

MODELO DE ANÁLISE DE RISCO PARA EMBARCAÇÕES COM SISTEMA DE ALARMES

Luiz Henrique Maiorino Barbarini, luiz.barbarini@poli.usp.br¹
Bernardo Luis Rodrigues de Andrade, bernardo.andrade@poli.usp.br¹

¹Escola Politécnica da USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3 n° 380 - CEP - 05508-970 - São Paulo - SP

Resumo: *Este trabalho apresenta uma proposta de análise de risco para embarcações, incorporando em sua formulação a influência das interações entre os sistemas de alarmes e os fatores humanos e organizacionais presentes à bordo. O ser humano é um dos principais componentes da dependabilidade de embarcações, pois, segundo estatísticas das sociedades classificadoras, é o maior responsável por acidentes à bordo. O modelo, inspirado em relatório de acidentes, tem como ponto de partida uma formulação bayesiana do modelo probabilístico do acidente, e aplica conceitos do modelo “SAM – System Action Management” para a captura dos fatores organizacionais, hoje, de constatada relevância na literatura mais contemporânea sobre o assunto. A formulação matemática proposta leva em consideração uma seqüência usual e simplificada dos eventos ocorridos em um acidente, iniciando de uma falha no sistema físico. O sistema de alarmes tem o papel de detectar esta falha e exibi-la corretamente, no menor tempo possível, à tripulação. Todos os possíveis estados do sistema (ativo, inativo e falso ativo) são considerados no problema. O elemento humano, então, é incorporado à análise de risco através das técnicas de análise de confiabilidade humana, as quais têm como princípio a visão do homem como mais um componente do sistema, ou o “liveware” interagindo com software e hardware. Sob este ponto de vista, uma abordagem sócio-técnica é aplicada, ou seja, considera-se que um navio é composto não apenas de sua estrutura e máquinas, mas também de toda a tripulação. Com o objetivo de exemplificar passos e hipóteses de uma aplicação do modelo proposto, será apresentada a aplicação ao caso do acidente da embarcação Maersk Doha, ocorrido em outubro de 2006 nos Estados Unidos, cujo relatório da investigação do acidente é de acesso público via Internet, no site da Marine Accident Investigation Branch – MAIB.*

Palavras-chave: *análise de risco; embarcações, confiabilidade, acidente, fator humano*

1. INTRODUÇÃO

A engenharia moderna vem revolucionando a maneira com que as embarcações são construídas e operadas. Ferramentas poderosas são capazes de simular o desempenho de um navio completo, mesmo antes de sua primeira caverna ser soldada. Cartas náuticas tridimensionais, radares sofisticados e posicionamento dinâmico também vêm sendo largamente empregados nas embarcações, aumentando a segurança na navegação. E ainda assim acidentes acontecem. As sociedades classificadoras mais conceituadas sugerem a adoção de técnicas de análise de risco há vários anos ou décadas, e ainda “o navio perfeito” está à milhas de distância da realidade. Está claro que ao longo do século passado, as máquinas e estruturas se tornaram muito mais confiáveis. Por conta disso, o desafio atual está em garantir que outro componente do sistema falhe menos: o ser humano.

Segundo Hollnagel (1998), da década de 1960 para cá, a parcela dos acidentes atribuídos ao ser humano, na indústria em geral, ficou mais significativa. Não porque os operadores estejam errando mais, mas porque as máquinas e sistemas, por conta do avanço tecnológico, estão falhando menos. A relevância do elemento humano se dá pelo fato de que ações e decisões humanas estão relacionadas (i) à causa de acidentes, sendo diretamente o fator causador de uma falha ou influenciando na probabilidade de uma falha, e (ii) à prevenção dos acidentes ou mitigação das conseqüências.

No contexto de um cenário de acidente, um dos sistemas com os quais a tripulação terá interação direta é o sistema de alarmes e monitoramento da embarcação. Este sistema, obrigatório em embarcações, exhibe os estados de diversos sensores e sistemas à bordo, alertando falhas ou estados indesejados das máquinas. O sistema de monitoramento e alarmes possui um papel fundamental antes e durante a ocorrência do acidente, e por este motivo, torna-se um elemento crítico na propagação ou mitigação do problema a bordo.

Mas não apenas o ser humano a bordo de um navio influi nas probabilidades de falha de um sistema. Fatores organizacionais também têm um papel importante na dinâmica de um acidente, contribuindo positiva ou negativamente no comportamento da tripulação, e no estado da planta no momento do acidente. Captar esta influência da organização na resposta da tripulação a um ou vários alarmes, permite aos gestores elaborarem políticas assertivas para prevenção de

acidentes. Entre as publicações da área, vários estudos já foram feitos com o objetivo de estudar os erros humanos na operação de máquinas, ou de equipamentos eletrônicos para navegação. A proposta deste trabalho, por sua vez, é apontar as lentes para os monitores que exibem a primeira falha que pode progredir para um acidente, e como a tripulação interage e responde com esta informação em um momento de pressão e estresse.

2. HISTÓRICO

A literatura apresenta os métodos de Análise da Confiabilidade Humana (ACH) de primeira e segunda geração, onde a maioria foi desenvolvida para a indústria nuclear. Os métodos de ACH de primeira geração surgiram em 1975. Destaca-se entre estes, a THERP (*Thechnique for Human Error Rate Prediction*), que é provavelmente o método mais conhecido entre os de primeira geração (Swain e Guttman, 1983). A técnica THERP ainda é largamente utilizada, pois seus resultados empíricos de taxas de falha humana obtidos com os estudos na área nuclear podem ser utilizados fazendo analogias com outras aplicações. Maturama (2008), por exemplo, utiliza as probabilidades de falha humana tabeladas pelo THERP para o cálculo da contribuição da falha humana em acidentes de colisão de embarcações.

Utilizando os pilares da ACH, modelos de análise de risco incorporando fatores humanos e organizacionais começaram a se difundir na década de 90. Ainda nenhum dos métodos propostos foi adotado como padrão, assim como, na análise de risco “convencional” existem diferentes técnicas consagradas como FTA (*Fault Tree Analysis*), HAZOP (*Hazard and Operability Study*), ou FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Todavia, alguns trabalhos foram publicados propondo caminhos relativamente distintos para alcançar o mesmo objetivo. Aven, et al (2006) propõe um método chamado de “BORA” (*Barrier and Operational Risk Analysis*) para avaliar riscos em plataformas de petróleo no Mar do Norte. O método se baseia no cálculo ou estimativa de frequência e probabilidades de eventos iniciais que significam um fator de risco para a planta. Quando estes valores não estão disponíveis na indústria, a opinião de especialistas é utilizada para quantificar o risco de um evento topo de uma árvore de falhas. Galán et al (2007) faz uma abordagem semelhante para instalações nucleares, lançando mão de redes bayesianas para quantificar a influência de fatores organizacionais em usinas nucleares. Em seu trabalho, um modelo paramétrico dos fatores organizacionais é proposto, chamado de fator ω , objetivando representar a estrutura de uma organização.

Outros trabalhos como de (Lakats e Paté-Cornell, 2004) e (Paté-Cornell, 1993) aplicam a metodologia SAM (*System-Action-Management*), proposta em (Murphy e Paté-Cornell, 1996). O modelo SAM inicia através de um modelo de análise de risco do sistema técnico, se expandindo para incluir as ações e decisões humanas que afetam o desempenho deste sistema e os fatores organizacionais que influenciam estas ações. Em (Lakats e Paté-Cornell, 2004) o estudo de sistemas supervisórios (*warning systems*) é abordado como um aspecto chave na gestão de sistemas críticos. Discute-se os sistemas de supervisão como instrumento de tomada de decisões em acidentes, e de seu papel na mitigação de riscos de falha.

Importantes entidades certificadoras também publicaram relatórios de análise de risco, apontando a tendência crescente da importância do elemento humano. Em (IMO, 2002), um guia prático sobre análise de risco, elaborado pela *International Maritime Organization* (IMO), o elemento humano é visto como um dos mais importantes elementos na causa e prevenção dos acidentes. Também considera o cenário realista, onde dados estatísticos não estão disponíveis, sugerindo como alternativas a consulta à especialistas, implementação modelos físicos e simulações. Outro ponto interessante é que seu relatório tenta conscientizar o leitor de que o custo-benefício do processo é relevante para o resultado final, e que os objetivos da análise devem estar bem definidos desde o início.

A ABS (*American Bureau of Shipping*), uma das maiores certificadoras mundiais, também publicou em (ABS, 2000) notas orientativas para análise de riscos em aplicações marítimas e *offshore*. Neste trabalho, reforça-se também a importância dos fatores humanos na análise de risco e cita um aspecto peculiar das análises na área naval: conflito de interesses entre armadores, estaleiros, operadores e tripulação. Isso porque, de acordo com os contratos estabelecidos, abrem-se brechas para priorizar lucros ou atingimento de metas em detrimento da segurança

3. ANÁLISE DE RISCO NA INDÚSTRIA NAVAL

Análise de risco é um processo racional e sistemático para se avaliar riscos relativos ao objeto de estudo, como, neste caso, navios e o ambiente marítimo, bem como ponderar custos e benefícios de redução destes riscos. A análise de risco também é utilizada tipicamente como auxílio para tomada de decisão. Vários tipos de riscos podem ser julgados pelo tomador de decisão: financeiros, riscos relativos à saúde, segurança, natureza ou outros risco do negócio em si.

O tema análise de risco não é novo. As técnicas formais de análise de risco se originaram na indústria de seguradoras. À medida que a era industrial progrediu, se necessitava entender melhor os riscos associados a grandes negócios envolvendo grandes quantias de capital. Nas décadas mais recentes, órgãos governamentais, no esforço de proteger cidadãos e recursos naturais, vêm obrigando empresas a se utilizarem de medidas de redução de riscos. Por exemplo, na Inglaterra, o governo exige a apresentação de “*Safety Cases*” a fim de demonstrarem-se os níveis de risco associados à instalação de plantas *offshore* de produção de petróleo e gás.

Na comunidade naval, as metodologias de análise de risco são utilizadas como ferramenta na elaboração de novas regulamentações para segurança marítima e proteção ambiental (IMO, 2002). Assim como na indústria aeronáutica, aeroespacial e nuclear, na indústria naval o objetivo da análise de risco e suas conseqüências é primordialmente se antecipar a novos acidentes, buscando identificar modos de falhas e pontos de vulnerabilidades que ainda não foram pensados ou considerados em projeto. A possibilidade, ainda que remota, de conseqüências catastróficas, como por

exemplo, morte de seres humanos, não pode suportar a filosofia de se aprender com erros. Ao contrário, a antecipação e prevenção de problemas inéditos são fundamentais para prevenção de acidentes.

3.1. Fatores e Erros Humanos

Pessoas são importantes, e embarcações necessitam de bons, qualificados e motivados tripulantes para operar bem. Estima-se que cerca de 80% de todos os acidentes no mar são atribuíveis aos erros humanos, enquanto os 20% remanescentes são consequência de falhas no casco ou equipamentos (Squire, 2005). Neste tipo de sistema complexo, fatores humanos vêm ganhando importância cada vez maior. Estudos realizados pelo *United States Coast Guard (USCG)* e publicados sob o título *”Crew Endurance Management Practices – A Guide for Maritime Operations”*, demonstraram que existem fatores humanos a bordo de navios que afetam os limites de tolerância dos trabalhadores e geram condições que aumentam a possibilidade de erros humanos e, conseqüentemente, a ocorrência de acidentes. Segundo a UK P&I Club, erros humanos custam à indústria marítima 541 milhões de dólares ao ano. Segundo sua própria análise, eles constataram que 62% dos 6.091 casos ocorridos num período de 15 anos foram erros humanos. O estudo publicado no *International Maritime Human Element Bulletin (ALERT!, 2003)*, mostrado na Fig. (1), confirma estas estatísticas.



Figura 1. Gráfico de pizza com as principais causas de acidentes em navios (ALERT!, 2003) - traduzido

“Fatores Humanos” ou “O Fator Humano” são termos usualmente mal interpretados, utilizados para designar o elemento humano ou erros humanos. Por definição, Fatores Humanos, também conhecidos como engenharia humana, ou engenharia dos fatores humanos, é a aplicação das ciências comportamentais e biológicas ao projeto de máquinas e sistemas homens-máquina (Sheridan, 2002). Em outras palavras, Fatores Humanos são o conjunto de interações entre pessoas e máquinas, pessoas e procedimentos, pessoas e o meio ambiente e entre pessoas e pessoas. Atualmente, estas interações representam o maior campo de pesquisa na área de segurança aeronáutica.

Segundo Hollnagel (1993), em sistemas complexo, estima-se que o erro humano é responsável por 60% a 90% dos acidentes. Os erros humanos são ações humanas que podem levar a uma disfunção, e podem se tratar tanto de uma omissão (a pessoa não faz o que deve) quanto de uma comissão (a pessoa faz o que não deve). Em outras palavras, erro humano é uma ação que não atende a algum limite de aceitabilidade conforme definido para um sistema. Pode ser uma ação física (abrir uma válvula); ou uma ação cognitiva (diagnóstico de falha ou tomada de decisão) (Melo, 2007). No entanto, o termo erro só pode ser aplicado quando há intenção (seja de omissão ou comissão). Não há significado quando o comportamento é não intencional, já que os tipos de erro dependem de dois tipos de disfunções: disfunção na execução (deslizes e lapsos), e disfunção na consequência desejada (enganos).

3.2. Fatores Organizacionais

Fazendo uma analogia, os Fatores Organizacionais, ou Fatores Gerenciais, funcionam como uma mesa de áudio. Cada característica humana é um canal de áudio e os Fatores Organizacionais são os botões de ajuste de ganho. A influência destes nas ações humanas será o conjunto ou a combinação destes fatores, na “melodia” final. Estes botões afetam o estado do indivíduo (treinamento, seleção, carga de trabalho, etc.) e a situação do indivíduo (incentivos, informação, cultura organizacional, etc.) (Murphy e Paté-Cornell, 1996).

Fatores organizacionais podem ser divididos em três tipos de influência: nas ações e decisões da tripulação; no sistema físico (políticas de manutenção, especificações de equipamentos, alteração da planta durante a fase operacional); e na mitigação das perdas e consequências do acidente (regras para situações de emergência, impacto no público, na imagem da empresa). O foco deste trabalho será a análise dos fatores organizacionais que influenciam o comportamento da tripulação durante o acidente, ou seja, sua interpretação dos sinais de alarmes, suas decisões e ações. Alguns exemplos são citados: política de treinamento técnico e reciclagem; comprometimento com normas SMS (*Safety Management System*), IMO e certificadoras; filosofia orientada à segurança; cumprimento de funções e hierarquia; Políticas de segurança em relação a abortar uma missão (mau tempo, tripulação incompleta, etc.); insegurança em relação ao emprego; ambiente de trabalho adequado; falta de estímulo financeiro; carga de trabalho (turnos); *job rotation* da tripulação para disseminação do conhecimento; pressão para resultados, entre outros.

Em sistemas complexos, como uma embarcação, conseguir compreender e influenciar o comportamento humano é essencial para assegurar a segurança e confiabilidade.

3.3. O sistema de alarmes

No passado, grandes embarcações operavam sob a monitoração 24 horas de homens na praça de máquinas, tripulantes para limpeza, para checagem de água e óleo, bombeiros, e engenheiros. O sistema de supervisão contribuiu para automatizar muitas destas tarefas tornando realidade a operação de uma praça de máquinas não tripulada. Atualmente em embarcações modernas, toda a monitoração é feita remotamente, permitindo que a manutenção seja feita em horário regular de trabalho, das 9 às 17 horas, por exemplo. O sistema de alarmes tem o papel de adquirir e processar dados de sensores espalhados pelas principais máquinas, como motores, geradores, tanques, bombas de porão, válvulas, temperaturas, etc. De acordo com sua programação, o sistema alerta ao usuário quando algum dos pontos medidos alcançou algum estado indesejável, permitindo-se a imediata reação e intervenção no problema.

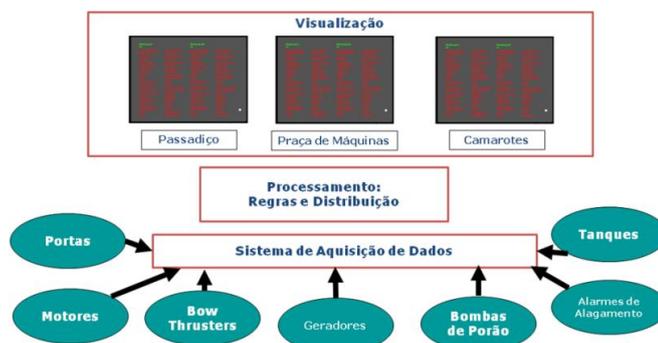


Figura 2. Conceito genérico de sistema de alarmes

Alguns fatores motivaram a escolha da análise de embarcações com sistemas de alarmes. Primeiramente, porque atualmente trata-se de um item obrigatório às embarcações certificadas, e as entidades certificadoras estabelecem regras rígidas de funcionamento e confiabilidade destes sistemas. Em segundo lugar, fica evidente que, apesar de se introduzir mais um elemento passível de falhas na embarcação, o sistema de supervisão exerce um papel fundamental de verificação simultânea dos estados das máquinas, o qual nem sempre é possível de ser executado por um ser humano.

O controle supervísório é algo inerente aos sistemas homem-máquina. Pode ser definido como quando um ou mais operadores humanos estão intermitentemente programando e continuamente recebendo informações de um computador, que fecha a malha de controle dos sensores e atuadores que controlam um processo ou tarefa. Segundo Sheridan (2002), cinco são os papéis do supervisor humano: planejar, ensinar, monitorar, intervir e aprender. A discussão sobre quando intervir é a mais interessante para nosso contexto. Quando intervir no sistema em uma situação crítica é uma pergunta nem sempre fácil de ser respondida. Isso porque existe um óbvio compromisso de que quanto mais tempo se espera mais informação se recebe e mais certeza se tem da ação a ser tomada. Por outro lado, quanto mais se espera, maiores são as conseqüências de não ter agido. A decisão racional se dá pelo custo envolvido em cada caso, ambos função do tempo. No caso de embarcações, o sistema de supervisão deve assumir determinada tarefa quando o custo de se realizar repetidamente esta tarefa for menor que o custo de se planejar e programar (ensinar) o computador, já que o custo do trabalho humano a bordo é significativo na operação marítima como um todo.

4. FORMULAÇÃO DO MODELO

Uma formulação de um modelo de análise de risco eficiente deve possuir três premissas fundamentais. A primeira delas é deixar claro o que se deseja analisar, quais os riscos que se deseja avaliar. Existe um cardápio farto de métodos, técnicas, cada qual com seu foco e seu objetivo. A segunda premissa é a escolha de um modelo adequado. Trata-se de um ponto fundamental, pois a estrutura do modelo, sua profundidade de análise e grau de detalhamento são escolhas relacionadas aos custos da análise, tempo necessário, pesquisa e levantamento de dados, entre outros. Um modelo eficiente é aquele que pode ser gerenciável, cujos dados estão disponíveis e são confiáveis, e que consegue identificar as principais opções de redução de risco. Por último, a análise de risco não pode ser um fim em si mesmo. Sua função primordial é ser útil para os tomadores de decisões, e, portanto, deve fornecer as informações adequadas a estes, nem em excesso nem em escassez.

Para a análise de risco de acidentes envolvendo fatores organizacionais, Miles et al (2007) sugere dois possíveis caminhos: o primeiro envolve a análise dos modos de falhas do sistema e o segundo a análise da seqüência do acidente. A escolha por um ou por outro caminho dependerá da estrutura das informações disponíveis. Na análise pelos modos de falha, busca-se calcular a probabilidade do acidente através do caminho crítico (mínimos *cut-sets*). A análise por árvore de falhas é uma ferramenta útil para obter-se o caminho crítico. Já na análise pela seqüência do acidente, lança-se mão de probabilidades bayesianas para a formulação das equações de probabilidades. Para o caso de um acidente marítimo, o segundo caminho é mais viável, pois é mais conveniente analisar sistematicamente cenários exaustivos e exclusivos.

4.1. Estrutura do modelo

O modelo proposto leva em consideração uma seqüência usual e simplificada dos eventos ocorridos em um acidente. Partindo-se de uma falha no sistema físico, o sistema de alarmes e monitoramento da embarcação poderá ou não retratar o estado do sistema para a tripulação. Baseado nas informações do sistema de monitoramento, a tripulação por sua vez interpreta e toma decisões sobre como agir frente ao estado do sistema. Estas ações podem, por sua vez, ter várias conseqüências, como evitar o acidente, mitigar suas conseqüências, ou mesmo permitir a propagação do problema, até uma disfunção, impedindo que a embarcação cumpra sua missão, ou até um acidente. A estrutura deste modelo está representada na Fig. (3) abaixo.

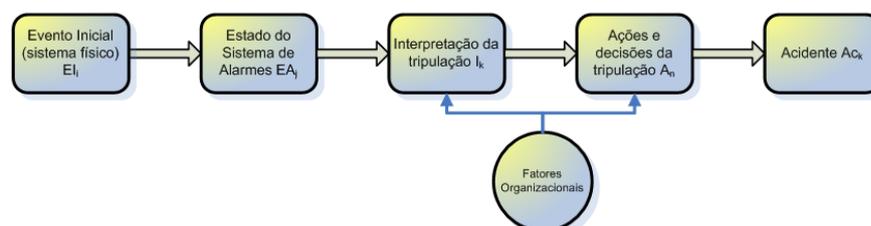


Figura 3. Estrutura do modelo de análise de risco

Na estrutura representada na Fig. (3), considera-se que os fatores organizacionais exercerão influência nas falhas ou acertos da tripulação, tanto em relação à percepção e interpretação do problema, quanto em relação ao planejamento e execução de uma ação corretiva. Desta maneira, o modelo tem como objetivo propiciar aos gestores e armadores diretrizes para investimentos corretos em sistemas de segurança e para políticas que influenciam o comportamento humano, e, portanto, a segurança a bordo.

4.2. Formulação matemática

Segundo o Teorema da Probabilidade Total de Bayes, para eventos excludentes e exaustivos, tem-se que a probabilidade de um evento A ocorrer, sabendo-se que o evento E_i já ocorreu é dada por:

$$P(A) = \sum_i P(A|E_i) \cdot P(E_i) \quad (1)$$

Utilizando este teorema para a seqüência do acidente da Fig. (3), tem-se que:

$$P(Ac) = \sum_n P(A_n) \cdot P(Ac|A_n) \quad (2)$$

Onde A_n é um conjunto exaustivo e mutuamente exclusivo das ações e decisões da tripulação. A ação no modelo é considerada como sendo a formação da intenção e a execução desta ação. Admite-se como hipótese de que formada a intenção, a execução procede sem dificuldades. Da mesma maneira, tem-se que:

$$P(A_n) = \sum_k P(I_k) \cdot P(A_n|I_k) \quad (3)$$

Onde I_k é um conjunto exaustivo e mutuamente exclusivo das possíveis interpretações da tripulação do estado do sistema de alarmes que levam a uma ação ou decisão.

E por fim:

$$P(I_k) = \sum_j P(EA_j) \cdot P(I_k|EA_j) \quad (4)$$

Onde EA_j é um conjunto exaustivo e mutuamente exclusivo dos possíveis estados do sistema de alarmes. Pode-se considerar que o sistema de alarmes pode assumir quatro possíveis estados:

- alarme ativo: quando o sistema de alarmes captura corretamente um evento em algum sistema físico do navio.
- alarme falso ativo: quando o sistema exibe um alarme falso, ou seja, o sistema físico encontra-se com seus parâmetros normais.
- alarme inativo: o sistema não exibe o alarme de determinado ponto.
- alarme falso inativo: ocorrendo um evento no sistema físico monitorado, o sistema de alarmes não exibe o alarme de determinado ponto.

Para o caso do modelo em questão, dado um evento em alguma máquina da embarcação, o estado “alarme inativo” passa a não ter importância, já que necessariamente o sistema deverá alarmar ou estará em estado de falso inativo. Portanto, daqui por diante, o estado “falso inativo”, será apenas referido como inativo.

A combinação das Eq. (3) e (4) resulta em:

$$P(A_n|EI_i) = \sum_j \sum_k P(EA_j|EI_i) \cdot P(I_k|EA_j) \cdot P(A_n|I_k) \quad (5)$$

Agora, pode-se calcular a expressão (2):

$$P(Ac|EI_i) = \sum_n \sum_j \sum_k P(EA_j|EI_i) \cdot P(I_k|EA_j) \cdot P(A_n|I_k) \cdot P(Ac|A_n) \quad (6)$$

Representando-se os fatores organizacionais por O_m , conforme descrito no modelo SAM, a influência deles na probabilidade do acidente, segundo a estrutura da Fig. (3), será sobre os termos que contemplam as interpretações I_n e ações A_n . Assim, dados o evento inicial e o conjunto de fatores organizacionais, a probabilidade do acidente fica:

$$P(Ac|EI_i, O_m) = \sum_n \sum_j \sum_k P(EA_j|EI_i) \cdot P(I_k|EA_j, O_m) \cdot P(A_n|I_k, O_m) \cdot P(Ac|A_n) \quad (7)$$

5. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo proposto acima foi inspirado em relatório de acidentes com embarcações. A fim de exemplificar a aplicação do modelo, apresenta-se a seguir o caso do acidente da embarcação Maersk Doha, no porto da cidade de Norfolk, no estado de Virginia, nos Estados Unidos (MAIB, 2007). A quebra de máquinas e conseqüente incêndio ocorreu em 2 de outubro de 2006. O relatório de investigação do acidente, publicado com detalhes na internet e elaborado pela MAIB (*Marine Accident Investigation Branch*), ressalta a importância do sistema de alarmes no acidente.

A aplicação do modelo tem apenas dois objetivos: (1) ilustrar alguns passos e hipóteses a serem seguidos pelo analista em uma possível aplicação a uma planta real; (2) demonstrar que o modelo proposto contempla em sua formulação os eventos relevantes que ocorrem em uma embarcação, tendo em conta o cenário e os objetos de estudo.

Um breve relato das informações factuais do acidente é apresentado a seguir.

5.1. Narração do acidente

No dia 1º de outubro de 2006, a embarcação Maersk Doha atracou no Portsmouth Marine Terminal, em Norfolk, desligando seus motores às 06:30hs. Sua partida para Miami estava agendada para as 0:00hs do dia seguinte. Às 23hs o aviso para a partida é dado. O 3º Engenheiro cumpria turno na praça de máquinas, sob supervisão do Engenheiro-Chefe. O 3º Engenheiro havia se juntado à tripulação recentemente.

O motor é preparado de acordo com “pre-sail” checklist e o comando é passado ao passageiro às 23:54hs. Ao sair do porto, estavam na praça de máquinas o 2º e 3º Engenheiro e o Engenheiro-Chefe. O 1º Engenheiro estava em descanso em sua cabine.

Às 0:30hs, o sistema de alarmes dispara o “Alarme de Pressão Baixa no Sistema de Vapor”. O 1º Engenheiro é chamado à praça de máquinas. Os três engenheiros se dirigem, então, ao compartimento da caldeira, e verificam que a chama está acesa, porém existe vapor escapando pela entrada de ar da fornalha. A primeira decisão tomada é cortar o combustível da caldeira.

A fim de garantir que o economizador não sobreaquecesse, a bomba reserva de água que abastece o economizador é ligada. O objetivo é compensar a água perdida através do vapor que escapava pela caldeira. A caldeira e o economizador pertenciam a um mesmo circuito de água, e o economizador dependia da caldeira para receber a água para seu resfriamento. Todavia, esta bomba estava quebrada, devido a um problema mecânico.

Às 01:20hs, outro alarme de “Pressão Baixa no Sistema de Vapor” é disparado, mas não se consegue distinguir se tratava-se do alarme original ou novo alarme. Neste momento, o Engenheiro-chefe decide telefonar ao passageiro para avisar o problema. O comandante pergunta se é necessário ancorar, ou se é possível continuar até o navio deixar a área portuária. O Engenheiro-chefe comunica que é possível continuar, porém a uma velocidade reduzida.

Enquanto os engenheiros discutiam possibilidades de conserto da caldeira, a partir de 01:36hs a rotação do motor começa a aumentar gradualmente, até atingir o máximo em 01:43hs. Durante este período, a temperatura dos gases de escape aumenta rapidamente, e o 3º Engenheiro percebe um aumento de 350°C para 600°C em menos de 5 minutos. 600°C era o fundo de escala do indicador de temperatura, e nenhum alarme foi disparado.

Neste momento, a rotação do motor é reduzida novamente, e ao investigar a causa da alta temperatura, o Engenheiro-chefe detecta fogo no economizador. O 3º Engenheiro e outro tripulante começam a combater o fogo com mangueiras e extintores de incêndio, porém logo desistem devido ao forte calor e fumaça. Às 02:30hs o incêndio é reportado ao passageiro. O comandante dispara o alarme de emergência da embarcação, e anuncia no sistema de áudio sobre o incêndio na casa de máquinas.

O 2º Engenheiro, ocupado com o acionamento dos geradores, ainda estava na praça de máquinas, e ignorou o alarme de emergência, pensando ser um alarme falso. Somente após ouvir o anúncio do comandante, resolve deixar o compartimento do gerador. Ao chegar à praça de máquinas com muita fumaça, percebe que era a última pessoa lá, rapidamente deixa a zona de perigo.

Às 02:34hs o combate ao incêndio inicia. Devido ao desconhecimento do funcionamento do economizador, várias tentativas são feitas no intuito de apagar o fogo. Porém, nem o acionamento do sistema de CO₂, nem o resfriamento das paredes do economizador surtem efeito. Somente após a chegada da Guarda Costeira Americana, por volta de 06:00hs,

com uma equipe de combate à incêndio, que o fogo foi combatido corretamente através do direcionamento da água nos tubos dentro do economizador. O incêndio foi declarado extinto às 12:30hs.

5.2. Causas do acidente

Segundo o relatório de análise do acidente, o rompimento da fôrnalha da caldeira se deu devido ao sobreaquecimento por operar com baixo nível de água (EI_1). Provavelmente, causado por uma disfunção no sistema automático de controle da caldeira. A perda da água de alimentação na caldeira levou a falha na circulação de água no economizador (EI_2), fazendo sua temperatura aumentar (EI_3). Períodos com rotação baixa do motor, na saída do porto de Norfolk causaram acúmulo de fuligem, ocasionando a ignição do fogo (EI_4). A demora para reportar o problema ao passageiro, a decisão de manter o motor ligado, o desconhecimento do funcionamento e construção do economizador, e conseqüente combate de incêndio de forma incorreta, foram os fatores que, em conjunto, propagaram o problema inicial e levaram ao acidente.

5.3. Hipóteses adotadas para a análise do acidente e aplicação do modelo

As seguintes hipóteses foram adotadas para aplicar o modelo de análise de risco ao acidente descrito acima:

- 1) Para simplificar a nomenclatura e formulação, todos os acidentes, incidentes, e conseqüências de acidentes serão chamados de acidentes Ac .
- 2) Serão analisados os dois incidentes principais (baixa vazão de água no economizador (Ac_1) e sobreaquecimento do economizador (Ac_2)) e o acidente principal (Ac_3); O acidente hipotético Ac_4 (ferimentos/fatalidade da tripulação) também foi analisado, por ter sido evitado com sucesso.
- 3) O conjunto exaustivo e exclusivos dos EA_j , I_k , A_n é bastante vasto. Portanto, adotou-se como critério listar somente os elementos dos conjuntos EA_j , I_k , A_n , citados no relatório de investigação do acidente, e não fazer nenhuma suposição sobre outras possíveis ações, interpretações ou conseqüências que pudessem ocorrer.
- 4) Nos conjuntos EA_j , I_k , A_n com apenas 1 elemento, atribuiu-se um segundo elemento, por exemplo, "Outra interpretação", já que na prática, devemos ter, no mínimo, uma alternativa correta e outra errada.
- 5) Se no acidente em análise (caso do Ac_1), o sistema de alarmes apresenta falha e todos os alarmes estão inativos, considera-se que a não haverá interpretação ou ação (não há intenção). Desta forma, falhando o sistema de alarmes, o acidente sempre ocorrerá.

5.4. Aplicação do modelo probabilístico

Os seguintes eventos iniciais (EI) foram selecionados para a análise do acidente:

- EI_1 - Baixo nível de água na caldeira (entre 00:00hs e 00:30hs)
- EI_2 - Baixa vazão de água no economizador (00:30hs)
- EI_3 - Sobreaquecimento no economizador (01:43hs)
- EI_4 - Incêndio na praça de máquinas (02:30hs)

Para cada evento inicial, atribuem-se os respectivos estados do sistema de alarmes (EA), a interpretação da tripulação (I), e as ações da tripulação que levam a um acidente (Ac). O conjunto de todas as EA_j , I_k , e A_n pode incluir muito mais elementos do que o citado abaixo. Contudo, apenas enumeram-se os estados do sistema de alarmes, interpretações e ações identificados no relatório de investigação do acidente.

- a) EI_1 - Baixo nível de água na caldeira
 - EA_1 : Alarme de nível baixo de água INATIVO
 - I_1 : Nenhuma interpretação (Sistema operando normalmente)
 - A_1 : Nenhuma ação
 - Ac_1 : Baixa vazão de água no economizador
 - EA_2 : Alarme de nível baixo de água ATIVO
 - I_2 : Interpretação correta
 - A_2 : Ação correta → FIM
 - A_3 : Ação incorreta
 - Ac_1 : Baixa vazão de água no economizador
 - I_3 : Interpretação incorreta
 - A_4 : Ação incorreta
 - Ac_1 : Baixa vazão de água no economizador

O estado do sistema de alarmes apresenta o alarme de nível como inativo, já que segundo o relatório de investigação do acidente, nenhum alarme correspondente foi disparado. A Eq. (8) mostra a equação das probabilidades de "Baixa vazão no economizador", dados o evento inicial "Baixo nível de água da caldeira" e o estado organizacional:

$$P(Ac_1|EI_1, O_m) = P(EA_1|EI_1) \cdot P(I_1|EA_1, O_m) \cdot P(A_1|I_1, O_m) \cdot P(Ac_1|A_1) + P(EA_2|EI_1) \cdot P(I_2|EA_2, O_m) \cdot P(A_2|I_2, O_m) \cdot P(Ac_1|A_2) \quad (8)$$

$$+ P(EA_2|EI_1) \cdot P(I_2|EA_2, O_m) \cdot P(A_3|I_2, O_m) \cdot P(AC_1|A_3) \\ + P(EA_2|EI_1) \cdot P(I_3|EA_2, O_m) \cdot P(A_4|I_3, O_m) \cdot P(AC_1|A_4)$$

Manipulando a equação, e eliminando os termos com probabilidade igual a 0 e 1 temos:

$$P(AC_1|EI_1, O_m) = P(EA_1|EI_1) + P(EA_2|EI_1) \cdot P(I_2|EA_2, O_m) \cdot P(A_3|I_2, O_m) \cdot P(AC_1|A_3) \\ + P(EA_2|EI_1) \cdot P(I_3|EA_2, O_m) \cdot P(A_4|I_3, O_m) \cdot P(AC_1|A_4) \quad (9)$$

b) EI_2 - Baixa vazão de água no economizador

- EA_1 : Alarme de nível baixo de água INATIVO / alarme de baixa pressão de água ATIVO
 - I_1 : Ignição da caldeira falhou
 - A_1 : Acionar ignição manualmente
 - A_2 : Outra ação
 - AC_2 : Sobreaquecimento no economizador
 - I_2 : Falha no sistema caldeira/gerador
 - A_3 : Cortar combustível da caldeira
 - A_4 : Ligar bomba de água reserva
 - A_5 : Investigar possibilidade
 - A_6 : Manter motor ligado a baixa rotação
 - A_7 : Combinações das ações anteriores (combinações 2 a 2 e 3 a 3)
 - AC_2 : Sobreaquecimento no economizador
 - A_8 : Desligar motor principal
 - A_9 : Combinações de A_7 e A_8 → FIM
- EA_2 : Outro estado
 - I_2 : Falha no sistema caldeira/gerador
 - A_3 : Cortar combustível da caldeira
 - A_4 : Ligar bomba de água reserva
 - A_5 : Investigar possibilidade
 - A_6 : Manter motor ligado a baixa rotação
 - A_7 : Combinações das ações anteriores (combinações 2 a 2 e 3 a 3)
 - AC_2 : Sobreaquecimento no economizador
 - A_8 : Desligar motor principal
 - A_9 : Combinações de A_7 e A_8 → FIM
 - I_3 : Interpretação incorreta
 - A_9 : Ação incorreta
 - AC_2 : Sobreaquecimento no economizador

A Eq. (10) apresenta a equação das probabilidades do acidente “Sobreaquecimento no economizador” ocorrer dados o evento inicial “Baixa vazão de água no economizador” e os estado da organização.

$$P(AC_2|EI_2, O_m) = P(EA_1|EI_2) \cdot P(I_1|EA_1, O_m) \\ + \sum_{n=3}^7 P(EA_1|EI_2) \cdot P(I_2|EA_1, O_m) \cdot P(A_n|I_2, O_m) \cdot P(AC_2|A_n) \\ + \sum_{n=3}^7 P(EA_2|EI_2) \cdot P(I_2|EA_1, O_m) \cdot P(A_n|I_2, O_m) \cdot P(AC_2|A_n) + P(EA_2|EI_2) \cdot P(I_3|EA_1, O_m) \quad (10)$$

c) EI_3 : Sobreaquecimento no economizador

- EA_1 : Alarme de alta temperatura de gás de escape ATIVO / sensor de temperatura em 600°C
 - I_1 : Incêndio no interior do economizador
 - A_1 : Disparar alarme de emergência
 - A_2 : Desligar motor principal
 - A_3 : Combater fogo com mangueiras, jogando água nas paredes do economizador
 - AC_3 : Incêndio na praça de máquinas
 - A_4 : Combater fogo com mangueiras, jogando água dentro do economizador → FIM
 - I_2 : Outra interpretação
 - A_5 : Ação incorreta
 - AC_3 : Incêndio na praça de máquinas
- EA_2 : Outro estado do sistema de alarmes
 - I_3 : Interpretação incorreta
 - A_6 : Ação incorreta
 - AC_3 : Incêndio na praça de máquinas

A equação de probabilidades do acidente “Incêndio na praça de máquinas” pode ser vista na Eq. (11).

$$P(Ac_3|EI_3, O_m) = \sum_{n=1}^3 P(EA_1|EI_3) \cdot P(I_1|EA_1, O_m) \cdot P(A_n|I_1, O_m) \cdot P(Ac_3|A_n) + P(EA_1|EI_3) \cdot P(I_2|EA_1, O_m) + P(EA_2|EI_3) \quad (11)$$

Ao receber o alarme de temperatura de escape dos gases, e verificar o indicador, a tripulação interpretou a informação que haveria fogo no interior do economizador. As ações de disparar o alarme de emergência e desligar o motor foram corretas. Mas o combate ao incêndio foi feito de forma inadequada, permitindo que o fogo propagasse gerando o incêndio na praça de máquinas.

d) EI_4 : Incêndio na praça de máquinas

- EA_1 : Alarme de emergência ATIVO / anúncios no sistema de áudio
 - I_1 : Alarme verdadeiro
 - A_1 : Continuar serviços de reparo na praça de máquinas
 - Ac_4 : Ferimentos/fatalidades da tripulação
 - A_2 : Evacuar praça de máquinas → FIM
 - I_2 : Falso alarme
 - A_1 : Continuar serviços de reparo na praça de máquinas
 - Ac_4 : Ferimentos/fatalidades da tripulação
- EA_2 : Outro estado do sistema de alarmes
 - I_3 : Interpretação incorreta
 - A_1 : Continuar serviços de reparo na praça de máquinas
 - Ac_4 : Ferimentos/fatalidades da tripulação

Na Eq. (12) apresenta-se o cálculo da probabilidade de uma consequência do acidente “ferimentos ou fatalidades da tripulação”:

$$P(Ac_4|EI_4, O_m) = P(EA_1|EI_4) \cdot P(I_1|EA_1, O_m) \cdot P(A_1|I_1, O_m) \cdot P(Ac_4|A_1) + P(EA_1|EI_4) \cdot P(I_2|EA_1, O_m) + P(EA_2|EI_4) \quad (12)$$

Neste caso, apresenta-se uma consequência hipotética, a de haver “ferimentos/fatalidades da tripulação”. Ao ouvir o alarme de emergência, o 2º Engenheiro, num primeiro momento, o ignorou, interpretando este alarme como sendo um falso alarme. No entanto, ao ouvir o anúncio, voltou atrás, optando por evacuar a praça de máquinas. Se o 2º Engenheiro houvesse realmente ignorado o alarme, e permanecido na praça de máquinas, provavelmente teria se ferido.

6. DISCUSSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Nem sempre é uma tarefa simples aplicar métodos quantitativos de análise de risco, principalmente envolvendo o comportamento humano. O método apresentado aqui também pode ser bastante trabalhoso, e necessitar de muitos recursos humanos e financeiros, dependendo da quantidade de informações disponíveis e da qualidade do resultado que se deseja chegar. O cálculo da probabilidade do acidente deve ser feito sempre quando o número a ser obtido é relevante para o projeto, ou para efeitos de comparação (Filgueiras, 1999), uma vez que, no domínio da confiabilidade humana, os valores probabilidades de falha são objetos de discussão, devido ao alto grau de simplificação do comportamento humano dos métodos utilizados para cálculo.

Também vale ressaltar que aplicação do modelo a acidentes já ocorridos possui pouca utilidade. (Lundberg et al, 2009) entende que os relatórios de acidentes, da indústria em geral, seja ferroviária, nuclear ou naval, têm a tendência de apontar as causas de acordo com a metodologia e modelo dos acidentes adotados, sendo que “o que se descobre é o que se procura”. A grande motivação da análise de risco deve ser sempre a antecipação de erros. Desta maneira, o modelo proposto deve ser parte de uma análise mais ampla, sendo este apenas uma das ferramentas para a análise de risco em embarcações com sistemas de alarmes, dado um determinado cenário.

No caso da opção de se desejar ir adiante no cálculo das probabilidades de cada termo da Eq. (7), uma pesquisa adicional deve ser feita para a escolha do caminho mais adequado a seguir. O primeiro termo que trata da probabilidade do sistema de alarmes assumir determinado estado pode ser calculado através das técnicas de confiabilidade de sistemas. Já os termos que envolvem as interpretações e ações da tripulação devem ser calculados através das técnicas de confiabilidade humana, utilizando os modelos de Rasmussen, por exemplo.

Os efeitos dos fatores organizacionais, que não foram tratados quantitativamente neste trabalho, podem ser estimados segundo sugere Murphy e Paté-Cornell (1996), ou seja, tanto por consulta a especialistas ou por modelos analíticos. Em seu trabalho, Murphy apresenta quatro modelos distintos de influência da gerência de uma empresa nas ações humanas: o modelo racional e de utilidade esperada, o modelo de racionalidade limitada, o modelo baseado em regras e o modelo de execução. Estes modelos são genéricos e aplicáveis para qualquer situação. Definir um método de aplicação para situações de acidentes em embarcação ajudará nos cálculos do modelo aqui proposto. A utilização de um modelo ou outro pode inclusive depender da situação ser familiar ou inesperada para a tripulação, e no tempo disponível para a reação da tripulação.

7. CONCLUSÕES

A prevenção de acidentes marítimos, como o apresentado neste trabalho, requer tanto avanços e melhorias técnicas como organizacionais. O modelo proposto cumpre seu objetivo de ser o mais simples e de contemplar as variáveis importantes para a análise. Sua inovação está em contemplar como fator chave a interação homem-máquina, ou melhor, tripulação-display de alarmes. Claramente, como qualquer modelo de análise de risco, existem limitações. Neste caso, principalmente na simplificação dos modelos de comportamento humano e influência dos fatores organizacionais. Todavia, qualquer método, que descarte estes fatores, oferecerá uma precisão irreal ao analista.

O método não deve ser encarado como um modelo genérico para o cálculo da probabilidade de um acidente acontecer. Mas sim, dá sua contribuição na resposta de perguntas muito mais relevantes a projetistas e tomadores de decisão, como: “Qual a contribuição do sistema de alarmes na redução do risco?”, ou “Como melhorar o projeto de um sistema de alarmes considerando os fatores humanos e organizacionais?”.

Por fim, é deveras importante a utilização destas ferramentas análise de forma pró-ativa, buscando evitar novos acidentes, antecipando-se a falhas futuras, não previstas no projeto de embarcação ou não contempladas nas diretrizes de segurança do navio. Analisar acidentes depois que eles ocorrem, apenas para buscar culpados é, certamente, um enorme risco.

8. REFERÊNCIAS

- ABS, 2000, “Guidance Notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries”, American Bureau of Shipping (ABS).
- ALERT!, 2003, The International Maritime Human Element Bulletin, Issue no. 1, p. 3, United Kingdom.
- Aven, T., Hauge, S., Sklet, S., Vinnem, J. E., 2006, “Methodology for Incorporating Human and Organizational Factors in Risk Analysis for Offshore Installations”, International Journal of Materials & Structural Reliability Vol.4, No.1, March 2006, 1-14.
- Cloarec, J-M, 1994, “How Dependability Studies Contribute to Controlling Risk”, IEEE, Volume 1, Issue , 13-16 Sep 1994 Page(s):I/560 - I/564 vol.1.
- Filgueiras, L. V. L., 1999, “APIS: Método para Desenvolvimento de Interfaces Homem-Computador em Sistemas de Segurança Visando a Confiabilidade Humana”, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brazil.
- Galán, S. F., Mosleh, A., Izquierdo, J. M., 2007, “Incorporating organizational factors into probabilistic safety assessment of nuclear power plants through canonical probabilistic models”, Reliability and Engineering System Safety 92, 1131-1138.
- Hollnagel, E., 1993, “Human Reliability Analysis: Context and Control”, Academic Press Limited.
- Hollnagel, E., 1998, “Cognitive Reliability and Error Analysis Method”, Elsevier, 1st Ed, New York, USA.
- IMO, 2002, “Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process”, International Maritime Organization, MSC/Circ. 1023, England.
- Lakats, L. M. and Paté-Cornell, M. E., 2004, “Organizational Warning Systems: A Probabilistic Approach to Optimal Design”, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 51, no. 2.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C., Hollnagel, E., 2009, “What-You-Look-For-Is-What-You-Find - The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals”, Safety Science Journal, Elsevier, issue 47, p 1297-1311
- MAIB, 2007, “Report on the investigation of the machinery breakdown and subsequent fire onboard Maersk Doha in Chesapeake Bay, off Norfolk, Virginia, USA”, Marine Accident Investigation Branch, Report No. 15/2007, UK.
- Maturama, M. C. and Martins, M. R., 2008, “Análise da contribuição da falha humana em acidentes de colisão”, 22^o Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, Rio de Janeiro, Brasil.
- Melo, P. F. F. F., 2007, “Análise da Confiabilidade Humana (ACH) na AQR”, 11^o Congresso de Atuação Responsável, São Paulo, Brazil.
- Murphy, D. M. and Paté-Cornell, M. E., 1996, “The SAM Framework: Modeling Effects of Management Factors on Human Behavior in Risk Analysis”, Risk Analysis Journal, Vol. 16, No. 4.
- Paté-Cornell, M. E., 1993, “Risk Analysis and Risk Management for Offshore Platforms: Lessons from the Piper Alpha Accident”, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (ASME), vol. 115/179.
- Paté-Cornell, M. E., Edward, W., Miles, R. and von Winterfeldt, D., 2006, "The engineering risk analysis method and some applications," Advances in Decision Analysis, Cambridge University Press, New York, USA.
- Sheridan, T. B. 2002, “Humans and Automation: System Design and Research Issues”, John Willey & Sons Inc, USA
- Squire, D., 2005, “The human element in shipping”, Alert! – The International Maritime Human Element Bulletin.
- Swain, A. D. and Guttman, H. E., 1983, “Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications”, US Nuclear Regulatory Commission. Washington, USA.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

RISK ANALYSIS MODEL FOR SHIPS WITH ALARM SYSTEMS

Luiz Henrique Maiorino Barbarini, luiz.barbarini@poli.usp.br¹
Bernardo Luis Rodrigues de Andrade, bernardo.andrade@poli.usp.br¹

¹ Polytechnic School of University of São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3 n° 380 - CEP - 05508-970 - São Paulo – SP, Brazil

Abstract: *In complex systems, such as vessels and commercial ships, the ability to understand and influence human behavior is essential to ensure safety and reliability. According to statistics of classification societies, humans are largely responsible for accidents on board and, therefore, are considered a major component of the dependability of vessels. This paper presents a proposal on how to address the human and organizational factors in risk analysis for ships, focusing on the scenarios where the crew interacts with the alarm and monitoring system. The alarm system is a mandatory component of certified vessels. It has the role of detecting any abnormal situation in the machinery room and bilges, and, in the shortest time possible, depicting to the crew and the bridge the monitoring point that has failed. Its main function is related to the resilience of the ship, avoiding that a failure propagates to an accident with losses or undesirable consequences. The risk analysis model, which is inspired in accident reports, has as its starting point the bayesian probabilistic model of the accident, applying the concepts of the System Action Management (SAM) model to capture the influence of the human behavior and organizational factors, an issue of major relevance in the contemporary literature. The human element is incorporated into the risk analysis through techniques of human reliability analysis, which place man as another component of the system, or the "liveware" interacting with software and hardware. From this point of view, a socio-technical approach is applied, considering that a ship is composed of not only its structure and machinery, but also of the entire crew. In order to illustrate the steps and assumptions to be done by an analyst applying the proposed model, the accident of the vessel Maersk Doha occurred in October of 2006 in the United States, is analyzed. The report on the investigation of this accident is public and accessible via the Internet site of the Marine Accident Investigation Branch – MAIB.*

Keywords: *risk analysis; ships, reliability, accidents, human factor*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.