

Análise de Acidentes de Incêndio e Explosão em Navios

Sara Raquel Ferreira da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Arquitectura Naval

Orientador: Professor Doutor Ângelo Manuel Palos Teixeira

Júri

Presidente: Professor Doutor Carlos António Pancada Guedes Soares

Orientador: Professor Doutor Ângelo Manuel Palos Teixeira

Vogal: Professora Doutora Maria Celeste Rodrigues Jacinto

Vogal: Professor Doutor Ângelo Manuel Palos Teixeira

Julho de 2016

Agradecimentos

Agradeço à minha família, ao Carlos e a todos os presentes na apresentação.

Resumo

O objectivo desta dissertação é identificar as causas principais e os factores contributivos de acidentes de incêndio e explosão em navios. Para atingir este objectivo são analisados vinte relatórios de investigação de acidentes marítimos classificados como de incêndio e explosão, de onde é seleccionada informação de detalhe relacionada com os acontecimentos acidentais que deram origem a cada acidente analisado.

Os acidentes seleccionados são codificados através da metodologia de investigação de acidentes marítimos CASMET (*Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations*) e é realizada uma análise do resultado do processo de codificação. A análise estatística de um total de 138 acontecimentos acidentais codificados permite concluir que o erro humano é a principal causa dos acidentes de incêndio e explosão em navios. Relativamente à análise do factor humano, a não detecção de falhas técnicas apresenta maior incidência, normalmente associada a procedimentos operacionais. No que diz respeito a operações diárias, a supervisão é o factor causal mais frequente. Observa-se também com grande incidência falhas nos procedimentos de emergência que estão relacionados com deficiências ao nível da gestão e atribuição de recursos. Os factores causais identificados são posteriormente agrupados, sendo que a insuficiência de conhecimento e os procedimentos de operação e de emergência têm maior valor percentual de ocorrência.

Por fim é desenvolvido um modelo “Bow-tie” de análise e gestão do risco de incêndio em navios, de modo a identificar as ameaças, barreiras e consequências do acidente. O método possibilita uma melhor visualização da situação em que determinados riscos se apresentam, de modo a clarificar a relação entre causas e consequências do acidente e respectivas barreiras de prevenção e mitigação.

Palavras-chave: análise de acidentes marítimos, incêndio e explosão, CASMET, factores humanos, análise e gestão de risco.

Abstract

The aim of this work is to identify the main causes and the contributing factors of fire and explosion accidents in ships. To achieve this goal twenty maritime accident investigation reports classified as fire and explosion are analyzed, from which detail information related to the accidental events that led to the accident is obtained.

The selected accidents are coded using the accident investigation methodology CASMET (Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations) and an analysis of the results of the codification process is performed. From a statistical analysis of a total of 138 coded accidental events one can conclude that human error is the leading cause of fire and explosion accidents in ships. With regard to the human factor analysis, non-detection of technical failures has the highest incidence, usually associated with operating procedures. As regards to daily operations, the supervision is the most common causal factor. It is also observed with high incidence failures in the emergency procedures that are related to weaknesses in the management and resources allocation. The identified causal factors are subsequently grouped and the lack of knowledge and issues related to operating and emergency procedures have a higher percentage of occurrence.

Finally, a “Bow-tie” model is developed for the analysis and management of fire risk in vessels in order to identify threats, barriers and consequences of the accident. The method provides a clear view of the situation in which some risks develop in order to clarify the relationship between causes and consequences of the accident and their prevention and mitigation barriers.

Keywords: maritime accident analysis, fire and explosion, CASMET, human factors, risk analysis and management.

Índice

Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Tabelas	xi
Índice de Figuras	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Estrutura da Dissertação	2
2. Acidentes no Contexto Marítimo	3
2.1. Panorama geral de acidentes marítimos.....	3
2.2. Enquadramento regulamentar.....	7
2.2.1. Acidentes	8
2.2.2. Incêndio	10
2.2.3. Projecto alternativo	11
2.3. Metodologias de codificação de acidentes.....	15
2.3.1. CASMET	15
2.3.2. EMCIP	16
2.3.3. TRACER	17
2.4. Erro Humano	18
3. Codificação de acidentes com a metodologia CASMET	25
3.1. Metodologia CASMET	25
3.1.1. Identificação do acidente	26
3.1.1.1. Análise do factor humano.....	29
3.1.1.2. Acidentes	30
3.1.1.3. Acontecimentos Acidentais	31
3.1.1.4. Factores causais básicos	31
3.1.2. Exemplo de codificação.....	34
Narrativa.....	34
4. Análise Estatística dos Acidentes de Incêndio e Explosão em Navios.....	40

4.1.	Resultados do processo de codificação	40
4.1.1.	Acontecimentos Acidentais	41
4.1.2.	Factor humano.....	45
4.1.3.	Factores causais básicos	48
4.2.	Análise de resultados	53
4.3.	Comparação com dados estatísticos da EMSA	60
5.	Análise de gestão do risco de incêndio.....	63
5.1.	Modelo Bow-tie para o risco de incêndio	63
6.	Conclusões e trabalhos futuros.....	71
6.1.	Conclusões	71
6.2.	Desenvolvimentos Futuros	72
	Referências	73
	ANEXO A.....	76

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Estrutura de informações factuais	27
Tabela 2 – Codificação para a operação.....	27
Tabela 3 – Tipos de acidentes	28
Tabela 4 – Taxonomia de codificação de factores humanos (Kristiansen et al., 1999)	30
Tabela 5 – Tabela de identificação de acidente.....	35
Tabela 6 – Tabela de acontecimentos acidentais.....	36
Tabela 7 – Tabela de análise de interacção de factores humanos	37
Tabela 8 – Tabela de codificação de acontecimentos acidentais.....	38
Tabela 9 – Tabela de codificação de factores causais	39
Tabela 10 – Resumo de características da amostra	53
Tabela 11 – Quadro-resumo dos resultados com maior frequência na codificação CASMET	56
Tabela 12 – Factores causais dos 20 acidentes codificados, agrupados por temas	58
Tabela 13 – Factores causais dos 20 acidentes codificados, agrupados por temas (continuação)	59
Tabela 14 – Exemplo de causas e respectivas recomendações para vários tipos de navios	60
Tabela 15 – Lista de relatórios de investigação de acidentes analisados e codificados pela metodologia CASMET.	76

Índice de Figuras

Figura 1 – Número de acidentes e incidentes marítimos reportados, entre 2011 e 2014 (EMSA, 2015)	4
Figura 2 – Distribuição de navios envolvidos por categoria principal entre 2011-2014 (EMSA, 2015)	5
Figura 3 – Distribuição de acidentes entre 2011-2014 (EMSA, 2015)	5
Figura 4 – Causas de incêndio em casas da máquina, adaptado de Charchalis and Czyż (2011)	7
Figura 5 – Resumo da informação a ser submetida de acordo com o tipo de acidente, adaptado de IMO (2008)	9
Figura 6 – Diagrama representativo do projecto alternativo, adaptado de IMO (2001)	14
Figura 7 – Relação entre o processo de análise e a estrutura da base de dados, adaptado de Guedes Soares et al. (2000)	16
Figura 8 – Principais causas de acidentes no mar, adaptado de Trucco et al. (2008)	19
Figura 9 – Modelo do “queijo suíço”, adaptado de Reason (1997)	20
Figura 10 – Simplificação de três níveis de desempenho dos operadores humanos qualificados, adaptado de Rasmussen (1983)	21
Figura 11 – Modelo de classificação do CREAM, adaptado de (Hollnagel, 1998)	23
Figura 12 – Relação entre análise e estratificação da base de dados, adaptado de Kristiansen et al. (1999)	26
Figura 13 – Níveis de representação de acidente, adaptado (Kristiansen et al., 1999)	28
Figura 14 – Modelo de interacção de factores humanos, adaptado (Kristiansen et al., 1999)	29
Figura 15 – Taxonomia de codificação (esboço exemplificativo) (Kristiansen et al., 1999)	33
Figura 16 – Principais sujeitos envolvidos nos acidentes	40
Figura 17 – Tipos de acontecimentos acidentais	41
Figura 18 – Tipo de acontecimento acidental: materiais perigosos	42
Figura 19 – Tipo de acontecimento acidental: falha de equipamento	43
Figura 20 - Tipo de acontecimento acidental: erros humanos	44
Figura 21 – Valor percentual para níveis de Desempenho (Performance)	45
Figura 22 – Valores percentuais para cada subnível de Desempenho (Performance)	45
Figura 23 – Modos causais: especificação de grupos e factores causais	46
Figura 24 – Modo causal de factor humano – Pessoal (Personnel)	47
Figura 25 – Modo causal de factor humano – Ferramenta (Tool)	47
Figura 26 – Modo causal de factor humano – Tarefa (Assignment)	48

Figura 27 – Factores causais relacionados com operações diárias	49
Figura 28 – Operações Diárias (Daily Operations): grupos e factores causais	50
Figura 29 – Factores causais relacionados com gestão e recursos	51
Figura 30 – Gestão e recursos (Management & resources): grupos e factores causais.....	52
Figura 31 – Selecção dos factores com maior frequência para cada subnível de Desempenho (Performance).....	53
Figura 32 – Selecção dos factores com maior frequência para Modos Causais.....	54
Figura 33 – Selecção dos factores com maior frequência para Acontecimentos Acidentais.....	55
Figura 34 – Selecção dos factores com maior frequência de Factores Causais.....	55
Figura 35 – Valores percentuais para os tipos de factores causais.....	57
Figura 36 – Número de acontecimentos acidentais em 908 acidentes analisados relativos a 2011-2014 (EMSA, 2015).....	61
Figura 37 – Distribuição dos factores contributivos relacionados com acontecimentos acidentais: acção humana incorrecta (EMSA, 2015)	62
Figura 38 – Combinação das subcategorias dos factores contributivos do nível 2 e 3 relacionados com acção humana incorrecta (EMSA, 2015).....	62
Figura 39 – Distribuição dos factores contributivos relacionados com acontecimentos acidentais: falha de equipamento (EMSA, 2015).....	62
Figura 40 – Combinação das subcategorias dos factores contributivos do nível 2 e 3 relacionados com falha de equipamento (EMSA, 2015)	62
Figura 41 – Modelo Bow-tie simplificado.....	64
Figura 42 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de derrame ou fuga	65
Figura 43 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de procedimentos de operação inadequados	66
Figura 44 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de insuficiência de conhecimento da tripulação.....	67
Figura 45 – Barreiras de mitigação, factores de agravamento e barreiras secundárias para a consequência de impacto no ser humano.....	68
Figura 46 – Barreiras de mitigação, factores de agravamento e barreiras secundárias para a consequência de impacto no meio ambiental	69
Figura 47 – Modelo Bow-tie completo.....	70

Lista de Abreviações

CASMET	Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations
CoCoM	Contextual Model of Cognition
CPC	Common Performance Conditions
CREAM	Cognitive reliability and Error Analysis Method
DNV	Det Norske Veritas
EEM	External Error Mode
EMCIP	European Marine Casualty Information Platform
EMSA	European Maritime Safety Agency
FSS Code	International Code for Fire Safety Systems
FTP Code	International Code for the Application of Fire Test Procedures
GEMS	Generic Error Modelling System
GISIS	Global Integrated Maritime Safety Agency
HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique
HEI	Human Error Identification
HRA	Human Reliability Assessment
ILO	International Labour Organization
IMO	International Maritime Organisation
ISM	International Safety Management
IST	Instituto Superior Técnico
MAIB	Marine Accident Investigation Branch
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
NTUA	National Technical University of Athens
OPRC	International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation
PEM	Psychological Error Mechanism
PSF	Performance Shaping Factors
SHEL	Software Hardware Environment Liveware
SHERPA	Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach
SmoC	Simple Model of Cognition
SMS	Safety Management System
SRK	Skill, Rule and Knowledge Based
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarer
STEP	Sequential timed events plotting procedures
THERP	Technique for Human Error Prediction
TRACER	Techniques for the Retrospective and predictive Analysis of Cognitive errors
TSB	Transportation Safety Board of Canada

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A análise de acidentes de incêndios e explosões no contexto marítimo é o tema abordado na presente dissertação. O objectivo é delinear e identificar as causas principais e os acontecimentos típicos de acidentes, envolvendo incêndios e explosões em navios.

A investigação de acidentes marítimos consiste num processo detalhado e sistemático de análise e investigação de acidentes relacionados com navios ou outras embarcações, com o objectivo de determinar a causa do acidente. Os tipos de acidente que podem ocorrer são diversos, destacando-se a colisão, incêndio, explosão, afundamento, abalroamento, entre outros. Encalhes e incêndios a bordo são os tipos dominantes de acidentes marítimos globais. Tais questões são importantes em todos os sectores da indústria marítima de hoje.

Um acontecimento indesejado que resulta em danos materiais, pessoais, ambientais pode ser definido por acidente marítimo (Kristiansen, 2013). Um incêndio pode ser um fenómeno devastador num navio – particularmente em navios de passageiros, onde um grande número de pessoas pode necessitar de ser evacuado, ou em navios de transporte de carga inflamável, com sérios riscos para a tripulação ou para os portos e zona circundante.

Existem entidades nacionais e internacionais para regulamentar a investigação deste tipo de acidentes, com o propósito de planear e criar uma rotina metódica e procedimentos para evitar acidentes. A visão global do enquadramento regulamentar para a segurança e prevenção de incêndios é retratada. O caso do incêndio e explosão está entre os principais riscos de operações do navio, apesar dos assuntos relacionados com prevenção e mitigação deste risco serem amplamente abordados pelas regulamentações actuais.

Actualmente, a segurança contra incêndios na concepção de navios é tratada pela conformidade com as normas prescritivas da SOLAS, lidando com questões de prevenção, supressão e evacuação, entre outros. Estes regulamentos têm um grande impacto sobre os projectos resultantes, em termos de arranjo, funcionalidade e custos, que em alguns casos inibem o desenvolvimento de soluções inovadoras, igualmente seguras, mas potencialmente mais rentáveis. Ao mesmo tempo, o aumento do nível de compreensão do incêndio e da sua influência sobre o comportamento humano, bem como os avanços na modelação de incêndio, têm incentivado o uso de códigos de projecto baseados no desempenho já adoptada noutros sectores, particularmente na aviação e na engenharia civil. A mesma tendência é observada na indústria marítima (Guarin et al., 2004).

São várias as causas que desempenham um papel crucial num acidente marítimo. Condições ambientais, de rota, relacionadas com o navio, erros humanos e relacionadas com carga são as mais frequentes. Nas últimas décadas, no contexto industrial, foram desenvolvidos vários métodos para proceder à identificação do erro humano (Shorrock and Kirwan, 2002). Entre os diversos métodos, alguns foram adaptados ao âmbito marítimo e utilizados para a codificação de acidentes em navios.

Na última década, várias metodologias de investigação de acidentes foram desenvolvidas juntamente com taxonomias adequadas que permitem a codificação das suas principais causas e os factores que

contribuem para os acidentes. Como a maioria dos acidentes são causados por factores humanos e organizacionais, as metodologias disponíveis dão especial atenção a estes aspectos.

Exemplos de tais abordagens são a metodologia CASMET (*Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations*) de investigação de acidentes desenvolvida por Kristiansen et al. (1999) e Caridis (1999) que se tornou um dos pilares da EMCIP (*European Marine Casualty Information Platform*) desenvolvida pela Agência Europeia da Segurança Marítima (EMSA).

Para analisar e codificar um conjunto de relatórios de acidentes envolvendo incêndio e explosão a bordo de navios é utilizada a metodologia CASMET, de modo a identificar os acontecimentos típicos e as principais causas deste tipo de acidentes.

1.2. Objectivos

Pretende-se identificar e analisar as principais causas dos acontecimentos acidentais em incêndios e explosões no contexto marítimo. Para tal, os objectivos a serem atingidos são:

- Análise estatística dos acidentes marítimos;
- Revisão do quadro regulamentar para o incêndio e segurança contra incêndio;
- Avaliação ampla da contribuição dos factores humanos e organizacionais nos acidentes;
- Visão geral e aplicação a casos práticos da metodologia CASMET;
- Análise e codificação de relatórios de acidentes envolvendo incêndios e/ ou explosão através da metodologia CASMET;
- Análise estatística dos resultados do processo de codificação;
- Identificação das causas típicas de incêndios e explosões em navios;
- Desenvolvimento de um modelo “Bow-tie” de análise e gestão do risco de incêndio.

1.3. Estrutura da Dissertação

Com o objectivo de apresentar a perspectiva do trabalho, o conteúdo de cada capítulo é brevemente apresentado. O presente capítulo visa introduzir o tema proposto e fornecer uma visão geral dos conceitos abordados. O capítulo 2 apresenta o desenvolvimento do tema, acidentes no contexto marítimo, onde é discutido o panorama geral de acidentes marítimos, o enquadramento regulamentar, metodologias existentes para a codificação e para finalizar uma contextualização do erro humano. O capítulo 3 apresenta a taxonomia CASMET, onde a estrutura da metodologia e os passos da codificação são explicados. Ainda no capítulo 3 é exposto um exemplo de aplicação a um caso seleccionado. O capítulo 4 apresenta os resultados da codificação, através da metodologia CASMET, de 20 relatórios de investigação disponibilizados pelas entidades MAIB (*Marine Investigation Branch*) e TSB (*Transportation Safety Board of Canada*). É feita uma compilação de resultados da codificação e são apresentados gráficos comparativos de vários aspectos bem como conclusões sobre os factores com maior incidência. No capítulo 5 é desenvolvido um modelo “Bow-tie” para a análise e gestão do risco de incêndio. Para finalizar, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e recomendações para futuros desenvolvimentos.

2. Acidentes no Contexto Marítimo

2.1. Panorama geral de acidentes marítimos

O conceito de acidente é amplamente utilizado de uma forma elementar e directa. Uma definição bastante comum é que acidentes são acontecimentos não planeados e imprevisíveis, causando ferimentos ou danos. Esta definição pode ter algumas nuances, de acordo com o campo onde se insere. Do ponto de vista legal, o termo acidente pode significar que o dano não era intencional e que o acontecimento não pode ser suposto como crime (Harms-Ringdahl, 2013). Acidentes estão sempre relacionados com acontecimentos com consequências não intencionais, consequências inesperadas ou mesmo consequências danosas.

É complexo estabelecer para a palavra “acidente” uma definição geral uma vez que diferentes áreas tendem a seguir conceitos diferentes. No contexto marítimo, acidente pode ser definido por um acontecimento indesejado que tem como consequências prejuízo humano, bens materiais e/ ou ambientais (Kristiansen, 2013). Estas consequências podem manifestar-se, mais especificamente, por feridos e fatalidades, poluição ambiental severa, perda e destruição de carga e do navio.

No entanto, os acidentes acontecem em qualquer situação, e praticamente todas as actividades humanas apresentam riscos para os seres humanos ou para o meio ambiente. Os acidentes e incidentes são muitas vezes dispendiosos e demorados; também podem ser devastadores para os indivíduos envolvidos quando o acidente leva a lesões físicas ou mentais, ou mesmo a morte. O facto que é comum a todos os acidentes é que eles são indesejáveis e, efectivamente, nem todos são evitados. Com o intuito de reduzir o número de acidentes tanto quanto possível, é importante aprender com os erros e falhas anteriores e disseminar esse conhecimento para outros. Informação sobre experiência de acidentes e incidentes, torna-se cada vez mais importante para as autoridades, organizações e empresas. Também o número de artigos científicos publicados sobre os processos de aprendizagem aumentou (Lindberg et al., 2010).

Com o intuito de evidenciar os factores contributivos para os acidentes no contexto marítimo, o panorama geral do risco marítimo é um tema incontornável.

A actividade marítima detém um papel crucial na actividade comercial e na economia de um grande número de países. O transporte marítimo, bem como o sector da pesca, são exemplos fortes e estabelecidos de áreas basilares de actividades marítimas, benéficas para o crescimento económico. Com o fenómeno da globalização, desde o final do século XX, assiste-se à proximidade entre nações do ponto de vista económico, social, cultural e político. Este fenómeno está veementemente relacionado com o sector marítimo – bens transaccionáveis via marítima são um exemplo robusto de elo de ligação. Do ponto de vista ambiental, também é claro o vínculo entre a protecção do ambiente e segurança marítima. Nas últimas décadas existiram alguns acontecimentos marcantes que puseram em foco a pertinência da sensibilidade que o contexto marítimo representa.

No sector marítimo, os incêndios são conhecidos por serem um dos grandes riscos para a segurança a bordo do navio, particularmente em navios de passageiros. O número de passageiros é, dramaticamente, directamente proporcional à potencial perda de vida e os regulamentos estabelecidos falham ao não estarem a par de projectos atractivos e inovadores. Este facto é

manifestado através de vários casos de incêndios a bordo de navios, reportados por várias entidades de segurança de transporte. Um incêndio de pequenas dimensões em qualquer zona a bordo de um navio pode resultar em consequências desastrosas, como é o caso do Princess 6 (2006), onde os sistemas de detecção de incêndio e supressão não foram utilizados tendo como consequência o agravamento do incêndio e danos de materiais, para além de lesões e perdas de vidas. Um outro caso, no ferry Al-Salam Boccaccio (2005), um incêndio possivelmente originado na casa da máquina, deflagrou para o convés de veículos onde o sistema de combate a incêndios foi indevidamente utilizado. Neste ponto, o excesso de água no convés originou adorno do navio e perda de mais de mil vidas (Azzi et al., 2010).

Os navios navegam normalmente longe da costa com muito pouco ou nenhum acesso a ajuda e apoio externo para lidar com acidente de incêndio a bordo. O incêndio é uma ameaça significativa à segurança do navio, do pessoal de bordo e de carga que ele carrega. O incêndio em navios também pode causar graves danos ao ambiente marinho. Em caso de início de incêndio, se a contenção do incêndio não é eficiente e objectivo, não haverá tempo suficiente para fazer uso de equipamentos a bordo ou de qualquer eventual apoio externo o que pode resultar em danos graves (Dutta and Kar, 2009).

Existem estatísticas disponíveis por diversas entidades, que servem de introdução ao assunto em questão, situando os aspectos gerais dos riscos no sector marítimo. De acordo com as fontes disponíveis, existem factos relevantes que são merecedores de mais atenção.

Segundo a EMSA (*European Maritime Safety Agency*), o seu relatório mais recente que abrange os anos 2011 a 2014, mostra que o número de acidentes marítimos aumenta. Em 2014 são contabilizados um total de 3025 acidentes (Figura 1).

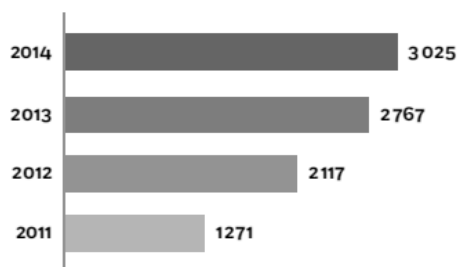


Figura 1 – Número de acidentes e incidentes marítimos reportados, entre 2011 e 2014 (EMSA, 2015)

Na Figura 2, em observa-se que os navios de carga são os que contabilizam mais acidentes, entre os anos 2011 a 2014, com um total de 44%, seguindo-lhes 23% atribuídos a navios de passageiros. Os navios de pesca detêm o valor de 13% enquanto que 15% correspondem a navios de serviço.

Os restantes 9% correspondem a outros tipos de navios. Portanto conclui-se que, nos últimos anos, os tipos de navios mais passíveis de acidentes são os navios de carga, seguidos de navios de passageiros e de pesca.

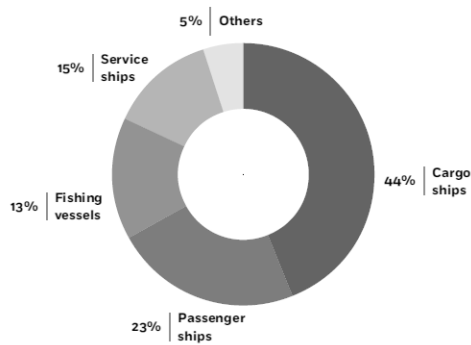


Figura 2 – Distribuição de navios envolvidos por categoria principal entre 2011-2014 (EMSA, 2015)

Na Figura 3 por sua vez, verifica-se que a perda de controlo é o tipo mais frequente de acidentes. Contacto, colisão e encalhe são os acidentes que se seguem, com 18% e 17%. Acidentes devido a incêndio ou explosão detêm o valor de 8% do total.

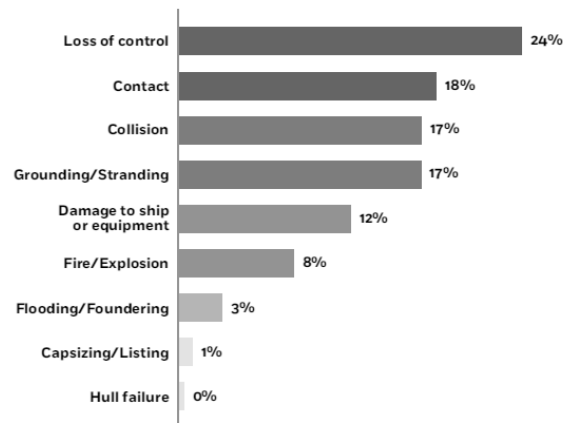


Figura 3 – Distribuição de acidentes entre 2011-2014 (EMSA, 2015)

Actualmente continuam a ocorrer acidentes com consequências danosas, apesar do investimento da indústria na segurança de navios, bem como a legislação nacional e internacional presente no contexto da segurança marítima.

A investigação das causas que conduzem à ocorrência de acidentes é imprescindível, com a intenção de minimizar o risco de incidente. A Convenção SOLAS e o Código de Investigação de Acidentes são duas ferramentas actuais publicadas pela IMO para prosseguir a investigação. Um acidente muito grave define-se como um acidente em que houve a perda total do navio ou uma fatalidade, ou ainda impacto no meio ambiente. No sentido de prevenção de futuros acidentes, também é recomendável a investigação de acidentes marítimos graves, menos graves ou outros incidentes. Critérios como a idade e tipo de navio, área de operação, estados de mar difíceis, dimensão do navio são razões para a ocorrência de acidentes. Critérios do foro económico também tem impacto visível para a implicação de acidentes marítimos – tripulações com o número mínimo de indivíduos traduzem-se em fadiga, que não compensa o risco que se sujeita.

Os dados históricos de acidentes são indicadores informativos sobre o tipo de incêndio e explosão que são passíveis de ocorrer. No contexto marítimo, incêndios e explosões são tipicamente reportados em bases de dados de acidentes e são actualizados por várias organizações, que detêm estas listas. O tipo de informação é determinado pela organização. Por exemplo, organizações relacionadas com seguros, como as sociedades classificadoras, compilam informação direccionada para estabelecer as taxas a aplicar em cada caso de segurado; no caso de organizações governamentais, a necessidade ou efectividade de regulamentações já estabelecidas são analisadas. Idealmente, uma base de dados tem uma listagem completa de todos os acidentes e também os casos em que quase ocorreu um acidente. Esta base de dados reúne informação detalhada do acidente e as razões causais para a ocorrência, bem como organiza a informação sobre operações e acontecimentos que antecedem o acidente. Informações relacionadas com o custo de reparação também são incluídas. Com esta abordagem detalhada sobre acidentes, é de notar uma tendência para certas áreas de acção que são identificadas e conseqüentemente podem ser evitadas. Obstáculos relacionados com mudança na tecnologia, projecto de navios, tipos de carga transportada podem ser identificados precocemente e intervencionados, com novos regulamentos e procedimentos de operação (Gentile and Dickenson, 1995).

Apesar dos avanços que foram feitos em projecto relacionado com petroleiros, sistemas de prevenção de incêndios e tecnologia de combate a incêndios, os incêndios a bordo continuam a ser uma ameaça muito real (Mendiola et al., 1999). A enorme quantidade de materiais perigosos e inflamáveis transportados via marítima eleva as preocupações não só para a segurança da tripulação do navio, mas também para a protecção do meio ambiente. O facto de estarem envolvidos navios de grandes dimensões, com grande capacidade de carga e passageiros, torna as conseqüências mais dramáticas em caso de acidente. A manobrabilidade reduzida aliada à dimensão em larga escala é outro factor contributivo de grande peso na influência de acidente (Akten, 2006).

Tomando como exemplo as zonas de risco de incêndio do navio concluiu-se que, de acordo com as estatísticas existentes, no panorama geral de risco de incêndio no navio, 30 a 50% do risco corresponde a perigo de incêndio na casa da máquina, em que 60% dos casos deflagra devido a sistemas de combustível ou de óleo lubrificante (Charchalis and Czyż, 2011). A Figura 4 apresenta a divisão geral da percentagem de causas de incêndio na casa da máquina.

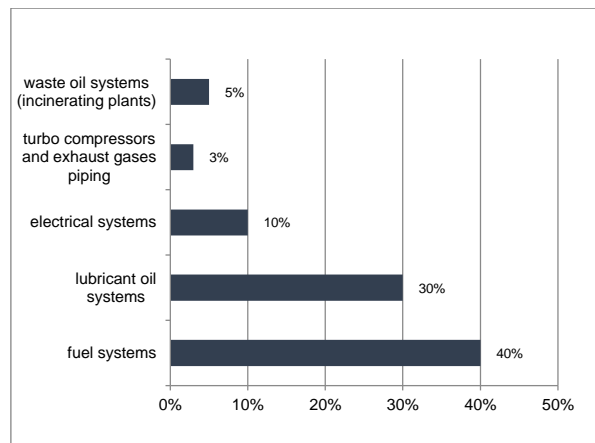


Figura 4 – Causas de incêndio em casas da máquina, adaptado de Charchalis and Czyż (2011)

A cada ano são perdidas vidas e milhões de dólares em danos são causados por incêndios em navios. O erro humano é de longe a causa mais comum de incêndios. É muitas vezes um único acto negligente que põe em perigo a vida de toda a tripulação. Apesar dos avanços que foram feitos no projecto de navios petroleiro, sistemas de prevenção de incêndios e tecnologia de combate a incêndios, incêndios a bordo continuam a ser uma ameaça muito real.

A análise de acidentes marítimos é fundamental para proceder à avaliação de risco, no intuito de apurar as causas básicas, factores contributivos e organizacionais que colaboraram para eventualidades acidentais (Guedes Soares et al., 2000).

Todos os países possuem regulamentos que ditam as situações em que os acidentes do foro marítimo devem ser investigados, com o propósito de identificar as causas e potenciais medidas que reduzem o risco de ocorrência de acidentes semelhantes, assinalar fraquezas nas regulamentações actuais e estabelecer uma conduta de responsabilidade e criminal (Kristiansen, 2013). No entanto, o principal objectivo da investigação é compreender o acontecimento com o intuito de evitar futuramente a sua ocorrência. Uma metodologia exemplar de análise de acidentes deve distinguir erros humanos de falhas técnicas, estabelecer relação entre falha nos módulos básicos do sistema, identificar medidas de prevenção e mitigação (Kristiansen, 1995).

2.2. Enquadramento regulamentar

Nesta secção são discutidas as várias entidades e os instrumentos que garantem a segurança contra incêndios em navios, no sentido de sintetizar o papel de cada um.

Como já foi referido anteriormente, o tema da segurança engloba a segurança de pessoas, segurança do navio e aspectos ambientais. A segurança é regulamentada na base de diferentes fontes jurídicas, divididas entre leis e regulamentações internacionais e nacionais, decisões judiciais, zonas territoriais nacionais, convenções e resoluções IMO, regras de classificação de construção e controlo pelo estado do porto (Kristiansen, 2013).

O princípio fundamental na regulamentação do transporte é a harmonização das regras nacionais com base em convenções e resoluções internacionais assumidos pela IMO. Esta é uma organização

sob a alçada do sistema das Nações Unidas, em que a sua principal função é estabelecer regras com base na participação dos Estados membros. A IMO tem um conjunto complexo de comités que elaboram e revêem os regulamentos que são adoptados pela Assembleia Geral. A nova regulamentação tem que ser ratificada por um número mínimo de estados antes de entrar em vigor. No entanto, a IMO não tem poder para fazer cumprir as normas de segurança internacionais: essa tarefa compete aos Estados Membros, representando o papel dos chamados Estados de Bandeira. O papel principal na segurança marítima em regime regulatório internacional é a IMO, mais especificamente a SOLAS (Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar). Além da SOLAS, a IMO adopta também outras medidas que podem afectar directa ou indirectamente o tema da segurança marítima, como a Convenção STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) e do *High Speed Craft Code*. De referir que existem ainda os estados de bandeira, estados de porto e sociedades de classificadoras a desempenhar papéis fundamentais na implementação e cumprimento dos regulamentos de segurança marítima (Psaraftis et al., 1998).

2.2.1. Acidentes

Sob os requerimentos da SOLAS I/ 21 e os artigos 8 e 12 da Convenção MARPOL 73/ 78, cada Administração compromete-se a realizar uma investigação referente a qualquer acidente ocorrido com navios sob sua bandeira sujeito às referidas convenções e para fornecer à Organização informações pertinentes sobre os resultados de tais investigações. O artigo 23 da *Load Lines Convention* também requer a investigação de acidentes.

A actividade dos grupos de trabalho para a interpretação de ocorrências é baseada no procedimento de análise de acidentes, que inclui um processo de análise dos relatórios de inquérito de acidentes, representação gráfica do fluxo normal de informações do acidente, procedimentos para avaliar as questões de segurança que necessitam de uma análise mais aprofundada, uma representação gráfica do processo para validar uma questão de segurança e de atribuição de nível de risco estimada e um diagrama do processo de análise de acidente. A IMO disponibiliza e gere ainda uma base de dados, designada por Sistema Global Integrado de envio da informação (GISIS), que inclui dados sobre acidentes e incidentes marítimos.

A questão dos factores humanos na análise de acidentes é um tema presente na IMO. Com o objectivo de uniformizar a informação que consta nas bases de dados referentes a acidentes marítimos, foi apresentado um formulário e neste encadeamento a resolução A.849(20) (IMO, 1997) constitui um código de investigação de acidentes marítimos. O código estabelece uma sequência de alíneas a analisar para permitir a autoridade dirigente detectar e concluir os factores implicados, barreiras na segurança e operação preventiva. A resolução A.884(21) (IMO, 2000), posterior à anterior, visa incorporar a investigação dos factores humanos da IMO e ILO (*International Labour Organization*), e concilia as diversas abordagens aos factores humanos, como por exemplo o modelo SHELL (Hawkins, 1987), o GEMS (Reason, 1990) e a taxonomia de erro de Rasmussen (1987), de acordo com a resolução referida (IMO, 2000).

A circular MSC-MEPC.3/Circ.3 (IMO, 2008) representa a actualização da resolução referida anteriormente, na qual estão definidos explicitamente os procedimentos de investigação de acidentes

e onde são englobados todos os aspectos informativos sobre determinado acidente num único formulário designado por “*Reports on Marine Casualties and Incident*”. São recolhidas informações correspondentes ao acidente, e estas informações são alocadas em dez anexos, cada qual direccionado para um determinado tópico – identificação e características principais do navio (anexo 1), dados de acidentes “*very serious casualties*” e “*serious casualties*” (anexo 2), informação suplementar para “*very serious casualties*” e “*serious casualties*” (anexo 3), acidentes envolvendo bens perigosos ou poluentes marítimos embalados a bordo e em portos (anexo 4), estabilidade intacta e em avaria (anexo 5), ocorrência de incêndio (anexo 6), sistema global de socorro e segurança marítima (anexo 7), fadiga como factor contributivo (anexo 8), derrame acidental de substâncias nocivas (anexo 9) e acções de socorro (anexo 10). A classificação de acidentes divide-se em quatro frentes: “*very serious casualties*” são acidentes que envolvem a perda total do navio, de vidas, ou poluição severa, “*serious casualties*” correspondem a acidentes em que não são qualificados como “*very serious casualties*” mas que envolvem incêndio, explosão, abalroamento, encalhe, contacto, danos devido ao mau tempo, rombo ou suspeita de defeito no casco, danos estruturais que impossibilitam o navio de navegar, poluição, necessidade de socorro (IMO, 1997); “*less serious casualties*” e “*marine accidents*”. De acordo com esta classificação de acidentes são assinalados os anexos a submeter, com maior ênfase nos casos graves e muito graves, descrito na Figura 5.

Informação para ser submetida de acordo com o tipo de ocorrência	Ocorrência muito grave	Ocorrência grave	Ocorrência menos grave	Incidentes marítimos
Anexo 1	A submeter, em todos os casos, até 6 meses após ocorrência	A submeter, em todos os casos, até 6 meses após ocorrência	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar
Anexos 2 e 3 (e outros anexos se relevantes)	A submeter, em todos os casos, no fim do processo de investigação	A submeter, em todos os casos, no fim do processo de investigação	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar
Relatório completo de investigação	A submeter, em todos os casos, no fim do processo de investigação	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar	Submeter apenas se existirem aprendizagens a retirar

Figura 5 – Resumo da informação a ser submetida de acordo com o tipo de acidente, adaptado de IMO (2008)

A existência de uma ocorrência não obriga a que sejam preenchidos todos os anexos, uma vez que depende da natureza do acidente. Sublinha-se a importância dos anexos 1 e 3, por terem informações do navio em causa, natureza e pormenores do acidente, assim como conclusões do inquérito realizado. O anexo 1 requer o preenchimento de elementos como número IMO, nome, bandeira, tipo de navio, tipo de serviço, arqueação, dimensões principais, porte, sociedade classificadora, detalhes de construção, tipo de propulsão, números de tripulantes e passageiros,

número de pessoas a bordo no momento do acidente (data e hora, posição, acontecimento inicial, consequência, resumo dos acontecimentos). Para completar o anexo 2 são necessários os seguintes dados: data e hora da ocorrência, coordenadas geográficas da localização, localização (atracado, porto, canal, etc.) e piloto a bordo. Destaca-se também o anexo 6, respeitante à ocorrência de incêndio, denominado por “*Fire Casualty Record*”. Nele constam várias alíneas, nomeadamente a zona do navio onde o incêndio deflagrou, causa provável de incêndio, meios de detecção de incêndio, descrição do desempenho do sistema de combate a incêndio, equipamento utilizado, entre outros. Seguidamente é identificado o acontecimento que despoletou o acidente, acontecimento inicial, ou seja o tipo de acidente (colisão, contacto, encalhe, incêndio ou explosão, etc.), e o acontecimento subsequente, que deriva e depende da magnitude do acontecimento inicial.

As consequências para o navio, tripulação e passageiros e meio ambiente são identificadas. Posteriormente, são assinaladas as causas principais (causas directas), correspondentes apenas ao acontecimento inicial e são divididas em causas internas e externas. Exemplos de causas internas são violações e erro humano, falhas estruturais, falhas de maquinaria e equipamento, falhas com carga; exemplos de causas externas são a existência de outro navio, condições do meio ambiente, infra-estrutura de apoio à navegação, entre outros. Neste anexo são ainda referenciados com mais detalhe os tipos de erro de acordo com a taxonomia de erro de Reason (1990): violações, deslizes, lapsos e enganos seguidos pela identificação de factores subjacentes às causas primárias, de acordo com o modelo SHEL, dividindo-se em quatro áreas: *liveware* (condições fisiológicas, psicológicas e físicas), *hardware* (ergonomia, manutenção, falha de projecto, indisponibilidade de equipamento), *software* (políticas da empresa, procedimentos inadequados, gestão e supervisão) e *environment* (movimento do navio, efeitos climatéricos, ruído, vibrações, temperatura, humidade).

2.2.2. Incêndio

O objectivo principal da convenção SOLAS é especificar os requisitos mínimos para a construção, equipamento e operação de navios (SOLAS, 2014). A 1 de Julho de 2002, um novo conjunto de medidas abrangente dedicado à protecção contra incêndios, detecção e extinção de incêndios a bordo dos navios, entrou em vigor como um novo capítulo revisto II-2 da Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) de 1974, conforme alterada, incorporando avanços tecnológicos na detecção e extinção, bem como as lições aprendidas com acidentes deste teor ao longo dos anos.

Os regulamentos são elaborados para garantir que os incêndios são, antes de tudo prevenidos – por exemplo, certificando-se de que os materiais como tapetes e revestimentos de parede são rigorosamente controlados para reduzir o risco de incêndio; em segundo lugar, que todos os incêndios são rapidamente detectados; e em terceiro lugar, que qualquer incêndio é contido e extinto. Projectar navios para assegurar uma evacuação fácil da tripulação e dos passageiros é um elemento-chave do tema.

No âmbito da prevenção de incêndios a bordo, o *International Code for Fire Safety Systems*, adiante designado por *FSS Code*, tem como objectivo fornecer padrões internacionais de especificações de engenharia intrínsecas para os sistemas de segurança contra incêndio exigidos pelo Capítulo II-2 da

SOLAS e tornou-se obrigatório após 1 de Julho de 2002. Por outro lado, o *International Code for the Application of Fire Test Procedures*, designado por *FTP Code*, fornece os requisitos internacionais de procedimentos de testes de laboratório, homologação e teste de incêndio para os produtos referenciados sob a SOLAS, em vigor desde 1 de Julho de 2012. O *FTP Code* inclui o seguinte: teste para não-combustibilidade; teste de fumo e toxicidade; teste para "A", "B" e divisões de classe "F"; teste para sistemas de controle de porta corta-fogo; teste de inflamabilidade de superfície (materiais de superfície e revestimentos primários de convés); teste para têxteis sustentados verticalmente e películas; teste para móveis estofados; teste para os artigos de cama; teste para materiais de restrição de incêndio para embarcações de alta velocidade; e teste para as divisões resistentes ao fogo de embarcações de alta velocidade.

2.2.3. Projecto alternativo

Apesar da prevenção e mitigação dos acontecimentos mais comuns relacionados com o incêndio a bordo dos navios ser amplamente abordada por regulamentações normativas actuais, o caso do incêndio e explosão continua a estar entre os principais riscos para operações do navio.

No contexto do incêndio a bordo estão presentes na Regra 17 do Capítulo II-2 da SOLAS directrizes que dizem respeito ao projecto alternativo do sistema de segurança de um navio. O conceito de projecto e arranjo alternativo dos meios de combate a incêndio distancia-se das medidas previstas nos requisitos da SOLAS Capítulo II-2, sendo no entanto aplicadas adequadamente para satisfazer os objectivos de prevenção de incêndio a bordo e requisitos funcionais deste capítulo. Esta definição incluiu uma grande variedade de medidas, incluindo estruturas alternativas, sistemas com configurações diferentes do comum, bem como estruturas e sistemas tradicionais (IMO, 2001).

Algumas definições expressas na literatura em questão são úteis para a exposição do tema. O projecto de incêndio pode ser definido como o desenvolvimento e propagação da chama para a análise de um cenário de incêndio. As curvas de projecto de incêndio são descritas em termos de taxa de libertação de calor em função do tempo.

O conjunto de condições que define o desenvolvimento do incêndio e a sua propagação no interior e através do espaço do navio é definido por cenário de projecto de incêndio, que inclui: a ventilação, as fontes de ignição, a disposição e a quantidade de materiais combustíveis, a contabilização dos efeitos de detecção de incêndio; protecção contra incêndio e controlo, medidas de supressão e mitigação do fogo. Os requisitos funcionais explicam, em termos gerais, qual a função que o navio fornece para cumprir os objectivos da Convenção SOLAS. Os critérios de desempenho são quantidades mensuráveis utilizados para avaliar a adequação dos modelos experimentais.

Isto reflecte-se na nova SOLAS Capítulo II-2 / Regra 17 (SOLAS, 2014), que permite a utilização de métodos de desempenho com base em engenharia de incêndio para demonstrar que as soluções de projecto que não cumpram com algumas das normas prescritivas são tão seguras como um projecto prescritivo equivalente. Esta abordagem é habitualmente referida como o "princípio de equivalência", segundo a qual a solução de projecto, referido como um projecto "alternativo", está delineado para atingir os mesmos objectivos de segurança contra incêndio e cumprir os mesmos requisitos funcionais como um projecto prescritivo equivalente.

Apesar de ser mais demorado e dispendioso do que a abordagem prescritiva tradicional, o projecto do navio com base no desempenho pode conduzir a soluções de projecto potencialmente mais seguras, inovadora, e mais viáveis do ponto de vista financeiro.

As estatísticas disponíveis indicam que mais de 60% de todas as vítimas de incêndio ocorreram em navios de carga geral, graneleiros e petroleiros. Os navios de passageiros (incluindo ferries RO/ RO) representam apenas 6% de todos os incidentes de incêndio (Vassalos, 2006). Apesar disso, o elevado número de pessoas transportadas dispõe os navios de passageiros novos em risco significativo de perda de vida (relativamente a outros tipos de navios) decorrente de incêndio.

As tendências actuais de projecto do navio sugerem que soluções alternativas de concepção desenvolvidas, com métodos baseados no desempenho de segurança contra incêndio, serão uma característica principalmente de navios de passageiros.

Ainda há pouca experiência na aplicação do projecto alternativo para a segurança contra incêndios, tendo como razões o facto do projecto prescritivo ser mais simples, as ferramentas de engenharia de incêndio não estão facilmente disponíveis nem de utilização fácil. No entanto, na medida em que os navios de passageiros estão em causa, há muitas áreas potenciais para a exploração de benefícios do projecto alternativo, como por exemplo grandes corredores internos, estratégias de ventilação alternativas, alternativa de evacuação e caminhos de evacuação, conceito de "área de segurança", entre outros (Vassalos, 2006).

A análise de engenharia é utilizada para mostrar que o projecto alternativo fornece o nível de segurança equivalente aos requisitos normativos de SOLAS Capítulo II-2 e deve seguir a abordagem estabelecida para o projecto de segurança contra incêndio. Esta abordagem deve ser baseada em estudos e prática de engenharia relacionada com incêndios, incorporando métodos amplamente aceites, dados empíricos, cálculos, correlações e modelos computacionais, tal como consta nos livros de engenharia e literatura técnica (IMO, 2001).

É estabelecida uma equipa de projecto que tem conhecimento e experiências necessárias em segurança contra incêndios. O navio, sistemas, componentes, nos espaços e/ ou equipamentos sujeitos à análise devem ser completamente definidos.

Os cenários de incêndio deverão fornecer a base para a análise e avaliação do projecto alternativo e, portanto, são a espinha dorsal do processo de concepção alternativo. O desenvolvimento adequado do cenário de incêndio é essencial e, dependendo da extensão de desvio do projecto, pode necessitar de uma quantidade significativa de tempo e recursos. Este processo pode ser dividido em quatro áreas:

- Identificação dos riscos de incêndio – crucial no processo de desenvolvimento do cenário de incêndio, bem como em todo o projecto alternativo. São identificados usando dados históricos e estatísticos, opinião de especialistas e procedimentos de avaliação de experiência e de perigo. É necessário reunir informação sobre as condições: situação pré-incêndio, fontes de ignição, combustíveis desencadeadores, combustíveis secundários, extensão potencial, locais de destino, factores críticos e informação estatística relevante;
- Enumeração de riscos de incêndio – agrupados em três classes de acidentes: localizado, principal, ou catastrófico. Um acidente localizado consiste num incêndio numa zona

localizada e limitado a uma área específica; acidente principal consiste em um incêndio com uma zona média a afectar e limita-se aos limites do navio. Um acidente catastrófico implica um incêndio que atravessa uma zona mais abrangente, para além do navio, afectando os navios ou comunidades circundantes;

- Selecção de riscos de incêndio – deve identificar uma série de incidentes que cobrem a maior e mais provável gama de riscos de incêndio enumerados;
- Especificação de cenários de incêndio – deve incluir uma descrição qualitativa do incêndio de projecto, descrição do navio, compartimento de origem, protecção contra incêndio sistemas instalados, o número de ocupantes, estado físico e mental dos ocupantes e os meios disponíveis de escapar. Os cenários de incêndio devem considerar possíveis mudanças futuras para a carga de incêndio e sistemas de ventilação nas áreas afectadas.

A partir deste ponto, uma ou mais versões de projecto podem ser desenvolvidas para serem comparadas com o critério de desempenho suposto. Prosseguindo com a análise quantitativa, vários aspectos são avaliados, e são contabilizados todos os factores que influem no tipo e extensão do incêndio. Os critérios de desempenho são expressões quantitativas dos objectivos de segurança contra incêndio e requisitos do regulamento SOLAS. O desempenho exigido na avaliação dos projectos alternativos é especificado numericamente na forma de critérios de desempenho. Os critérios de desempenho podem incluir limites de carácter sustentável tais como obscurecimento devido ao fumo, temperatura, altura do fumo e da camada de gás quente num compartimento, tempo de evacuação ou outros critérios necessários para assegurar projecto alternativo de sucesso (IMO, 2001).

Todos os dados e informações gerados durante a análise preliminar e especificação do projecto incêndios devem servir como entrada para o processo de avaliação. O processo de avaliação pode ser diferente, dependendo do nível necessário (com base no objectivo definido durante a análise preliminar), mas deve geralmente acompanhar o processo da Figura 6.

Cada apreciação de projecto alternativo seleccionado deve ser analisado comparativamente aos cenários de incêndio seleccionados, para demonstrar que cumpre os critérios de desempenho com a margem de segurança acordada, o que por sua vez demonstra equivalência com o projecto prescritivo. A concepção e arranjo final devem ser seleccionados a partir dos modelos alternativos de avaliação que cumprirem com os critérios de desempenho seleccionados e respectivas margens de segurança.

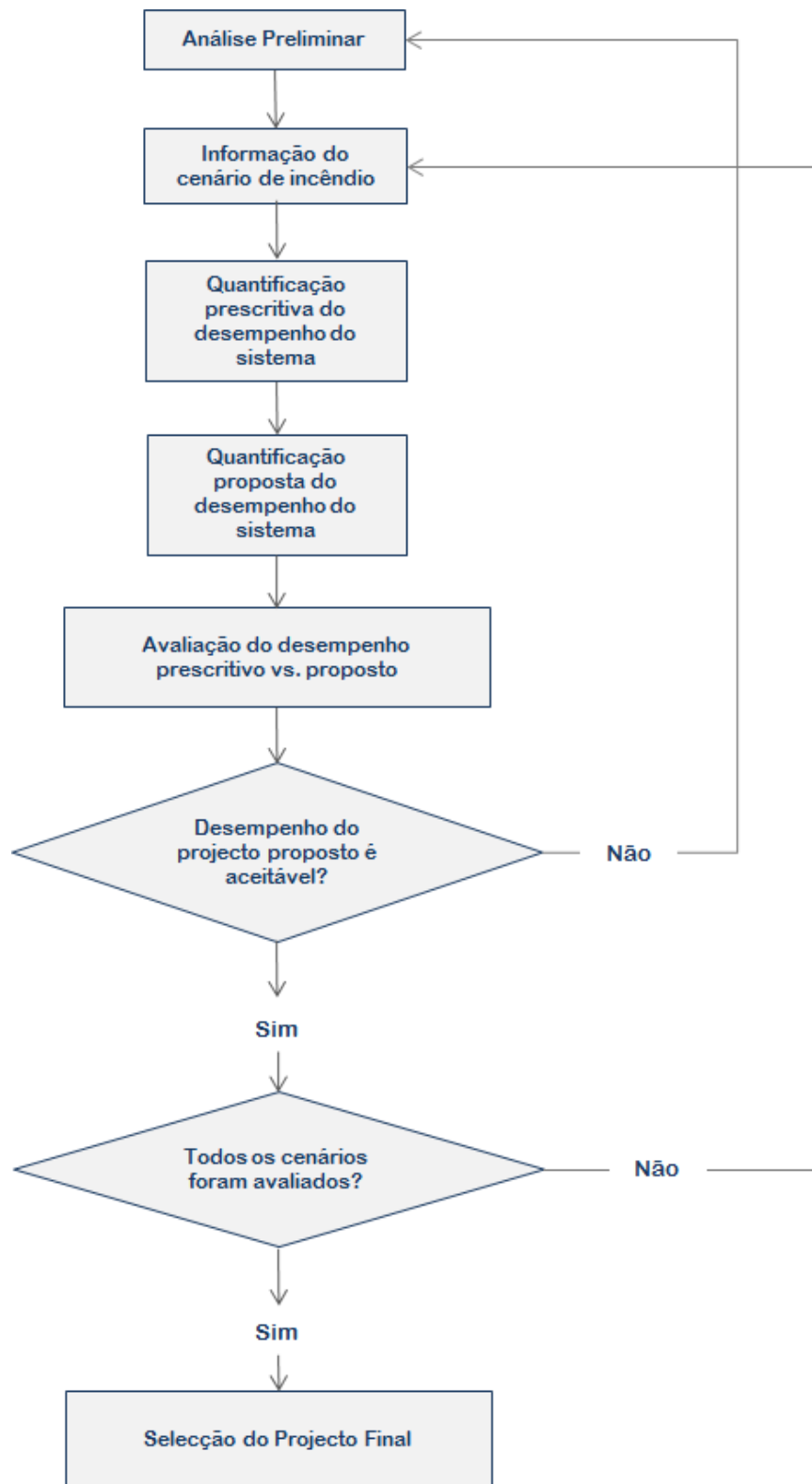


Figura 6 – Diagrama representativo do projecto alternativo, adaptado de IMO (2001)

2.3. Metodologias de codificação de acidentes

Neste capítulo são apresentadas as metodologias direccionadas para a análise e codificação de acidentes em navios, como é o caso da metodologia CASMET (*Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations*) e da metodologia EMCIP (*European Marine Casualty Information Platform*) desenvolvida pela EMSA (*European Maritime Safety Agency*). O GISIS (*Global Integrated Maritime Safety Agency*) reúne e disponibiliza informações sobre acidentes graves e muito graves, pertence à metodologia da IMO (*International Maritime Organisation*) que determina procedimentos de investigação de acidentes e incidentes marítimos. Actualmente, o TRACER, apesar de ser uma metodologia desenvolvida no contexto do controlo aéreo, foi ajustada ao enquadramento marítimo para ser aplicada na análise de acidentes e incidentes em navios (Hofmann, 2013).

2.3.1. CASMET

A metodologia CASMET (*Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations*) foi desenvolvida no âmbito de um projecto de investigação europeu. O projecto CASMET nasce a partir de cinco entidades de investigação, nomeadamente a National Technical University of Athens (NTUA), a Det Norske Veritas (DNV), Instituto Superior Técnico (IST), a *Norwegian Marine Technology Research Institute* e o *TNO Human Factors Research Institute* (Caridis (1999) e Kristiansen et al. (1999)).

Na aplicação desta metodologia, são recolhidos dados necessários para explicar uma certa ocorrência e são identificados vários aspectos, entre os quais uma sequência de acontecimentos accidentais, tarefas e equipamento utilizado e envolvido, factores que contribuíram para a ocorrência, bem como as causas básicas para cada acontecimento accidental (Guedes Soares et al., 2000).

No processo de análise, as etapas principais consistem na recolha inicial de dados, identificação e posterior definição do encadeamento de acontecimentos, estudo dos factores humanos, reconhecimento das causas básicas e síntese de relações causais (Caridis, 1999). A organização da informação numa base de dados requer uma estrutura de codificação de dados, directamente relacionada com o processo de análise dos mesmos (Guedes Soares et al., 2000).

Sempre que seja afirmativa a resposta à pergunta “Teria o acidente ocorrido se este acontecimento em particular não tivesse ocorrido?”, a sequência de acontecimentos accidentais será construída por todos acontecimentos que sejam considerados essenciais para o desenvolvimento do acidente. Deste modo, os acontecimentos que fazem parte desta sequência são essenciais, já que se um deles não tivesse ocorrido, a corrente teria sido interrompida e o acidente não teria acontecido. Estes acontecimentos são classificados de acordo com Kristiansen et al. (1999) como: materiais perigosos, efeitos ambientais, falha de equipamento, erro humano e outro agente ou navio; cada um deles têm parâmetros que lhe estão associados para a sua caracterização. As causas primárias podem ser aclaradas por um conjunto de factores que manifestam as insuficiências das pessoas, do equipamento, das condições de trabalho e gestão de acordo com Kristiansen et al. (1999).

A relação entre o processo de análise e a estrutura da base de dados é apresentada na Figura 7.

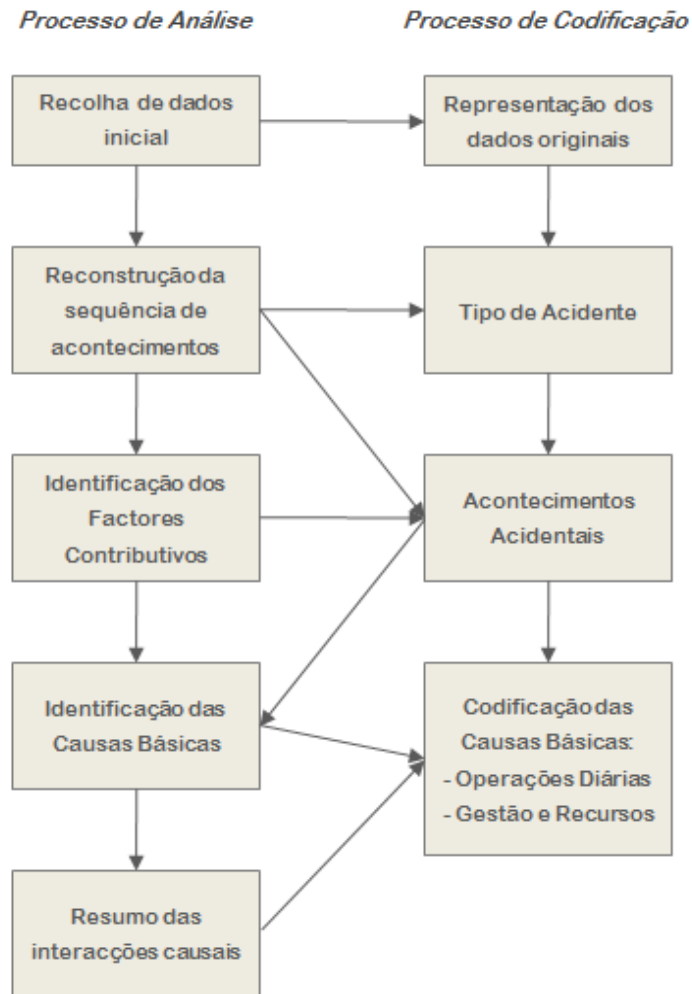


Figura 7 – Relação entre o processo de análise e a estrutura da base de dados, adaptado de Guedes Soares et al. (2000)

Segundo Kristiansen et al. (1999) são apresentados os grupos causais básicos da metodologia CASMET, nomeadamente operações diárias e gestão e recursos. A primeira diz respeito a decisões operacionais: está relacionado com decisões e condições a bordo relativas a gestão, comportamento individual, equipamento e condições de trabalho; enquanto a gestão e recursos está relacionada com a cultura organizacional, classe de gestão, compra de navios ou equipamento, contratação e formação de colaboradores – factos afectos à gestão de topo e intermédia da organização (Caridis, 1999). Este método será explorado posteriormente, no decorrer do texto da presente dissertação.

Esta metodologia reúne um conjunto de informação abrangente e implementação explícita dos factores humanos na análise de acidentes marítimos. Verificam-se no entanto lacunas como a falta de codificação de factores contributivos (essenciais para a definição de procedimentos e regras), inconsistência dos códigos relativos aos acontecimentos acidentais identificativos com o erro humano que não possibilitam uma analogia directa com métodos de fiabilidade consolidados (Antão, 2011).

2.3.2. EMCIP

Com o propósito de providenciar assistência técnica e científica à Comissão Europeia e Estados Membros no desenvolvimento e implementação de legislação na área da segurança marítima,

poluição e segurança a bordo, foi desenvolvida pela Agência Europeia de Segurança Marítima (EMSA) uma estrutura e taxonomia aplicada à base de dados EMCIP. O EMCIP é uma plataforma europeia baseada na web, que contém uma base de dados e uma rede de fornecimento de dados. Esta base de dados compila informações relativas a acidentes que envolvam todo o tipo de navios e acidentes de trabalho. Tendo em conta factores humanos, técnicos, organizacionais e ambientais envolvidos em acidentes deste foro, estes dados são úteis para análises estatísticas. A taxonomia utilizada na base de dados é fruto da cooperação entre a EMSA e os Estados Membros, tendo presente a base de dados desenvolvida pela EMSA e os procedimentos internacionais aconselhados (Correia, 2010).

A base de dados acumula os acontecimentos de acordo com um seguimento definido, em concordância com o método STEP (*sequential timed events plotting procedures*).

Os dois géneros de acontecimentos para esta abordagem são: acontecimentos terminais, associados a qualquer tipo de libertação de energia, classificados como falhas de equipamento, efeitos ambientais, agentes externos, substâncias perigosas e erro humano – e acidentais – descritos como causas imediatas e associadas a duas fases do processo acidental, o acidente ou a fase de emergência (Correia, 2010).

Para análise com base na metodologia da EMSA, um acontecimento é definido pelo desempenho de uma determinada acção por um agente – que pode ser uma pessoa, um equipamento ou outro elemento natural relacionado com o acidente – presente na realização de determinada tarefa aquando a ocorrência de um acidente. Um acontecimento acidental poderá estar associado a factores organizacionais, denominados por factores contributivos, podendo ser operações a bordo do navio ou de gestão em terra.

Tal como o CASMET, esta metodologia desenvolvida pela EMSA permite a identificação de todos os acontecimentos acidentais, factores contributivos e respectivas causas.

A taxonomia desenvolvida pela EMSA reconhece as conclusões do projecto CASMET, com as categorias da metodologia CREAM e também as configurações de relatório da IMO, para reportar acidentes marítimos. A cooperação entre estados membros no que diz respeito à investigação de acidentes marítimos é facilitada e convertida numa uniformização dos processos de investigação com a proposta desta taxonomia comum para a Europa.

2.3.3. TRACER

O TRACER (*Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors*) consiste numa metodologia de identificação de erro humano, desenvolvida no decorrer de um ensaio sobre a aplicação de técnicas de análise de fiabilidade humana no controlo de tráfego aéreo, como uma técnica de análise de incidentes retrospectiva e identificação preditiva de erros humanos. A investigação de fiabilidade humana possibilita prever, compreender e avaliar a circunstância de erro humano, segundo Kirwan (1994) dividida em três fases: identificar que erros poderão ocorrer – identificação do erro humano, estabelecer a condição mais provável para que estes erros ocorram – quantificação do erro humano, e aumentar a fiabilidade humana reduzindo esta probabilidade de erro – redução do erro humano.

Os modelos *Model of Human Information Processing* e *SmoC (Simple Model of Cognition)* são a base do desenvolvimento da metodologia TRACEr. O primeiro foi expandido por Christopher Wickens (Wickens et al., 1998) como suporte para a eleição de tarefas e averiguação de efeitos de parâmetros físicos sobre os processos cognitivos. Neste modelo, o desempenho cognitivo de um indivíduo é comparado com a sua capacidade de processamento de informação, que envolve processos cognitivos diferentes (Liebl et al., 2012). SMOc foi desenvolvido por Hollnagel (1998), com o objectivo principal de descrever as características básicas da cognição humana.

As características fundamentais deste modelo são a diferenciação entre observação e interferência e a natureza cíclica do processo cognitivo. É distinguido nitidamente o que é observado e o que é concluído a partir de observações. O comportamento é fruto do que é observado, e corresponde às classes de observação e execução de acção. As restantes funções cognitivas só podem ser inferidas a partir de observações do indivíduo.

A relação homem-máquina é o foco primordial do TRACEr, e portanto o pressuposto é que os acidentes são desencadeados por erros cognitivos e psicológicos do indivíduo que está a operar. Mais ainda, segundo Hofmann (2013), o desempenho do operador pode ser influenciado por factores externos, como a cultura organizacional, ambiente, supervisão, fadiga, entre outros; e factores internos como a falta de percepção, tomada de decisão, violações de rotina, entre outros.

O TRACEr tem uma organização modular com oito taxonomias ou diagramas de categorização. Os três tipos fundamentais são os que descrevem o contexto no qual ocorreu o erro, os que descrevem o contexto cognitivo de produção de erro e os que descrevem, a recuperação de erro (Shorrock and Kirwan, 2002). A utilização do TRACEr é legitimada pela sua elasticidade e à importância no foco da interface homem-máquina, contabilizando tanto o contexto cognitivo do operador como os factores que execução influenciadores da ocorrência de erros (Graziano et al., 2016).

2.4. Erro Humano

O erro humano continua a ser uma das causas maioritárias no que diz respeito à causa de ocorrência de acidentes marítimos (Trucco et al., 2008). Na Figura 8 é possível constatar que 74% das causas de acidente em ambiente marítimo são devidas a factores humanos e 16% são causas técnicas do navio; as restantes percentagens são atribuídas a outros motivos. Perante um valor tão marcado torna-se pertinente a avaliação da contribuição dos factores humanos nos acidentes marítimos.

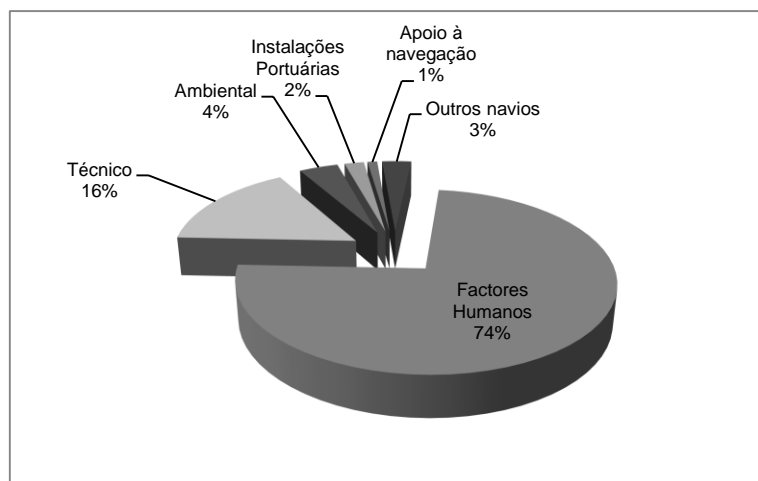


Figura 8 – Principais causas de acidentes no mar, adaptado de Trucco et al. (2008)

Também a análise detalhada de acidentes marítimos demonstra que as causas primárias são devido a factores humanos, individuais e organizacionais, em cerca de 80% (Antão et al., 2014).

Tomando como exemplo a indústria da pesca, apesar desta indústria apresentar elevadas taxas de acidentes, o foco dirigido para a segurança foi concentrado maioritariamente nos aspectos dinâmicos e estruturais do navios ao invés de aspectos humanos (Antão et al., 2008).

A investigação de acidentes e respectivos relatórios não estão projectados para contemplar a estrutura da teoria do erro humano. Uma das razões poderá ser a descontinuidade entre as teorias clássicas do erro humano e a sua aplicação em casos de investigação de acidentes (Shappell and Wiegmann, 1997).

Sendo o factor humano a razão primária para a ocorrência de um acidente, criou-se uma necessidade: desenvolvimento de novas interpretações do problema de modelação e classificação do erro humano.

Encontra-se em (Wiegmann and Shappell, 2001), baseado em literaturas anteriores, cinco perspectivas da natureza e causas que caracterizam o erro humano:

- Perspectiva cognitiva – fundamentada na teoria de processamento de informação, os modelos cognitivos contemplam as etapas das operações mentais no intervalo de entrada sensorial e execução de resposta;
- Perspectiva da ergonomia e projecto de sistemas – desenvolvido por Edwards (1973), o modelo SHEL (*Software Hardware Environment Liveware*) evolui quatro componentes para otimizar o projecto de sistemas na interface homem-máquina: *software*, *hardware*, *environment conditions* e *liveware*;
- Perspectiva fisiológica – relacionada com a condição física do operador;
- Perspectiva psico-social – relacionada com as dinâmicas de grupo e interacções entre operadores;
- Perspectiva organizacional – pondera a complexidade das causas de um acidente e foca o desempenho do papel da organização ou entidade, bem como a gestão de erro humano. Um exemplo importante deste modelo é o de Reason (1990), modelo organizacional do “queijo suíço”. Estes modelos enfatizam a falha no processo de decisão de gestores e supervisores.

De salientar o modelo de Reason (1990), modelo organizacional do “queijo suíço”, que reflecte a hipótese de falha em quatro níveis: influências organizacionais, supervisão insegura, pré-condições para actos inseguros e actos inseguros. Analisando a Figura 9, representativa deste modelo, as “fatias” simbolizam a modelação de camadas de protecção que representam as barreiras entre uma fonte e um dano.

Em cada uma das camadas de protecção existem potenciais falhas, que estão representadas por “buracos” – que alteram a forma e posição ao longo do tempo, de onde advém o termo “queijo suíço”. Uma vez que exista um alinhamento de lacunas, interpretado como falhas a ocorrerem consecutivamente, a fonte de dano progride até à ocorrência de acidente. Este modelo considera que a maioria dos acidentes é produto da falha (ou inexistência) de barreiras que impedem a ocorrência de determinada acção insegura. Existem falhas activas, que correspondem a actos inseguros e têm efeito quase imediato e falhas latentes, que indicam factores pré-existentes para actos inseguros em que as consequências não são detectadas de imediato. O conceito de falha latente permite identificar factores que contribuem para o aumento da probabilidade de ocorrência (Antão, 2011).

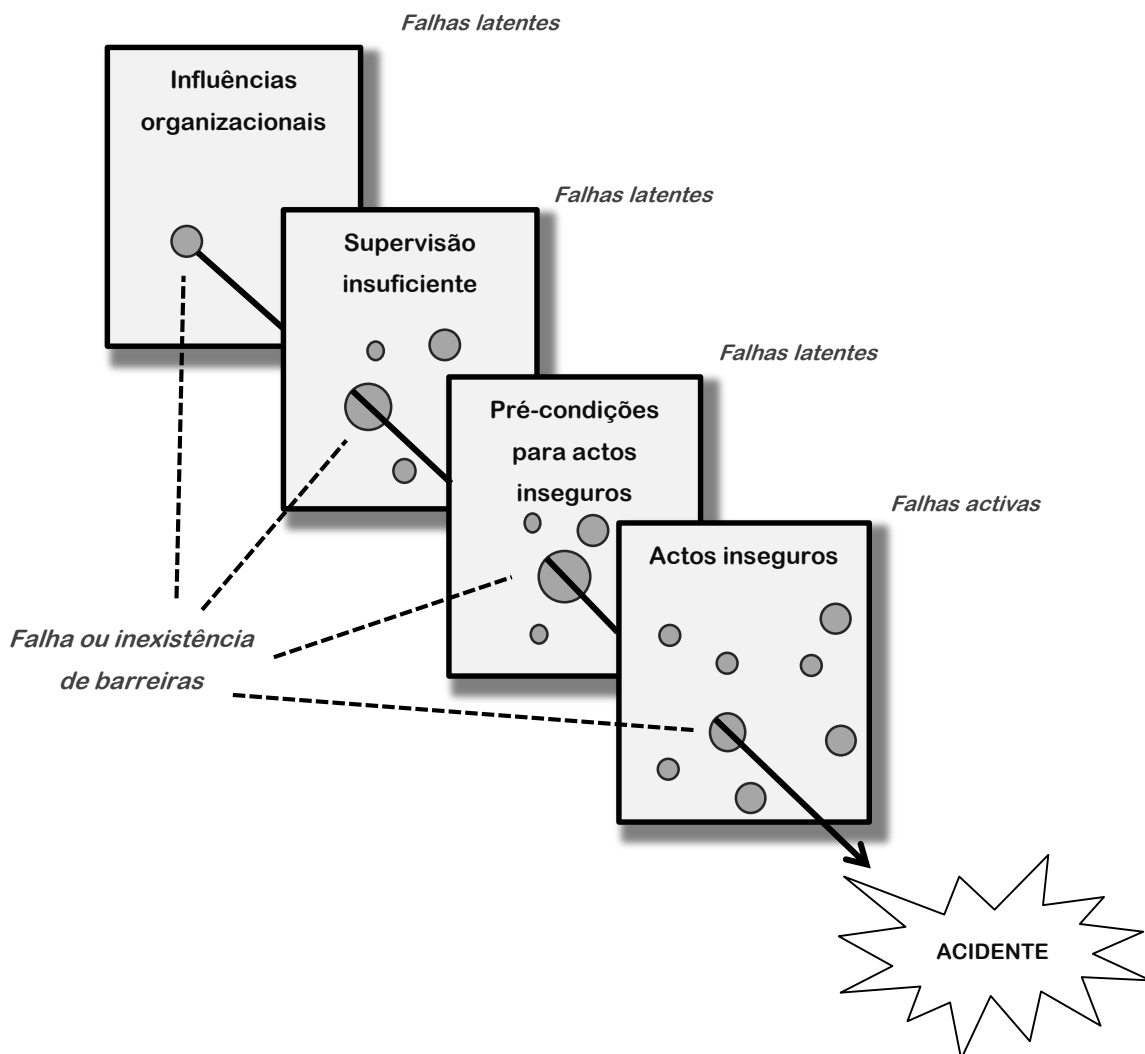


Figura 9 – Modelo do “queijo suíço”, adaptado de Reason (1997)

O tema da classificação do erro humano foi desenvolvido nas últimas décadas, dando lugar a diversas taxonomias, as quais serão brevemente descritas neste capítulo.

No contexto da fiabilidade humana, o modelo de Rasmussen (1983) é o mais célebre e de referência, sendo o mais utilizado. Este modelo, fundamentado nas aptidões, regras e conhecimento (do inglês, *Skill, Rule, Knowledge Based* – SRK), na Figura 10, divide três níveis cognitivos em relação ao procedimento que um indivíduo tenha na execução de uma tarefa determinada, os quais correspondem a níveis decrescentes de familiaridade com a tarefa (Reason, 1990).

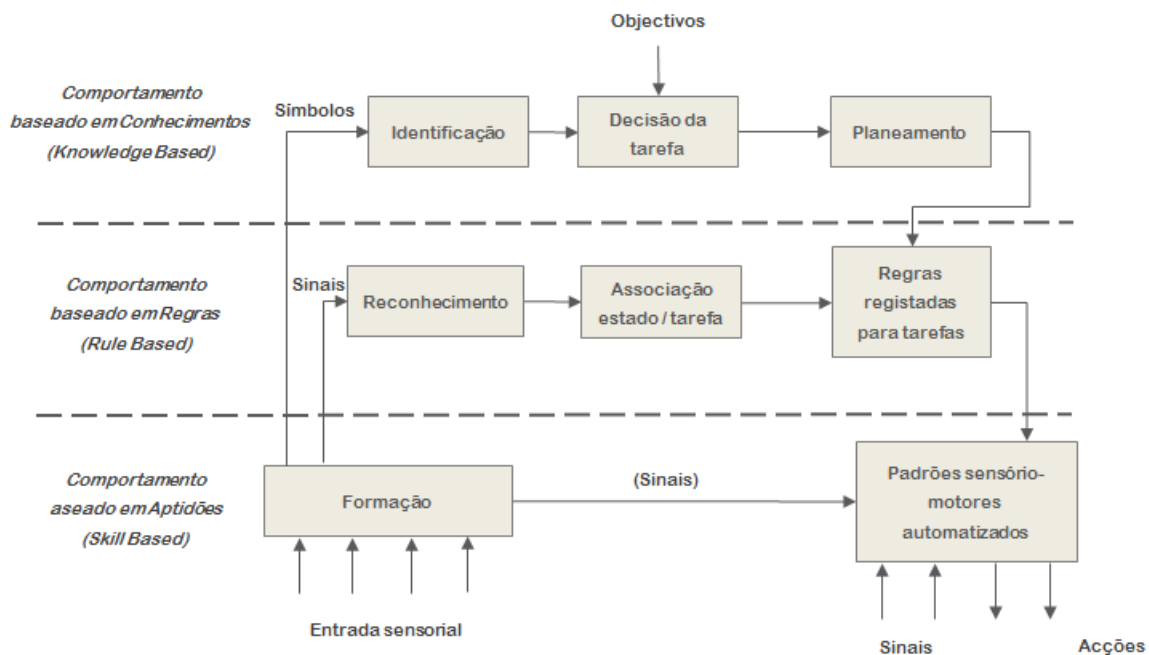


Figura 10 – Simplificação de três níveis de desempenho dos operadores humanos qualificados, adaptado de Rasmussen (1983)

O nível baseado em aptidões (*skill based*) corresponde à evolução sensório-motor durante a execução de tarefas rotineiras e não necessitam de controlo consciente. Os erros comuns traduzem-se em falta de atenção ou lapso. O próximo nível, baseado em regras (*rule based*), diz respeito a situações complexas e sem rotina, pelo que o desempenho da tarefa exige regras de execução. Quando as regras estabelecidas não são aplicadas correctamente ocorre um erro. O nível baseado nos conhecimentos (*knowledge based*) é aplicado em situações novas, nas quais não houve aquisição de aptidões ou regras. É de esperar que a execução a este nível seja pouco eficaz e com tendência para erros (Antão, 2011).

O modelo GEMS (*Generic Error Modelling System*), formulado por Reason (1990), deriva do modelo de Rasmussen introduzido anteriormente. Esta estrutura é uma derivação da taxonomia SRK de Rasmussen e identifica três tipos de erros humanos básicos: deslizes e lapsos baseados em aptidões (*skill-based slips and lapses*), enganos baseados em regras (*ruled-based mistakes*) e enganos baseados em conhecimentos (*knowledge-based mistakes*).

Ao analisar a frequência de erros humanos por patamar cognitivo, observa-se que 60,7% são erros baseados em aptidões, 27,1% erros baseados em regras e 11,3% erros baseados em conhecimentos (Reason, 1990). A primeira conclusão é que as tarefas de rotina, que exigem menor nível de atenção,

correspondem à maior percentagem de erro – na realidade, as acções humanas geralmente são desenvolvidas a este nível cognitivo. Também é verificado o aumento elevado na probabilidade de ocorrência de erro de acordo com a subida de nível cognitivo: segundo Reason (1990), considera-se um rácio para o nível cognitivo baseado nos conhecimentos de 1:2 (número de erros / números de acções) e de 1:1000 para o nível cognitivo baseado em aptidões.

Outro sistema de classificação de erros é o proposto por Swain and Guttman (1983). Neste sistema os erros são classificados em erros por omissão, que se caracterizam por falta de acção, quando realização de uma tarefa é omissa por lapso ou falha de comunicação; e em erros por comissão, em que a tarefa em causa foi executada incorrectamente. Os erros por comissão podem ainda ser divididos em erros na sequência de realização, onde a tarefa é realizada mas a sequência seguida não é a correcta, e em erros no tempo de realização.

Utilizado por Reason (1990) posteriormente, o conceito de intencionalidade relaciona os erros básicos com a intencionalidade de um acto. Os actos inseguros provêm de acções não intencionais, em que os tipos básicos de erro são os deslizes e lapsos, ou devido a acções intencionais, que dão origem ao erro básico de engano. As acções não intencionais também poderão dar origem a violações, que em muitos casos resultam de motivações incoerentes.

A identificação do erro humano (*HEI – Human Error Identification*) está relacionada com o conceito de fiabilidade humana (*HRA – Human Reliability Assessment*), que dita a influência do erro humano e restabelecimento do erro num sistema. As componentes do erro mais relevantes, segundo Kirwan (1998), seleccionadas entre trinta e oito abordagens de identificação do erro humano são: modos de erro externos (*EEM – External Error Mode*), que corresponde a manifestação externas de erros; factores de desempenho (*PSF – Performance Shaping Factors*), que influenciam a probabilidade de ocorrência de erro; e mecanismos de erro psicológicos (*PEM – Psychological Error Mechanism*), manifestação interna de erro.

Com o objectivo de quantificar a contribuição do erro humano na ocorrência de um acidente, várias técnicas de análise de fiabilidade humana foram desenvolvidas. A maioria dos métodos de HRA despoletou na década de 80, no seguimento de acidentes históricos na indústria (Hollnagel, 2005).

Várias técnicas de análise da fiabilidade humana presentes na literatura são apresentadas:

- THERP – *Technique for Human Error Prediction* (Swain and Guttman, 1983);
- SHERPA – *Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach* (Embrey, 1986);
- HEART – *Human Error Assessment and Reduction Technique* (Williams, 1986);
- CREAM – *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (Hollnagel, 1998).

Os métodos de análise de fiabilidade humana distinguem-se em métodos de primeira e de segunda geração. A diferença entre as gerações prende-se com o facto de que, na segunda geração, é evidente a tónica dada à influência do contexto no desempenho do indivíduo. Adicionalmente, enquanto que nas metodologias de primeira geração a definição de erro é baseada no duo omissão/comissão, na segunda geração as funções cognitivas do operador são consideradas (Madonna et al., 2009).

Será agora apresentado com mais detalhe o método de fiabilidade humana de segunda geração, o CREAM, desenvolvido por (Hollnagel, 1998). Neste modelo os pontos de vista a adoptar para avaliação são o retrospectivo ou prospectivo. O primeiro ponto de vista, o retrospectivo, visa a análise dos acontecimentos accidentais para reconstruir a sequência de acontecimentos e orientar as causas básicas, enquanto que a abordagem prospectiva prevê e analisa os riscos e consequências acopladas a um acidente.

Três componentes estão envolvidas neste método: utilização de um modelo de cognição humana, criação de um sistema de classificação e aplicação de influências das Condições de Desempenho Comum. O CoCoM (*Contextual Control Model*) é o modelo cognitivo utilizado no CREAM, uma evolução do modelo SMOc (*Simple Model of Cognition*). Este modelo é fundamentado pela suposição de que o comportamento humano é regado por dois princípios fundamentais que são a natureza cíclica da cognição humana e a dependência dos processos cognitivos do contexto e condições de trabalho.

O modelo CREAM sistematiza as interações entre os indivíduos e o ambiente, através da tríade homem-tecnologia-organização (Yoshimuraa et al., 2014), relacionado com a estruturação das causas. O método de classificação deve caracterizar as manifestações de erros e respectivas causas, fazendo a distinção entre efeitos e causas, caracterizados entre modos e manifestações de erros – fenótipos – e suas causas – genótipos, Figura 11.

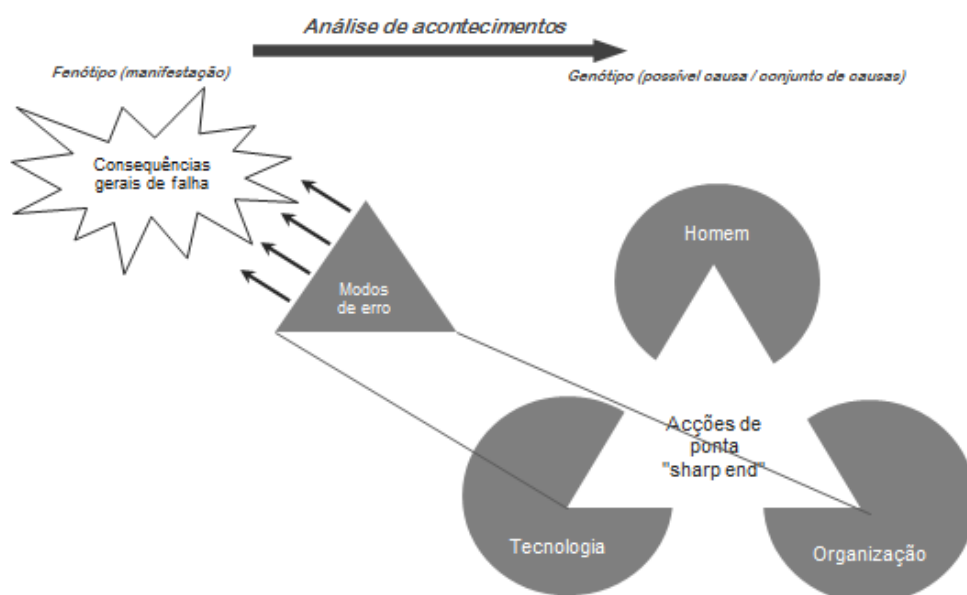


Figura 11 – Modelo de classificação do CREAM, adaptado de (Hollnagel, 1998)

Através das CPCs (*Common Performance Conditions*) é possível descrever o contexto para prever o desempenho humano. Para tal, nove CPCs são especificadas, dentro das quais, por exemplo a conformidade da organização, condições de trabalho, disponibilidade dos procedimentos ou o tempo disponível. A cada uma corresponde uma lista de níveis qualitativos. Esta lista permite a verificação

de qual ou quais os factores que influenciaram negativamente o desempenho. A examinação das CPCs é efectuada com base na combinação das nove CPC.

A potencial diminuição do erro humano passa pela percepção das metas de uma actividade e que tarefas realizar para atingir essa meta; neste sentido há abordagens diversas de análise do erro humano que podem ser aplicadas como árvores de falhas, análise de tarefas hierárquicas ou métodos de sistemas de classificação para a identificação de erros e contexto, como o CREAM.

3. Codificação de acidentes com a metodologia CASMET

A primeira parte deste capítulo tem como objectivo a apresentação da metodologia CASMET, desenvolvida para analisar acidentes marítimos, brevemente introduzida no capítulo anterior. Na segunda parte do capítulo, o processo de codificação é aplicado a um caso prático, baseado no relatório de investigação oficial do acidente.

3.1. Metodologia CASMET

A metodologia CASMET baseia-se em dois pilares: um método de análise e uma estrutura para a codificação de informação numa base de dados. O método analítico orienta a aquisição de informação e a estrutura de codificação resolve a questão de como as informações obtidas devem ser representadas numa base de dados. Os principais passos de ambos os pilares podem ser resumidos da seguinte forma:

- Recolha de dados iniciais;
- Identificação e reconstrução de acontecimentos;
- Análise de factores humanos;
- Sistemas, materiais perigosos e análise ambiental;
- Resumo de relações causais.

A relação entre o processo de análise e a informação resultante ao ser codificada, estruturada e armazenada numa base de dados está representada na Figura 12.

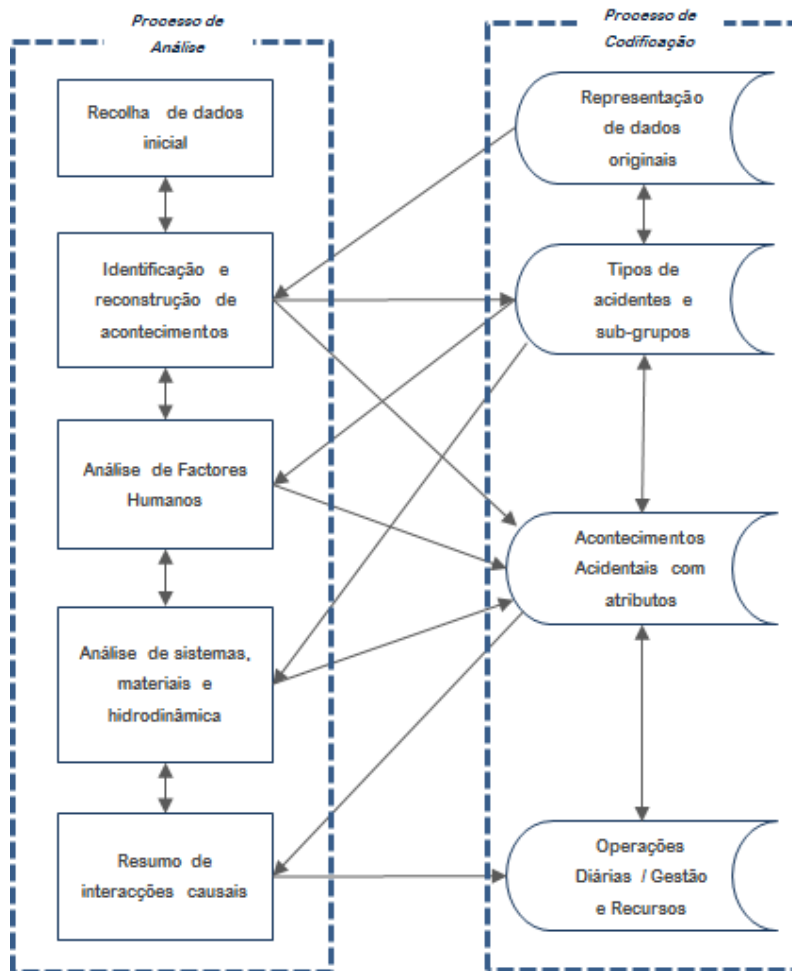


Figura 12 – Relação entre análise e estratificação da base de dados, adaptado de Kristiansen et al. (1999)

3.1.1. Identificação do acidente

Inicia-se a análise através da recolha dos dados factuais do navio e do momento do acidente, reunindo estes dados numa tabela, como está apresentado na Tabela 1. Pode-se observar que os dados necessários estão divididos em vários subtipos: identificação (nome, tipo de acidente, data de ocorrência, posição geográfica), navio (tipo, características principais), operação (fase de operação, operação a bordo), condições atmosféricas (condições meteorológicas, visibilidade), tripulação (número de pessoas, nacionalidades, experiência) e consequências (prejuízos humanos, ao navio ou ao meio ambiente, bem como consequências económicas).

Tabela 1 – Estrutura de informações factuais

Fact group	Facts
Identification	Case identification no. Vessel name Terminal casualty ²⁾ Date of Casualty Geographical position
Vessel	Vessel type Deadweight or GRT Service speed Main dimensions (Lpp, B, D) Cargo intake, draft (T) Main engine type, propulsion system Yard, country, year of built Owner, flag Classification society
Operation ¹⁾	Vessel operation phase Operation onboard
Environmental conditions	Weather conditions, visibility Beaufort no., current speed
Manning	Number of officers and crew Nationalities Experience of key personnel
Consequences	Damage to people, vessel and environment Economic consequences

A Tabela 2 apresenta as possibilidades de codificação para a categoria “operação”; por sua vez, a Tabela 3 os tipos gerais de acidentes.

Tabela 2 – Codificação para a operação

Parameter	Coding	
Vessel operation phase	Sailing Maneuvering Under tow Anchored	Enter/leave port In port At repair yard
Operation onboard	Normal watch Mooring Loading Unloading Cargo transfer	Tank cleaning Gas freeing Bunkering Ballasting Repair Idle, off-hire

Tabela 3 – Tipos de acidentes

Casualty Event	Casualty Event Subgroup
Allision	Ramming of buoy, marker Ramming of quay Collision with floating objects
Grounding	Powered grounding Intentional grounding Drift grounding
Collision	With other vessel With multiple vessels
Fire / Explosion	Fire Explosion – incendiary Explosion – pressure vessel
Flooding (Founder)	Sinking Capsize
Structural failure	
Loss of control	Loss of electrical power Loss of propulsion power Loss of directional control

O método CASMET tem quatro níveis básicos para representar um acidente marítimo, ou seja, (Figura 13):

- Acidente (*casualty event*);
- Acontecimentos acidentais (*accidental event*);
- Factores causais básicos relacionados operações diárias (*daily operation*);
- Factores causais básicos relacionados com a gestão e atribuição de recursos (*management & resources*).

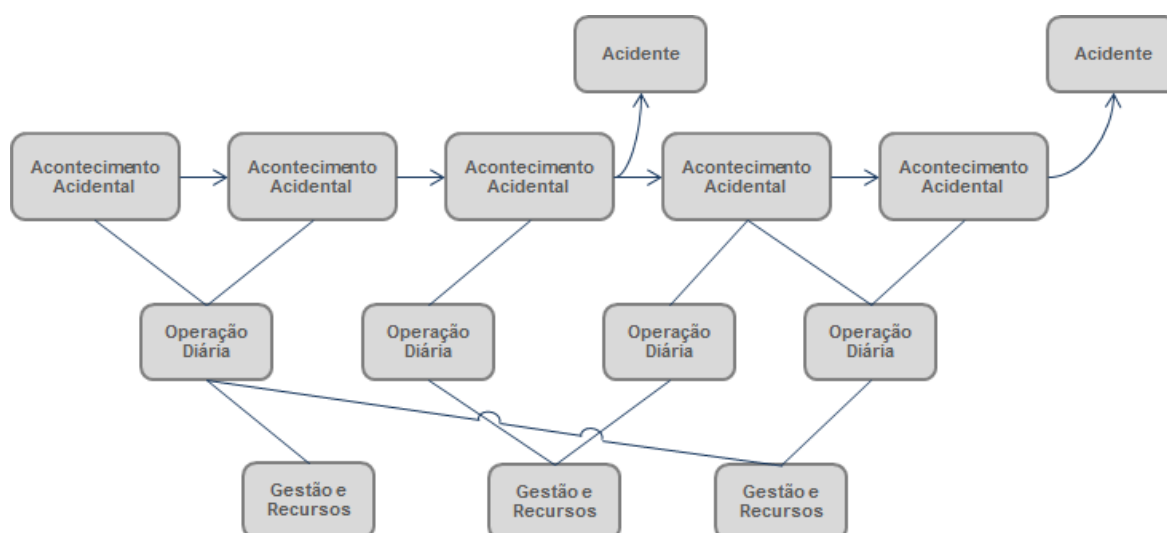


Figura 13 – Níveis de representação de acidente, adaptado (Kristiansen et al., 1999)

É importante estabelecer uma visão global da sequência desde o acontecimento de inicial até ao resultado do acidente; deve-se estabelecer o que aconteceu antes de indagar a razão de ocorrência

do acidente. Tipicamente os acidentes desenvolvem-se gradualmente ao longo de um período de tempo e envolvem uma série de actores e sistemas. No passo seguinte, os acontecimentos individuais são seleccionados com um contexto apropriado, para lhes ser atribuído uma certa estrutura e ordenação. A primeira tabela surge com os acontecimentos pertinentes ordenados em linhas, pela ordem cronológica de ocorrência, e alocados na coluna correspondente ao actor implicado nesse mesmo acontecimento. Esta tabela pode ser exemplificada pelo exemplo codificado, no decorrer do texto.

3.1.1. Análise do factor humano

Até este ponto, o foco está direccionado para a criação de informação factual, contabilização do que precedeu o acidente, e armazenamento de informações. Nenhum modelo específico, excepto estruturação cronológica, foi aplicado aos dados nesta fase. Isto irá assegurar que uma grande quantidade de informação sobre o acidente seja recolhida e armazenada na base de dados, sem a intervenção de um método de análise específico. Ao fazê-lo, a separação dos “factos” e “inferências” na base de dados pode ser mantida, desde que as informações até agora recolhidas sejam claramente distinguíveis das informações que possam resultar da próxima etapa, a análise de acontecimentos.

A análise de erros humanos e organizacionais em acidentes marítimos deve começar com o reconhecimento de que as operações marítimas normalmente ocorrem porque uma determinada missão tem de ser completa (Figura 14). Para cumprir a atribuição de uma determinada tarefa existem duas partes distintas: o pessoal a bordo e as ferramentas com que estão equipados, incluindo o próprio navio. Se o desempenho não está em concordância com a atribuição, a primeira inferência onde existe uma causa imediata de um acidente está no nível de desempenho.

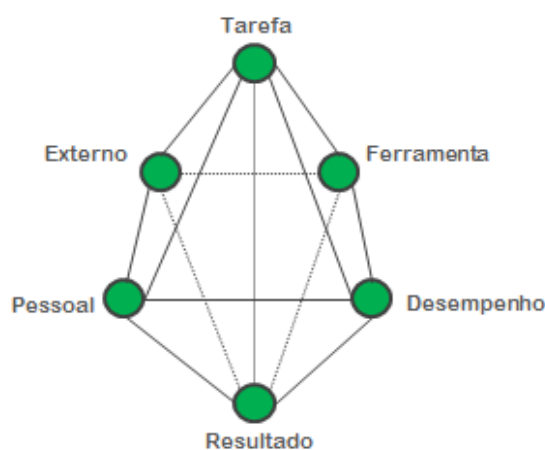


Figura 14 – Modelo de interação de factores humanos, adaptado (Kristiansen et al., 1999)

De salientar também que, para o pessoal a bordo e com as ferramentas que estão equipados para realizar a atribuição, há sempre a possibilidade de acontecimentos externos influenciarem a

interacção: mau tempo, outros navios ou acontecimentos que precederam o acontecimento em questão. O último elemento do modelo é o resultado da interacção entre a atribuição, pessoal, ferramentas e acontecimentos externos, o resultado de um acontecimento. A lista de verificação para a análise do factor humano é descrita na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxonomia de codificação de factores humanos (Kristiansen et al., 1999)

External	Performance	Causal mode		
		Personnel	Tool	Assignment
Previous event(s)	Detection Technical failure Personnel factor	Lack of knowledge lack of experience lack of orientation	HMI / design Compatibility Consistency	Task characteristic Ambiguous task habit ignoring task
Other ships	Lack of support	inadequate training info-overload due to lack of info	Context Structure & systematics Feedback	distracters in task inadvisable rules error enforcing task
Bad weather	Assessment Technical failure Personnel factor	Lack of skills due to Inadequate instruction Inadequate training	Workload User directed flexibility	Staffing characteristic Personnel selection Work schedule
Criminal acts	Lack of support	Infrequent practice lack of coaching	Technical problems due to poor construction poor maintenance unavailable equipment	Workload Understaffing poor training poor motivation
	Decision Technical failure Personnel factor Lack of support	Intoxication due to alcohol use drug use medicine use fumes & gasses	Damage due to wear out fire/explosion physical intrusion radiation electromagnetism	Poor procedures Operating procedures Housekeeping procedures Maintenance procedures Communication procedures Emergency procedures
	Action Technical failure Personnel factor Lack of support	Fatigue / Stress due to task load or duration lack of rest sensory overload info-overload climate time stress		Incompatible goals time pressure budget
		Reduced ability due to Physical condition mental condition emotional condition		Poor communication ambiguous info language problems lack of info to much info

3.1.2. Acidentes

É frequente que, para identificar um acidente por tipo, geralmente se tem como base o acontecimento inicial ou final. Isto corresponde ao conceito de acontecimento de causalidade (*casualty event ou CE*) na taxonomia CASMET. A característica comum destes acontecimentos é que eles expressam algum tipo de libertação de energia ou de conversão, tal como por exemplo uma colisão ou um incêndio. Uma outra qualidade importante do modelo é que ele pode permitir para um ou mais acontecimentos de causalidade, tal como ilustrado no diagrama conceptual na Figura 13. A classificação destes acontecimentos pode ser colisão, encalhe, incêndio e explosão, entre outros tipos, como está apresentado na Figura 15. Existem, no entanto, ainda mais informações que podem melhorar a codificação de acontecimentos de causalidade, como a existência de atributos, denotado classe e

estado, que têm interpretações variáveis com o acontecimento em questão. A Figura 13 ilustra um esboço de como a metodologia contempla diversos atributos para esta categoria de acontecimentos.

3.1.3. Acontecimentos Acidentais

Actualmente está presente que a maioria dos acidentes devem ser vistos como processos que envolvem uma série de erros, falhas e impactos ambientais não controlados, e não apenas o acontecimento em si. Este grupo de acontecimentos é designado por acontecimentos acidentais (*accidental events* ou AE) e são classificados como:

- Material perigoso;
- Efeitos ambientais;
- Falha de equipamento;
- Erro humano;
- Outro agente ou navio.

A questão da identificação e codificação dos acontecimentos acidentais não é simples no sentido em que há critérios objectivos disponíveis sobre quais acontecimentos devem ser incluídos e qual o grau de detalhe para aplicar. A selecção de acontecimentos acidentais deve ser interpretada como um compromisso entre exaustividade, pertinência e visão geral. Também deve estar presente, aquando a sua selecção, que estes acontecimentos só devem expressar o que aconteceu e não a razão pela qual aconteceu.

Além da codificação do tipo de acontecimentos acidentais, o método CASMET associa um conjunto de atributos para cada tipo, que fornecem informações importantes para a compreensão e análise do acidente. Estes atributos assumem formas diferentes para cada acontecimento acidental. Para uma falha do equipamento, o tipo de sistema, localização, tipo de falha e causa física, são factores relevantes, enquanto que para o erro humano a posição do tipo de pessoa, tarefa, o modo de desempenho e erro, são aspectos importantes. No caso concreto de análise de um caso, surge uma tabela denominada por tabela de acontecimentos acidentais, como será exemplificado posteriormente no subcapítulo subsequente.

3.1.4. Factores causais básicos

Os dois últimos níveis de representação da Figura 15 focam os factores causais do acidente, ou seja, factores causais básicos relacionados operações diárias (*daily operation*) e factores causais básicos relacionados com a gestão e atribuição de recursos (*management & resources*). A base para a codificação desses factores é principalmente a análise de factores humanos descrita anteriormente.

Os factores, em ambos os níveis, têm em comum a gestão, recursos humanos, *hardware* e ergonomia, em termos gerais. A razão para ter dois conjuntos de factores é a necessidade de fazer uma distinção entre decisões operacionais e decisões de longo alcance estratégico ou que são típicas para a gestão. Os dois níveis de classificação que devem ser interpretados são:

- Operações Diárias – decisões e condições a bordo relacionados com a tripulação, comportamento individual, equipamento e local de trabalho;
- Gestão e Recursos: decisões no nível superior e intermediário na organização, relacionado com a cultura organizacional, estilo de gestão, a aquisição de navios e outros equipamentos, contratação e treino de equipas.

Exemplificando, grupos causais para as operações diárias são ambiente social, supervisão, tripulação, pessoal, condições do espaço de trabalho, material e equipamento inadequado, manutenção ou preparação para emergência; enquanto que, no caso dos factores causais básicos de gestão e recursos, a organização e gestão geral, gestão de operações, gestão de pessoal ou projecto são exemplo dos grupos causais abordados.

A abordagem de codificação assume que, para cada factor causal, é primeiramente dada uma descrição em texto livre. A identificação dos factores é, em grande medida desencadeada por uma análise dos acontecimentos acidentais identificados. A fim de dar a este processo uma certa perspectiva, assume-se que os acontecimentos relevantes são dados na coluna da direita. O último passo é, então, classificar o factor pelas taxonomias para as operações diárias e de Gestão e Recursos, respectivamente. Por uma questão de simplicidade, um conjunto de códigos abreviados foi definido para estes factores. Como pode ser visto a partir do caso em HFE, cada factor causal suporta vários acontecimentos, ou, de outro ponto de vista, cada factor causal é justificado com base em um ou mais acontecimentos.

Será apresentado seguidamente um exemplo de aplicação para um caso específico.

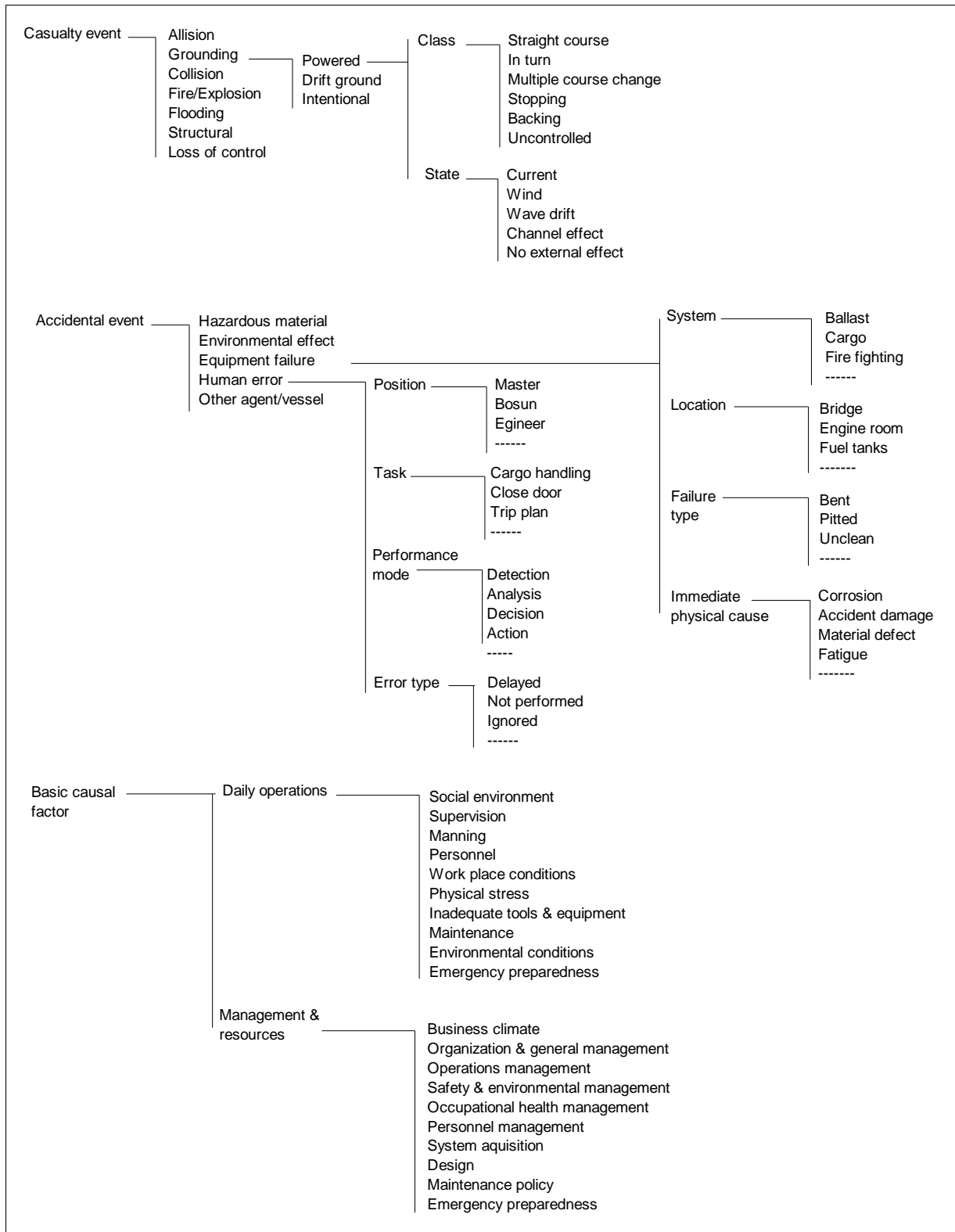


Figura 15 – Taxonomia de codificação (esboço exemplificativo) (Kristiansen et al., 1999)

3.2. Exemplo de codificação

Para ilustrar as principais propriedades do método CASMET será apresentada a codificação de um dos vinte acidentes codificados, com base no relatório de investigação disponível. A codificação dos acidentes deriva da consulta de relatórios de investigação, disponibilizados pela entidade de investigação do Reino Unido, MAIB (*Marine Accident Investigation Branch*).

O caso do incêndio no convés principal do navio RO-RO *Corona Seaways* é o exemplo seleccionado para exemplificar o procedimento de análise pela metodologia CASMET, onde todas as etapas do método serão apresentadas. Seguidamente, é apresentado um relato sucinto, transcrito do relatório, que servirá como mote para a análise segundo a metodologia em estudo.

Narrativa

“At 0215 on 4 December 2013, a fire was discovered on the main deck of the ro-ro cargo ferry Corona Seaways while the vessel was on passage from Fredericia to Copenhagen, Denmark. The crew mustered, closed the ventilation louvres, established boundary cooling and operated the fixed CO₂ fire-extinguishing system. Although smoke continued to escape from the louvres, steady temperatures in the vicinity of the fire indicated that the CO₂ had been effective in controlling it. At 0640, the vessel entered the Swedish port of Helsingborg, where assistance was provided by the local Fire and Rescue Service. The vessel suffered light structural damage and the loss of some minor electrical supplies. Three vehicles and six trailers were severely fire-damaged and other vehicles suffered minor radiant heat damage. The fire was caused by an electrical defect on one of the vehicles’ engine starting system. Recommendations to the management company include a review of its onboard instructions to take account of the revised procedures since introduced by the operator for the carriage of used and unregistered vehicles.”

O primeiro passo consiste na identificação do acidente, tipo de acidente e definição dos atributos para a classe e estado. Na Tabela 5 estão apresentados os factos respeitantes ao navio em análise. Inicialmente, para a construção da Tabela 6, foi necessário reunir os acontecimentos pertinentes identificados no relatório de investigação, numerá-los, ordená-los cronologicamente e relacioná-los com os principais sujeitos envolvidos – indivíduos, condições externas, condições atmosféricas ou navio, originando uma tabela em formato de análise STEP. Para este acidente foram identificados 12 acontecimentos, de onde partirá a análise propriamente dita.

Tabela 5 – Tabela de identificação de acidente

Fact group	Facts	
Identification	Case identification no. Vessel Name Terminal Casualty * Date of casualty Geographical position	1 Corona Seaways Fire 4.12.2013 Helsinborg, Sweden
Vessel	Vessel Type Deadweight or GRT Service Speed Main dimensions (L _{pp} , B, T) Cargo intake, draft (T) Main engine type, propulsion system Yard, country, year of built Owner, flag Classification society	Ro-ro cargo ship 25609 GT 19 knots 187, 26.52, 6,80 [m] 11,235 metric tonnes MAN B&W Jinling Shipyard in Nanjing, China Snowdon Leasing Company Limited, United Kingdom American Bureau of Shipping
Operation *	Vessel operation phase Operation onboard	Sailing Normal watch
Environmental conditions	Weather conditions, visibility Beaufort no., current speed	Cloudy, visibility good, wind south-westerly force 4, wave height 0.5-1.0m, air temperature 7°C
Manning	Number of officers and crew Nationalities Experience of key personnel	19
Consequences	Damage to people, vessel and environment Economic consequences	Severe damage to 3 vehicles and 6 trailers. Smoke damage to main deck, heat damage to 15m ² of steel deck and 8 longitudinals between frames 131 and 134. Fire damage to the forward mooring winch supply cables and to minor electrical circuits
Casualty	No. Casualty type and casualty subgroup Class State	1 Fire Extinguished Cargo space

Tabela 6 – Tabela de acontecimentos acidentais

Event no.	Management	Officers	Crew	Vessel	Contributory factors
E1				170 units tightly stowed in hold	"tightly stowed"
E2	all cargo space fans stopped				In cargo ships, ventilation fans shall normally be run continuously whenever vehicles are on board
E3				Fire detection alarm system (...) fire in SB main deck	Fire in zone 12 starboard side in main deck / fire had started on the engine of a truck
E4				OOW viewed the main deck CCTV saw no evidence of fire	send the on-watch AB to check the status of the main deck
E5			AB opened the door but did not enter the space		because of the tightly packed vehicles
E6			teams started to close manually operated louvres of the 36 ventilation jalousies		
E7				Although the louvres were supposed closed to the chief officer, a considerable amount of smoke continued to emit from them	there was a misunderstanding on board on how to lock the louvres in the 'closed' position
E8		decided to delay use of CO2			in case the fitter was on the main deck - he was not equipped with a VHF radio
E9		Fitter arrived, the master approved CO2 main deck			Injection of CO2 into the main deck was delayed, allowing the fire to develop
E10				10 vehicle drivers started to become disruptive	had consumed alcohol and were now located at the muster station / started to affect the chief officer's management of the incident
E11				Only 9t of the 213t of CO2 stored in the tank been released instead of the required 19.8t	there was no explanation for why the system apparently failed to discharge the allotted quantity of CO2 as designed
E12				10t of CO2 remaining in storage tank	

A tabela de análise de factores humanos é então preenchida de acordo com a avaliação dos acontecimentos compilados pela tabela anterior. A Tabela 7 representa a identificação e análise dos factores humanos para cada acontecimento crítico que constitui o acidente. A construção desta tabela foi baseada na lista de verificação existente na literatura (ver Tabela 4) para facilitar e homogeneizar o processo. Este procedimento consiste e, para cada um dos doze acontecimentos, identificar os factores externos que possam ter impacto sobre o acontecimento e especificar o tipo relevante de

desempenho ou modo de comportamento em termos de detecção, avaliação, decisão ou acção, como se pode observar na coluna *External / Performance* da Tabela 7. Seguidamente, para o modo *Performance* já identificado, avalia-se se este foi influenciado por insuficiências em termos de factores pessoais, ferramentas ou tarefas, e posteriormente o grupo causal correspondente. Os modos causais aplicados a este exemplo concreto são descritos na última coluna da Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela de análise de interacção de factores humanos

Event	External / Performance	Personnel / Tool / Assignment
170 units tightly stowed in hold	E: P: Detection	P: T: A: operating procedures
all cargo space fans stopped	E: P: Action	P: T: A: operating procedures
Fire detection alarm system (...) fire in SB main deck	E: P: Detection	P: T: fire/ explosion A:
OOW viewed the main deck CCTV saw no evidence of fire	E: P: Detection	P: T: A: lack of info
AB opened the door but did not enter the space	E: P: Decision	P: T: A: operating procedures
teams started to close manually operated louvres of the 36 ventilation jalousies	E: P: action	P: T: A: emergency procedures
Although the louvres were supposed closed to the chief officer, a considerable amount of smoke continued to emit from them	E: P: Action	P: inadequate training T: A: lack of info
decided to delay use of CO2	E: P: Decision	P: T: A: communication procedures
Fitter arrived, the master approved CO2 main deck	E: P: Action	P: T: A: communication procedures
10 vehicle drivers started to become disruptive	E: P: Action	P: T: A: distracters in task
Only 9t of the 21.3t of CO2 stored in the tank been released instead of the required 19.8t	E: P: Detection	P: T: unavailable equipment A:
10t of CO2 remaining in storage tank	E: P: Detection	P: T: unavailable equipment A:

Os passos preparatórios descritos estabelecem a base para a classificação e codificação de acontecimentos acidentais são estabelecidos. É aqui importante manter em mente que os acontecimentos acidentais estão estritamente relacionadas com o acidente como se observa desde o início para o resultado final. Qualquer decisão ou acção tomada antes do acidente ou o que poderia explicar os acontecimentos não são acontecimentos acidentais, mas sim factores causais.

Na tabela de codificação de acontecimentos acidentais (Tabela 8) pode observar-se que o erro humano (identificado como HUM) é um tipo de acontecimento dominante. Também é observado com recorrência falha de equipamento (identificado como FEQ).

Tabela 8 – Tabela de codificação de acontecimentos acidentais

No.	Accidental Event	Coded Parameters	
E1	FEQ: units tightly stowed	SYS: cargo TYPQ: inaccessible	LOCQ: vehicle deck PHY: overload
E2	HUM: all cargo space fans stopped	POS: Master PERF: decision making	TSK: cargo space maintenance ERR: ignored
E3	HAZ: fire in SB main deck	MAT: diesel oil HTYP: leak	LOCZ: vehicle deck TYPZ: toxic fumes
E4	FEQ: OOW viewed the main deck CCTV saw no evidence of fire	SYS: general safety TYPQ: out-of-range	LOCQ: vehicle deck PHY: material defect
E5	HUM: AB did not enter the space because of the tightly packed vehicles	POS: Bosun PERF: detection	TSK: deck maintenance ERR: not performed
E6	HUM: teams started to close manually operated louvres	POS: Deck crew PERF: manual control	TSK: cargo space maintenance ERR: inadequate
E7	HUM: a considerable amount of smoke continued to emit from the louvres	POS: deck crew PERF: perception	TSK: cargo space maintenance ERR: ineffective
E8	HUM: decided to delay use of CO ₂	POS: master PERF: decision making	TSK: radio communication ERR: delayed
E9	HUM: Fitter arrived, the master approved CO ₂ main deck	POS: Deck crew PERF: communication	TSK: cargo space maintenance ERR: inadequate
E10	HUM: 10 vehicle drivers started to become disruptive	POS: passengers PERF: perception	TSK: fire fighting operation ERR: improper
E11	FEQ: Only 9t of the 21.3t of CO ₂ stored in the tank been released	SYS: fire fighting TYPQ: insufficient	LOCQ: vehicle deck PHY: not in operation
E12	FEQ: 10t of CO ₂ remaining in storage tank	SYS: fire fighting TYPQ: insufficient	LOCQ: vehicle deck PHY: not in operation

O próximo passo consiste na aquisição de um diagnóstico ou mesmo a razão pela qual o acidente aconteceu. Os factores causais podem ser vistos como condições ou acções externas à própria sequência de acontecimentos acidentais e que surgiram previamente ao acontecimento do acidente. Por outras palavras, são factores que colocaram o navio em risco. Na Tabela 9 encontram-se identificados e codificados os factores causais. A ventilação inadequada do convés, a inexistência de inspecções aos veículos, a ineficiência dos equipamentos de combate a incêndio foram alguns dos factores causais evidenciados neste estudos. Na coluna de operação diária e gestão e recursos estão atribuídos os grupos causais que dizem respeito cada factor causal.

Tabela 9 – Tabela de codificação de factores causais

Causal Factors		Coding		Associated Event	
No.	Description	Daily	M & R	No.	Description
C1	inadequate control of stowage units in hold	SUPER	OPMAN	E1	units tightly stowed
				E5	AB did not enter the space
C2	inadequate ventilation in cargo deck	SUPER	SEMAN ORG&M	E2	all cargo space fans stopped
C3	no evidence of vehicle safety checks	SUPER MANN	ORG&M OPMAN SEMAN	E3	Fire in SB main deck/ fire started in a engine truck
				E4	OOW viewed the main deck CCTV saw no evidence of fire
C4	inefficient instruction of operating louvres	SUPER PERSON	OPMAN PEMAN	E6	teams started to close manually operated louvres of the 36 ventilation jalousies
				E7	a considerable amount of smoke continued to emit from the louvres
C5	delaying fire fighting because unknowing fitter whereabouts/ did not have VHF radio	SUPER MANN PERSON	OPMAN	E8	decided to delay use of CO2
				E9	Fitter arrived, the master approved CO2 main deck
C6	affection the chief officer's management of the incident	SOCIAL PERSON	EPREP	E10	10 vehicle drivers started to become disruptive had consumed alcohol and were located at the muster station
C7	fire fighting equipment did not respond as it was expected	TOOLS MAINT	OPMAN SEMAN SYSAC EPREP	E11	Only 9t of the 21.3t of CO2 stored in the tank been released
				E12	10t of CO2 remaining in storage tank

O mesmo processo foi efectuado para 20 acidentes de incêndio, cujos acontecimentos meticulosamente identificados foram codificados, dando origem a tabelas de frequência para cada atributo. No capítulo que se segue será demonstrada esta contabilização, tendo assim dados mais factuais da realidade de uma amostra.

4. Análise Estatística dos Acidentes de Incêndio e Explosão em Navios

Neste capítulo apresenta-se uma análise de acidentes de incêndio e explosão em navios reportados pelas entidades MAIB (*Marine Accident Investigation Branch*) e TSB (*Transportation Safety Board of Canada*). A metodologia CASMET foi aplicada à codificação de 20 acidentes. O universo de dados é caracterizado por 20 casos de acidentes de incêndio e explosão, 18 casos de incêndio e 2 casos de incêndio e explosão, dos quais coexistem os seguintes tipos de navios: 6 navios de pesca, 1 porta-contentor, 5 navios de carga geral, 2 navios de passageiros e 6 navios *roll on roll of*. A selecção de acidentes recai em acidentes de navios referentes a incêndio e/ ou explosão, verificados entre 1994 a 2013. No anexo A está presente uma tabela onde consta a lista dos vinte navios e respectivas características, seleccionados para este estudo.

No âmbito da apresentação da metodologia CASMET no capítulo anterior, proceder-se-á à avaliação da informação obtida da codificação através da análise destes resultados.

4.1. Resultados do processo de codificação

Inicialmente, identificam-se a partir das narrativas dos relatórios de investigação os principais sujeitos envolvidos nos acontecimentos. Observa-se que em 138 acontecimentos acidentais identificados a tripulação é a entidade mais envolvida (40,6%), seguida do navio (34,8%) (Figura 16).

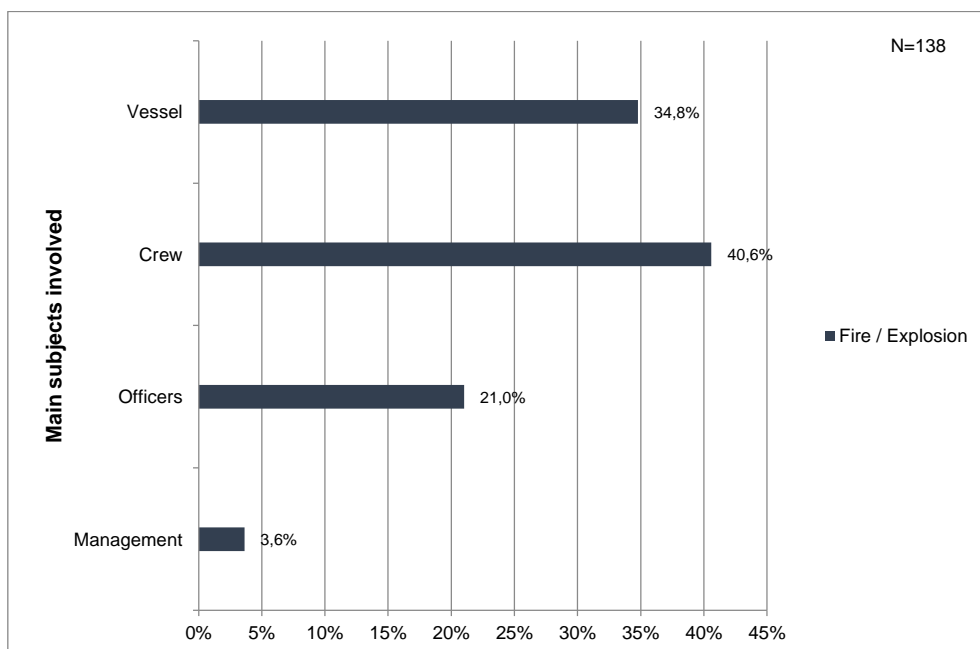


Figura 16 – Principais sujeitos envolvidos nos acidentes

4.1.1. Acontecimentos Acidentais

O passo seguinte consiste em analisar os acontecimentos acidentais. Na Figura 17 estão apresentados os tipos de acontecimentos acidentais, em que 57,2% são erros humanos, 32,6% falhas de equipamentos e 0,7% condições meteorológicas. A categoria “outro agente ou navio” não teve contabilização no universo de casos estudados.

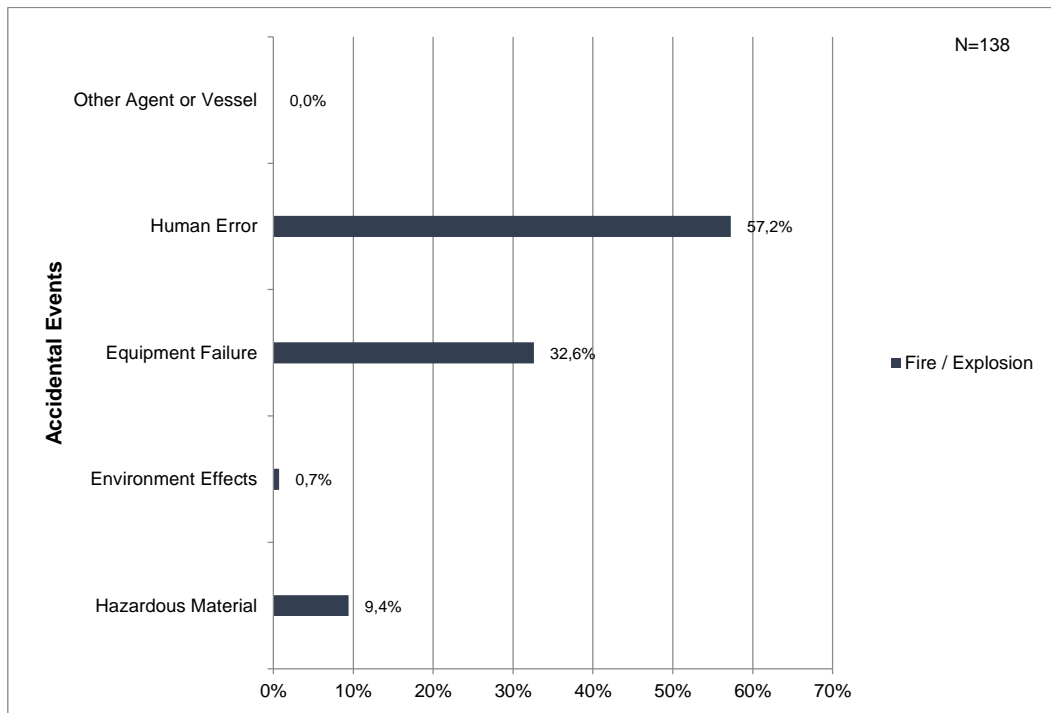


Figura 17 – Tipos de acontecimentos acidentais

No caso do tipo de acontecimento acidental que identifica materiais perigosos (9,4%), com base nas percentagens da Figura 18, verifica-se que:

- *Diesel oil* é o material com mais percentagem de ocorrência, 61,5%;
- A localização onde ocorre mais acontecimentos é a casa da máquina, com 30,8%, seguido dos paióis da máquina principal (23,1%);
- O perigo mais provável é devido a fuga/ derrame (76,9%);
- Os tipos de falha estão mais relacionados com misturas de substâncias inflamáveis (53,8%) e explosivas (23,1%).

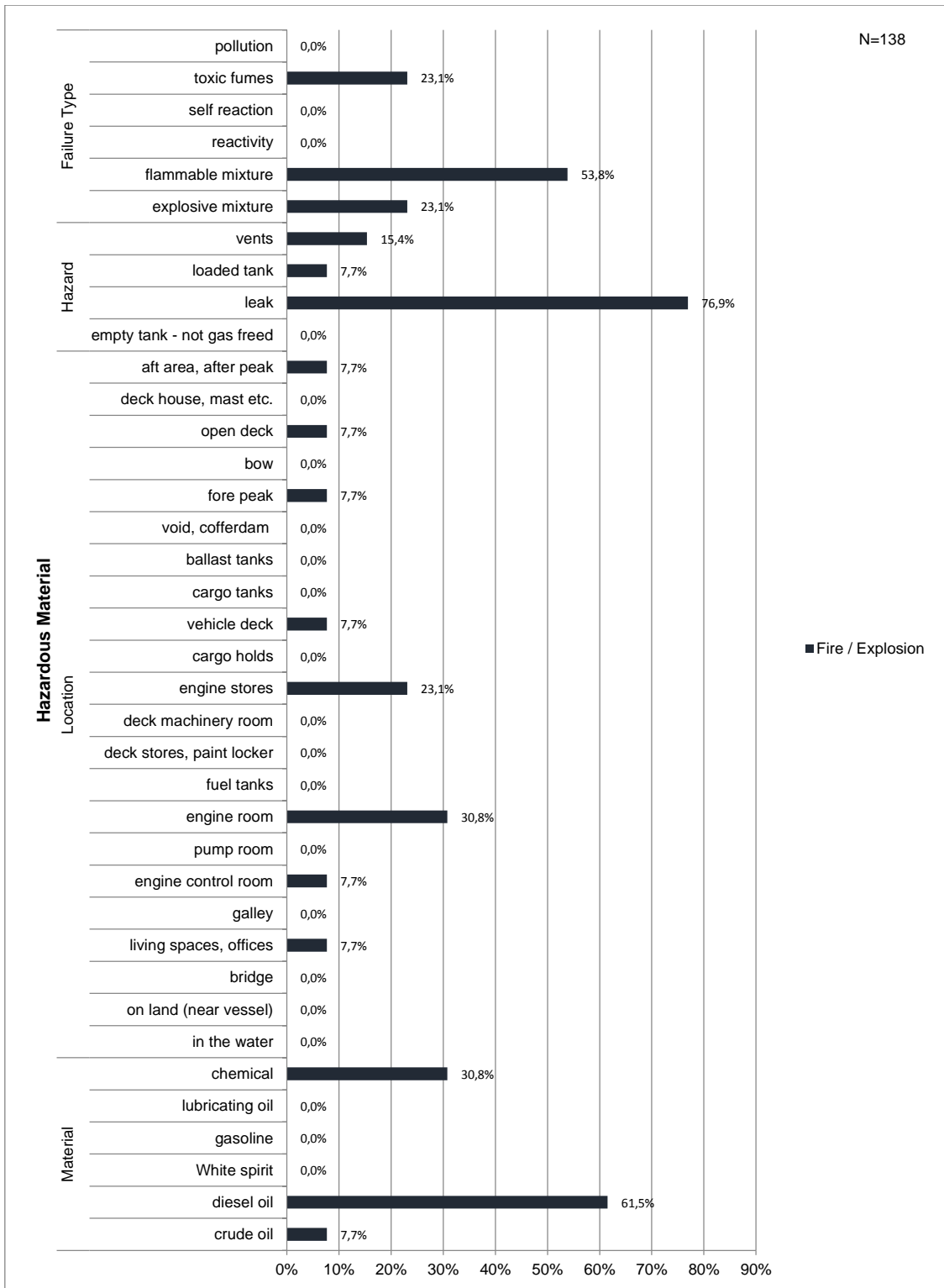


Figura 18 – Tipo de acontecimento accidental: materiais perigosos

Relativamente a falhas de equipamentos, com a segunda posição de frequência de acontecimentos (32,6%), observa-se na Figura 19 que:

- O sistema envolvido com mais frequência é o de combate a incêndios (31,1%) seguido da máquina principal (24,4%);
- A localização mais frequente da falha de equipamento é na casa da máquina (53,3%);
- O tipo de falha corresponde a *out-of-range* (22,2%) seguido de falta de equipamento (17,8%);
- As causas físicas imediatas correspondem a inoperacional (37,8%) seguido de defeito de material (22,2%).

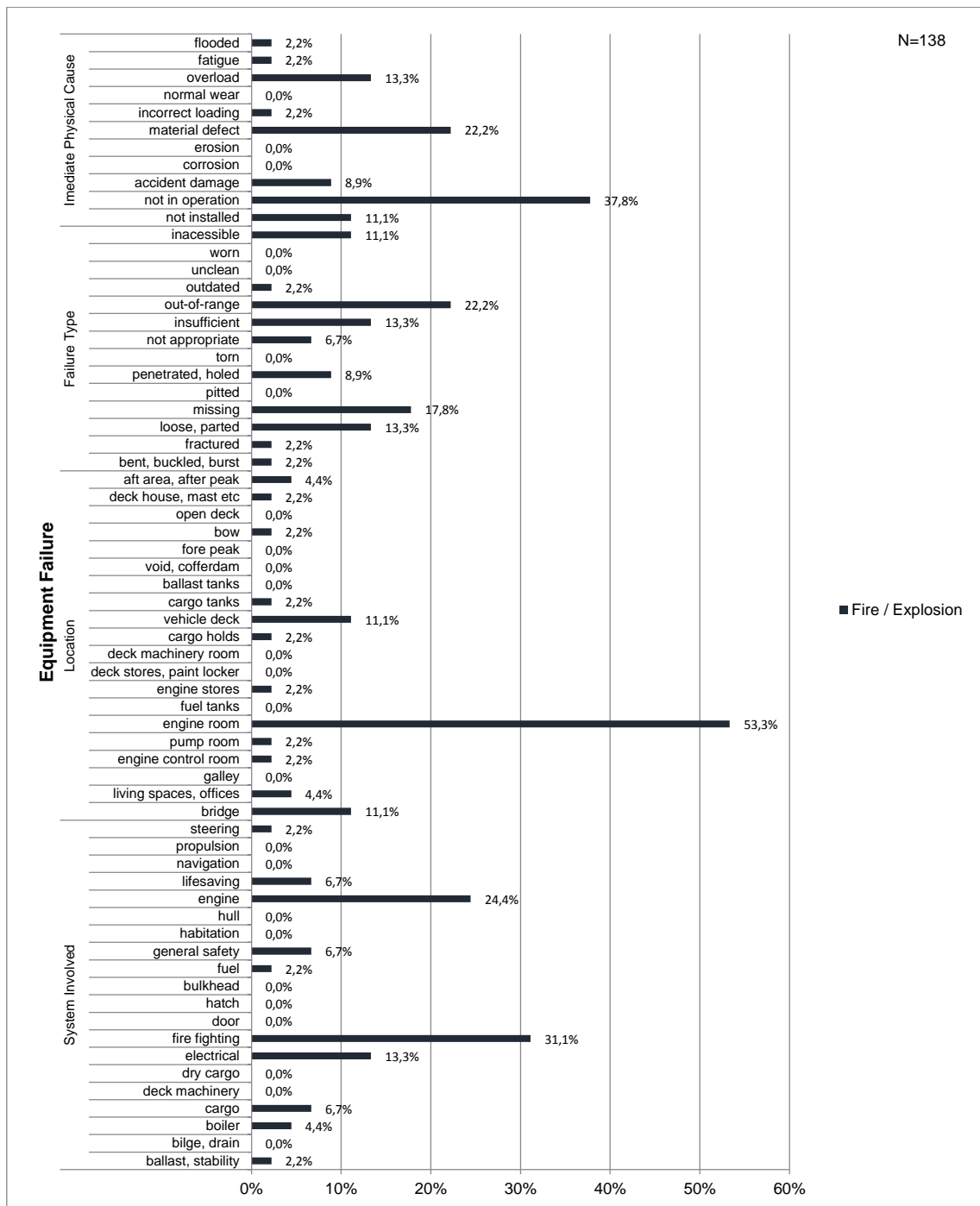


Figura 19 – Tipo de acontecimento acidental: falha de equipamento

Relativamente ao erro humano (57,2%), várias conclusões são acrescentadas às conclusões até agora reflectidas (Figura 20):

- Imediato (*Mate*) é a posição com maior frequência de acontecimentos (27,8%), seguido da tripulação de convés (21,5%);
- A manutenção da zona de carga é a tarefa mais afectada, com 24,1%, seguido da manutenção da máquina principal;
- No desempenho, a tomada de decisão está no topo das frequências de acontecimentos que lhe dizem respeito, com 49,4%;
- Os erros mais comuns devem-se a imprudência (22,8%), negligência (17,7%) e omissão (13,9%).

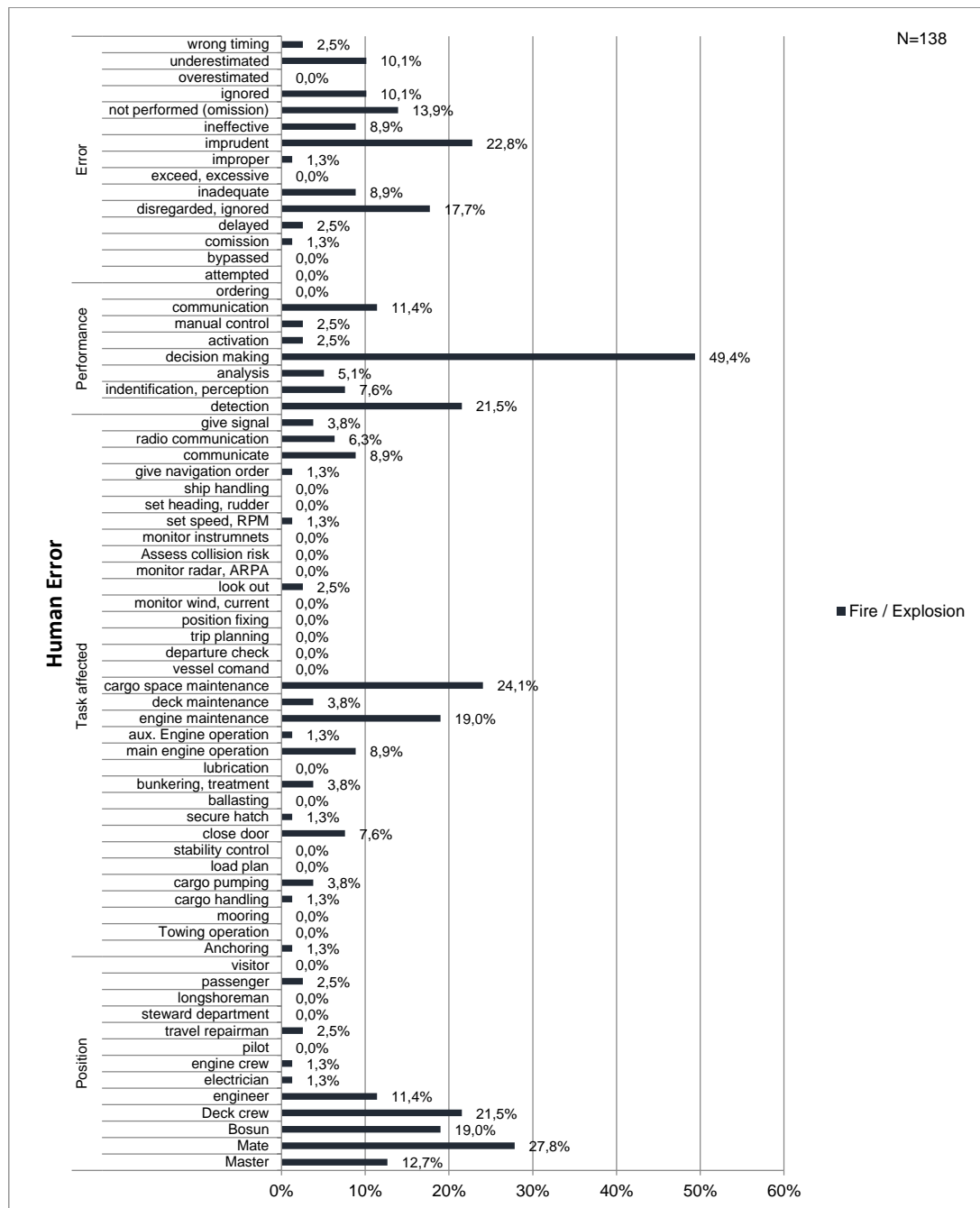


Figura 20 - Tipo de acontecimento acidental: erros humanos

4.1.2. Factor humano

A análise do factor humano é o assunto seguinte na codificação de acidentes. No enquadramento geral, 38,9% corresponde ao valor de desempenho (*performance*), enquanto que o valor referente aos modos causais corresponde a 61,1%. Na categoria factores externos não são contabilizados nos acontecimentos da amostra seleccionada.

Na Figura 21, apresentam-se os valores percentuais para os níveis de desempenho (*performance*), onde se destaca a detecção (59,4%) seguido da acção (26,1%), em 38,9% de desempenho.

A Figura 22 apresenta a distribuição de acontecimentos para cada subnível: detecção, avaliação, decisão e acção. As percentagens representadas são referentes a cada subnível, onde se infere que o número de acontecimentos é maior na detecção de falha de equipamento, na avaliação, decisão e acção baseados no factor pessoal.

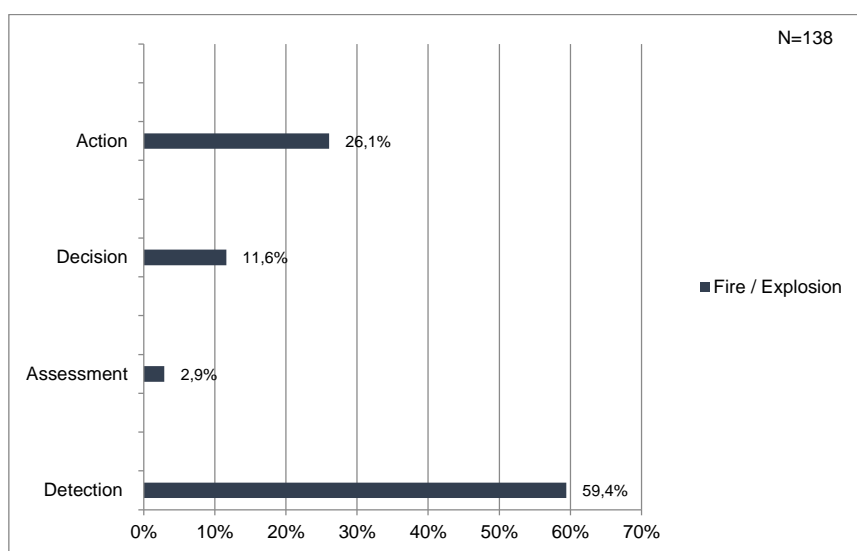


Figura 21 – Valor percentual para níveis de Desempenho (*Performance*)

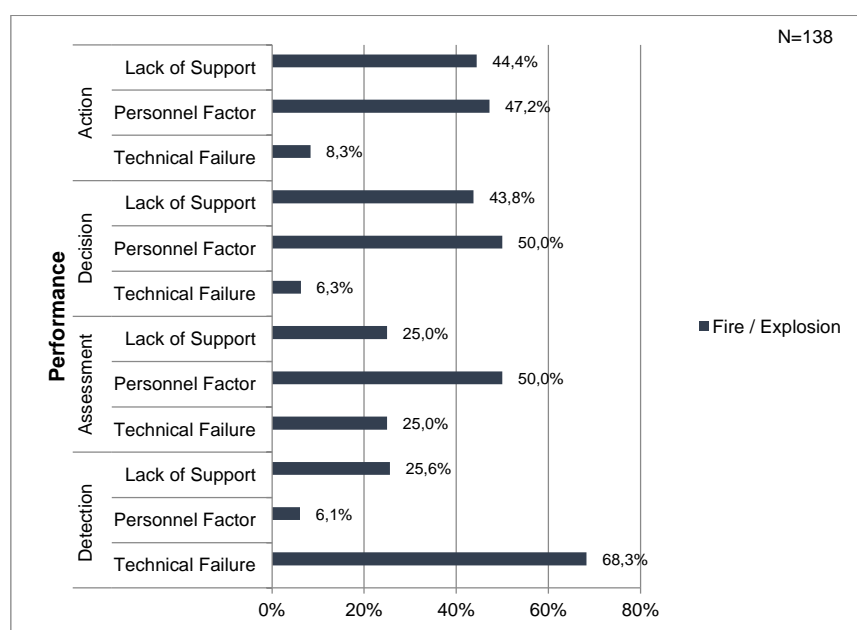


Figura 22 – Valores percentuais para cada subnível de Desempenho (*Performance*)

Analisando agora os aspectos referentes aos modos causais, obtiveram-se 31,3%, 30,0% e 38,7% para os níveis pessoal, ferramenta e tarefa, respectivamente. Pode-se então esperar portanto que o gráfico de tarefa (Figura 26) seja ligeiramente mais denso do que a Figura 24, correspondente a pessoal (*personnel*). De acordo com a Figura 23, estão apresentados os valores de percentagem obtidos para cada subnível. Ou seja, tomando como exemplo o nível correspondente a tarefa, conclui-se que dentro dos 38,7% referidos anteriormente, 8,3% devem-se a comunicação ineficiente, 2,4% a metas incompatíveis, 76,2% a procedimentos insuficientes, 7,1% a características dos recursos e 6,0% das características das tarefas. Analogamente interpretando o gráfico para os níveis pessoal e ferramenta, conclui-se que problemas técnicos (75,4%) têm maior incidência, bem como a insuficiência de conhecimento (57,4%) e de competências (39,7%) nos casos estudados.

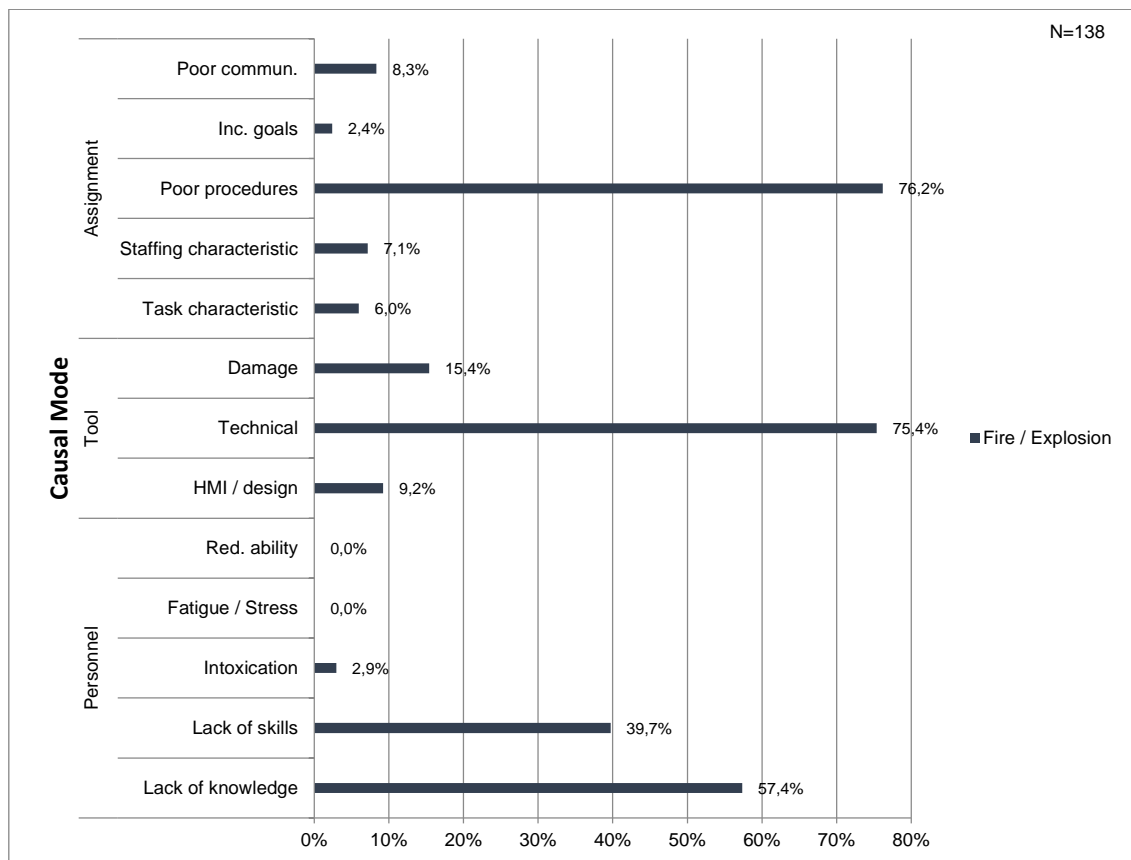


Figura 23 – Modos causais: especificação de grupos e factores causais

Os três gráficos que se seguem são dedicados precisamente à especificação de cada factor causal associado a cada grupo causal de modos causais. Começando pelo nível pessoal (*personnel*), na Figura 24, dentro dos 57,4% do grupo causal insuficiência de conhecimento (*lack of knowledge*), a insuficiência de experiência (48,7%) e treino inadequado (33,3%) foram factores determinantes na generalidade de insuficiência de conhecimento. O treino inadequado (48,1%) também é um factor presente e acentuado na insuficiência de competências. No caso de intoxicação, o consumo de álcool e inalação de gases tóxicos são os factores apontados em 2,9% (Figura 23), ainda assim com valores menos significativos.

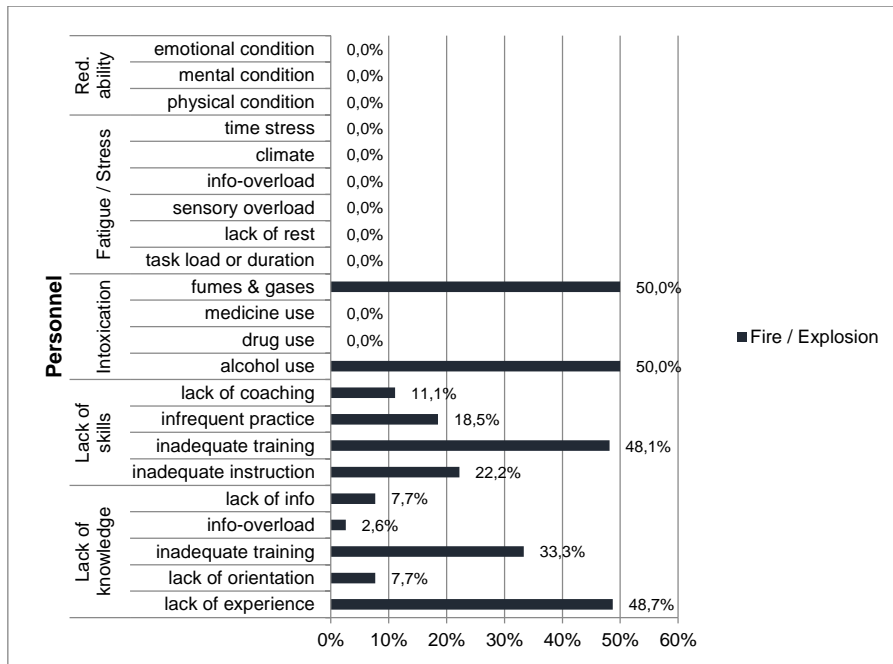


Figura 24 – Modo causal de factor humano – Pessoal (Personnel)

Na Figura 25, em 30,0% de acontecimentos respeitantes ao modo causal ferramenta (*tool*) dos quais 9,2% correspondem a *HMI/ design*, verifica-se que a maior percentagem de erros deve-se a sobrecarga (50,0%). No contexto técnico (*technical*), dos 75,4% já referidos anteriormente, a indisponibilidade de equipamento (51,0%) e a manutenção deficiente (49,0%) são os factores causais com maior ênfase. No caso de danos de ferramentas, incêndio e/ ou explosão é o factor causal identificado.

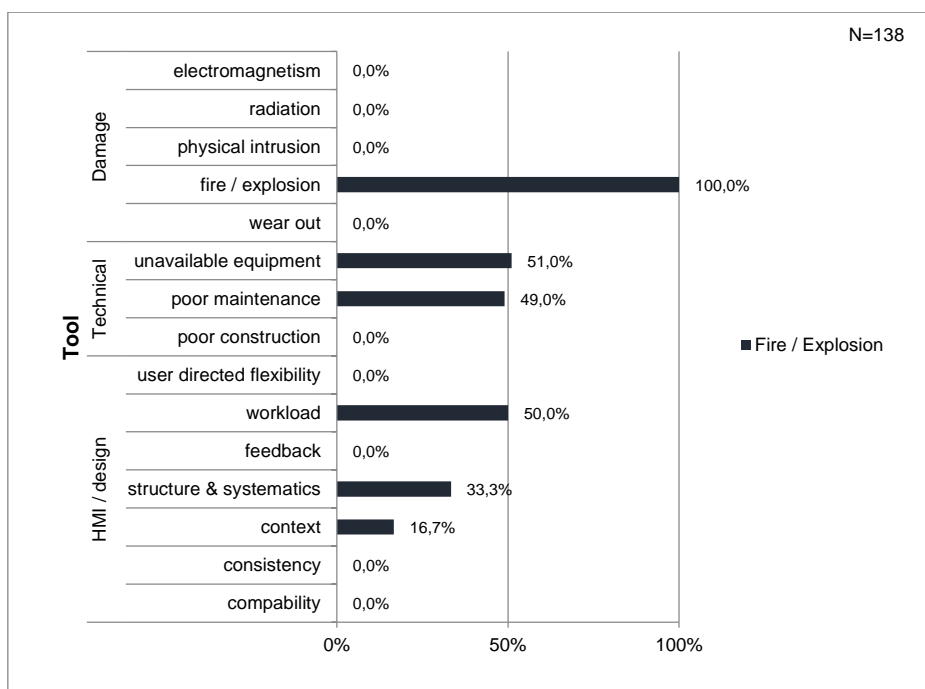


Figura 25 – Modo causal de factor humano – Ferramenta (Tool)

Finalizando a análise relativa aos factores humanos, são analisadas seguidamente as tarefas – *assignment*. Observando a Figura 26, 71,4% é o valor para a insuficiência de informação, em 8,3% do grupo causal comunicação insuficiente (*poor communication*). Salienta-se também os acontecimentos identificados para procedimentos de operação, 48,4% em procedimentos de operação (*operating procedures*) e 34,4% em procedimentos de emergência; ambos referentes a 76% do grupo causal procedimentos insuficientes (*poor procedures*). A insuficiência de treino tem um peso elevado (83,3%) em relação a 7% das características de recursos. Regras inadequadas também se destacam, com 40% em 6% das características de tarefas.

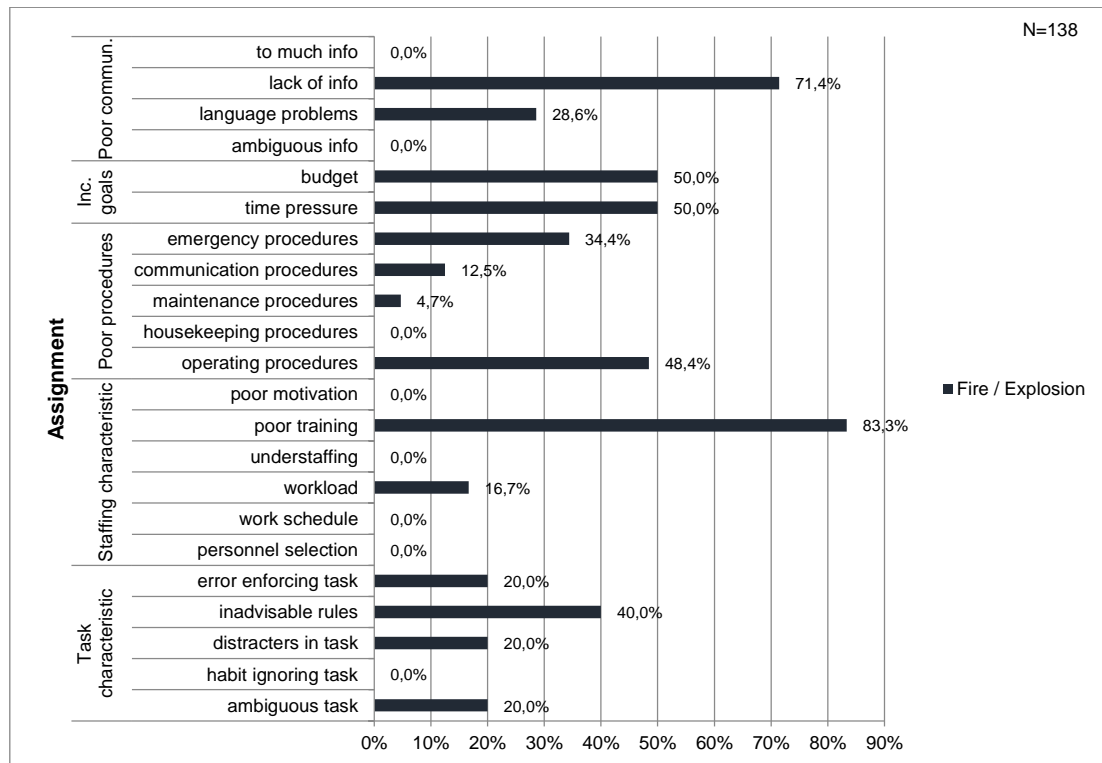


Figura 26 – Modo causal de factor humano – Tarefa (Assignment)

4.1.3. Factores causais básicos

Seguidamente são avaliados os resultados para os factores causais com base na compilação de dados efectuada. Os factores causais, como já referido anteriormente, dividem-se em operações diárias (*daily operation*) e gestão e recursos (*management & resources*), os quais correspondem a 44,6% e 55,4% da totalidade de acontecimentos, respectivamente, sendo que na Figura 27 estão apresentados os valores percentuais para os grupos causais. Verifica-se que a maior frequência de acontecimentos incide na supervisão (36,8%), seguido de indivíduo e manutenção (16,1%) e também na preparação para emergência (14,9%).

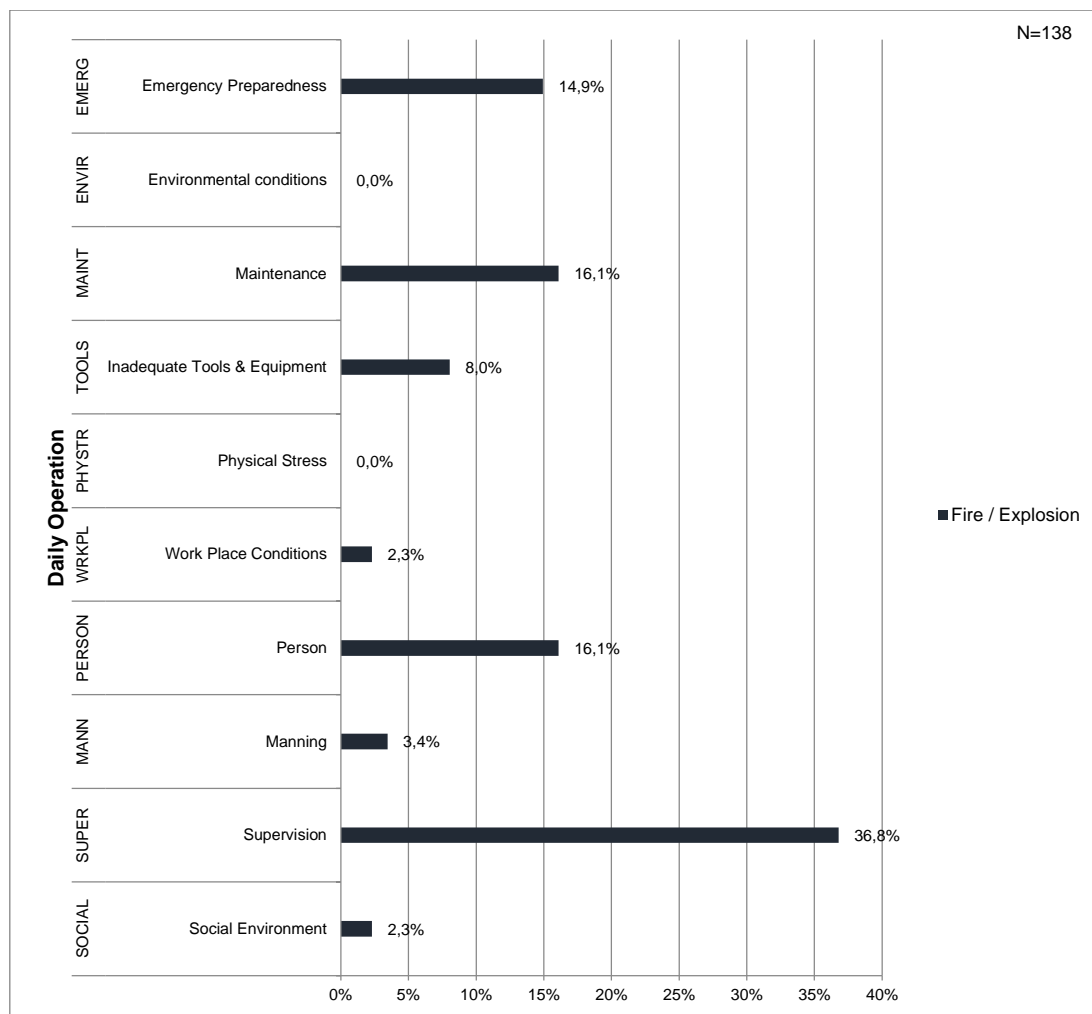


Figura 27 – Factores causais relacionados com operações diárias

Observando com mais pormenor os factores causais mais relevantes, associados à percentagem do grupo causal tem-se que (Figura 28):

- Na supervisão, a preparação inadequada de trabalho (31,3%) bem como os métodos de trabalho inadequados são mais frequentes (28,1%);
- Relativamente à tripulação, a inactividade, falta de responsabilidade pelo trabalho e tripulação não preparada partilham a mesma percentagem de ocorrência (33,3%);
- A insuficiência de conhecimento (71,4%) é o mais acentuado no caso do grupo causal pessoal (*person*).

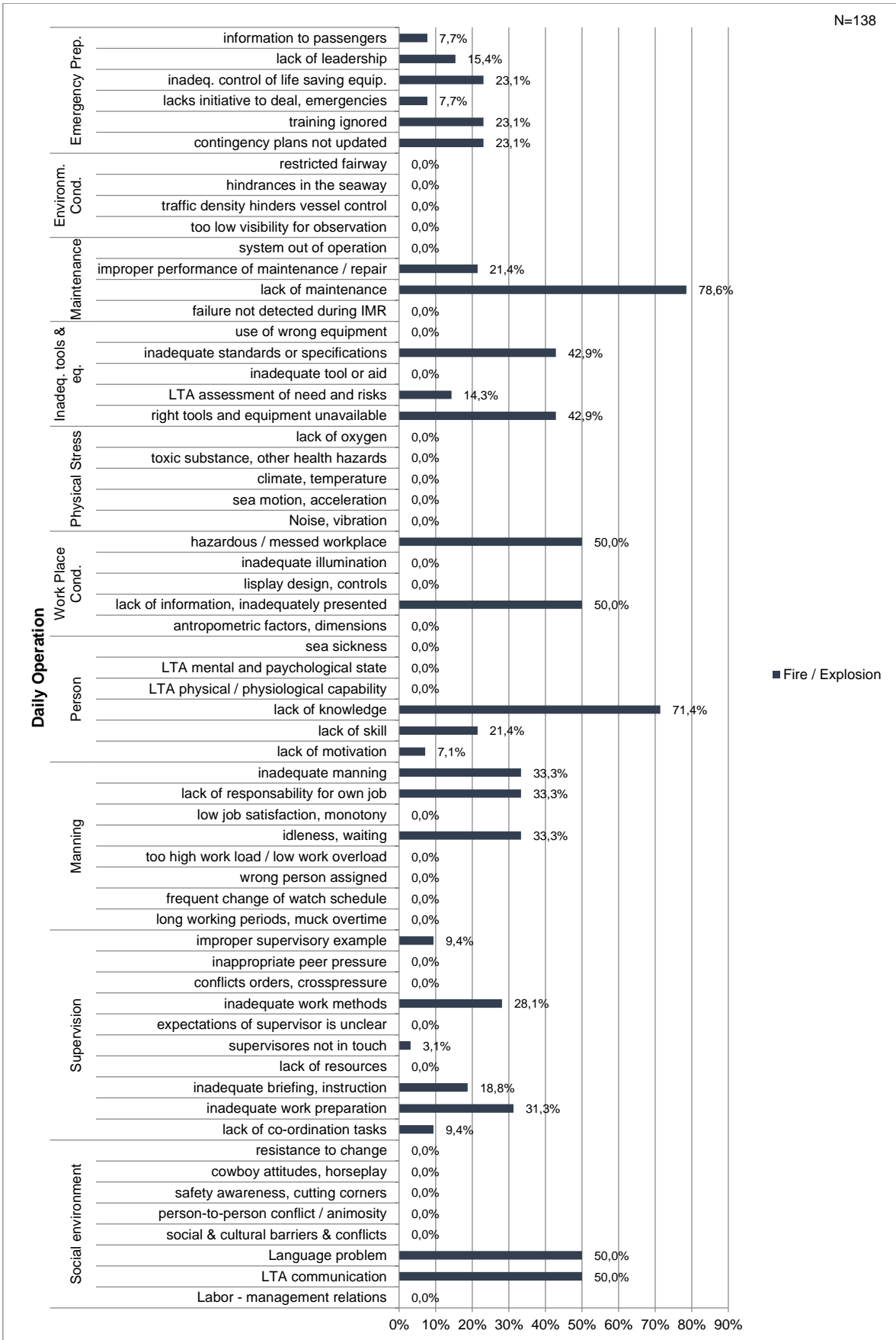


Figura 28 – Operações Diárias (Daily Operations): grupos e factores causais

Relativamente à gestão e recursos, observa-se que 31,5% é o valor percentual mais elevado correspondente ao grupo causal de preparação para emergência; *SE management* e *operations management* atingem valores de 23,1% e 24,1% respectivamente, como se pode observar na Figura 29.

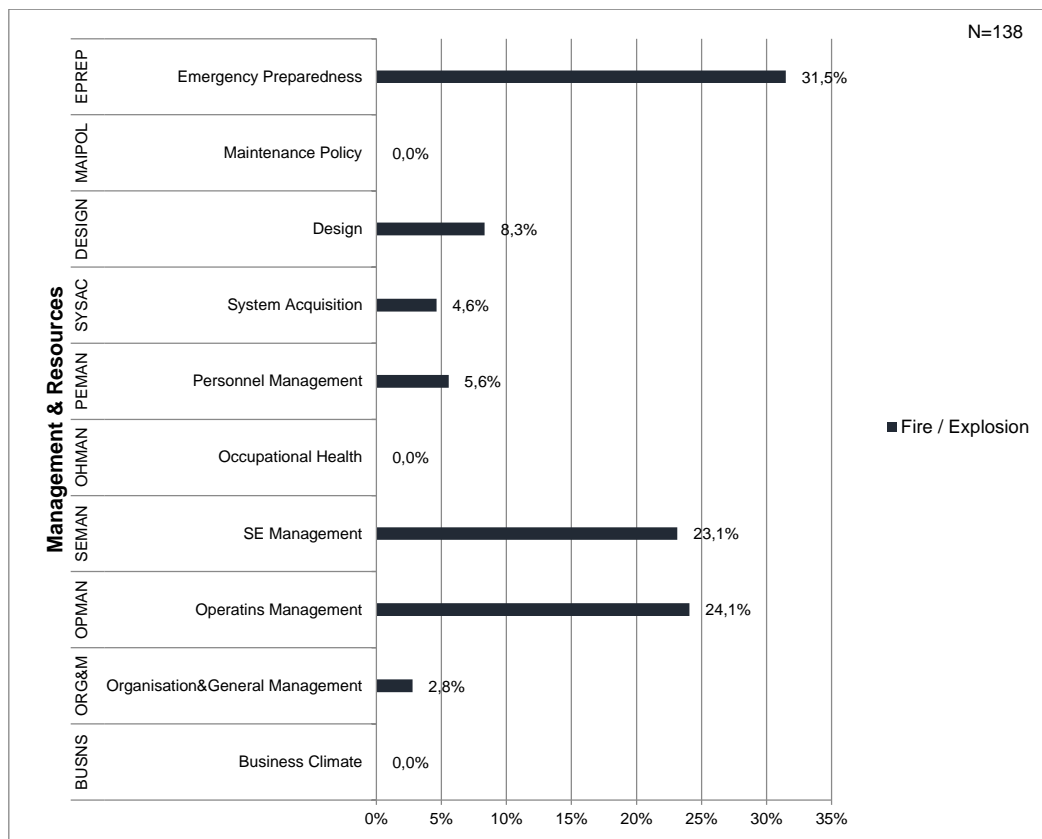


Figura 29 – Factores causais relacionados com gestão e recursos

Observando com mais detalhe a Figura 30, que corresponde a especificação de cada grupo causal, conclui-se que:

- Na categoria de organização e gestão geral, em 2,8%, a insuficiência de comunicação e coordenação (66,7%) e regras e responsabilidades não claras (33,3%) são os factores causais mais frequentes;
- Em *SE management* (23,1%), a instrução de trabalho é a seleccionada como relevante (24,0%);
- No caso de gestão pessoal, o programa de treino inadequado é o factor causal mais acentuado;
- No projecto as regulamentações inapropriadas têm peso considerável (66,7%);
- Os procedimentos de emergência (50,0%), programa de treino de emergência (17,6%) e insuficiência de sistemas de detecção (17,6%) são os aspectos a melhorar no grupo causal de preparação para emergência (31,5%).

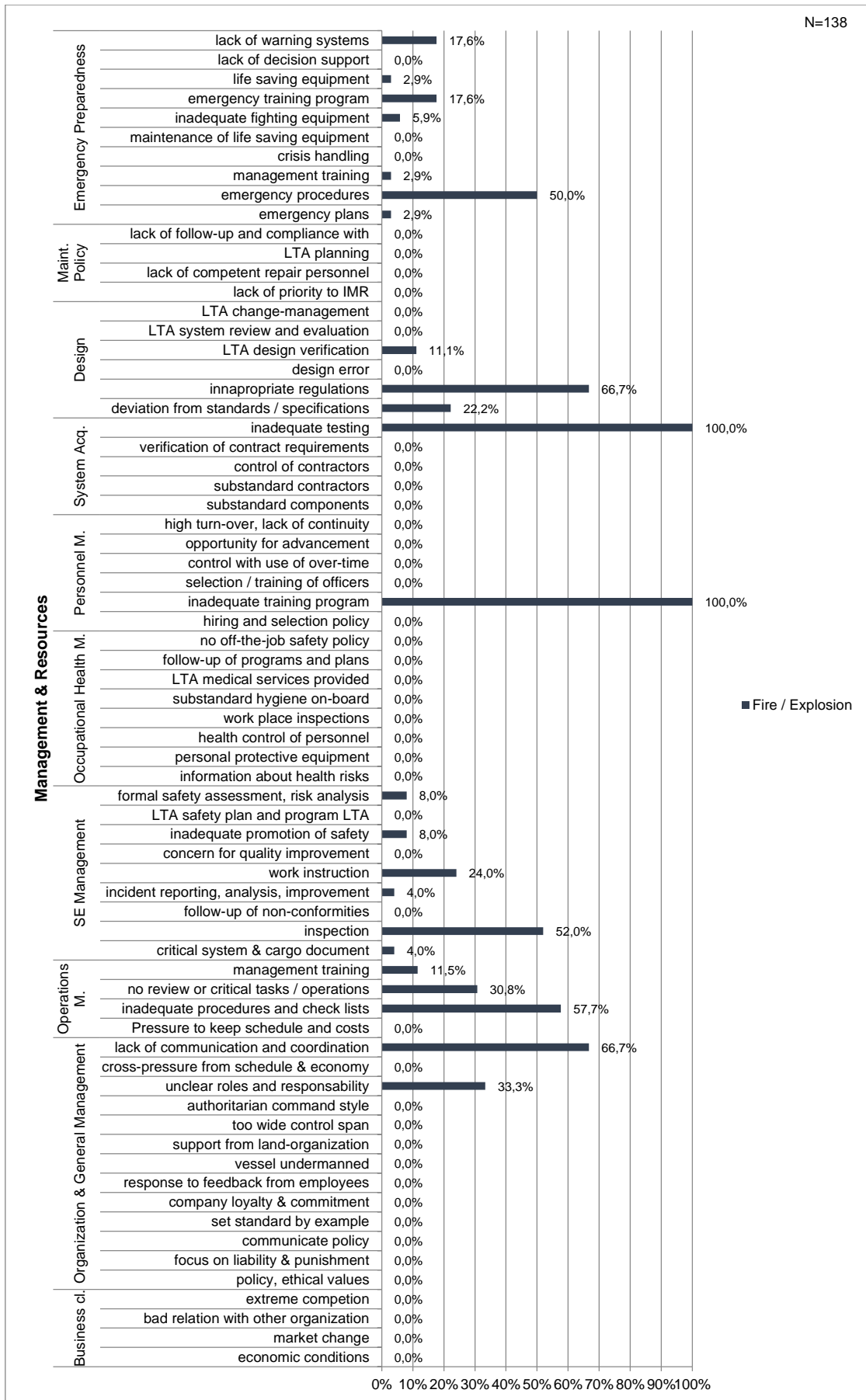


Figura 30 – Gestão e recursos (Management & resources): grupos e factores causais

4.2. Análise de resultados

O resultado dos processos de codificação com a metodologia CASMET está resumido nas Tabelas 10 e 11. Na Tabela 10 verifica-se que em acidentes relacionados com incêndios em navios *roll-on roll-off* são os mais frequentes (138 acontecimentos codificados pela metodologia CASMET).

Tabela 10 – Resumo de características da amostra

Características	
Amostra	20
Tipo de Acidente	Incêndio e Explosão
	Ro-Ro
	Pesca
Tipos de navio	Porta-Contentores
	Carga Geral
	Passageiros
Nº de acontecimentos acidentais	138

De acordo com os resultados obtidos, procedeu-se à selecção dos factores com maior frequência. Começando pela Figura 31, a frequência de acontecimentos mais elevada é de detecção de falha técnica, onde incidiram 56 acontecimentos; seguem-se 21 e 16 acontecimentos atribuídos à insuficiência de apoio, associados à detecção e acção, respectivamente, factores pessoais (17) atribuídos a acções do pessoal. Por fim, o factor pessoal na decisão contribui com 8 acontecimentos.

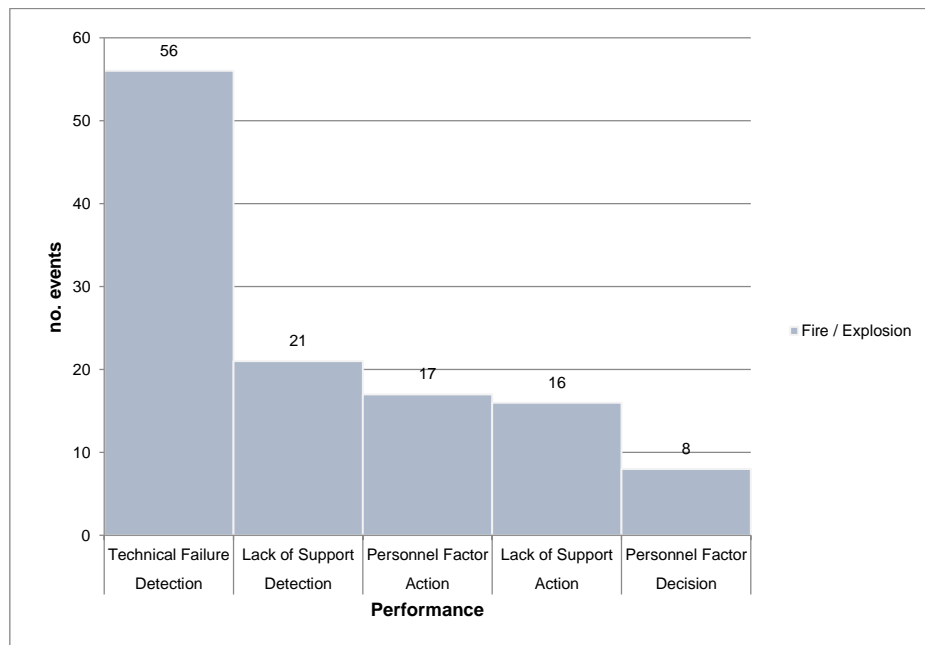


Figura 31 – Selecção dos factores com maior frequência para cada subnível de Desempenho (Performance)

Tendo em vista os modos causais, o resultado da triagem das cinco categoria com mais incidência de acontecimentos reside, primeiramente, em tarefa – procedimentos de operação – procedimentos fracos, com 31 acontecimentos; seguem-se com 25 e 24 acontecimentos, respectivamente, os modos ferramenta, do tipo técnico com equipamentos indisponíveis e manutenção fraca; por fim 22 acontecimentos para a tarefa de procedimentos insuficientes no que diz respeito a emergência, e 19 acontecimentos para o modo causal pessoal, insuficiência de conhecimento e de experiência, de acordo com a Figura 32.

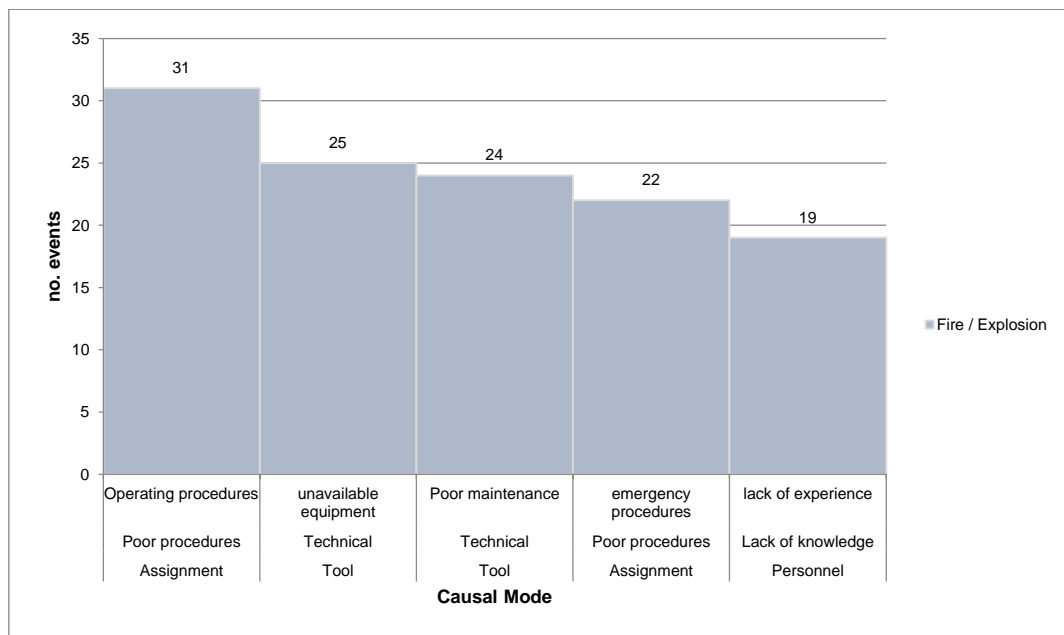


Figura 32 – Seleção dos factores com maior frequência para Modos Causais

A Figura 33 apresenta os tipos de acontecimentos acidentais com incidências mais elevadas. Com o valor mais elevado (39) está o acontecimento do tipo erro humano de desempenho, em tomada de decisão. A falha de equipamento na casa da máquina é a segundo maior acontecimento acidental (24), seguindo-lhe o erro humano por parte do Imediato (22). A frequência seguinte é também de erro humano, em que a tarefa afectada é a manutenção do espaço de carga (19); continuando no erro humano, segue o acontecimento do tipo erro imprudente (18). Com o mesmo número de acontecimentos atribuídos estão: erro humano na posição de engenheiro, falha de equipamento do tipo inoperacional, e erro humano com desempenho de detecção. Por fim com 15 acontecimentos, também na categoria de erro humano surge a manutenção da máquina principal e erro humano na categoria de Marinheiro.

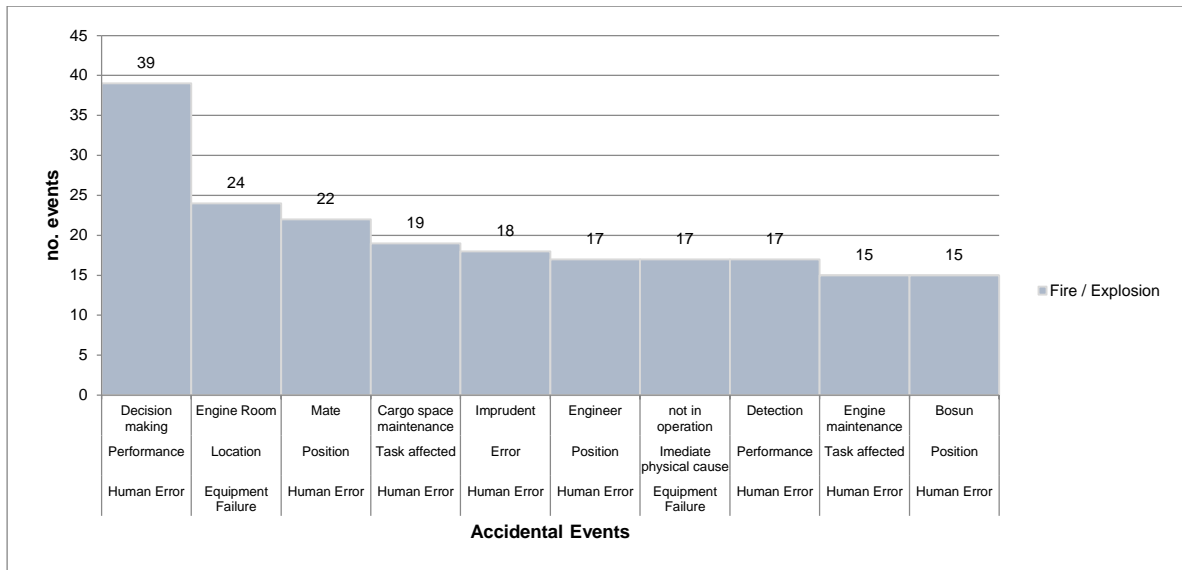


Figura 33 – Selecção dos factores com maior frequência para Acontecimentos Acidentais

A Figura 34 apresenta os 10 factores causais mais relevantes na amostra codificada. Os três primeiros valores mais elevados estão dentro da categoria gestão e recursos, e são respectivamente, procedimentos de emergência (17), procedimentos e listas de tarefas inadequadas (15) e inspecção (13). Seguidamente, observam-se a insuficiência de manutenção (11), insuficiência de conhecimento (10), preparação de trabalho inadequada (10) e métodos inadequados de trabalho em operações diárias. Os três últimos valores correspondem a gestão e recursos, e são a não revisão das tarefas ou operações críticas (8), insuficiência de sistemas de detecção (6) e programas de treino de emergência (6).

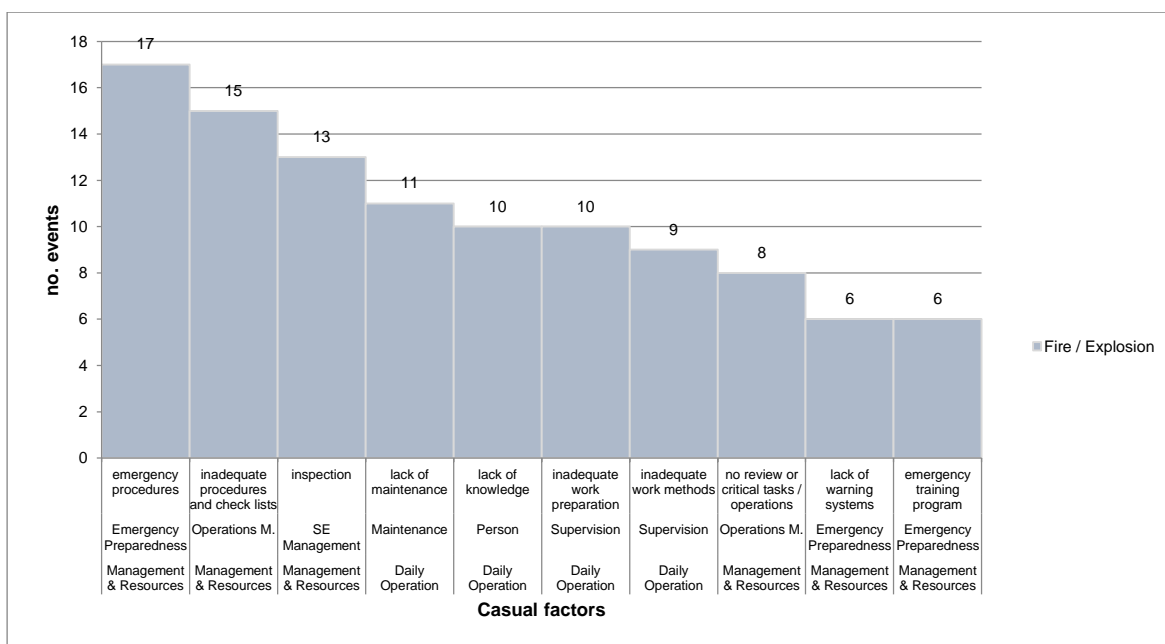


Figura 34 – Selecção dos factores com maior frequência de Factores Causais

Na Tabela 11 constam os valores totais obtidos com maior frequência, para cada fase da análise. A maior frequência de acontecimentos incide na tripulação; no que diz respeito ao desempenho, a detecção de falhas técnicas tem maior ocorrência, os procedimentos de operações são o modo causal mais frequente. Quando o foco incide nos acontecimentos acidentais, a maior frequência de acontecimentos recai no erro humano, com os valores mais significativos na combinação da posição imediato (*mate*), tarefa afectada correspondente à manutenção da zona de carga, tomada de decisão no desempenho e erro na categoria imprudente. Analisando agora os factores causais, relativamente à operação diária, a manutenção e, mais especificamente, insuficiência de manutenção é a causa mais latente; enquanto do lado da gestão e recursos a preparação para emergência, nomeadamente os procedimentos de emergência têm maior incidência.

Tabela 11 – Quadro-resumo dos resultados com maior frequência na codificação CASMET

Step Diagram			# events
Crew			56
Accidental Events			
Human Error	Position	Mate	22
	Task affected	cargo space maintenance	19
	Performance	decision making	39
	Error	imprudent	18
HF Analysis			
Performance	Detection	technical failure	56
Causal Mode	Assignment	poor procedures operating procedures	31
Causal Factors			
Daily Operation	Maintenance	lack of maintenance	11
Management & Resources	Emergency Preparedness	emergency procedures	17

Através da apreciação dos acontecimentos compilados, foram identificados 75 factores causais diferentes no universo dos acidentes codificados, em 143 acontecimentos totalizados que foram identificados. De forma a permitir uma interpretação mais direccionada, os factores causais foram agrupados nos temas discriminados:

- Controlo / Operação com carga;
- Insuficiência de treino;
- Insuficiência de comunicação;
- Insuficiência de conhecimento;
- Procedimentos e operação de emergência inadequados;
- Equipamento de combate a incêndio;
- Procedimentos de combate a incêndio;
- Falha de equipamento;
- Derrames / Fugas;
- Disposições de segurança no projecto.

As Tabelas 12 e 13 apresentam, mais pormenorizadamente, a atribuição dos factores causais para cada caso, no total de 20, o número total de casos codificados para análise, bem como a totalidade de factores causais codificados para os 20 acidentes seleccionados. Cada caso possui um ou mais factores causais, e cada qual é alocado ao tema que lhe diz respeito. Cada factor causal pode ter um ou mais acontecimentos que lhe dão origem e portanto há factores causais com maior ou menor peso, de acordo com o número de acontecimentos associados: note-se aqui a diferença entre os 143 acontecimentos totalizados para os 138 acontecimentos acidentais distintos, referidos anteriormente. Na última linha da Tabela 13, estão apresentadas as somas finais para cada tipo de factor causal, num total de 143 acontecimentos.

Das Tabelas 12 e 13 surge a Figura 35, que apresenta as percentagens dos grupos causais definidos anteriormente. Os valores percentuais mais elevados ocorrem para a insuficiência de conhecimento (44,0%), procedimentos de operação e emergência inadequados (40,0%), seguidos do equipamento de combate a incêndio (30,7%) e de procedimentos de combate a incêndio (21,3%). Seguem-se a insuficiência de comunicação (13,3%), fugas (9,3%), insuficiência de treino e controlo / operação com carga (8,0%), terminado com falha de equipamento (5,3%).

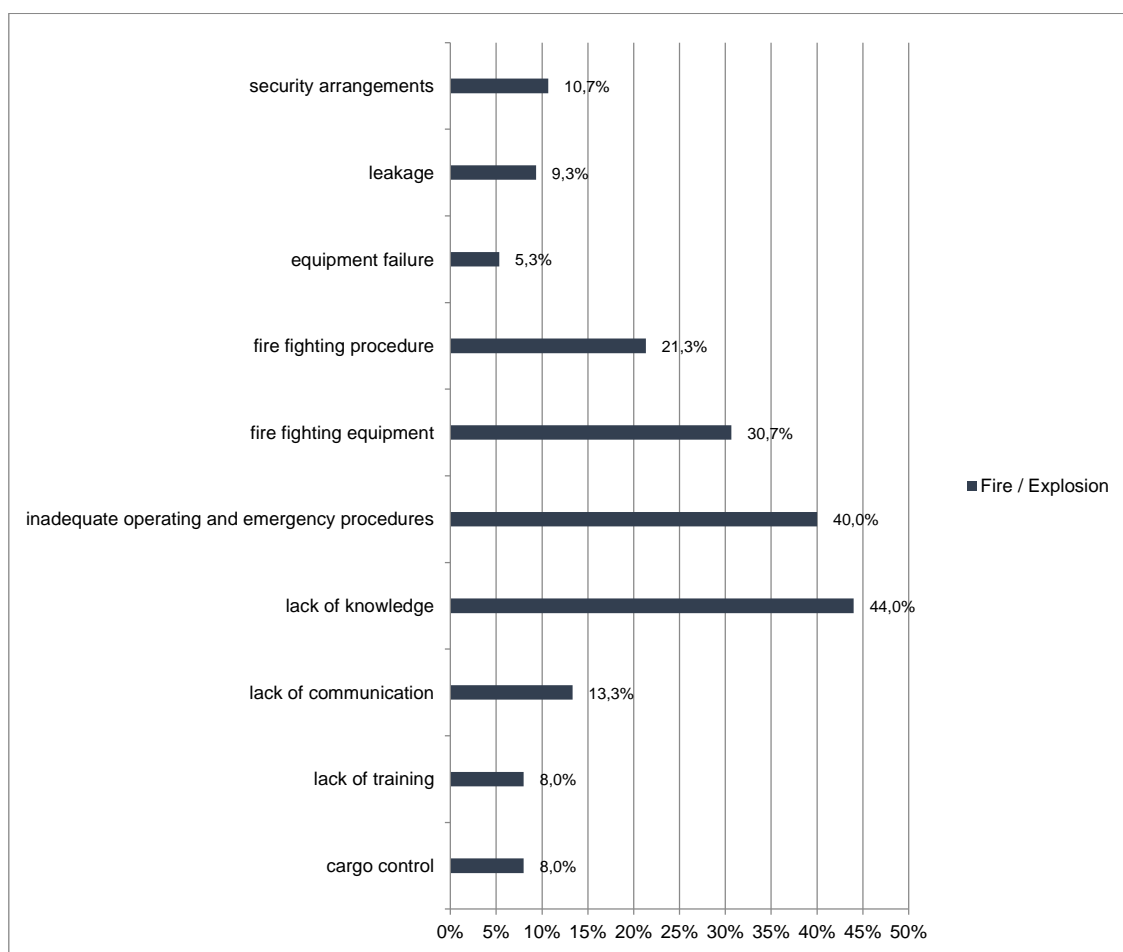


Figura 35 – Valores percentuais para os tipos de factores causais

Tabela 12 – Factores causais dos 20 acidentes codificados, agrupados por temas

			cargo control	lack of training	lack of communication	lack of knowledge	inadequate operating and emergency procedures	fire fighting equipment	fire fighting procedure	equipment failure	leakage	security arrangements	no. Events
1	C1	inadequate control of stowage units in hold	1										2
	C2	inadequate ventilation in cargo deck					1						1
	C3	no evidence of vehicle safety checks	1										2
	C4	unefficient instruction of operating louvres		1									2
	C5	delaying fire fighting because unknowing fitter whereabouts / did not have VHF radio			1								2
	C6	affection the chief officer's management of the incident					1						1
	C7	fire fighting equipment did not respond as it was expected						1					2
2	C1	inadequate control of chief officer				1							6
	C2	inadequate reporting of second officer					1						2
	C3	wrong classification spaces										1	1
	C4	fire fighting procedures and equipment							1				4
	C5	limited guidance in the SMS							1				6
3	C1	equipments unavailable						1					3
	C2	uneffective fire-fighting techniques							1				1
	C3	insufficient emergency operating procedures					1						1
	C4	master declined the assistance of the fire					1						1
	C5	lack of communication			1								4
4	C1	vessel's master and crew were not aware of responsibilities of carrying a fumigated cargo				1							3
	C2	instructions written in Russian			1								1
	C3	no adequate information in vessel's SMS							1				2
	C4	lack of communication			1								2
5	C1	lack of smoke detectors						1					1
	C2	crew's lack of knowledge				1							4
	C3	chemicals stowed in the steering gear compartment	1										1
	C4	no fixed fire-fighting system in cargo-handling areas						1					1
	C5	risk operations onboard					1						2
6	C1	leakage in fuel system									1		2
	C2	failure of auxiliary generators								1			1
	C3	loss of power from the Emergency Switchboard								1			1
	C4	fire-fighting equipment lack of maintenance						1					3
	C5	crew's lack of experience		1									1
7	C1	incomplete security arrangements										1	2
	C2	CO2 system fire fighting not correctly working						1					1
	C3	inadequate fire fighting emergency procedures					1						3
8	C1	engine room door left open					1						2
	C2	fire detection did not worked						1					1
	C3	zones in structure of the engine room were substituted by aluminium										1	1
9	C1	engine room door left open					1						2
	C2	design did not meet the requirements										1	1
10	C1	fuel leakage accumulated on SB tank tops sprayed									1		3
	C2	no standing instructions for watchkeepers visit the engine room or monitor the space					1						1
	C3	no smoke alarms fitted in the engine room						1					1
	C4	crew's lack of knowledge				1							3
	C5	inadequate fire-fighting training							1				2
	C6	equipments out of maintenance						1					2

Tabela 13 – Factores causais dos 20 acidentes codificados, agrupados por temas (continuação)

			cargo control	lack of training	lack of communication	lack of knowledge	inadequate operating and emergency procedures	fire fighting equipment	fire fighting procedure	equipment failure	leakage	security arrangements	no. Events
11	C1	life-saving equipment not stowed in a readily available place				1							1
	C2	crew's lack of knowledge				1							1
	C3	crew with no technical competences in diesel engines				1							2
	C4	inadequate safety operating procedures				1							5
	C5	equipment out of maintenance						1					4
12	C1	electrical equipment defect								1			1
	C2	inadequate arrangement of stowed creels on the deck				1							4
	C3	inexistence of fire detection system						1					1
	C4	inadequate operating procedures				1							2
	C5	crew's lack of knowledge				1							5
	C6	fire-fighting system unavailable						1					1
13	C1	inadequate fire-fighting procedures							1				1
	C2	crew's lack of training		1									2
	C3	valve on the fire pump left open				1							1
14	C1	leakage in compression fittings on a pig-tail pipe in the fuel system								1			1
15	C1	combustible materials in balconies										1	1
	C2	fire protection regulations do not considered the balconies the combustibility, smoke generation potential and toxicity materials used										1	1
	C3	crew's radio communications and equipment available chosen were not in accordance with board procedures				1							1
	C4	passengers trapped not able to call 911				1							1
16	C1	leakage flexible hose in No 4 rocker box of the starboard main engine								1			1
17	C1	confusion with timer bottles and pilot gas cylinders		1									1
	C2	no inspection of CO2 smothering system after use				1							1
	C3	sprayguard had been modified or was ineffective						1					1
	C4	lack of knowledge and training from staff captain and chief engineer				1							5
18	C1	crew's lack of knowledge				1							2
	C2	no electrical drawings were ever produced										1	1
19	C1	failed fuel oil connection on the secondary fuel oil filter								1			1
20	C1	lack of communication			1								1
	C2	fire-fighting equipment unavailable						1					1
	C3	inadequate stowage of cargo	1										1
			4	4	5	11	16	14	6	4	4	7	143

Após analisados todos os valores obtidos para os factores do estudo, considera-se que uma vez apurados os factores causais dos acidentes, seria interessante relacionar estes factores com as medidas recomendadas pelas entidades que procederam à elaboração do relatório de investigação. Nos relatórios de investigação consultados estão presentes, para todos os acidentes, as recomendações dirigidas. Na Tabela 14 apresentam-se vários exemplos, seleccionados para vários tipos de navios e várias situações, a partir dos casos codificados.

Tabela 14 – Exemplo de causas e respectivas recomendações para vários tipos de navios

Tipo de navio	Causas	Recomendações
Ro-Ro	Controlo inadequado de carga	Revisão da documentação a bordo e da notificação "Carga Perigosa" para ter em consideração os procedimentos para o transporte de veículos usados e não registados
Ro-Ro	Ventilação inadequada no convés de carga	Garantir que a ventilação no convés de carga está em operação de acordo com as regulamentações
Ro-Ro	Equipamento de combate a incêndio sem resposta ao esperado	Investigar o porquê da aparente falha de descarga do sistema fixo de CO ₂
Porta-Contentores	Procedimentos e equipamento de combate a incêndio inapropriado	Definir a responsabilidade e tarefas do pessoal em equipas de emergência e da sua posição a bordo, para homogeneizar procedimentos
Passageiros	Insuficiência de conhecimento e de treino por parte da tripulação	Melhoria do conhecimento de sistemas fixos de CO ₂ , inspecções do estado do equipamento após uso
Pesca	Inexistência de sistema de detecção de incêndio	Implementar detectores de fumo e sistemas de alarme na casa da máquina e nos alojamentos
Pesca	Tripulação sem competências técnicas relativamente à máquina principal	As instruções de manutenção do fabricante devem ser cumpridas/recomendação na frequência de uma formação em máquinas

4.3. Comparação com dados estatísticos da EMSA

Um total de 9180 ocorrências foram reportadas para o EMCIP ao longo dos quatro anos de operação, 2011 a 2014, e estes dados constam da publicação *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2015*, disponibilizada pela EMSA (2015). Segundo a EMSA, é possível observar os valores obtidos na análise de acontecimentos acidentais e factores contributivos, para o intervalo de 2011 a 2014.

Como já foi referido anteriormente, o CASMET é a metodologia que suporta o EMCIP. Como tal, fará sentido enquadrar estes resultados com os resultados obtidos na amostra analisada e codificada nesta dissertação. Apesar das metodologias diferirem em alguns aspectos, nomeadamente na gestão de informação sobre os factores causais, os conceitos são similares e serve de validação da análise efectuada com dados analisados e tratados estatisticamente por entidades consagradas, disponíveis para o público em geral. No entanto é importante assinalar que, apesar dos resultados obtidos com o CASMET estarem dentro dos valores obtidos pela análise de dados da EMSA, estes correspondem apenas a acidentes de navios relacionados com incêndios e explosões, e não a um universo de casos mais abrangente, envolvendo acidentes de todos os tipos, como consta nos dados seguidamente apresentados.

No caso dos acontecimentos acidentais, os tópicos estão em concordância (Figura 36). São verificados maior número de acontecimentos na categoria de erro humano, seguido por falha de

equipamento e materiais perigosos, o que, comparando com a Figura 17 (analisada anteriormente) demonstra a uniformidade de informação.

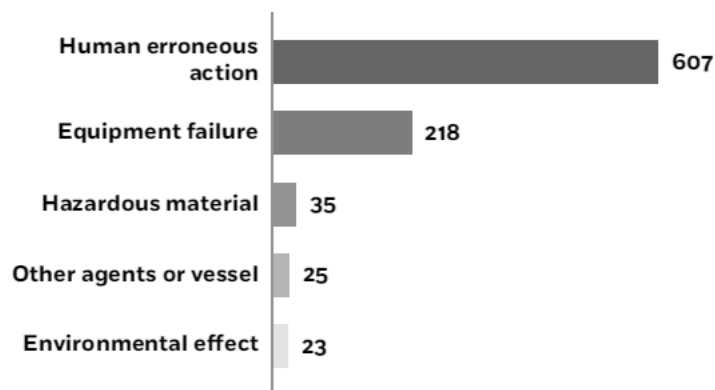


Figura 36 – Número de acontecimentos acidentais em 908 acidentes analisados relativos a 2011-2014 (EMSA, 2015)

A análise que se segue é pertinente para o tema correspondente a acontecimentos acidentais e factores contributivos para acidentes no período de 2011-2014. De acordo com os dados decorrentes das investigações neste espaço temporal, apresentam-se as Figuras 37, 38, 39 e 40, fonte da EMSA (2015). Os factores contributivos dividem-se, neste tipo de análise, em duas categorias: erro humano e falha de equipamento. As Figuras 37 e 38 situam os casos atribuídos ao erro humano, em que a primeira corresponde aos factores contributivos e a segunda figura corresponde à combinação das subcategorias dos factores contributivos do nível 2 e 3 relacionados com acção humana incorrecta da metodologia EMCIP. Observando estas figuras conclui-se que neste contexto os factores contributivos mais elevados correspondem a insuficiência de conhecimento, sensibilização para a segurança, métodos de trabalho inadequados. De acordo com os acontecimentos codificados nesta dissertação, estes estão contidos no envelope anunciado pela EMSA, tornando a observar a Figura 34.

No enquadramento da falha de equipamento, nas Figuras 39 e 40 observa-se que, excluindo a categoria “outros”, a manutenção é o factor mais importante, seguindo-lhe o projecto, equipamentos e ferramentas inadequados, questões de regulamentação. Estes itens foram enfatizados anteriormente e na Figura 34 está evidente convergência em alguns aspectos como a manutenção e ferramentas e equipamento inadequado. No caso da análise CASMET, os factores causais têm incorporado falhas de equipamento e erro humano; apesar disto, os resultados obtidos estão contidos no envelope de resultados descrito pela EMSA. Para inferir sobre as categorias a amostra não é suficiente; no entanto, através da análise constata-se uma tendência geral semelhante, por analogia de metodologias.

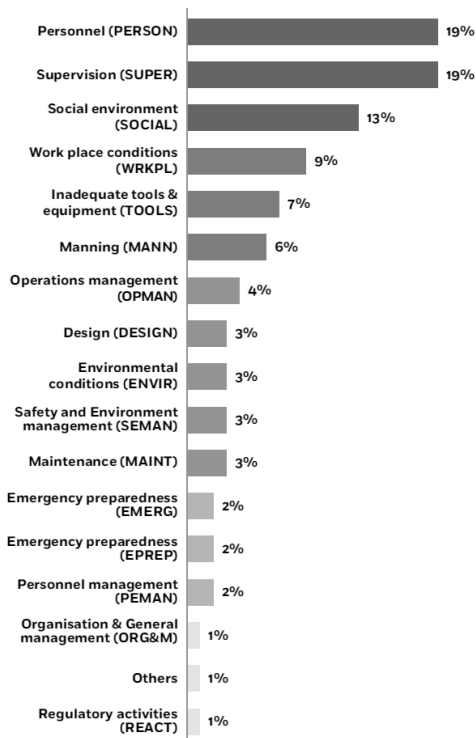


Figura 37 – Distribuição dos factores contributivos relacionados com acontecimentos acidentais: acção humana incorrecta (EMSA, 2015)

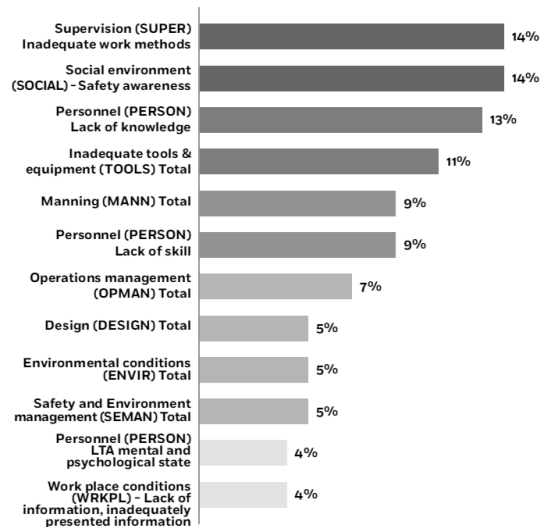


Figura 38 – Combinação das subcategorias dos factores contributivos do nível 2 e 3 relacionados com acção humana incorrecta (EMSA, 2015)

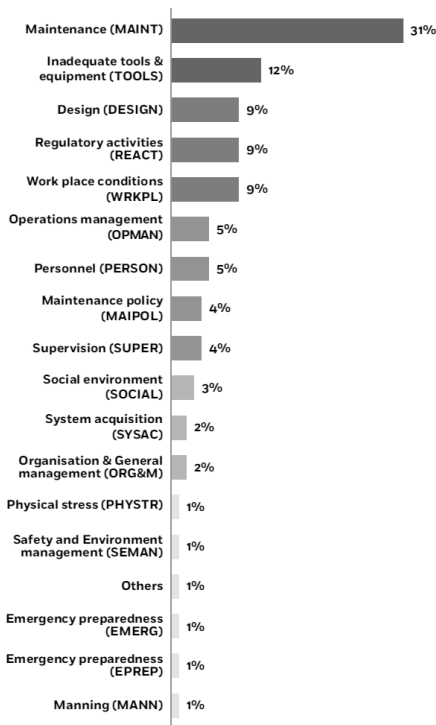


Figura 39 – Distribuição dos factores contributivos relacionados com acontecimentos acidentais: falha de equipamento (EMSA, 2015)

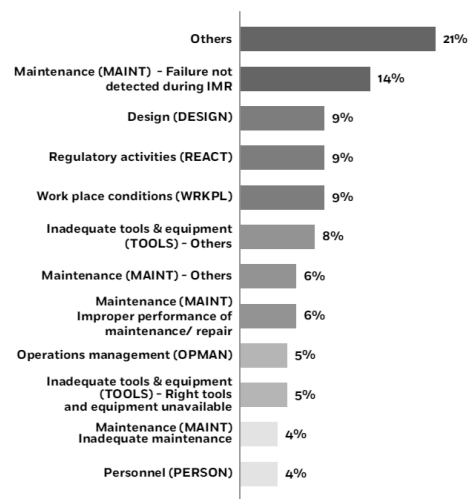


Figura 40 – Combinação das subcategorias dos factores contributivos do nível 2 e 3 relacionados com falha de equipamento (EMSA, 2015)

5. Análise de gestão do risco de incêndio

Neste capítulo, o método de Bow-tie é usado para analisar os acidentes relacionados com incêndio, no contexto marítimo. O método Bow-tie é usado essencialmente na gestão e comunicação do risco. O método foi concebido para oferecer uma melhor visualização da situação em que determinados riscos se apresentam, de modo a clarificar a relação entre as causas de acontecimentos críticos e as suas consequências.

A natureza gráfica da análise Bow-tie possibilita a compreensão do antes e depois do evento crítico. Se por um lado é dotado de barreiras cuja finalidade é prevenir o acontecimento crítico, por outro concede mecanismos de contingência e emergência para minorar o impacto, constituindo um plano de mitigação (Mansouri et al., 2009).

De uma forma geral, o diagrama Bow-tie está estratificado em três zonas de destaque: à esquerda localizam-se as causas prováveis do acontecimento principal/ ameaças (*threats*); que convergem num acontecimento crítico (*critical event*), situado no centro; deste acontecimento partem as consequências, que estarão localizadas à direita do diagrama. Assim, a leitura do diagrama torna-se bastante intuitiva. Focalizando a atenção na zona esquerda do diagrama, estão presentes barreiras de prevenção que impedem a ocorrência do acontecimento crítico. Estas barreiras são uma combinação de medidas técnicas, humanas e organizacionais que preservam o sistema de um desfecho indesejável. Os factores de agravamento (*escalation factors*) existem e determinam a eficiência das barreiras, na medida em que são modos de falha da própria barreira. Ainda assim, os factores de agravamento são afinados por controlos de factores de agravamento (*escalation factor control*), constituindo assim barreiras secundárias. Seguindo a mesma lógica, do lado direito do diagrama também existem, entre o acontecimento crítico e as consequências, barreiras de mitigação cujo fim é precisamente minorar as consequências, bem como poderão existir factores de agravamento para estas barreiras e correspondentes barreiras secundárias.

5.1. Modelo Bow-tie para o risco de incêndio

Serão apresentados sucintamente os passos de análise do modelo Bow-tie, desenvolvido para o risco de incêndio a bordo de um navio, com o apoio de uma versão de demonstração do *software* BowTieXP. De acordo com a literatura (Rausand, 2013), o processo é iniciado com a identificação do acontecimento crítico, seguido pela identificação de ameaças. Para cada ameaça existirão barreiras proactivas, relacionadas com o acontecimento crítico, que serão também introduzidas no diagrama. É listado os acontecimentos sequenciais após o acidente crítico, e também as barreiras ditas como reactivas que interrompem esta sequência ou reduzem em algum aspecto as consequências. As consequências são contabilizadas e por fim o diagrama ficará completo ao caracterizar as interferências de engenharia, manutenção e aspectos operacionais nas barreiras.

O modelo foi desenvolvido através dos factores causais obtidos da análise de resultados dos acidentes codificados no capítulo anterior, mediante o perigo definido. O perigo considerado para esta análise é definido como materiais combustíveis e fontes de ignição na casa da máquina, e o incêndio

é o acontecimento crítico. Na Figura 41 apresenta-se o modelo de Bow-tie simplificado, onde as ameaças seleccionadas correspondem à zona esquerda da figura e são:

- Derrames/ fugas;
- Procedimentos inadequados de operação;
- Insuficiência de conhecimento da tripulação.

As consequências, por sua vez, estão assinaladas no lado direito da mesma figura e traduzem-se em:

- Impacto no ser humano;
- Impacto ambiental.

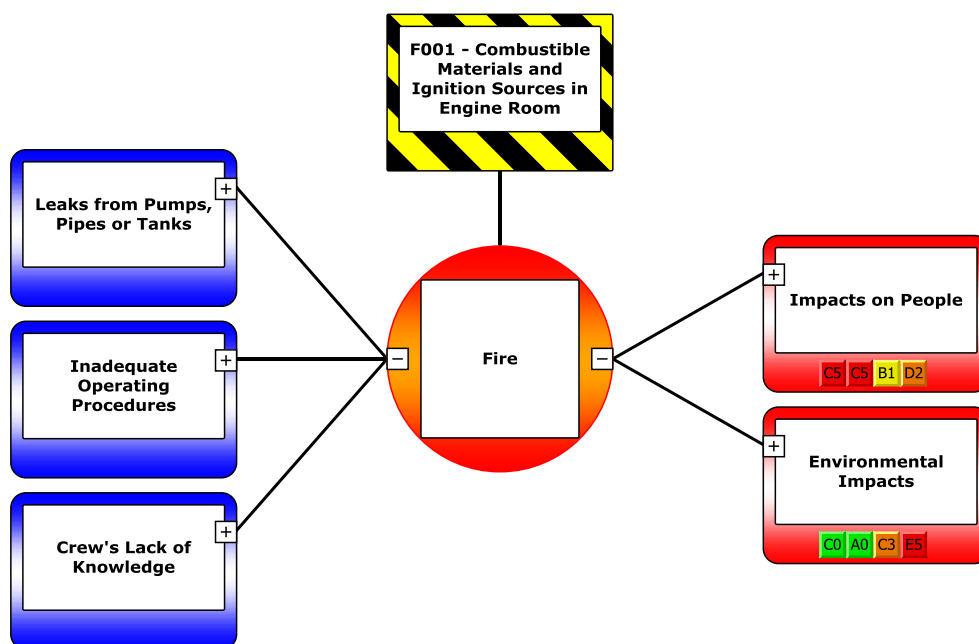


Figura 41 – Modelo Bow-tie simplificado

Como foi referido anteriormente, foram identificadas barreiras e funções de segurança adequadas a cada ameaça e consequência, no sentido de evitar o acontecimento crítico em causa ou mitigar as suas consequências. Os relatórios de investigação dos acidentes incluem informação relativa a recomendações de segurança que pode ser utilizada na definição de barreiras. Seguidamente é apresentado o diagrama estratificado por zonas para melhor identificação na sua caracterização. Tome-se como exemplo o caso da ameaça “derrame/ fuga”, as barreiras assinaladas são as seguintes (Figura 42):

- Uniões standard;
- Inspeção periódica e teste de equipamento;
- Certificação periódica de uniões;
- Supervisão constante da pessoa responsável.

A última barreira apresenta a fadiga como factor de agravamento, em que as horas efectivas de trabalho são a barreira secundária correspondente. Outro factor de agravamento para a barreira “supervisão constante da pessoa responsável” é a comunicação com a ponte. Os factores de agravamento surgem na continuação do aprofundamento do diagrama. Para cada barreira pode existir um ou mais factores de agravamento. Os factores de agravamento são já conhecidos da análise anterior: segundo os resultados via CASMET do processo codificado, vários aspectos estão presentes neste diagrama.

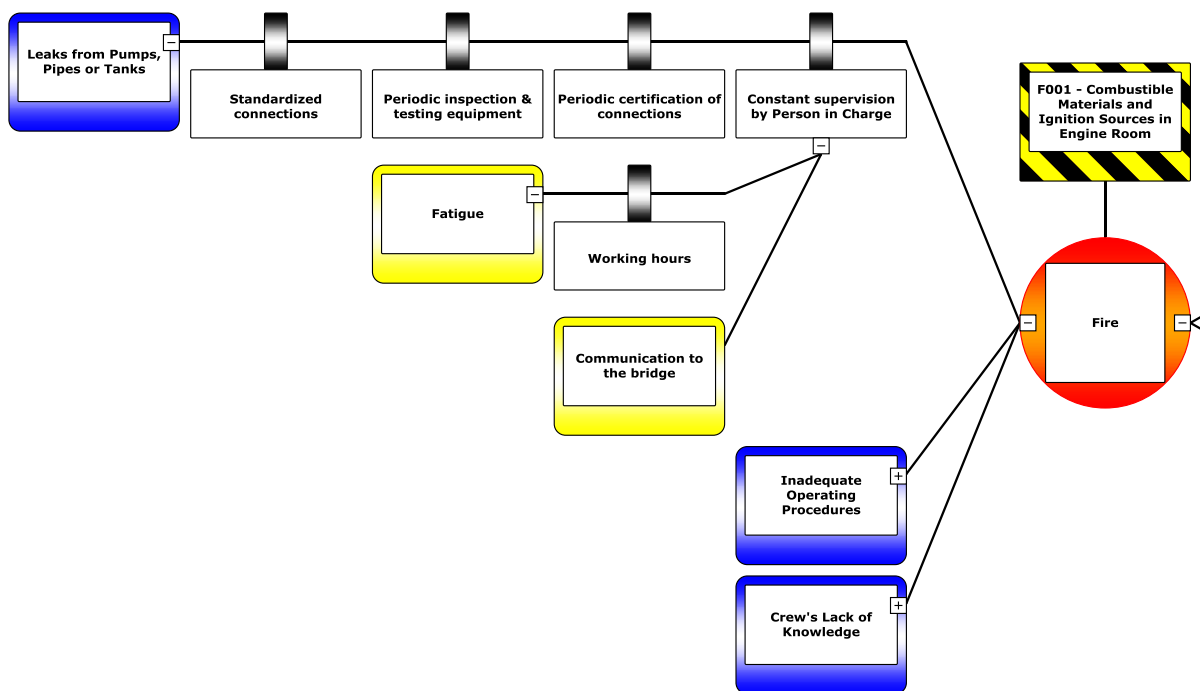


Figura 42 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de derrame ou fuga

As barreiras associadas à ameaça de procedimentos operacionais inadequados são apresentadas (ver Figura 43):

- Orientação SMS (*Safety Management System*);
- Engenheiro responsável supervisionar o espaço presencialmente;
- Consciencialização de manter a integridade da protecção estrutural contra incêndios na casa da máquina;
- *FSS Code (International Code for Fire Safety Systems)*;
- Capítulo II-2 da SOLAS: protecção, segurança e extinção de incêndios;
- *ISM Code Secção 7 (Development of plans of shipboard operations)*.

Ainda na Figura 43 também se observa um factor de agravamento: a indisponibilidade do documento de orientação SMS. Para colmatar este factor de agravamento, as barreiras secundárias propostas

são melhorar os procedimentos organizacionais e distribuição de boletins técnicos informativos que apoiem a falta de informação.

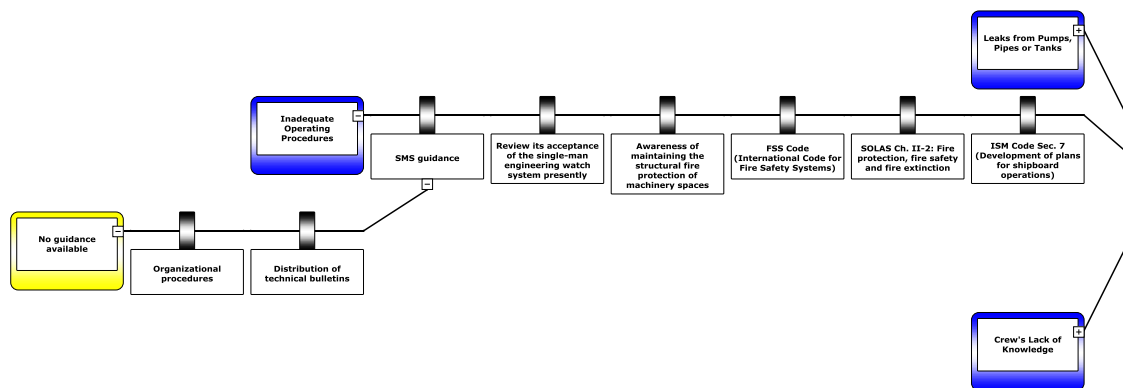


Figura 43 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de procedimentos de operação inadequados

Por fim, analisando a ameaça existente de “insuficiência de conhecimento da tripulação”, as barreiras estão apresentadas na Figura 44:

- Formações intensivas para manutenção da máquina principal;
- Treino;
- Supervisão;
- Experiência.

Foram considerados alguns factores de agravamento para estas barreiras. Começando pela primeira barreira anunciada, a formação pode não ser obrigatória e uma barreira secundária para colmatar esta falha pode ser a distribuição de boletins informativos. No caso do treino, um factor de agravamento é o treino inadequado, que pode também ser evitado se for seguida a certificação STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarer*). A supervisão tem como factores de agravamento a falta de comunicação e insuficiência de informação.

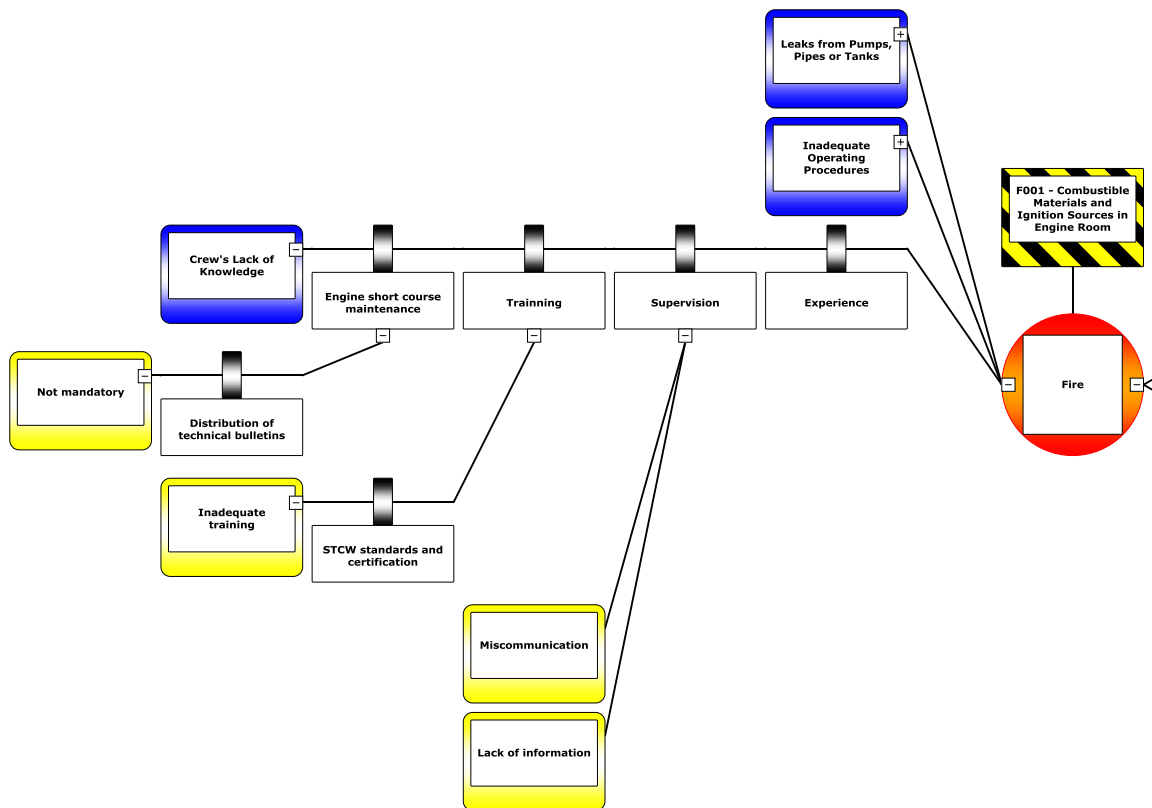


Figura 44 – Barreiras, factores de agravamento e barreiras secundárias correspondentes à ameaça de insuficiência de conhecimento da tripulação.

Entre o acontecimento crítico e as eventuais consequências que podem ocorrer, também são introduzidas barreiras de mitigação, factores de agravamento e respectivas barreiras secundárias. Focando agora a Figura 45, a consequência relativa ao impacto no ser humano é analisada. As barreiras de mitigação para este caso foram identificadas:

- Procedimentos de emergência;
- Equipamento de combate a incêndio;
- Plano de evacuação.

Os procedimentos de emergência inadequados é um factor de agravamento, referindo a primeira barreira de mitigação supracitada. As barreiras secundárias para este cenário são as seguintes:

- Revisão de funções e composição das equipas de emergência;
- Capítulo II-2 da SOLAS: protecção, segurança e extinção de incêndios;
- *ISM Code* Secção 8 (*Emergency Preparedness*)

Ainda na Figura 45, observa-se outro factor de agravamento – a indisponibilidade do equipamento de combate a incêndio. Para este caso específico, as barreiras secundárias são:

- Testes regulares para o sistema de detecção de incêndios;
- Indicação clara de mecanismos de descarga de protecção de espaços;
- Certificação periódica do equipamento de combate a incêndio.

Outro factor de agravamento para o impacto no ser humano são os navios de passageiros. Neste caso específico, as barreiras secundárias aplicadas são as seguintes:

- Identificação de passageiros de acordo com a SOLAS Capítulo II Reg. 27;
- Análise de evacuação de navios de passageiros, segundo as orientações da IMO MSC/Circ.1238;
- Requisitos de treino específico para tripulações de navios de passageiros, como o treino para gestão de multidões, presente no Capítulo V da convenção internacional STCW.

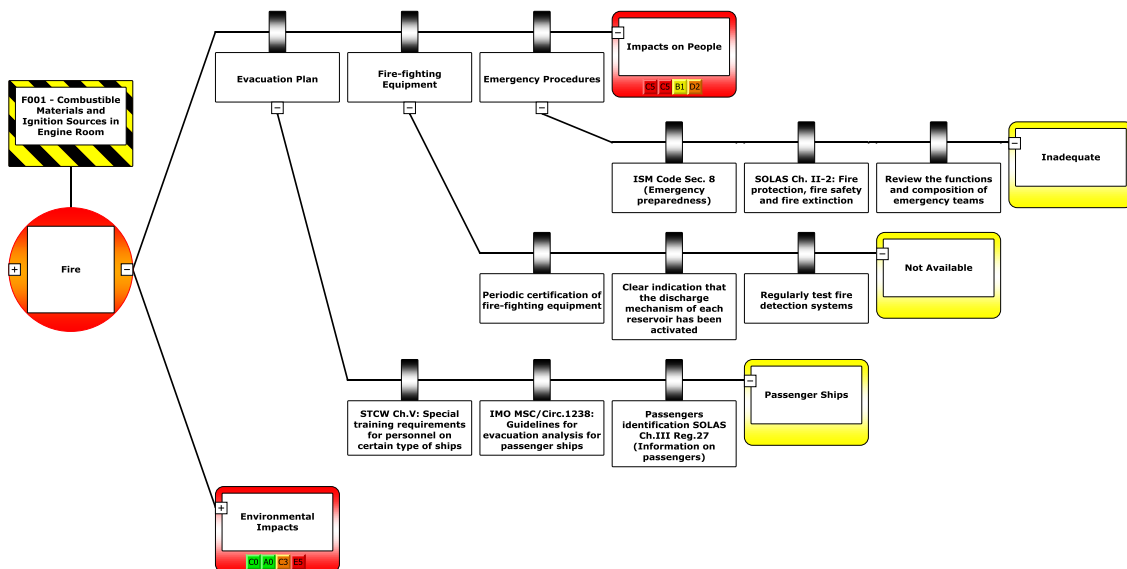


Figura 45 – Barreiras de mitigação, factores de agravamento e barreiras secundárias para a consequência de impacto no ser humano

Analisando agora a Figura 46, o impacto ambiental é a segunda consequência encontrada. Para este cenário as barreiras de mitigação são as seguintes:

- Projecto do navio;
- ISM Code;
- MARPOL (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*);
- Regulamentação OPRC (*International Convention on Oil Pollution, Preparedness, Response and Co-operation*).

Na barreira de mitigação correspondente ao projecto do navio, os danos materiais são factores de agravamento para o exemplo em estudo, e a barreira secundária atribuída é o *FTP Code* (*International Code for the Application of Fire Test Procedures*).

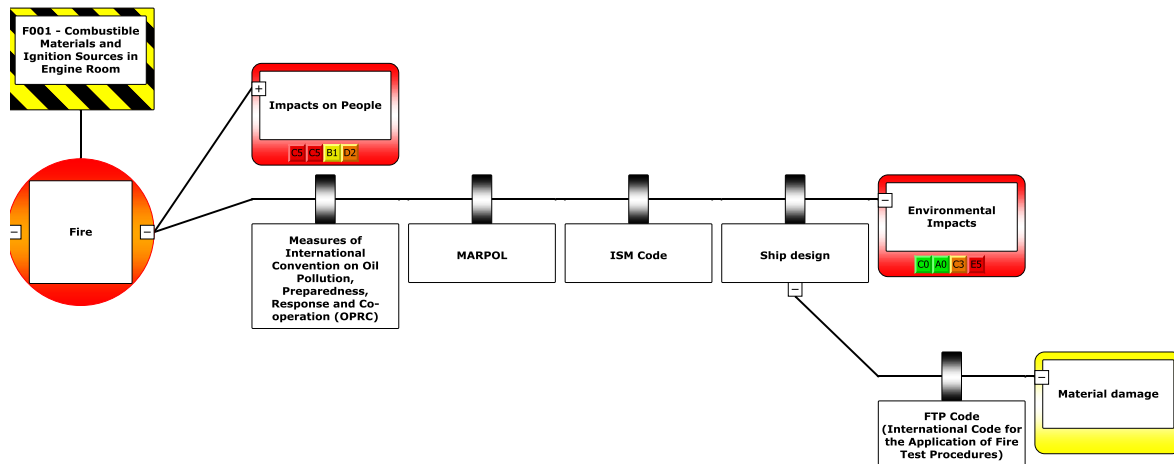


Figura 46 – Barreiras de mitigação, factores de agravamento e barreiras secundárias para a consequência de impacto no meio ambiental

A Figura 47 apresenta o diagrama Bow-Tie completo, situando todas as ameaças, barreiras, factores de agravamento e respectivos controlos ou barreiras secundárias, bem como as consequências do acontecimento crítico escolhido. O diagrama Bow-Tie que se apresenta é o resultado do estudo e reunião de informação recolhida quer dos relatórios de investigação, quer dos dados obtidos da codificação efectuada, sendo uma representação do estudo efectuado.

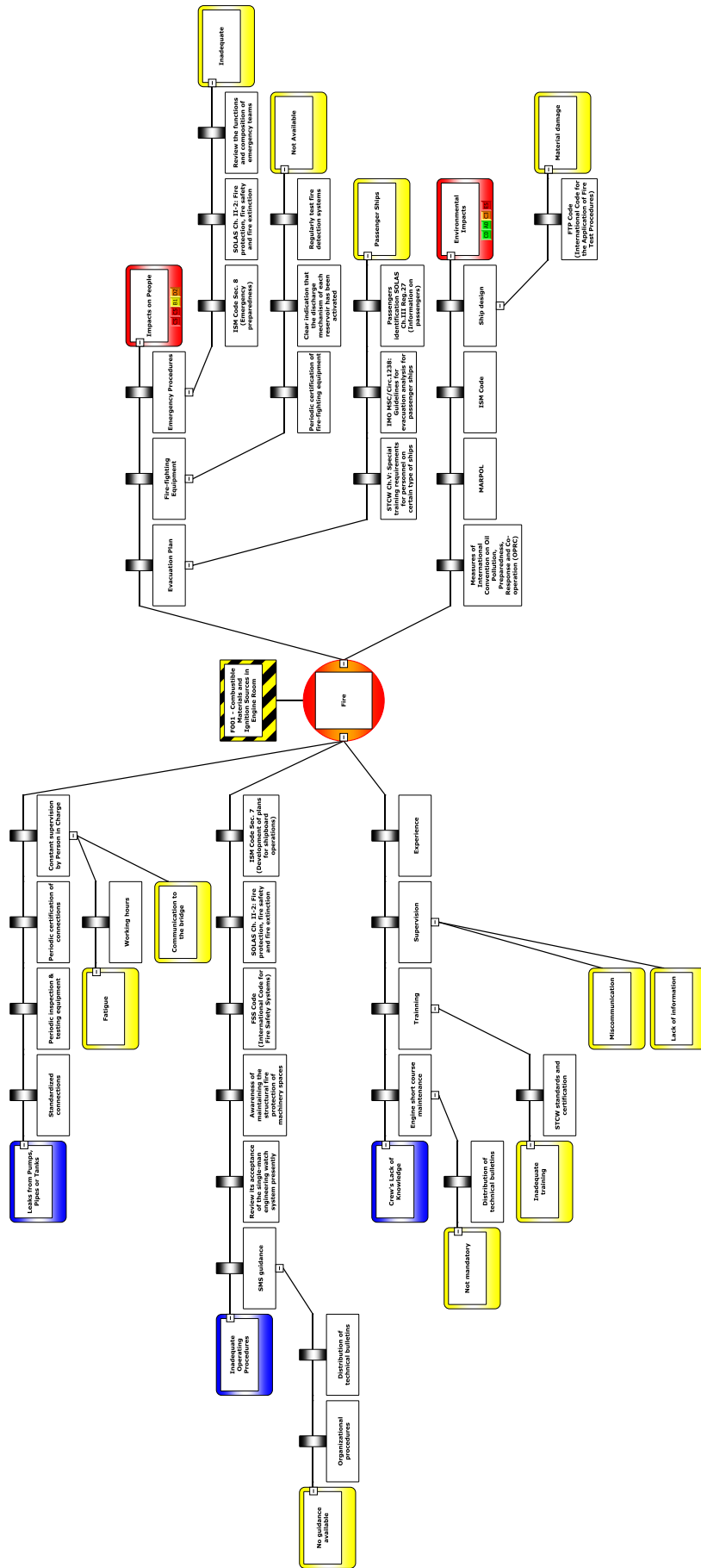


Figura 47 – Modelo Bow-tie completo

6. Conclusões e trabalhos futuros

6.1. Conclusões

Neste trabalho foram identificadas e analisadas as principais causas de acidentes de incêndio e explosão no contexto marítimo. Para atingir este propósito, foram selecionados 20 relatórios de investigação de acidentes marítimos que envolvessem incêndios e explosões. Os relatórios foram interpretados e codificados através da metodologia CASMET. A informação obtida pelos 20 acidentes codificados foi analisada estatisticamente. O universo de casos em análise é constituído por 18 casos de incêndio e 2 de incêndio e explosão; em 6 navios de pesca, 1 porta-contentor, 5 navios de carga geral, 2 navios de passageiros e 6 navios *roll on roll off*.

Relacionando os acontecimentos acidentais identificados com os sujeitos envolvidos, a tripulação é a entidade mais envolvida (40,6%). Os acontecimentos acidentais mais frequentes estão relacionados com erro humano (57,2%). Dentro do erro humano, a posição de “Imediato” é a que tem maior incidência, a tarefa mais afectada é a “manutenção da zona de carga” e a tomada de decisão é o tipo de desempenho com maior contribuição para o acidente; relativamente ao erro humano as “acções imprudentes” são as mais penalizadoras. Outro acontecimento acidental, com valor de incidência inferior ao erro humano, mas ainda assim relevante é a “falha de equipamento” (32,6%), sendo o “sistema de combate a incêndios” o mais frequente e a “casa das máquinas” a zona mais passível de ocorrência de falhas. Relativamente a materiais perigosos (9,4%), o “combustível” é o material mais perigoso, a localização mais frequente é a “casa da máquina”, com o perigo de derrame/ fuga o mais provável de acontecer, em que os tipos de falha estão relacionados com misturas de substâncias inflamáveis.

O factor humano também foi analisado. Ao nível do desempenho, a detecção de uma falha técnica é o factor importante. A maior frequência incide no modo causal relacionado com tarefas, mais especificamente relativo a procedimentos de operação insuficientes. Os modos causais “pessoal” e “ferramenta” também são relevantes, apesar de terem valores inferiores de ocorrência. Nomeadamente, no caso do modo causal “pessoal”, a insuficiência de conhecimento e de experiência é o factor mais gravoso; enquanto que para o modo causal “ferramenta”, o problema técnico com maior incidência é a indisponibilidade de equipamento.

Relativamente aos factores causais básicos, conclui-se que entre as operações diárias e gestão e recursos, o segundo apresenta uma maior frequência nos acidentes. Na gestão e recursos, os procedimentos de emergência é o factor com mais importante. Já nas operações diárias, a insuficiência de manutenção foi o factor com maior incidência nos acontecimentos acidentais.

A codificação dos 20 acidentes conduziu a 75 factores causais em 143 acontecimentos totalizados. Os factores causais foram então reunidos por grupos causais, para uma melhor identificação das causas dos acidentes de incêndio e explosão. Os tipos de factores causais com maior presença nos acidentes codificados são a insuficiência de conhecimento (44,0%), procedimentos inadequados de operação e de emergência (40,0%) e equipamento de combate a incêndio (30,7%).

Foi efectuada também uma avaliação qualitativa dos resultados obtidos da codificação por comparação com dados relativos a acidentes disponíveis pela EMSA. Apesar dos dados

disponibilizados por esta entidade serem referentes a todo o tipo de acidentes e estarem compreendidos entre os anos de 2011 e 2014, os resultados obtidos estão contidos no envelope de informação apresentado pela EMSA, o que conduz à conclusão de que, mesmo com uma amostra pequena, a codificação através da metodologia CASMET convergiu para a tendência geral.

Com o objectivo de aprofundar o estudo no contexto de avaliação e gestão do risco, foi desenvolvido um diagrama de Bow-tie para analisar os acidentes relacionados com incêndio no enquadramento marítimo. O modelo foi desenvolvido com base nos factores causais obtidos da análise de resultados dos acidentes codificados, mediante o cenário de perigo definido. Os materiais combustíveis e fontes de ignição na casa da máquina constituem o perigo seleccionado, que pode resultar num incêndio, que é o acontecimento crítico. As ameaças identificadas foram derrames, procedimentos inadequados de operação e insuficiência de conhecimento da tripulação; e as consequências do acontecimento crítico são o impacto no ser humano e impacto ambiental. O objectivo do modelo desenvolvido é identificar barreiras de prevenção e mitigação para as ameaças e consequências do incêndio, considerando os resultados do processo de codificação e as recomendações de segurança sugeridas nos relatórios de investigação dos acidentes analisados.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Diversas abordagens à análise de acidentes marítimos poderão ser realizadas, bem como estudos mais detalhados, nomeadamente:

- Comparação de diferentes metodologias de análise e codificação de acidentes marítimos;
- Aplicação da metodologia CASMET a incêndios e explosões numa determinada zona do navio e para vários tipos de navios, separadamente;
- Análise das medidas de segurança efectivamente implementadas após o acidente, sugeridas pelos relatórios de investigação, com diagramas Bow-tie;
- Análise da relação custo/ eficácia de medidas implementadas após ocorrência de acidente, de acordo com as recomendações presentes nos relatórios de investigação;
- Desenvolvimento de modelos quantitativos de análise de risco, por exemplo, modelos de redes bayesianas, para cenários de incêndio e explosão em navios.

Referências

- AKTEN, N. 2006. Shipping accidents: a serious threat for marine environment. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 12.
- ANTÃO, P. 2011. *O Factor Humano na Segurança do Transporte Marítimo*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.
- ANTÃO, P., ALMEIDA, T., JACINTO, C. & SOARES, C. G. 2008. Causes of occupational accidents in the fishing sector in Portugal. *Safety Science*, 46, 885-899.
- ANTÃO, P., TEIXEIRA, A. & SOARES, C. G. 2014. Integration of human factors into the ship design process. In: PEÑA, G. S. A. L. (ed.) *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*. London: Taylor & Francis Group, 443-451.
- AZZI, C., PENNYCOTT, A. & VASSALOS, D. 2010. *Quantitative Risk Assessment of Shipboard Fire by First-Principles Tools*. Nottingham, United Kingdom.
- CARIDIS, P. 1999. Casualty analysis methodology for maritime operations. In Final Report of the European Research Project CASMET.: National Technical University of Athens.
- CHARCHALIS, A. & CZYŻ, S. 2011. Analysis of fire hazard and safety requirements of a sea vessel engine rooms. *Journal of KONES*, 18, 49-56.
- CORREIA, P. 2010. European Marine Casualty Information Platform a common EU taxonomy. *5 th International Conference on Collision and Grounding of Ships. Aalto University School of Science and Technology, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Applied Mechanics Series AM*.
- DUTTA, B. B. & KAR, A. R. Simulation Techniques for Ship Onboard Fire Safety. ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2009. American Society of Mechanical Engineers, 641-649.
- EDWARDS, E. 1973. Man and machine- Systems for safety (Man machine systems for flight safety, studying accidents, human factors in system design and implementation of personnel). *Outlook on safety*, 21-36.
- EMBREY, D. 1986. SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. In *Proceedings of the International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Plants (pp. 184-193)*. American Nuclear Society.
- EMSA 2015. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2015. : European Maritime Safety Agency.
- GENTILE, M. J. & DICKENSON, R. P. 1995. *Casualty Data Analysis of the World Merchant Fleet for Reported Fire and Explosion Incidents Resulting in Marine Pollution*. DTIC Document.
- GRAZIANO, A., TEIXEIRA, A. & SOARES, C. G. 2016. Classification of human errors in grounding and collision accidents using the TRACER taxonomy. *Safety Science*, 86, 245-257.
- GUARIN, L., MAJUMDER, J., SHIGUNOV, V., VASSALOS, G. & VASSALOS, D. 2004. Fire and flooding risk assessment in ship design for ease of evacuation. *2nd International Conference on Design for Safety, Osaka, Japan*.
- GUEDES SOARES, C., TEIXEIRA, A. & ANTAO, P. 2000. Accounting for human factors in the analysis of maritime accidents. *Foresight and precaution*, 521-528.

- HARMS-RINGDAHL, L. 2013. Guide to safety analysis for accident prevention. *IRS Riskhantering AB, Stockholm.*
- HAWKINS, F. 1987. Human factors in flight. *Brookfield, VT: Gower Publishing Company.*
- HOFMANN, S., & SCHRÖDER-HINRICHS, J. 2013. CyClaDes Task 1.2 Incident and accident analysis.: World Maritime University, Sweden.
- HOLLNAGEL, E. (ed.) 1998. *Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)*: Elsevier.
- HOLLNAGEL, E. 2005. Human reliability assessment in context. *Nuclear Engineering and Technology*, 37, 159-166.
- IMO 1997. Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents. *Resolução A.849(20)*.
- IMO 2000. Amendments to the Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents (Resolution A.849(20)). *Resolução A.884(21)*.
- IMO 2001. Guidelines on Alternative Design and Arrangements for Fire Safety. *MSC/Circ.1002*.
- IMO 2008. Casualty-related Matters, Reports on Marine Casualties and Incidents - revised harmonized reporting procedures - reports required under SOLAS regulation I/21 and MARPOL 73/78 articles 8 and 12. *MSC-MEPC.3/Circ.3*.
- KIRWAN, B. 1994. A guide to practical human reliability assessment. CRC press.
- KRISTIANSEN, S. 1995. An approach to systematic learning from accidents. *In IMAS'95: Management and Operation of Ships*. London, UK: The Institute of Marine Engineers.
- KRISTIANSEN, S. Maritime transportation: safety management and risk analysis. 2013. Routledge.
- KRISTIANSEN, S., KOSTER, E., SCHMIDT, W., OLOFSSON, M., GUEDES SOARES, C. & CARIDIS, P. 1999. 'A New Methodology for Marine Casualty Analysis Accounting for Human and Organisational Factors. *Proc. of Int. Conf. on Learning from Marine Incidents*. London.
- LIEBL, A., HALLER, J., JÖDICKE, B., BAUMGARTNER, H., SCHLITTEMEIER, S. & HELLBRÜCK, J. 2012. Combined effects of acoustic and visual distraction on cognitive performance and well-being. *Applied ergonomics*, 43, 424-434.
- LINDBERG, A.-K., HANSSON, S. O. & ROLLENHAGEN, C. 2010. Learning from accidents—what more do we need to know? *Safety Science*, 48, 714-721.
- MADONNA, M., MARTELLA, G., MONICA, L., MAINI, E. P. & TOMASSINI, L. 2009. The human factor in risk assessment: methodological comparison between human reliability analysis techniques. *Prevention Today*, 5, 67-83.
- MANSOURI, M., MOSTASHARI, A. & NILCHIANI, R. 2009. A decision analysis framework for resilience strategies in maritime systems. *IEEE Systems*, 1-20.
- MENDIOLA, S., ACHULTEGI, J. & DE LA ROSA, M. 1999. Fire ranks second in maritime casualties. *FIRE ENGINEERS JOURNAL*, 59, 32-35.
- PSARAFTIS, H., CARIDIS, P., DESYPRIS, N., PANAGAKOS, G. & VENTIKOS, N. 1998. *The human element as a factor in marine accidents*. IMLA-10 Conference, St. Malo, France, September 1998.
- RASMUSSEN, J. 1983. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 257-266.

- RASMUSSEN, J. 1987. The definition of human error and a taxonomy for technical system design. *New technology and human error*. Wiley.
- RAUSAND, M. 2013. *Risk assessment: theory, methods, and applications*, John Wiley & Sons.
- REASON, J. 1990. *Human error*, Cambridge university press.
- REASON, J. T. 1997. *Managing the risks of organizational accidents*, Ashgate Aldershot.
- SHAPPELL, S. A. & WIEGMANN, D. A. 1997. A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7, 269-291.
- SHORROCK, S. T. & KIRWAN, B. 2002. Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied ergonomics*, 33, 319-336.
- SOLAS 2014. Safety of Life at Sea (SOLAS) Consolidated Edition (2004). *International Maritime Organization (IMO) Publications*.
- SWAIN, A. D. & GUTTMANN, H. E. 1983. Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Final report. Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA).
- TRUCCO, P., CAGNO, E., RUGGERI, F. & GRANDE, O. 2008. A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 93, 845-856.
- VASSALOS, D. 2006. Passenger ship safety: containing the risk. *Marine technology*, 43, 203-212.
- WICKENS, C. D., LEE, J. D., LIU, Y. & GORDON-BECKER, S. 1998. Introduction to human factors engineering. 1st ed. Nova lorque, EUA: Addison-Wesley-Longman.
- WIEGMANN, D. A. & SHAPPELL, S. A. 2001. Human error perspectives in aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 11, 341-357.
- WILLIAMS, J. HEART—a proposed method for assessing and reducing human error. 9th Advances in Reliability Technology Symposium, University of Bradford, 1986.
- YOSHIMURAA, K., TAKEMOTOB, T., MURATAC, S. & MITOMOD, N. A Study for Adapting a Human Reliability Analysis Technique to Marine Accidents. Proceedings of 12th International Probabilistic Safety Assessment & Management Conference, 2014.

ANEXO A

Tabela 15 – Lista de relatórios de investigação de acidentes analisados e codificados pela metodologia CASMET.

#	Date	Occurrence	Vessel name	IMO number	Vessel type	Vessel flag	Investigation body	Report no.
1	04.12.2013	Fire	CORONA SEAWAYS	9357597	Ro-Ro	United Kingdom	MAIB	17/2014
2	31.10.2004	Fire & Explosion	BORDER HEATHER	9287833	Cargo	Isle of Man	MAIB	05/2006
3	02.10.2006	Fire	MAERSK DOHA	9103685	Container	United Kingdom	MAIB	15/2007
4	05.12.2012	Fire	ARKLOW MEADOW	9440277	Cargo	Ireland	MAIB	21/2013
5	02.07.2010	Fire & Explosion	YEOMAN BONTRUP	8912297	Cargo	Bahamas	MAIB	5/2011
6	25.08.1994	Fire	SALLY STAR	8000226	Ro-Ro	Finland	MAIB	NA
7	02.09.2002	Fire	NORSEA	8501957	Ro-Ro	United Kingdom	MAIB	16/2003
8	16.01.2000	Fire	ROSS ALCEDO	7326037	Fishing Vessel	United Kingdom	MAIB	3/2001
9	12.02.1999	Fire	DE KAPER	8333609	Fishing Vessel	Belgium	MAIB	1/2/131
10	30.01.2004	Fire	ELEGANCE	9173575	Fishing Vessel	United Kingdom	MAIB	9/2004
11	09.07.2012	Fire	DENARIUS	8333673	Fishing Vessel	United Kingdom	MAIB	5/2013
12	26.04.2004	Fire	KINGFISHER II	NA	Fishing Vessel	United Kingdom	MAIB	15/2004
13	18.03.1999	Fire	PRIDE OF LE HAVRE	725334	Ro-Ro	United Kingdom	MAIB	NA
14	20.09.2001	Fire	STENA EXPLORER	9080194	Ro-Ro	United Kingdom	MAIB	5/2003
15	23.03.2006	Fire	STAR PRINCESS	9192363	Passenger	Bermuda	MAIB	28/2006
16	25.08.2000	Fire	ST HELENA	8716306	Cargo	United Kingdom	MAIB	19/2001
17	06.05.2006	Fire	THE CALYPSO	6715372	Passenger	Cyprus	MAIB	8/2007
18	01.08.2008	Fire	VISION II	9314038	Fishing Vessel	United Kingdom	MAIB	8/2009
19	03.02.2001	Fire	THEBAUD SEA	9219410	Cargo	Canada	TSB	M01M0005
20	12.05.2003	Fire	JOSEPH AND CLARA SMALLWOOD	8604797	Ro-Ro	Canada	TSB	M03N0050