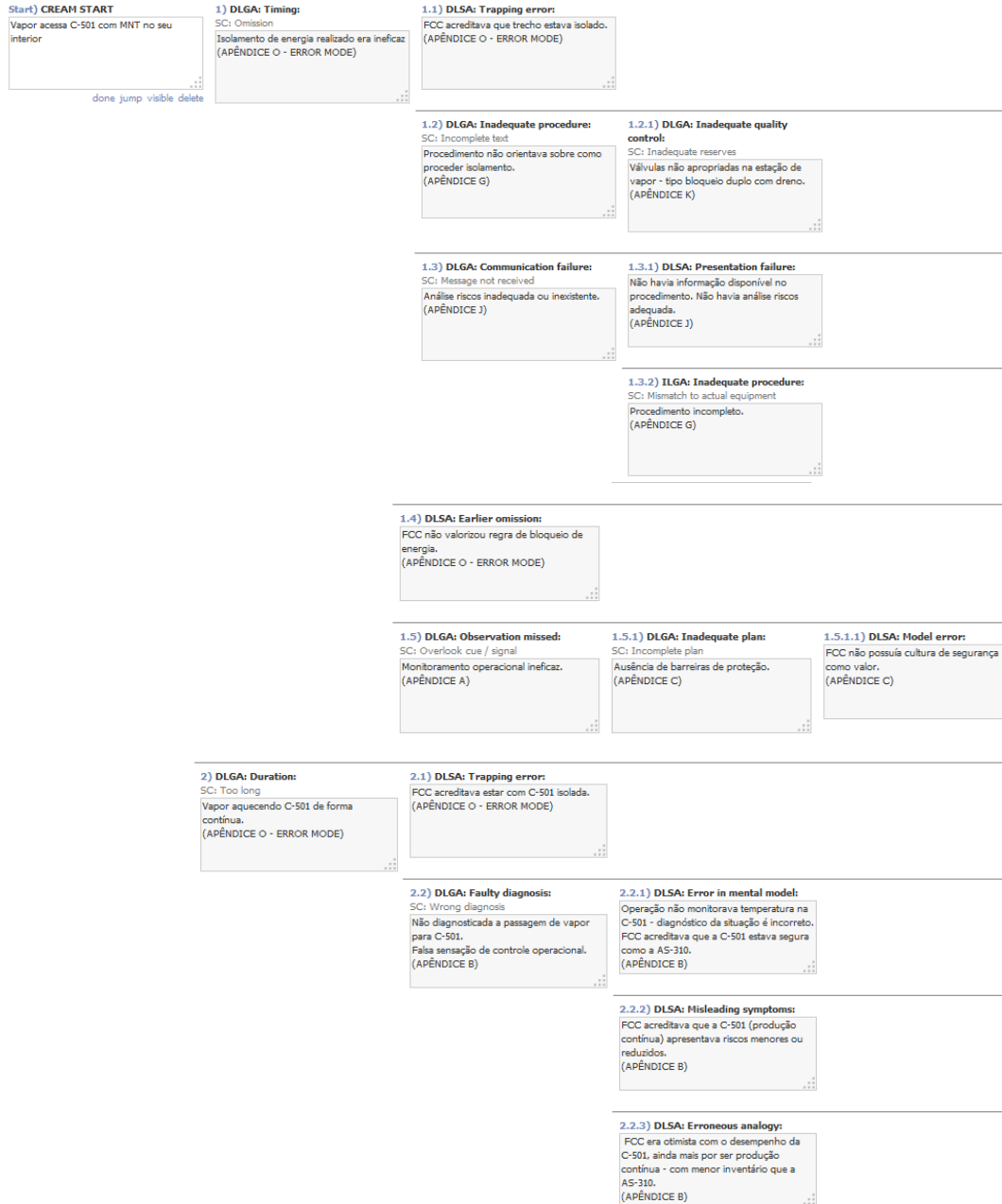


Figura 20 - Início do estudo de caso com uso dos apêndices
Fonte: O autor (2016).

A seguir estão descritos os detalhes da análise com o algoritmo. As anotações editáveis nas caixas são do autor, conforme o contexto do estudo de caso. Com o intuito de facilitar a rastreabilidade de cada opção/caixa nas Figuras a seguir (Figura 21), os apêndices utilizados pelo autor estão citados em cada etapa.



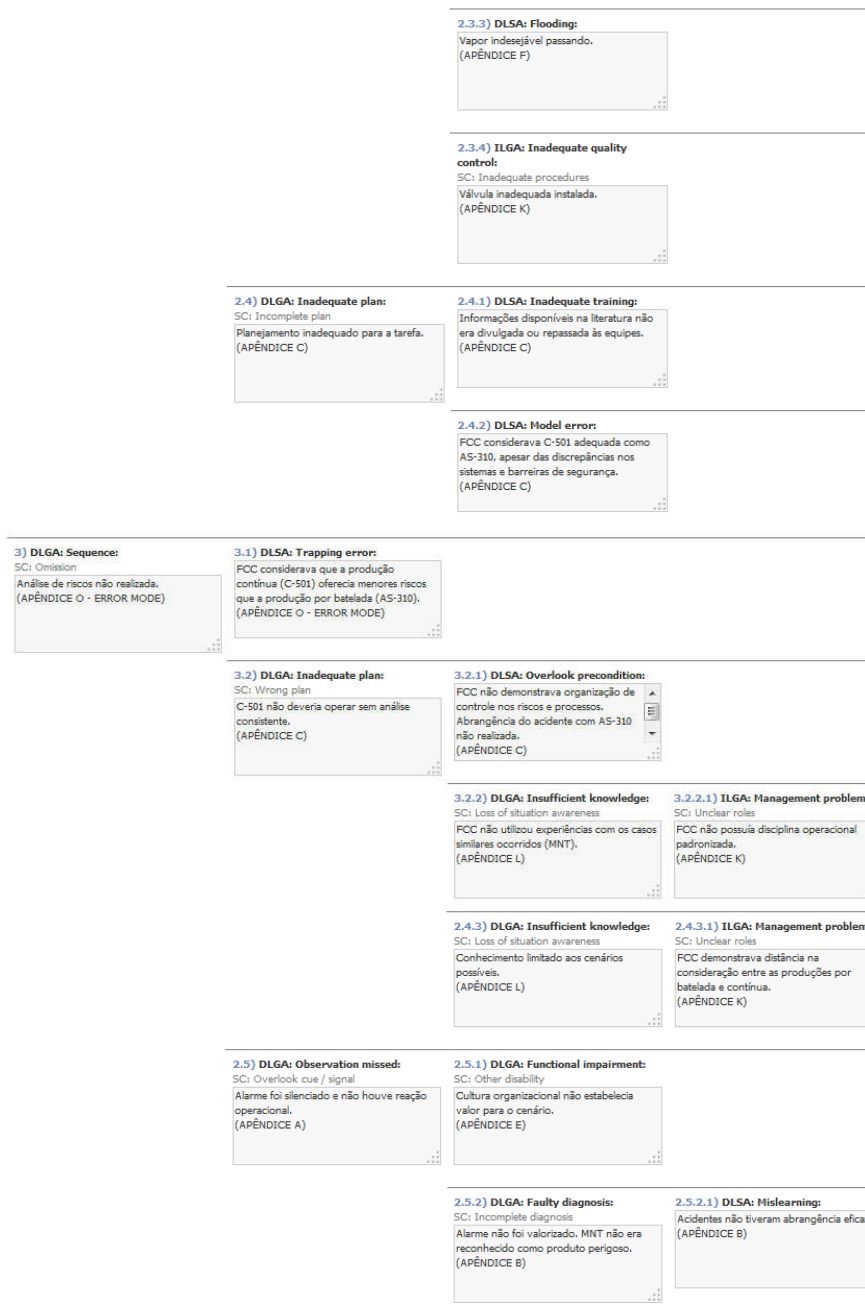


Figura 21 - Algoritmo CREAM
Fonte: O autor (2016).

Após concluída a etapa do algoritmo, seguem relacionadas as causas terminais e as respectivas causas raízes relacionadas:

1	Gestão Operacional inadequada	Causa Raiz
	<ul style="list-style-type: none"> • Isolamento inadequado - FCC acreditava que trecho estava isolado • Procedimento não descrevia como realizar isolamento – procedimento inadequado • FCC não realizava bloqueio de energias – falha gestão operacional • Monitoramento operacional ineficaz – modelo mental praticado • Vapor passando de forma contínua – FCC acreditava estar isolado o trecho • Informação de temperatura não diagnosticada – falha modelo mental • Informação de temperatura não diagnosticada – má condução de sintomas • Informação de temperatura não diagnosticada – analogia equivocada • Informação de temperatura não diagnosticada – influência cognitiva. • Alarme ignorado – dificuldade funcional. • Alarme ignorado – diagnóstico falho (aprendizado não consolidado). 	Causas Terminais
2	Gestão de Riscos insuficiente	Causa Raiz
	<ul style="list-style-type: none"> • Análise riscos não evidenciada - falha na apresentação Instrumentos disponíveis não detectaram a quebra de vácuo 	Causas Terminais
3	Gestão de manutenção/integridade mecânica falha	Causa Raiz
	<ul style="list-style-type: none"> • Falha manutenção (corrosão) – equipamento não vedou de forma eficaz 	Causa Terminal
4	Gestão de Projeto/Processo abaixo do padrão	Causa Raiz
	<ul style="list-style-type: none"> • Válvula inadequada instalada 	Causa Terminal
5	Falha no controle de atividades e na abrangência	Causa Raiz
	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento inadequado – informações de contexto desconhecidas • Planejamento inadequado – conhecimento insuficiente; • Planejamento inadequado – problemas gerenciais sobre regras de produção 	Causas Terminais

Quadro 11 - Causas Terminais e Raízes
Fonte: O autor (2016).

6.4 COMPARATIVO DE RESULTADOS - METODOLOGIAS RCA E CREAM

O resultado apresentado pela metodologia RCA evidenciou uma conduta apropriada para análises de acidentes de natureza diversificada, uma vez que a metodologia permite detalhar a evolução dos fatos e relacioná-los às causas raízes propostas pelo Mapa de Causa Raiz. Apesar desta característica e diante das causas apresentadas, a análise demonstrou menor capacidade natural de análise aos fatores humanos e organizacionais quando comparada ao CREAM. As opções de causas raízes oferecidas pelo Mapa de Causa Raiz poderiam ser mais abrangentes ou amplas, não se limitando aos sete tipos disponíveis no Mapa.

As metodologias investigativas mais utilizadas na indústria de óleo e gás permitem uma análise mais aprofundada nos fatores sócio técnicos, mas com a dependência de o profissional que for conduzir a análise possua competência no assunto. Isso é corroborado pela dinâmica das metodologias, nas quais permeiam o rumo investigativo à área tecnológica e da ação humana não segura.

No caso da metodologia CREAM se observou um delineamento distinto, destacando a característica das causas terminais identificadas, as quais podemos associar, quase que diretamente, aos fatores causais da metodologia RCA. É possível perceber o efeito gerado pela análise da metodologia CREAM com abordagem e predominância organizacional e no fator humano.

Como exemplo vale ressaltar o fato de a operação ter silenciado o alarme sem tomar atitude operacional posterior, conforme descrito no acidente. Neste fato, CREAM foi capaz de revelar como a cultura (ou a falta dela) pode degradar e influenciar no contexto.

Percebeu-se no CREAM uma atuação praticamente indutiva a aprofundar e detalhar as relações do contexto com o sistema sócio técnico, evidenciando falhas de controle organizacional, tecnológico e as ações humanas não seguras, conforme preconiza a metodologia.

6.5 CONCLUSÕES

O comparativo realizado entre as metodologias CREAM e RCA demonstrou diferenças peculiares de cada uma delas. A análise retrospectiva sempre objetiva demonstrar quais as condições ou fatores devem receber atenção especial, seja para evitar recorrências ou para aperfeiçoar um sistema de gestão.

Na análise RCA realizada foram agregados fatos relevantes, sem, entretanto, objetivar a influência na conclusão no diagrama ou nas causas relacionadas, ou seja, a intenção do estudo não visava realizar análise crítica das considerações.

A metodologia RCA demonstrou exigir maior esforço e tempo do investigador para realizar análise de anomalia envolvendo sistemas complexos, já que o limite das influências se mostra menos tênue, apesar do recurso do Mapa de Causa Raiz. Uma característica positiva no RCA é a facilidade para encadear o evento, já que a funcionalidade da linha do tempo é inerente à metodologia.

CREAM não demonstrou ser uma metodologia amigável e de fácil compreensão, não só por seus conceitos e regras, mas principalmente pela quantidade de conexões possíveis e necessárias entre as funções, demandando maior conhecimento e embasamento nas questões sobre ações humanas não seguras. Sem a utilização do software a metodologia demandaria grande dispêndio de tempo para as consultas necessárias, o que poderia inviabilizar a tarefa de analisar uma anomalia de complexidade elevada. O Algoritmo alinha e direciona as possíveis conexões e restringe o acesso àquelas não aplicáveis em cada conexão, o que simplifica significativamente a técnica e o tempo de análise. Desta forma, as conexões entre os fenótipos selecionados e seus possíveis genótipos foram definidas de forma pragmática.

Outra observação relevante na versão utilizada do CREAM é a pertinência de utilizar as opções não definidas em algumas conexões, entretanto, no estudo de caso esta necessidade não se mostrou imprescindível ou comprometedor para a obtenção das causas terminais no estudo de caso analisado neste estudo.

Uma melhor identificação de fatores contribuintes ou influenciáveis na utilização do CREAM pode ser obtida ao realizar uma adequada compatibilização de antecedentes não definidos pela versão atual da metodologia, considerando a realidade da área e a notoriedade de coerência aliada a boa prática. No caso do RCA, o objetivo se torna mais tangível e recomendável com expertise do investigador na análise de confiabilidade humana e fatores sócio técnicos, apesar da simplicidade da metodologia.

A relação de causas terminais do CREAM foi organizada de forma a permitir melhor visão gerencial e, conseqüentemente, de monitoramento, já que foram agregadas em cinco tipos principais.

De forma comparativa com a metodologia RCA, onde foram apontadas quatro causas raízes, é possível se observar a relevante diferença na descrição e detalhamento das causas no CREAM, nas quais permeiam fatores relacionados a organização, à tecnologia (equipamentos) e ao homem de forma contundente, como, por exemplo, a causa raiz denominada Gestão Operacional inadequada. Aqui foram relacionadas onze causas terminais, as quais não foram explicitadas ou associadas de forma direta na metodologia RCA. Para exemplificar a afirmação, CREAM permitiu identificar a analogia ou associação equivocada para operar o vaso C-501 com o vaso AS-310, confirmando fragilidade da organização no quesito operacional.

O estudo de caso foi tornado público, entretanto algumas informações e detalhes não puderam ser compreendidos ou citados nesta dissertação, diante da incerteza de contexto formada. A atuação da PSV foi um dos casos. Apesar das incertezas e sem pretender criticar o trabalho realizado na época, a análise foi satisfatória para atender ao objetivo do estudo, transparecendo a diferença de abordagens entre as metodologias.

6.5.1 Propostas de Novos Trabalhos

Como proposta para novos estudos que possam se basear nesta dissertação, a visão da influência de antecedentes deve prevalecer. É também primordial que o (a) estudioso (a) conheça profundamente o evento e o contexto em questão, pois somente assim poderá realizar as possíveis conexões da metodologia CREAM. A metodologia RCA pode perfeitamente ser utilizada na montagem das ideias sobre a anomalia, considerando sua simplicidade e organização cronológica. Essa característica facilita inclusive aos que não detiverem do detalhamento em mãos.

Esta alternativa pode concretizar uma atuação conjunta das metodologias, onde se proporcionará uma descrição eficiente e criteriosa e, conseqüentemente, uma análise consistente da anomalia, com modos de falha e efeitos mapeados e reconhecidos. Aliada ao efeito somatizado no aprendizado da ocorrência analisada, é possível avaliar a utilização das lições aprendidas na análise de riscos de sistemas ou organizações com condições similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYUZ, E.; CELIK, M. Application of CREAM human reliability model to cargo loading process of LPG tankers. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 34, p. 39-48, Mar. 2015.

ALMEIDA, I. M. Análise de barreiras e o modelo de ressonância funcional de acidentes de Erik Hollnagel. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 33, n.118, p. 17-31, jul./dez. 2008.

ALMEIDA, I. M.; JACKSON FILHO, J. M. Acidentes e sua prevenção. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 32, n.115, p. 7-18, jan./jun. 2007.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API recommended practice 770**: manager's guide to reducing human errors: improving human performance in the process industries. Washington, 2001.

ASADZADEH, S. M.; AZADEH, A. An integrated systemic model for optimization of condition-based maintenance with human error. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 124, p. 117-131, 2014.

BALFE, N.; LEVA, M. C. Human factors analysis in risk assessment: a survey of methods and tools used in industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ERGONOMICS & HUMAN FACTORS, 2014, Southampton. **Proceedings...** Boca Raton: CRC, 2014. p. 77-84.

BARBARINI, Luiz H. M. **Análise de risco para embarcações com sistemas de alarmes com foco nos fatores humanos e organizacionais**. 2012. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BAYSARI, M. T.; MCINTOSH, A. S.; WILSON, J. R. Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia. **Accident analysis and prevention**, Amsterdam, v. 40, n. 5, p. 1750-1757, Sept. 2008.

BEDFORD, T.; BAYLEY, C.; REVIE, M. Screening, sensitivity, and uncertainty for the CREAM method of Human Reliability Analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 115, p. 100-110, July 2013.

BELMONTE, F. et al. Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: an application to railway traffic supervision. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 96, n. 2, p. 237-249, 2011.

CASTIGLIA, F.; GIARDINA, M.; CARAVELLO, F. P. **Fuzzy Fault Tree analysis in modern γ -ray industrial irradiator: use of fuzzy version of HEART and CREAM techniques for human error evaluation**. 2008. Disponível em: <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/29435/27391/paper_n%c2%b0%200136%20PSMA9.pdf>. Acesso em: 22 ago.2015

CASTRO, J. F. T. **Proposta de metamodelo de gestão integrada: alocação de recursos para atendimento a portfólio de projetos e de operações: estudo de caso em uma indústria de óleo e gás**. 2014. 192 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Diretrizes para segurança de processo baseada em risco**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

CHENG, C.-M.; HWANG, S.-L. Applications of integrated human error identification techniques on the chemical cylinder change task. **Applied ergonomics**, Amsterdam, v. 47, p. 274-284, 2015.

DANIELLOU, François; SIMARD, M; BOISSIERES, I. **Les cahiers de la sécurité industrielle**. Toulouse: FONCSI, 2009. Disponível em: <www.foncsi.org>. Acesso em: nov. 2014.

DESMORAT, G. et al. Accidents in the gas distribution industry: some consequences of the introduction of new analysis criteria. In: ESREL INTERNATIONAL CONFERENCE, 20., 2011, Troyes. **Papers...** Boca Raton: CRC, 2011.

_____. Pouring CREAM into natural gas: the introduction of Common Performance Conditions into the safety management of gas networks. **Safety Science**, Amsterdam, v. 54, p. 1-7, 2013.

DICIONÁRIO MICHAELIS. São Paulo: Melhoramentos, 2016. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: ago. 2016.

DOYTCHEV, D. E.; SZWILLUS, G. Combining task analysis and fault tree analysis for accident and incident analysis: a case study from Bulgaria. **Accident analysis and prevention**, Amsterdam, v. 41, n. 6, p. 1172-1179, 2009.

EL-LADAN, S.B.; TURAN, O. Human reliability analysis -Taxonomy and praxes of human entropy boundary conditions for marine and offshore applications. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 43-54, 2012.

ENERGY INSTITUTE. **Guidance on investigating and analysing human and organizational factors aspects of incidents and accidents.** London, 2008. Disponível em: <www.energyinstpubs.org.uk>. Acesso em: jul. 2015.

FONTELLES, M. J. et al. Metodologia da Pesquisa Científica: Diretrizes para a Elaboração de um Protocolo de Pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 23, n. 3, jul./set. 2009.

FILGUEIRAS, L. V. L. APIS: método para desenvolvimento de interfaces homem-computador em sistemas de segurança visando a confiabilidade humana. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

FREITAS, C. M; PORTO, M. F. S. Aspectos sociais e qualitativos nas análises de causas de acidentes industriais em sistemas tecnológicos complexos. **Produção**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 33-55, June 1997.

FUJITA, Y.; HOLLNAGEL, E. Failures without errors: quantification of context in HRA. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 145-151, 2004.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 2008.

HE, X. et al. A simplified CREAM prospective quantification process and its application. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 298-306, 2008.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Reducing error and influencing behavior.** London, 2009. ISBN 978 0 7176 2452 2.

HEUVEL, L. N. V. et al. **Root cause analysis handbook: a guide to efficient and effective incident investigation.** 3. ed. Brookfield: Rothstein Associates, 2008.

HOLLNAGEL, E. **Accident analysis and barrier functions:** report of the project TRAIN, version 1.0. [S.l.]: IFE, 1999.

_____. **Barriers and accident prevention.** Aldershot: Ashgate, 2004.

_____. **Cognitive reliability and error analysis method (CREAM).** Oxford: Elsevier, 1998.

_____. **The ETTO principle: efficiency-thoroughness trade-off: why things that go right sometimes go wrong.** Surrey: Ashgate, 2009.

_____. **Introduction to FRAM: the Functional Resonance Analysis Method: [a compact presentation of the FRAM].** 2014. Disponível em: <<http://www.spek.fi/loader.aspx?id=2fe8ba37-e4da-4fce-9dfa-3ca6915cd603>>. Acesso em: jul. 2015.

_____. Reliability analysis and operator modelling. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 327-337, June 1996.

HOLLNAGEL, E.; FUJITA, Y. Failures without errors: quantification of context in HRA. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 83, p. 145-151, 2004.

HOLLNAGEL, E.; SPEZIALI, J. **Study on developments in accident investigation methods: a survey of the “State-of-the-Art”.** Stockholm: Swedish Nuclear Power Inspectorate, 2008.

HOVDEN, J.; ALBRECHTSEN, E.; HERRERA, I. A. Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention? **Safety Science**, Amsterdam, v. 48; n. 8, p. 950-956, 2010.

HEINRICH, H. W. **Industrial Accident Prevention.** 2nd.ed. New York: McGraw Hill, 1941.

KARIUKI, S. G.; LOWE, K. Integrating human factors into process hazard analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 92, n. 12, p. 1764-1773, 2007.

KHAN, F. Human factors special issue. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 225-226, 2008.

KIM, D. S.; BAEK, D. H.; YOON, W. C. Development and evaluation of a computer-aided system for analyzing human error in railway operations. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p. 87-98, 2010.

KIM, M. C.; SEONG, P. H.; HOLLNAGEL, E. **A probabilistic approach for determining the control mode in CREAM.** 2006. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>>. Acesso em: 29 out. 2014.

KONSTANDINIDOU, M. et al. A fuzzy modeling application of CREAM methodology for human reliability analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 91, n. 6, p. 706-716, June 2006.

KYRIAKIDIS, M.; MAJUMDAR, A.; OCHIENG, W. Y. A human performance operational railway index to estimate operators' error probability. In: STANTON, N. A. (Ed.). **Advances in human aspects of road and rail transportation**. Boca Raton: CRC, 2012. cap. 84, p. 832-841.

LEVESON, N. **Engineering a safer world: systems thinking applied to safety**. Cambridge: MIT Press, 2011.

_____. **A new accident model for engineering safer systems**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2004.

LLORY, Michel. **Acidentes industriais: o custo do silêncio: operadores privados da palavra e executivos que não podem ser encontrados**. Rio de Janeiro: Multiação, 2001.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MONFERINI, A. et al. A compound methodology to assess the impact of human and organizational factors impact on the risk level of hazardous industrial plants. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 119, p. 280-289, 2013.

MORIYAMA, T.; OHTANI, H. Risk assessment tools incorporating human error probabilities in the Japanese small-sized establishment. **Safety Science**, Amsterdam, v. 47, n. 10, p. 1379-1397, Dec. 2009.

MOURA, R. et al. Human error analysis: review of past accidents and implications for improving robustness of system design. In: NOWAKOWSKI, T. (Ed.) et al. **Safety and reliability: methodology and applications**. London: Taylor & Francis Group, 2015.

MURÍNOVÁ, L.; ŠINOVSÝ, J. **Human reliability control: cognitive approach**. [201-]. Disponível em:

<http://www.unob.cz/eam/Documents/Archiv/EaM_2_2011/MUR%C3%8DNOV%C3%81_%C5%A0INOVSÝ%C3%9D.pdf>. Acesso em: 14 set.2015

NAVARRO, L. L. L. **Organizações de alta confiabilidade**: um estudo sobre suas características e princípios. 2011. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PASMAN, H.; ROGERS, W. The bumpy road to better risk control: a tour d'Horizon of new concepts and ideas. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 35, p. 366-376, May 2015.

PASTORE, José. Não podemos desperdiçar a crise. Entrevistadora: Christina Bocayuva. **O Globo**, Rio de Janeiro, 3 nov. 2015. Diálogos Sicomércio. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/dialogos-sicomercio/jose-pastore-nao-podemos-desperdicar-crise-17950062#ixzz3qbo4y5R9>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

PERROW, Charles. **Normal accidents**: living with high-risk technologies. Princeton: Princeton University Press, 1999.

PHILLIPS, R. O.; SAGBERG, F. What did you expect? CREAM analysis of hazardous incidents occurring on approach to rail signals. **Safety Science**, Amsterdam, v. 66, p. 92-100, July 2014.

PIERLOT, S.; DIEN, Y.; LLORY, M. **From organizational factors to an organizational diagnosis of the safety**. London: Taylor & Francis, 2007.

RASMUSSEN, J. Human error and the problem of causality in analysis of accidents. In: BROADBENT, D. E.; REASON, J.; BADDELEY, A. (Ed.). **Human factors in hazardous situations**. Oxford: Clarendon Press, 1990. p. 1-12.

_____. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, Amsterdam, v. 27, n. 2/3, p. 183-213, 1997.

_____. Skills, rules and knowledge: signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, New York, SMC-13, n. 3, p. 257-266, May/June 1983.

REASON, James. **Human error**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

REASON, James. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

ROONEY J. J.; HEUVEL L. N. V. Root cause analysis for beginners. **Quality Progress**, Milwaukee, July 2004. Disponível em: <http://abs-group.com/content/documents/rca_for_beginners.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

ROOT cause analysis and incident investigation and human error prevention. Tennessee: ABS Consulting, 2012.

ROSNESS, R. et al. **Organisational accidents and resilient organisations**: six perspectives: revision 2. Trondheim: SINTEF Technology and Society, 2010.

ROTHBLUM, A. M. et al. Human Factors in Incident Investigation and Analysis. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON HUMAN FACTORS IN OFFSHORE OPERATIONS, 2., 2002, Texas. **Proceedings...** Texas: RRS Engineering, 2002.

SANTOS, I. J. A. L. **CREAM**. [Rio de Janeiro]: UFRJ/PEA. jan./mar. 2015. 15 slides. Material Didático. Apresentação em PowerPoint.

SANTOS, I. J. A. L. **Falha (erro) humana**. [Rio de Janeiro]: UFRJ/PEA. abr./jun. 2014. 32 slides. Material Didático. Apresentação em PowerPoint.

SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; GRECCO, C. H. S. Incorporating emergency evacuation planning, through human reliability analysis, in the risk management of industrial installation. In: BRAZILIAN PETROLEUM, GAS AND BIOFUELS CONGRESS, 2009, Rio de Janeiro. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBP, 2009.

_____. Metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos responsáveis pela retirada dos trabalhadores de instalações industriais, em situações de emergência. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2008.

SERWY, R. D.; RANTANEN, E. M. Evaluation of a software implementation of the cognitive reliability and error analysis method (CREAM). In: HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY ANNUAL MEETING, 2007, Baltimore. **Proceedings...** Santa Monica: HFES, 2007.

SHARIT, J. Human error. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of human factors and ergonomics**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, V. A. **O planejamento de emergência em refinarias brasileiras**: um estudo dos planos de refinarias brasileiras e uma análise de acidentes em refinarias no mundo e a apresentação de uma proposta de relação de cenários acidentais para planejamento. 2003. 157 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

STRATER, O. et al. On the way to assess errors of commission. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 129-138, 2004.

SUN, Z. et al. Estimating Human Error Probability using a modified CREAM. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 100, p. 28-32, Apr. 2012.

SUNDARAMURTHI, R.; SMIDTS, C. Development of a simulator independent cognitive human reliability model for nuclear accident conditions. In: SOARES, C. G. (Ed.). **Advances in safety, reliability and risk management**. Boca Raton: CRC, 2011. cap. 38, p. 301–308.

SWAIN, A. D.; GUTTMANN, H. E. **Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications (NUREG/CR-1278)**. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.

TURNER, B. A. **Man-made disasters**. London. Wykeham Science Press, 1978.

U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. **Investigation report: explosion and fire: First Chemical Corporation, Mississippi, 2002**. Washington, 2003.

WOODS, D.D. **Risk and human performance**: Measuring the potential for disasters. Reliability Engineering and System Safety, 1990.

YOSHIMURA, K. et al. Questionnaire survey for adapting Common Performance Conditions to marine accidents. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS (SMC), 2013, Manchester. **Papers...** Piscataway: IEEE, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA OBSERVAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Não observação	Falha equipamento Diagnóstico falho Plano inadequado Limitação física/cognitiva Desatenção	Excesso de informação Ruído Múltiplos sinais Erro de paralax	Perda de sinal/dica	Perda de sinal/dica ou evento que deveria ter sido o início de uma ação.
			Perda de medida	Perda de medida ou informação durante sequência de ações.
Falsa observação	Fadiga Distração	Não definido	Falsa reação	Resposta dada a estímulo ou evento incorreto (ex.: acelerar veículo no sinal vermelho)
			Falso reconhecimento	Evento ou informação é incorretamente reconhecido.
Identificação errada	Distração Informação perdida Diagnóstico falho Classe errada	Símbolo ambíguo Hábito, Expectativa Sinais ambíguos Excesso de informação Informação errada	Dica errada	Sinal ou dica é mal confundido com outro qualquer. A diferença da falsa reação é que este não conduz à uma ação imediata.
			Identificação parcial	A identificação do evento ou informação é incompleta (ex.: ir direto às conclusões).
			Identificação incorreta	Incorreta identificação de evento ou informação, diferenciando do falso reconhecimento, por ser a identificação um processo deliberado.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE B - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA INTERPRETAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Diagnóstico falho	Influência cognitiva Identificação errada Procedimento inadequado	Sintomas confusos Modelo mental falho Sintomas de má orientação Aprendizado incorreto Desordem generalizada Condição nova Analogia errada	Diagnóstico errado	O diagnóstico da situação ou do sistema é incorreto.
			Diagnóstico incompleto	O diagnóstico da situação ou do sistema é incompleto.
Análise/dedução errada	Influência cognitiva Estilo cognitivo	Planejamento apertado Falsa analogia Generalização Modo de falha	Indução ao erro	Falha na análise envolvendo interferências ou generalizações, conduzindo a resultados inválidos.
			Dedução falha	Falha na análise envolvendo deduções, conduzindo a resultados inválidos.
			Prioridade errada	Seleção dentre as alternativas (hipóteses, interpretações) utilizando critério incorreto, conduzindo a resultados inválidos.

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Decisão equivocada	Medo Influência cognitiva Distração Pressão social	Falta de conhecimento Modo de falha Conflito/abalo Excesso estímulo Sobrecarga de trabalho/tarefa	Decisão não tomada	Incapacidade na tomada de decisão sobre cenário.
			Decisão errada	Utilização de alternativa errada na tomada de decisão.
			Decisão parcial	Tomada de decisão que não determina totalmente o que fazer, carecendo de decisão futura para completar ação.
Interpretação tardia	Procedimento inadequado Falha equipamento Fadiga	Falha indicador/dispositivo Resultado lento/abrandado	Ausência de identificação	Identificação não realizada na hora desejada para a ação.
			Aumento de pressão pelo tempo	Identificação não realizada a tempo, causando pressão na realização da ação.
Previsão incorreta	Influência cognitiva Informação ambígua Informação incorreta	Não definido	Estado de mudança não esperado	Mudança ocorrida não antecipada
			Efeitos colaterais não esperados	Desenvolvimento do evento conforme antecipado, mas efeitos colaterais haviam sido negligenciados.
			Velocidade mal calculada	Velocidade de desenvolvimento mal calculada, logo fatos ocorrem de forma lenta ou rapidamente.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE C - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PLANEJAMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Plano inadequado	Distração Falha memória Análise/dedução errada Demanda excessiva Conhecimento insuficiente	Falha na intenção Treinamento inadequado Modelo errado Precondição ignorada Ignorar lado racional Violação Planejamento apertado	Plano incompleto	Plano não contém todos os detalhes necessários quando executado, podendo causar graves consequências à frente.
			Plano errado	Plano errado no sentido de não atender a expectativa ou propósito.
Prioridade errada	Diagnóstico falho Falha comunicação	Prioridade legítima Critérios/regras conflitantes	Seleção de objetivo errado	Objetivo selecionado erradamente e o plano não será eficaz.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE D - CATEGORIAS PARA FUNÇÕES TEMPORÁRIAS - GENÓTIPO RELACIONADAS A PESSOAS -

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequentes Específicos	Definição
Falha de memória	Demanda excessiva	Abstração Longo tempo sem reciclagem ou aprendizado Outras prioridades Incapacidade temporária	Esquecimento	Item ou informação não pode ser lembrado quando necessário.
			Lembrança incorreta	Informação é incorretamente lembrada (por ex.: nome errado de algum dispositivo)
			Lembrança incompleta	Informação é lembrada parcialmente (parte da informação é perdida).
Medo	Não definido	Falha anterior Possíveis consequências Incertezas	Ações randômicas	Ações não parecem seguir nenhum plano ou princípio e utilizam o método “tentativa e erro”.
			Ações paralisadas	Pessoa é paralizada, sendo incapaz de agir ou mover-se.
Distração	Falha equipamento Falha comunicação	Chefe/colega trabalho Atividade confortável Distúrbios Tarefas concorrentes Telefone	Tarefa suspensa	O andamento da tarefa é suspenso porque a atenção da pessoa foi direcionada a outro cenário/assunto.
			Tarefa incompleta	A tarefa não se completa devido a alteração na atenção.
			Objetivo esquecido	A pessoa não consegue lembrar por que aquilo está sendo feito (possibilidade de repetições de etapas iniciais ou anteriores).
			Perda de orientação	A pessoa não consegue se lembrar ou pensar no que de fazer ou o que fez antes.
Fadiga	Condições adversas do ambiente Horas trabalhadas irregulares	Exaustão	Resposta atrasada	A velocidade de resposta (física ou mental) é reduzida devido a fadiga.

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequentes Específicos	Definição
Variação no desempenho	Falha equipamento Excesso demanda Habilidade insuficiente	Mudança de característica de sistema Doença Falta de treinamento Entusiasmo excessivo	Perda de precisão	Precisão reduzida nas ações (por ex.: na identificação de uma válvula específica).
			Aumento de perdas	Aumento no número de tentativas falhas para lograr com o objetivo.
Desatenção	Condições adversas do ambiente	Incapacidade temporária	Perda de sinal	Sinal ou evento é perdido devido a falta de atenção. É muito similar ao “não observar”, porém com a diferença de que aqui o evento é randômico ou é algo que pode ser explicado como função cognitiva.
Estresse fisiológico	Condições adversas do ambiente Horas trabalhadas irregulares	Tédio	Muitos efeitos específicos	Condição geral causada por estresse fisiológico, podendo possuir muitos efeitos específicos.
Estresse psicológico	Excesso demanda Conhecimento insuficiente	Tédio	Muitos efeitos específicos	Condição geral causada por estresse psicológico, podendo possuir muitos efeitos específicos.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE E - CATEGORIAS PARA FUNÇÕES PERMANENTES - GENÓTIPO RELACIONADO A PESSOAS .

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequentes Específicos	Definição
Perda de funções	Não definido	Não definido	Surdez Má visão Daltonismo Dislexia Outras incapacidades	Tais efeitos se referem a perdas de funções conhecidas, a maioria de natureza psicofísica. Incapacidades psicológicas podem ser acrescentadas a este grupo, caso seja requerido por análise.
Estilo cognitivo	Não definido	Não definido	Análises simultaneas	Busca por informação é seguida por busca paralelas (ao mesmo tempo).
			Análises sucessivas	Busca por informação é feita uma de cada vez
			Foco conservativo	Busca por informação se inicia assumindo que varios aspectos são examinados um a um.
Tendência cognitiva	Não definido	Não definido	Foco na aposta (jogo de azar).	Busca por informação muda de forma oportunista, sistematicamente.
			Revisão incorreta das probabilidades	Nova informação não conduz a ajuste adequado das probabilidades – efeito conservativo ou muito radical.
			Influência de experiências	Interpretação de eventos passados é influenciada pelo conhecimento da consequência.
			Atribuição de erro	Eventos são erroneamente vistos como sendo causados por fenômenos ou fatores específicos.
			Ilusão de controle	Pessoa acredita, equivocadamente, que a ação escolhida controla o contexto em questão.
			Confirmação de intenções	Busca por informação é restrita para aquilo que vai confirmar tal suposição.
			Fixação de hipótese	Busca por informação e ação alternativa é inibida por forte hipótese sobre o que é o atual problema.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE F - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA TECNOLOGIA - GENÓTIPO RELACIONADO A FALHA EQUIPAMENTO

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Falha equipamento	Falha manutenção	Falha de energia Fogo/incêndio Alagamento Tremor terra Evento externo Impacto/projétil	Atuador falha travado ou aberto	Atuador ou dispositivo de controle sem confiabilidade operacional.
			Bloqueio	Algo obstrui ou fica no caminho da ação.
			Quebra	Quebra de parte(s) do equipamento.
			Liberação	Liberação descontrolada de produto ou energia que pode gerar falha em equipamento.
			Variação de velocidade do processo	Velocidade do processo(como fluxo) muda significativamente
			Sem indicação	Falha no equipamento ocorre sem indicação.
Falha software	Falha controle qualidade	Não definido	Desempenho lento	Sistema lento, podendo ser crítico para comando e controle.
			Atraso na informação	Atraso na transmissão de informação comprometendo a eficiência da comunicação, seja em um sistema ou entre sistemas.
			Fila comandos	Comandos e ações não executados devido a instabilidade no sistema.
			Informação não disponível	Informação não disponível devido ao software ou outros problemas.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE G - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROCEDIMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A FALHA EQUIPAMENTO

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Procedimento inadequado	Falha layout. Controle de qualidade inadequado.	Não definido.	Texto ambíguo	Texto é ambíguo - interpretações diferentes. A lógica pode ser confusa.
			Texto incompleto	Descrições incompletas, assumindo que o usuário detenha conhecimento(s) específico(s).
			Texto incorreto	Descrições incorretas no corpo do documento.
			Conflito no equipamento atual	Texto não associado com a realidade do campo (atualização de equipamentos).

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

**APÊNDICE H - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROBLEMAS DE INTERFACE TEMPORÁRIOS -
GENÓTIPO RELACIONADO A INTERFACE HOMEM-MÁQUINA**

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Limitação de acesso	Falha equipamento Falha layout	Layout	Item não acessível	Item fica sempre inacessível (distante da localização do operador – muito alto/baixo)
		Distância Problema de localização Obstrução Escadas Incapacidade temporária	Item não localizado	Item sempre apresenta dificuldade na localização, como termos inapropriados.
Informação ambígua	Falha layout	Falha sensor	Posição mal associada	Ocorre má associação entre posição de um item e sua posição atual.
		Código incorreto	Conflito de código	Codificação conflitante – uso de cores/formas.
Informação incompleta	Falha layout Procedimento inadequado.	Falha indicador Tela desorganizada Problemas de navegação Hardware inadequado	(em branco)	Informação disponibilizada pela interface é incompleta (mensagens de erro, alertas, etc.)

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

**APÊNDICE I - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA PROBLEMAS DE INTERFACE PERMANENTES -
GENÓTIPO RELACIONADO A INTERFACE HOMEM-MÁQUINA**

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Problemas de acesso	Layout de posto de trabalho inadequado	Não definido	Item não acessível	Item não acessível por estar escondido/obstruído por algo ou ocorreu mudança na posição de trabalho do operador.
			Item não localizado	Item não localizado quando necessário ou está temporariamente indisponível.
Má classificação	Layout de posto de trabalho inadequado Falha de manutenção	Não definido	Informação incorreta	A classificação ou identificação de um item é incorreta.
			Identificação incorreta	A classificação ou identificação de um item é aberta para interpretações.
			Erro de linguagem	A classificação ou identificação de um item é incorretamente formulada ou escrita em idioma estrangeiro.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE J - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA COMUNICAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Falha comunicação	Distração Desatenção (negligência) Falha funcional	Ruído Incapacidade temporária Falha de apresentação	Mensagem não recebida	Mensagem ou transmissão de informação não chegou ao receptor, provavelmente por destino incorreto ou falha de comunicação dos canais.
			Mensagem mal entendida	Mensagem foi recebida, porém mal entendida. O mal entendido é , por vezes, não deliberado.
			Identificação incorreta	Informação fornecida é incorreta ou incompleta.
			Mal entendimento	Há mal entendido entre destinatário e remetente sobre a intenção, forma ou estrutura da comunicação.
Perda de Informação	Identificação equivocada Falha projeto Procedimento inadequado	Informação não visível Linguagem incorreta Ruído Falha de apresentação	Sem informação	Informação não disponível quando solicitada ou necessária
			Informação incorreta	Informação dada é incorreta ou incompleta
			Mal entendimento	Há má compreensão entre remetente e destinatário sobre o objetivo, forma ou estrutura da comunicação

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE K - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA ORGANIZAÇÃO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Falha manutenção	Não definido	Não definido	Equipamento não operacional	Equipamentos (controles, fontes) não funcionam ou não estão disponíveis devido a perdas ou gerenciamento inadequado.
			Indicadores fora de operação	Indicadores (luzes, sinais) não operam adequadamente devido a falta de manutenção.
Controle qualidade inadequado	Não definido	Não definido	Procedimento inadequado	Equipamento/funções não adequados devido a falta controle qualidade.
			Reservas inadequadas	Falta de recursos or suprimentos.
Problemas gerenciais	Não definido	Não definido	Regras duvidosas	Empregados não conhecem as regras e obrigações.
			Responsabilidade diluída	Não há clara distribuição de responsabilidade, principalmente em situações anormais.
			Linha comando não definida	Linha de comando não definida e controle de situação pode se perder.

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Falha projeto	Não definido	Não definido	Má antropometria	Condição de trabalho inadequada devido a concepção utilizada.
			Relação homem-máquina inadequada	Interface inadequada por falha na concepção.
Alocação de tarefa inadequada	Não definido	Não definido	Gerenciamento de regras inadequado	Organização do trabalho é deficiente devido a falta de regras claras e princípios.
			Planejamento tarefas inadequado	Deficiência no planejamento de tarefas.
			Procedimento de trabalho inadequado	Procedimento operacional (como fazer) inadequado.
Pressão social	Não definido	Não definido	Influência do grupo	Entendimento das situações individuais é controlada pelo grupo.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE L – ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA TREINAMENTO - GENÓTIPO RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Habilidade insuficiente	Problema gerencial	Não definido	Falha desempenho	Falta de habilidade prática – inviabilidade para conclusão de tarefas.
			Equipamento mal operado	Falta de habilidade prática – equipamento é utilizado de forma incorreta.
Conhecimento insuficiente	Não definido	Não definido	Confusão (dúvida)	A pessoa não tem certeza sobre o que fazer devido a falta de conhecimento.
			Perda de atenção no contexto	A pessoa perde o foco na situação (entendimento) devido a falta de conhecimento.

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

**APÊNDICE M - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA CONDIÇÕES AMBIENTAIS - GENÓTIPO
RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO**

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Temperatura	Não definido	Não definido	Muito quente	Calor desconfortável
			Muito frio	Frio desconfortável
Som	Não definido	Não definido	Muito alto	Elevado nível ruído
			Muito baixo	Som/sinal muito baixo
Umidade	Não definido	Não definido	Muito seco	Sequidão desconfortável
			Muito úmido	Umidade desconfortável
Iluminação	Não definido	Não definido	Muito brilho	Luminosidade elevada – reflexo/brilho
			Muito escuro	Baixa luminosidade – redução cores e contraste
Outros	Não definido	Não definido	Vibração	Pode haver outras dimensões, dependendo do tipo de tarefa.
Condições adversas ambientais	Não definido	Não definido	Não definido	Dependência do contexto - verificar os CPC

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

**APÊNDICE N - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA CONDIÇÕES DE TRABALHO - GENÓTIPO
RELACIONADO A ORGANIZAÇÃO**

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais	Antecedentes Específicos	Consequente específico	Definição
Demanda excessiva	Alocação inadequada de tarefas Condições ambientais adversas	Tarefas inesperadas Tarefas paralelas	Não definido	Demanda de tarefas excessiva ou tempo/recurso insuficiente.
Layout do local de trabalho inadequado	Falha projeto Falha comunicação	Não definido	Espaço de trabalho estreito/restrito	Espaço disponível ao trabalho não é suficiente para a atividade.
			Local perigoso	Condição de risco na tarefa (energias/agentes químicos).
			Trabalho em altura	Risco de queda na tarefa.
Suporte à equipe inadequado	Não definido	Não definido	Descrição da tarefa não é clara	As regras nas equipes não são claras
			Comunicação inadequada	Distribuição do trabalho/responsabilidades no grupo não é acatada/aceita.
			Falta de coesão no grupo	Há pouco coesão no grupo – baixa colaboração/coletividade.
Horas trabalhadas irregulares	Não definido	Trabalho em turno Mudança de escala Fuso horário	Efeitos do ritmo circadiano	Trabalho em turno conduz a distúrbios de funções psicológica e fisiológica (ex.: fadiga, insônia, etc.)

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE O - ANTECEDENTES GERAIS E ESPECÍFICOS PARA FENÓTIPOS

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais		Antecedentes Específicos	Consequentes Específicos
Tempo/Duração	Falha comunicação	Procedimento inadequado	Omissão inicial Erro involuntário	Muito cedo (tempo)
	Diagnóstico falho	Desatenção		Muito tarde (tempo)
	Plano inadequado	Não observação		Omissão (tempo)
				Muito longo (duração)
				Muito curto(duração)
Sequencia	Limitação acesso	Procedimento inadequado	Erro involuntário	Omissão
	Falha comunicação	Desatenção		Pular etapas a frente
	Diagnóstico falho	Falha memoria		Pular etapas para trás
	Plano inadequado	Identificação errada		Repetição
				Reversão
				Ação errada
Força	Falha comunicação	Plano inadequado	Classe ambigua Conflito de regra Classe incorreta	Pouca
	Falha equipamento	Procedimento inadequado		Muita
	Diagnóstico falho	Não observação		
Distância/magnitude	Falha comunicação	Plano inadequado	Classe ambigua Conflito de regra Classe incorreta	Muito longe
	Falha equipamento	Procedimento inadequado		Muito perto
	Diagnóstico falho	Não observação		
Velocidade	Falha comunicação	Plano inadequado	Não definido	Muito rápido
	Distração	Procedimento inadequado		Muito lento
	Falha equipamento	Não observação		
	Diagnóstico falho	Desempenho variável		
Direção	Falha comunicação	Procedimento inadequado	Classe ambigua Conflito de regra Classe incorreta	Direção errada
	Diagnóstico falho	Desatenção		Movimento errado
	Plano inadequado	Não observação		

Consequentes Gerais	Antecedentes Gerais		Antecedentes Específicos	Consequentes Específicos
Objeto errado	Problema acesso	Procedimento inadequado	Classe ambigua Classe incorreta	Vizinho Objeto similar Objeto equivocado
	Falha comunicação	Desatenção		
	Identificação errada	Desempenho variável		
	Plano inadequado	Não observação		

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE P – MODOS DE FALHA POSSÍVEIS

MODO DE FALHA	PONTOS DE ESCLARECIMENTO	POSSIBILIDADE (0 = impossível; 1 = possível; 2 = muito possível)
Tempo	O controle do processo depende do tempo das ações? Existem indicadores ou sinais claros para o tempo das ações? O sistema possui indicação de tempo para as ações? Os sinais identificam claramente cada ação?	2
Duração	A duração é um parâmetro de controle? Ela é controlada de forma manual ou automática? A duração é diretamente exposta ou apenas indicada/disponível? A indicação mostra tempo gasto ou remanescente (ou ambos)?	1
Força	O nível de força/ esforço é um parâmetro? O nível requerido ou aplicado está indicado? Existe limite máximo ou mínimo de força para o controle? A força pode ser controlada sem mudança de posição?	0
Distância	A distância é um parâmetro de controle? A distância requerida ou a ser aplicada está indicada de forma clara? A distância pode ser controlada sem mudança de posição?	0
Velocidade	A velocidade é um parâmetro de controle? A velocidade é controlada de forma manual ou automática? A velocidade requerida ou a ser aplicada está indicada de forma clara?	0
Direção	A direção é um parâmetro de controle? Existe relação direta entre direção (movimento) dos controles e direção do sistema de resposta? A direção requerida ou a ser aplicada está indicada de forma clara?	0
Objeto errado	Os objetos diferentes são estão claramente separados ou codificados (cor, forma)? A identificação dos objetos é clara e exclusiva? Os objetos podem ser acessados facilmente e vistos sempre que necessário?	0
Sequência	A sequência de ações ou da ação seguinte está indicada de forma clara? A direção da sequência é reversível? Ações fora de sequência podem ser recuperadas ou refeitas?	1

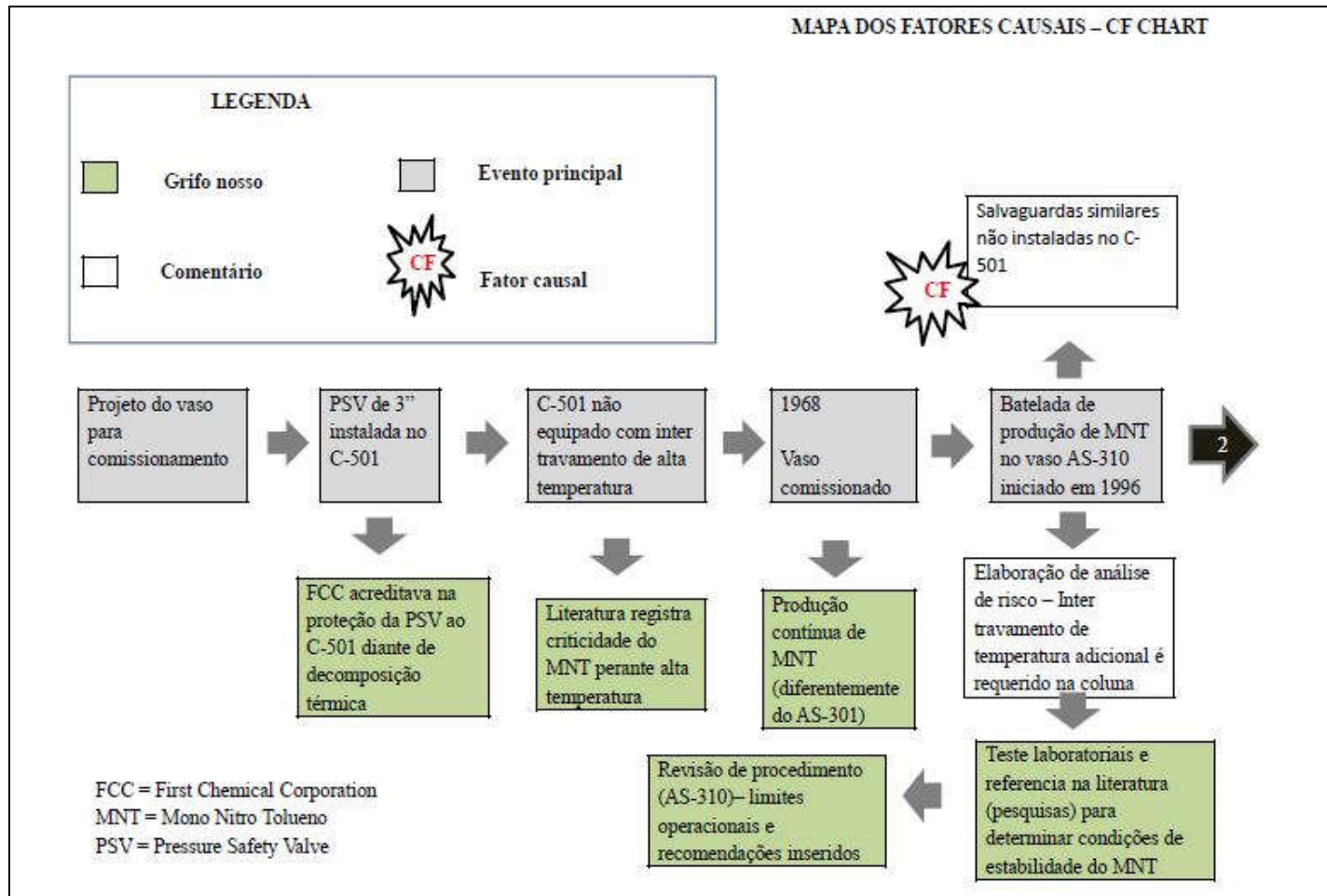
Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

APÊNDICE Q - RELAÇÃO ENTRE CPCs E PRINCIPAIS GRUPOS GENÓTIPOS

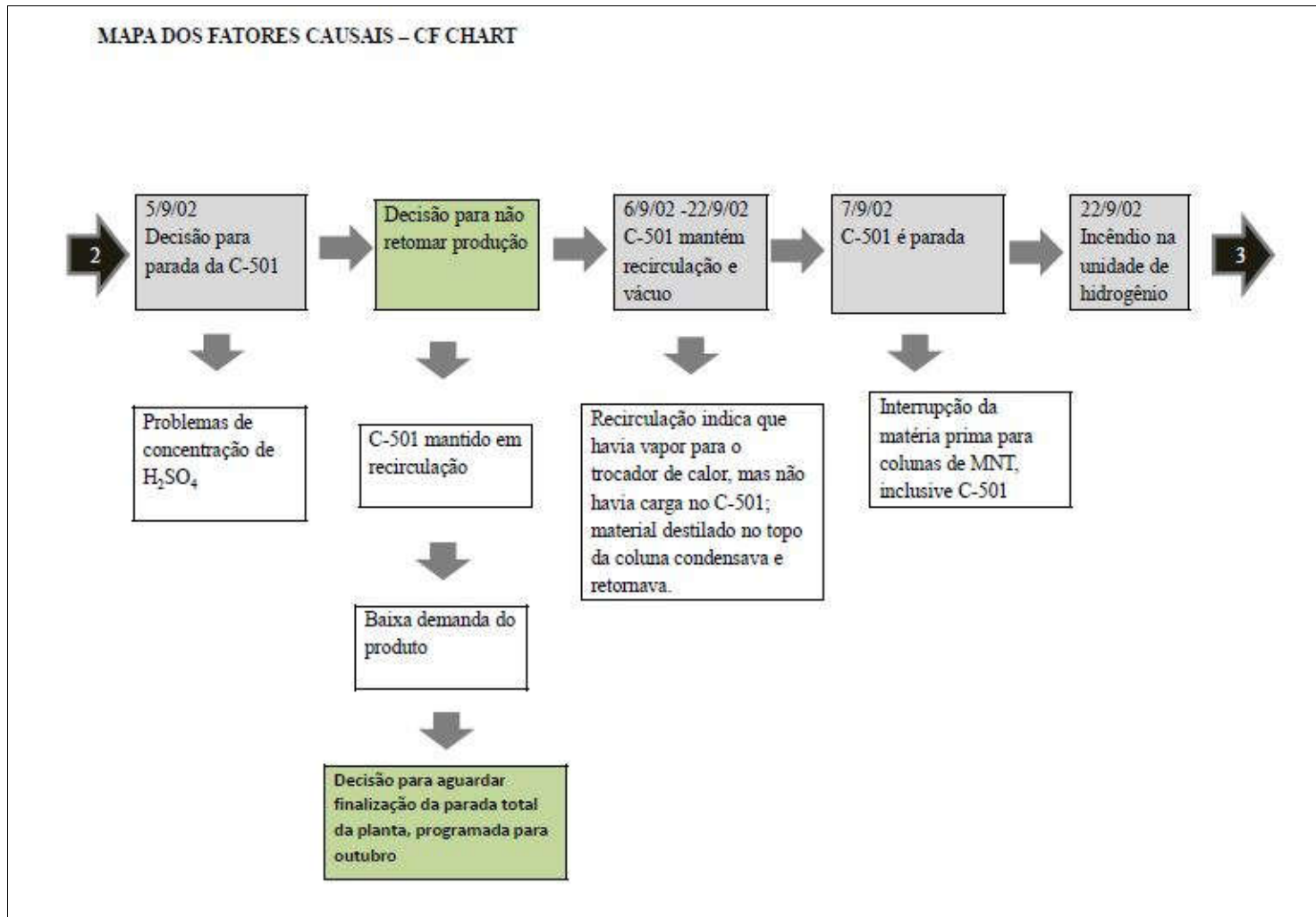
Condições de Desempenho Comuns	Genótipos Principais		
	Genótipo relacionado a pessoas	Genótipo relacionado à tecnologia	Genótipo relacionado à organização
Adequação da organização			• •
Condições de trabalho	•	• •	•
Adequação de interfaces e suporte operacional	•	• •	•
Disponibilidade de procedimentos / planos		• •	• •
Número de objetivos simultâneos	• •	• •	
Tempo disponível	• •		•
Ritmo circadiano (dia/noite)	•		
Adequação de treinamento e experiência		• •	• •
Qualidade de cooperação da equipe	•		• •

Fonte: Hollnagel (1998). Adaptado pelo autor.

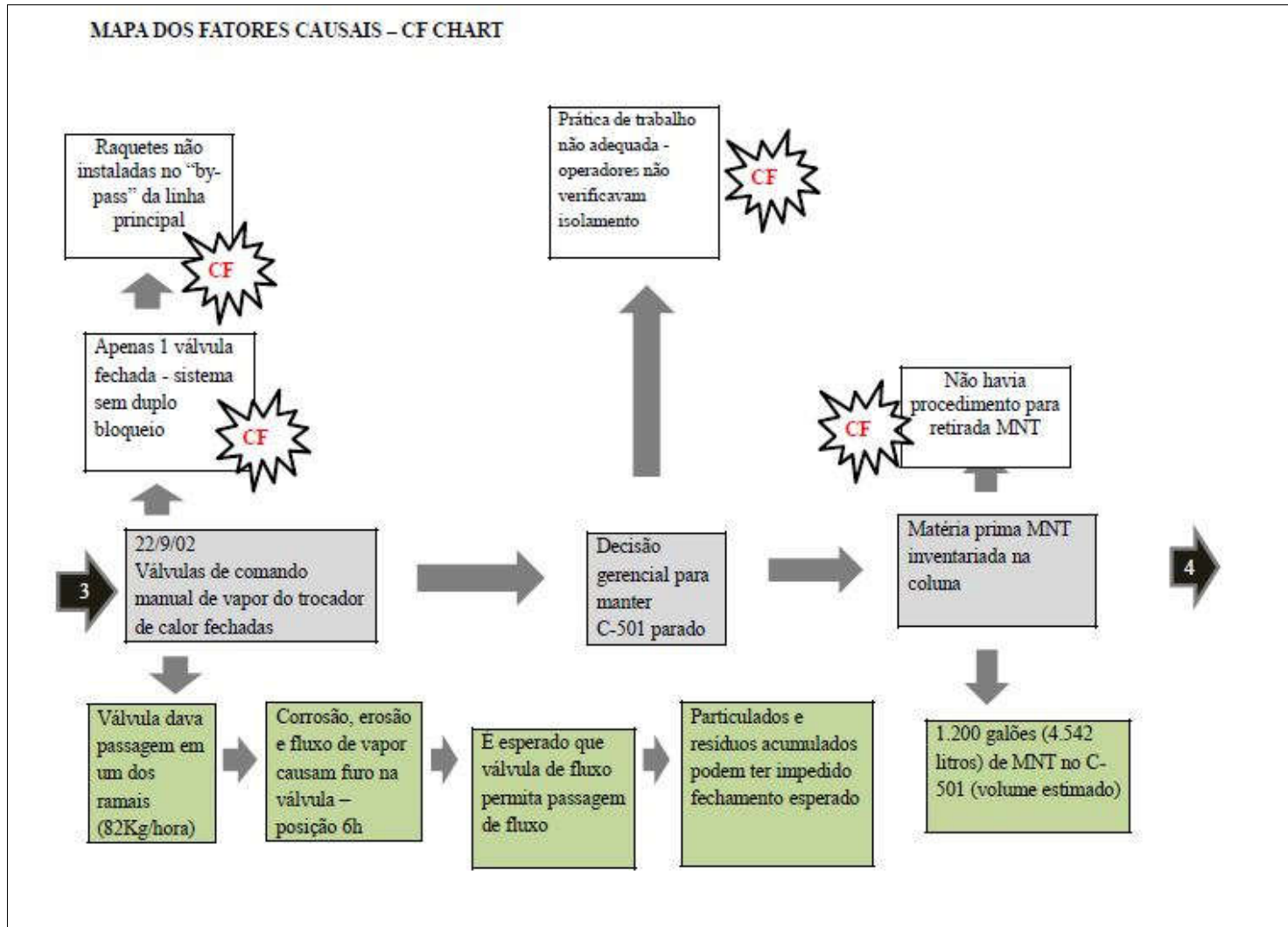
APÊNDICE R – DIAGRAMA DE FATORES CAUSAIS



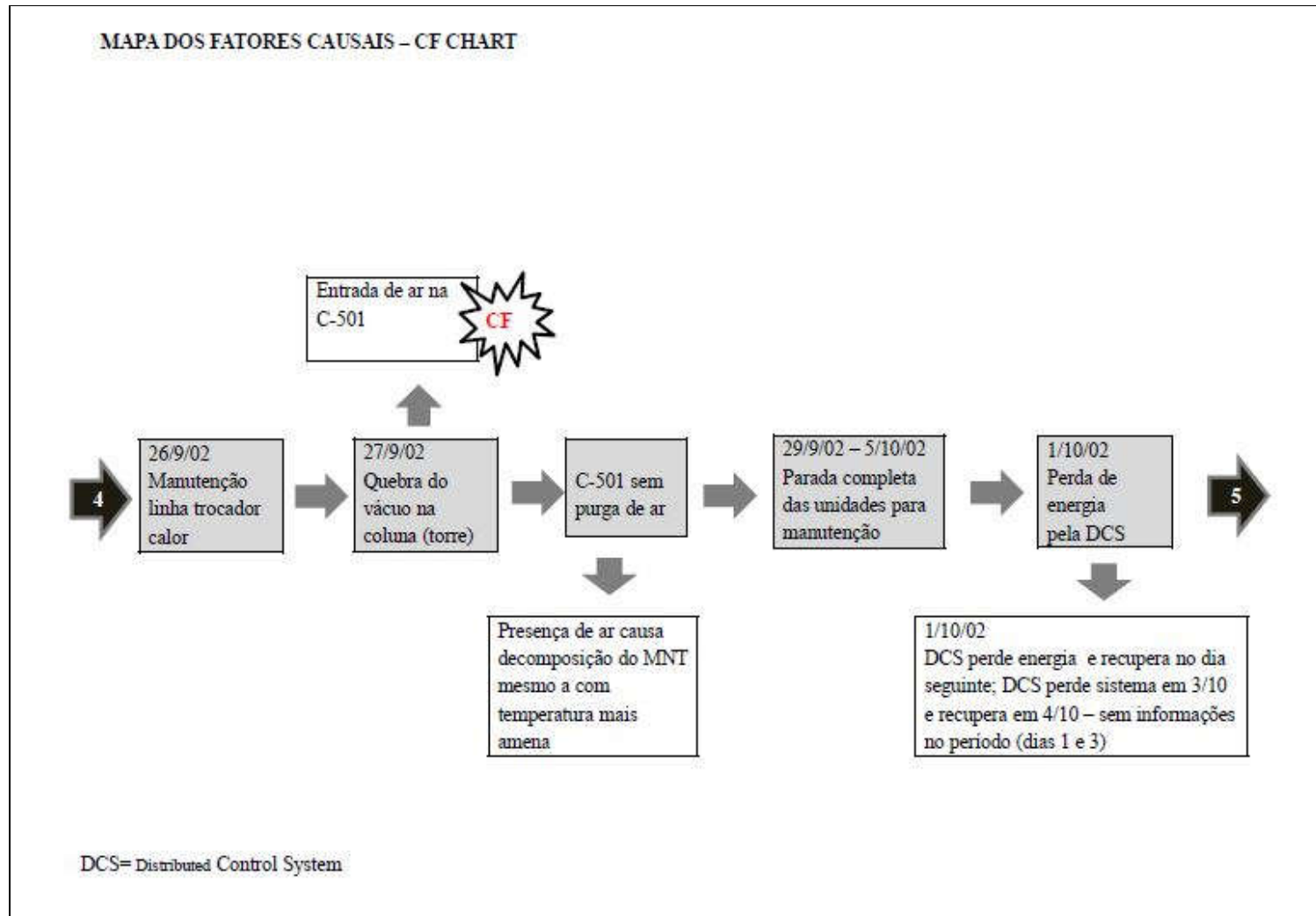
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



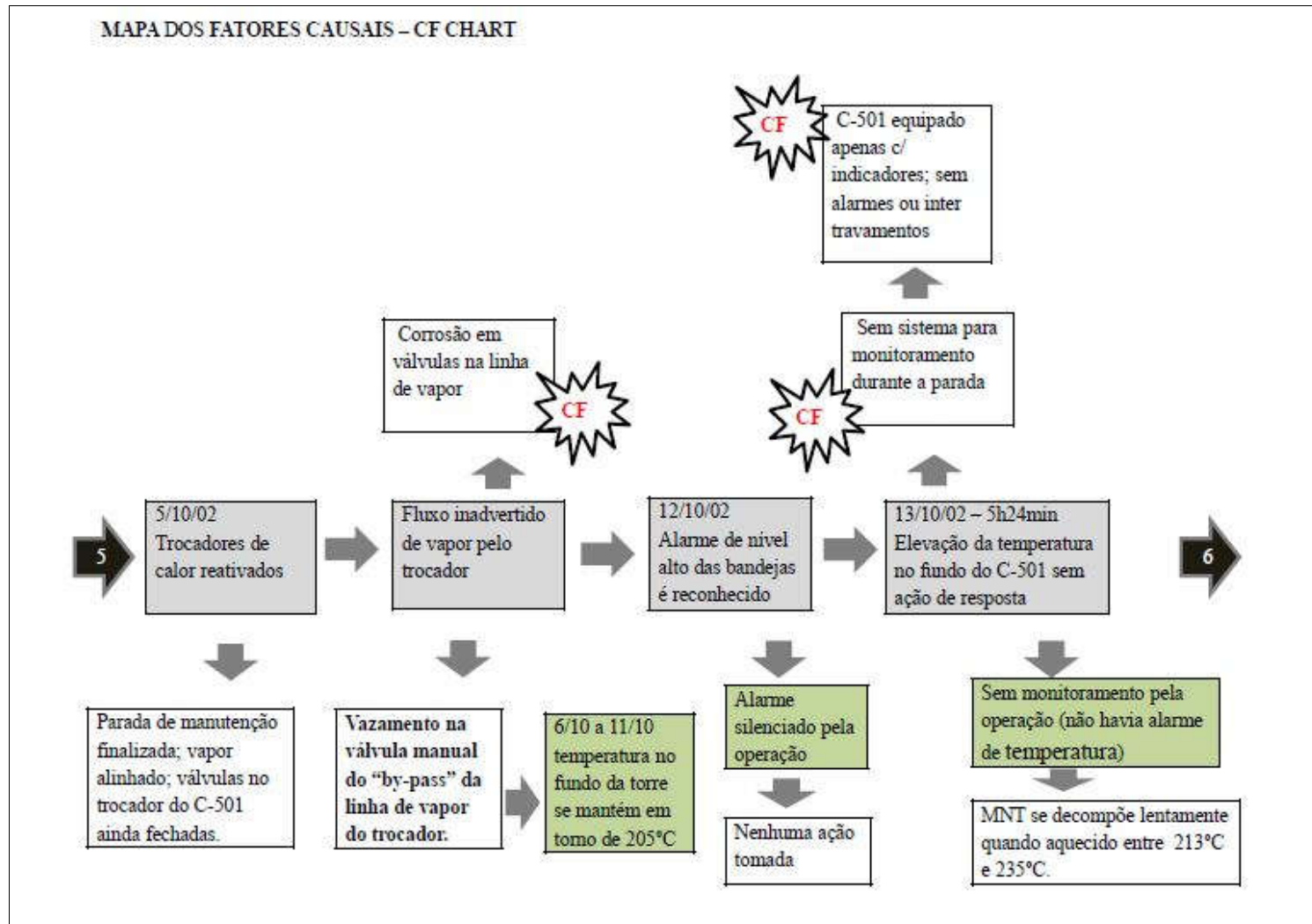
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



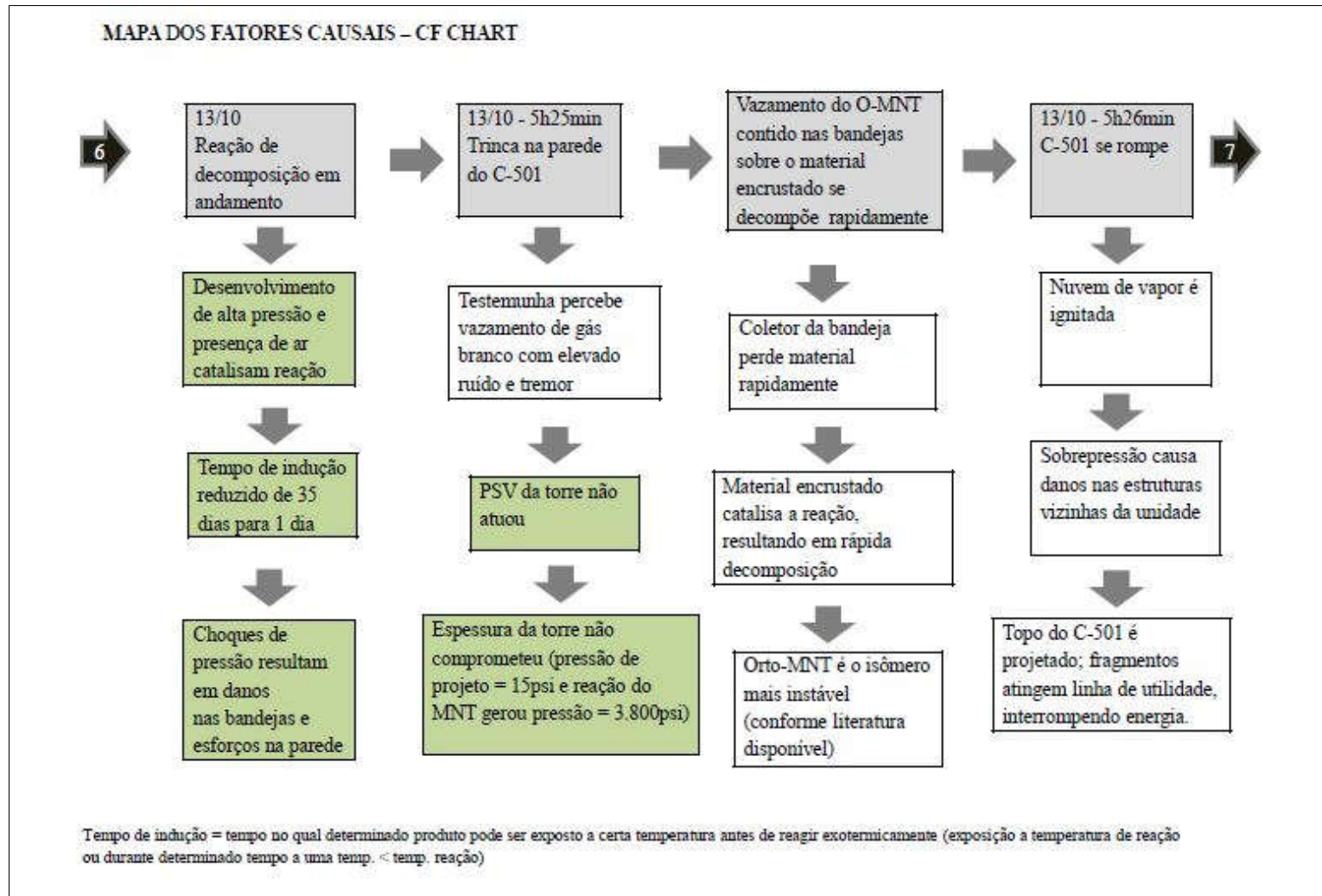
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



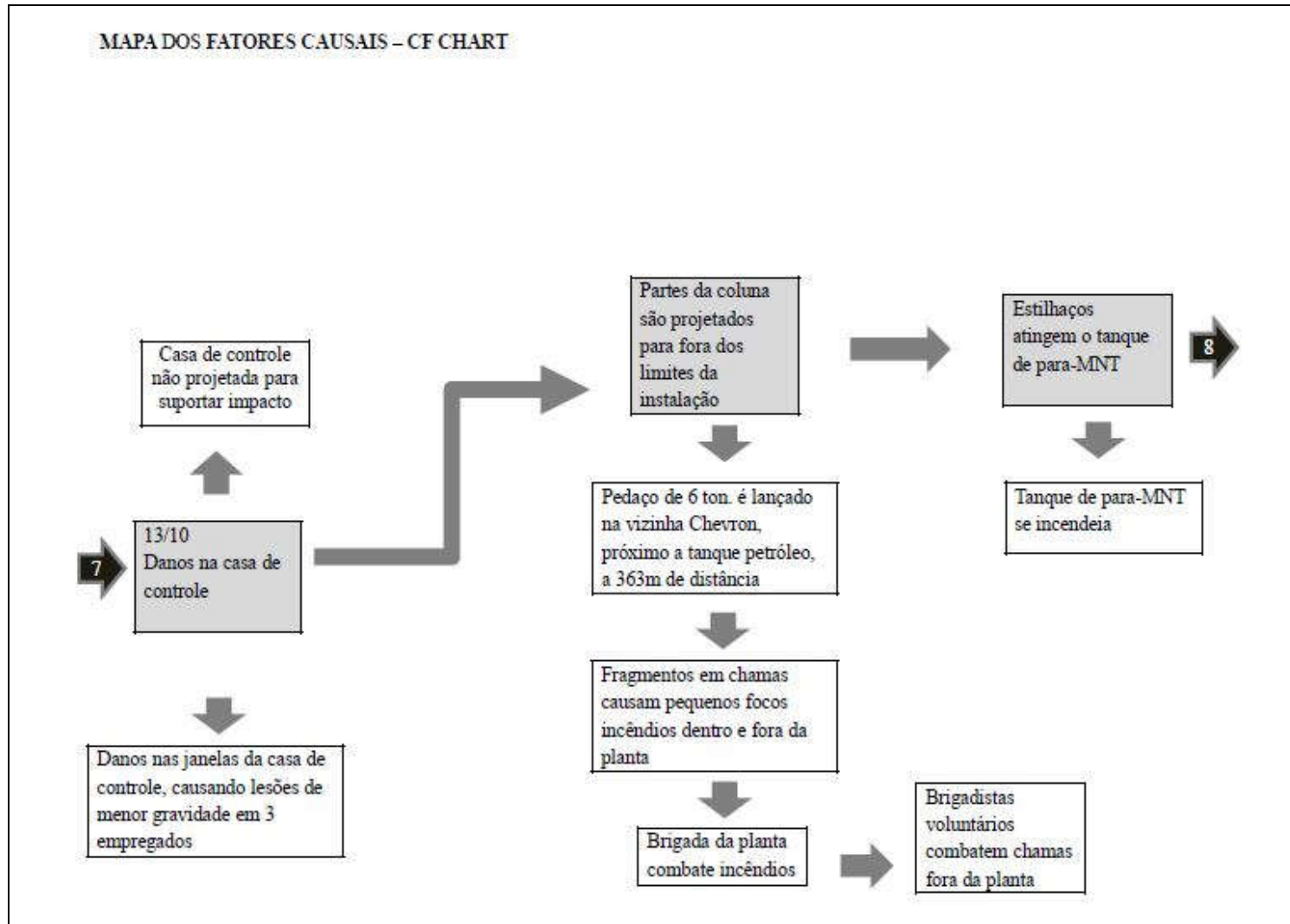
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



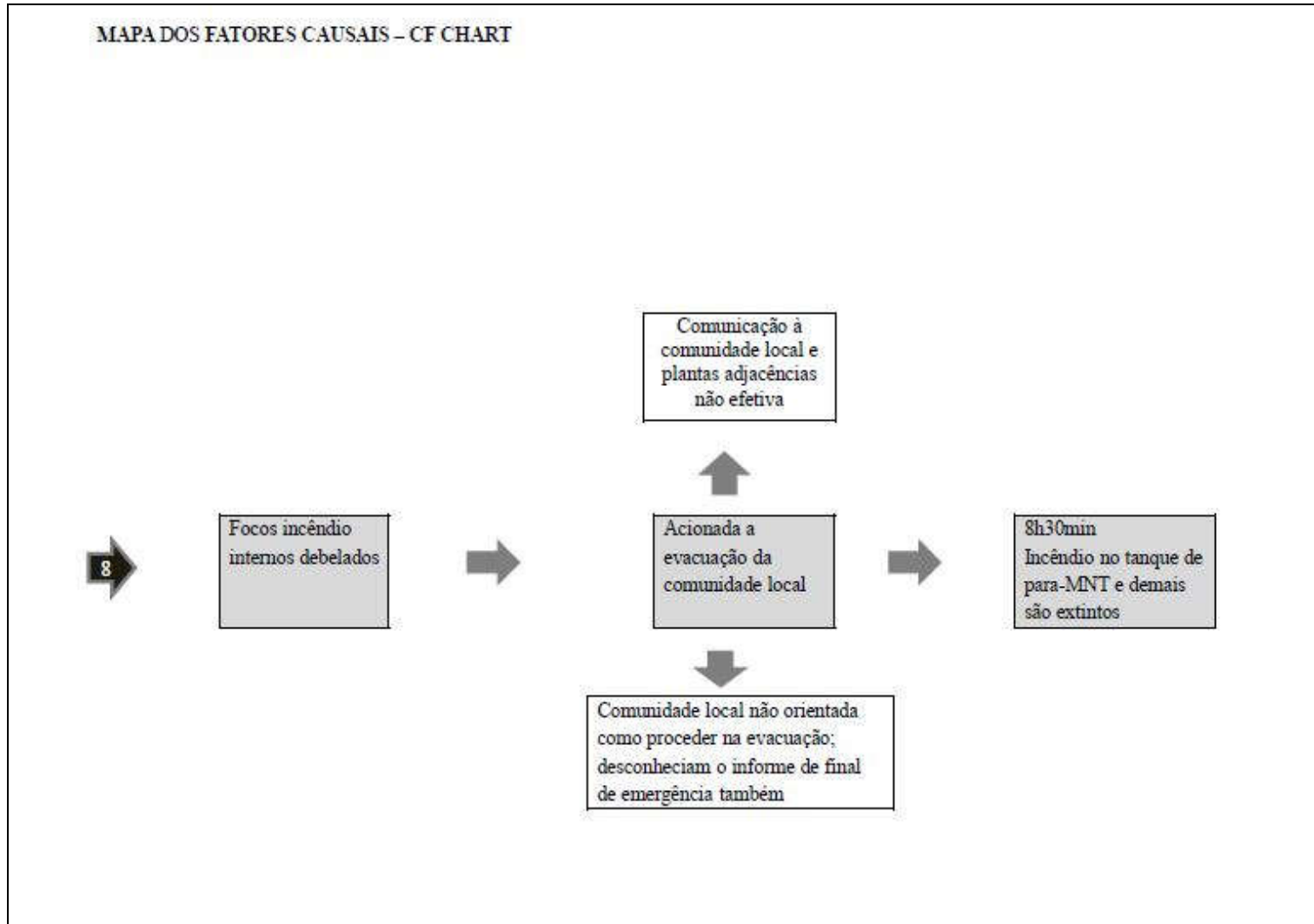
Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.



Fonte: CSB (2003). Adaptado pelo autor.