

Fundamentos da Análise CAST (Causal Analysis Using Systems Theory) Aplicados ao Naufrágio do Titanic

Lucas Ribeiro de Almeida ^{1 2}
Danilo Taverna Pereira Martins de Abreu ²
Joaquim Rocha dos Santos ²
Marcelo Ramos Martins ²

1. INTRODUÇÃO

O entendimento mais profundo de como os acidentes acontecem pode gerar conhecimento de grande utilidade na prevenção de novos acidentes. Nem sempre as análises tradicionais têm gerado esse conhecimento, principalmente em casos que envolvem sistemas com forte acoplamento entre seus componentes ou complexa interação entre os operadores e os sistemas a serem controlados. Com o propósito de aperfeiçoar e contribuir com as técnicas existentes, sem a intenção de substituí-las, criou-se o STAMP (*System-Theoretic Accident Model and Process*), método de análise que usa a teoria de sistemas e aborda a questão da segurança como um problema de controle, onde o sistema é decomposto em várias malhas. Nesse método, os acidentes acontecem quando uma ou várias dessas malhas não existem ou falham em cumprir sua função.

O propósito deste trabalho é apresentar o CAST (*Causal Analysis based on System Theory*), uma das ferramentas do STAMP, usada para a análise estruturada de acidentes partindo de uma perspectiva sistêmica. Para atingir esse propósito o artigo se desenvolve em quatro partes principais: a apresentação dos componentes básicos de uma análise CAST; breve apresentação dos resultados de sua aplicação a um exemplo de acidente – o naufrágio do “RMS Titanic”; comparação com uma análise usando Árvore de Falhas e Diagrama de Blocos; e a comparação das falhas apontadas pelo CAST com as correções propostas pela convenção da SOLAS (Safety Of Life At Sea) de 1914.

2. CAST

Como ferramenta do STAMP, o CAST é uma técnica estruturada para estudar a causalidade de acidentes a partir da perspectiva de sistemas [1]. É um método de análise e não de investigação. Mas executá-la pode ajudar a definir quais questões devem ser respondidas e quais informações devem ser coletadas durante a investigação para chegar à uma conclusão do porquê a perda ocorreu.

No STAMP a causa de um acidente é a falha da estrutura de controle em prevenir a perda, então o objetivo da análise CAST é entender por que a estrutura de controle não garantiu o cumprimento dos requisitos de segurança. O foco da análise são as interações entre os componentes do sistema na estrutura de controle, representadas pelas setas na Figura 1.

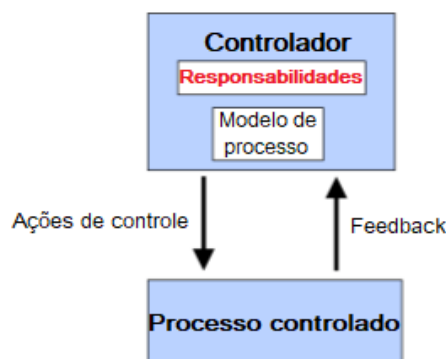


Figura 1 – Bloco básico de uma estrutura de controle. Adaptado de LEVESON, Nancy [1].

O CAST possui cinco etapas que serão detalhadas a seguir: a) coleta de informações; b) modelagem da estrutura de controle de segurança; c) escrutínio dos componentes da estrutura de controle; d) identificação das falhas na estrutura de controle; e e) recomendações de alteração na estrutura de controle.

¹ Endereço eletrônico para correspondência: lucas.ribeiro.almeida@usp.br

² Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos (LabRisco) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

2.1. Coleta de informações

Na primeira etapa do CAST estuda-se o acidente: fatores contextuais, eventos, consequências, entre outros. Para isso, cumprem-se as seguintes atividades: a) identificar os limites do sistema a ser estudado e as perdas que ocorreram no acidente; b) identificar os perigos³ relacionados às perdas e os requisitos de segurança que devem ser atendidos no desenvolvimento e operação do sistema; c) listar os eventos que antecederam as perdas levantando questões sobre se ou por quê algo foi feito ou deixou de ser feito; e d) analisar as perdas listando os controles existentes, requisitos para a mitigação de perigos, falhas e controles faltantes ou inadequados e fatores contextuais da construção e atuação do sistema. Todas as atividades realizadas nesta etapa devem ser revisadas no desenvolver da análise, adicionando detalhes não considerados anteriormente.

2.2. Modelagem da estrutura de controle de segurança do sistema

Modela-se a estrutura de controle do sistema (veja Figura 1) identificando os tipos de controles existentes e suas responsabilidades com a segurança e prevenção/mitigação de perigos. O CAST considera a segurança como um problema de controle e não um problema de falhas isoladas de componentes. A causa sempre se relaciona com a inadequação ou inaptidão dos controles projetados para prevenir acidentes. Portanto, a modelagem é fundamental para prosseguir com a análise.

2.3. Escrutínio dos componentes da estrutura de controle

Nesta etapa são estudadas as decisões realizadas que podem ter contribuído para levar o sistema à um estado de perigo. Primeiramente, essas decisões são identificadas e, em seguida, estuda-se o motivo de tais decisões terem sido consideradas seguras no momento em que foram tomadas. Este procedimento é realizado a partir do nível de controle mais baixo e segue até o mais alto. No CAST, ao invés de se estudar as falhas individuais de cada nível de controle, estuda-se o motivo de terem se comportado de tal forma.

2.4. Identificação de falhas na estrutura de controle

Até esta etapa, o processo de análise descrito focou nos componentes da estrutura de controle individualmente. Para completar a análise é necessário identificar as falhas na interação entre os níveis. Na quarta etapa, a estrutura de controle é estudada como um todo: Fatores que afetam o comportamento e interações de todos os componentes trabalhando em conjunto dentro da estrutura de controle para prevenir que o sistema transite para um estado de perigo.

2.5. Recomendações de alteração na estrutura de controle

Nessa última etapa, criam-se recomendações de alterações na estrutura de controle visando prevenir perdas similares no futuro. Procura-se eliminar os perigos observados no sistema, ou mitigá-los caso não seja possível eliminá-los completamente. Como o objetivo do CAST não é encontrar uma causa raiz, é comum que sejam geradas muitas recomendações ao finalizar a análise.

3. APLICAÇÃO DO CAST AO ACIDENTE DO RMS TITANIC

O RMS Titanic, da White Star Line, foi considerado o maior e mais luxuoso navio de seu tempo. Lançado em 31 de maio de 1911, era uma embarcação de 46.328 toneladas, com comprimento de 269 metros, boca de 28 metros, e capaz de atingir 23 nós. Construída para abrigar 2.599 passageiros, com acomodações adicionais para oficiais e tripulação totalizando 903 pessoas.

No dia 14 de abril de 1912, o Titanic colidiu com um iceberg por volta das 22 horas (Horário de Nova Iorque), causando uma falha catastrófica no casco. O iceberg rasgou o casco do navio danificando 5 dos 16 compartimentos estanques, e, depois de 2 horas e 40 minutos, o navio afundou. A bordo estavam 1.324 passageiros e 899 tripulantes, dos quais 832 passageiros e 625 tripulantes morreram [3, 4, 9].

Para iniciar uma análise CAST é fundamental definir os limites do sistema a ser estudado. Para o acidente em questão, o sistema considerado é composto por: a) o navio em si; b) a tripulação e os passageiros; c) a companhia White Star Line; e d) o governo. Então, partindo dos relatórios e relatos de acontecimentos que precederam o acidente presentes nas referências [3 – 9], é possível modelar a estrutura de controle do sistema apresentada na Figura 23. E na mesma figura estão indicadas as falhas identificadas nas interações entre níveis de controle (setas vermelhas tracejadas).

³ Perigo ou vulnerabilidade é um estado do sistema ou um conjunto de condições que, juntamente com condições ambientais específicas, pode levar a um acidente ou perdas [1].

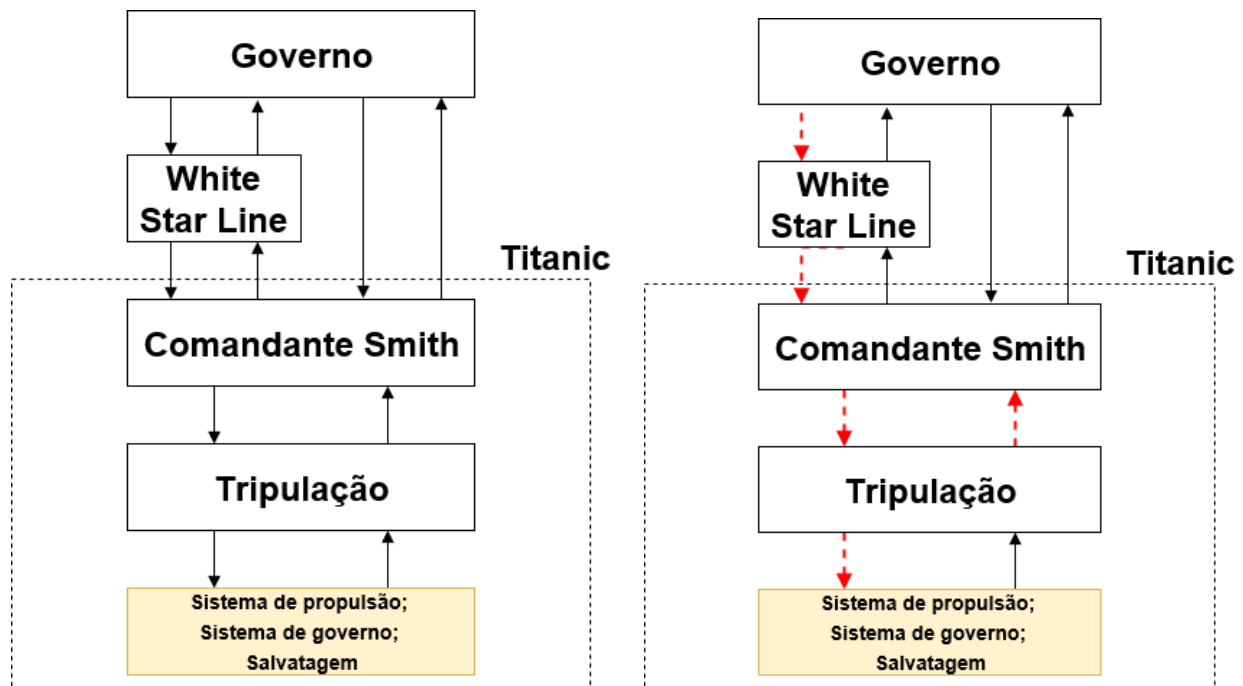


Figura 2 - Estrutura de controle do Titanic (à direita) e as Interações com falhas identificadas (à esquerda)

A seguir estão descritas as contribuições que levaram o sistema para um estado de perigo:

Ao ler as referências apresentadas [3 – 9], é possível concluir que existia de uma cultura de negação de perigos na condução do sistema do Titanic. Por exemplo, existem relatos sobre a falta de binóculos para a tripulação durante a viagem e encobrimento de um incêndio que poderia ter fragilizado o casco. E mesmo em posse destas informações, decidiu-se seguir a viagem normalmente, como planejado anteriormente. Também se acreditava que mesmo com a presença de icebergs, se o tempo estivesse limpo não havia necessidade de se reduzir a velocidade da viagem.

A tripulação havia tido pouca experiência prática em conduzir o Titanic, mensagens de alerta não chegarem ao comandante e a falta de preparo para guiar uma evacuação eficiente explicitam isto. Apenas a pequena navegação entre portos da Inglaterra provavelmente não foi suficiente para que todos os tripulantes se familiarizassem com o comportamento do navio no mar.

O comandante do Titanic, mesmo tendo planejado um desvio para evitar icebergs, recebeu alertas sobre presença de icebergs na proximidade. Mesmo assim decidiu não reduzir a velocidade de que o navio viajava, o que favoreceria a segurança. Além disso não foi contra o prosseguimento da viagem considerando a falta de binóculos e o incêndio que poderia ter afetado a integridade da estrutura.

A companhia, apesar de atender os requisitos da época, falhou ao não fornecer botes suficientes para acomodar todos que estavam a bordo do Titanic. Outros aspectos da construção do navio também poderiam ter tornado o navio mais seguro como anteparas estanques até o convés principal e sistemas de detecção e extinção de incêndios.

Sobre o papel do governo, antes do acidente já existiam algumas normas para garantir segurança no mar, mas o fato de ter ocorrido uma grande perda de vida humana mostra que estas normas não eram suficientes para garantir seu propósito.

4. COMPARAÇÃO DO CAST COM A FTA

Ashraf Labib [13] realizou uma análise do acidente do Titanic utilizando a Árvore de Falhas (FTA) (Figura 34) e Diagrama de blocos (RBD). Ele aponta três fatores principais que levaram ao acidente: Evacuação de passageiros insuficiente, colisão com o iceberg e a estrutura colapsada. Sendo o primeiro o fator mais vulnerável. Finalizada a análise são apresentadas as recomendações para evitar falhas similares, nestas um ponto significativo é a aderência humana a procedimentos de segurança, que inclui a concordância de decisões tomadas e treinamento para a orientação de passageiros. Outro ponto importante apontado é o uso de tecnologias e equipamentos para garantir a segurança da viagem continuamente. E com relação ao

projeto, é destacada a necessidade de reprojeter os navios de modo que continuem flutuando mesmo após grandes impactos.

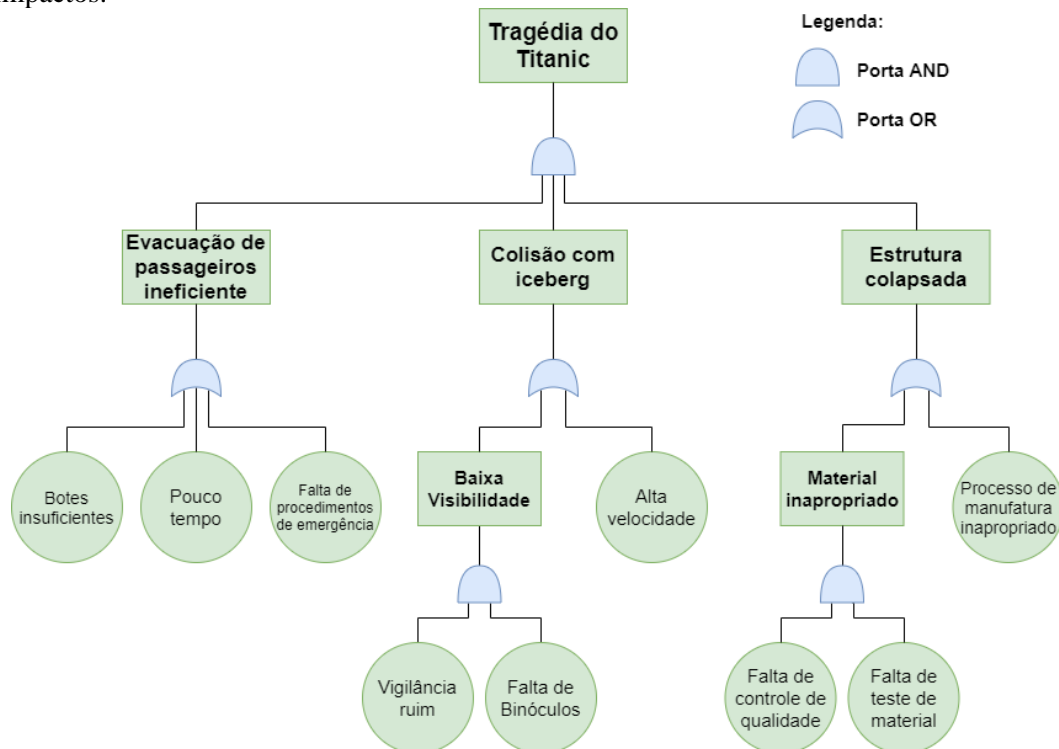


Figura 3 – Árvore de Falhas do Naufrágio do Titanic. Adaptado de LABIB, Ashraf [14].

De acordo com Leveson [15], este modelo (FTA) explica os acidentes em termos de diversos eventos subsequentes como uma cadeia ao longo do tempo. Estes eventos considerados, usualmente envolvem algum tipo de falha de componente ou erro humano. As cadeias de eventos desenvolvidas geralmente se concentram em eventos próximos à perda, mas podem existir causas mais distantes que não são consideradas. Um evento simplesmente desencadeia a perda, mas evitar um evento não é suficiente para prevenir a perda, pois outros eventos podem cumprir o mesmo papel. O CAST estuda as interações entre os níveis de controle, identificando não os eventos, mas o transitar do sistema para o estado inseguro relacionado com a perda. Desse modo a análise pode chegar a decisões realizadas anos antes do acidente com maior facilidade.

Outro fator limitante das ferramentas de análise mais tradicionais é o chamado *Hindsight Bias*[1], que diz respeito à facilidade de entender quais foram os erros que levaram ao acidente depois que este aconteceu. Isso pode levar a uma simplificação exagerada da conclusão sobre as causas da perda. Uma das formas de se evitar este problema é trocar a investigação sobre “o que foi feito errado” por uma análise de “porquê foi feito desta forma”. Esta alteração está presente no CAST e é um dos motivos para, ao final das análises, o CAST possuir mais recomendações de alteração que a FTA e RBD.

Ao comparar as técnicas de análise apresentadas, fica claro que a análise utilizando o CAST aborda o acidente de forma muito mais ampla, pois estuda aspectos que sequer são citados em uma análise utilizando a Árvore de Falhas e Diagrama de Blocos, por exemplo, a ineficiência das normas para garantir a segurança no mar. Porém a análise de Labib deixa exposto, de uma forma mais clara, como o acidente aconteceu indicando a sequência de eventos que resultaram no mesmo. Enquanto a análise CAST focou em identificar os pontos que levam o sistema para um estado não seguro que, combinado com condições ambientais específicas, resultou no acidente.

5. SOLAS

Em 1914 foi criada a primeira versão da SOLAS (*Safety Of Life At Sea*) [12, 13], convenção visando a salvaguarda da vida humana no mar. Nesta convenção estão presentes diversas regulamentações que trabalham na correção das falhas na estrutura de controle apresentada na figura 4. Ou seja, as contribuições para o naufrágio encontradas nesta análise CAST realizada também foram consideradas em 1914 para evitar novos desastres, o que mostra sua relevância. A seguir, na figura 5, estão apresentadas os artigos da SOLAS que se relacionam com cada uma das falhas nas interações da estrutura de controle.

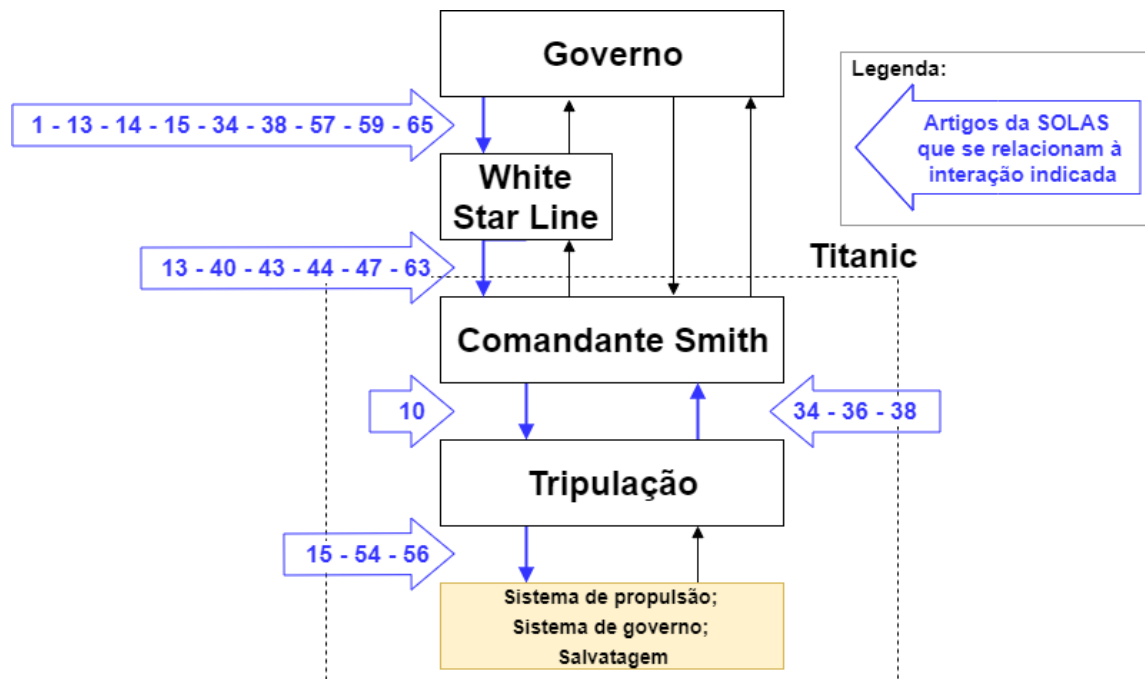


Figura 4 – Estrutura de controle com correções da SOLAS

6. CONCLUSÃO

Apesar do naufrágio do RMS Titanic, todos os componentes do navio atuaram conforme projetados. Apesar da falha de instalar menos botes que o necessário, o Titanic era um navio robusto, com uma grande reserva de flutuabilidade, mesmo com anteparas não estanques até o convés principal. As contribuições que levaram o sistema para um estado de perigo foram resultadas decisões humanas. E o CAST evidencia não só estas decisões como também os fatores que contribuíram para que fossem tomadas, tornando-o uma técnica eficiente para a análise do acidente estudado.

O CAST tem potencial de ser uma boa ferramenta para a análise de acidentes com o objetivo de prevenir perdas similares no futuro. Abordar o mesmo problema a partir de princípios distintos pode trazer conclusões relevantes que antes não seriam consideradas. Ao analisar o acidente da perspectiva da dinâmica de sistemas, o CAST pode expor, com facilidade, fatores diferentes que contribuíram para com a vulnerabilidade do sistema. Um exemplo vindo do acidente analisado foi a ineficiência das normas para garantir a segurança no mar no naufrágio do RMS Titanic e a relevância deste fator pode ser observada por existirem, na SOLAS (convenção que visa a segurança da vida humana no mar), artigos relacionados a este problema. Já a análise utilizando a FTA tem dificuldades para abordar tais fatores, como exposto na comparação entre as duas técnicas. Porém os resultados da técnica mais tradicional continuam válidos e mais eficientes em casos onde se deseja investigar a sequência de eventos e culminaram no acidente.

Assim o CAST mostra que pode trazer bons resultados complementando, e não substituindo, as análises utilizando Árvore de Falhas e Diagrama de Blocos. Enquanto as técnicas mais tradicionais descrevem como o acidente aconteceu de forma mais específica, o CAST traz uma visão mais ampla, estudando interações entre níveis de controle que podem levar o sistema para um estado mais perigoso, podendo trazer conclusões diferentes e relevantes mais facilmente. Desse modo a análise de acidentes, com o intuito de prevenir perdas similares, será mais completa e eficiente.

7. REFERÊNCIAS

- [1] LEVESON, Nancy. *CAST Handbook: How to Learn More from Incidents and Accidents*. (2018).
- [2] LEVESON, Nancy. “A systems approach to risk management through leading safety indicators”. *Reliability Engineering and System Safety* 136, p.17. (2015).
- [3] United States, Congress, Senate, Committee on Commerce. “ “Titanic” Disaster: Report of the Committee on Commerce, United States Senate, Pursuant to S. Res. 283, Directing the Committee on Commerce to Investigate the Causes Leading to the Wreck of the White Star Liner “Titanic,” Together with Speeches Thereon by Senator William Alden Smith of Michigan and Senator Isidor Rayner of Maryland ”. Washington. (1912).
- [4] United States, Congress, Senate, Committee on Commerce. “ Loss of the Steamship “Titanic”: Report of a Formal Investigation into the Circumstances Attending the Foundering on April 15, 1912, of the British Steamship “Titanic,” of Liverpool, after Striking Ice in or near Latitude 41° 46’ N., Longitude 50° 14’ W., North Atlantic Ocean, as Conducted by the British Government ”. Washington. (1912).
- [5] The Telegraph. “Key that could have saved the Titanic”. (2007). Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/uknews/1561604/Key-that-could-have-saved-the-Titanic.html>>. Acesso em: 25 jul 2019.
- [6] The Telegraph. “Huge fire ripped through Titanic before it struck iceberg, fresh evidence suggests”. (2016). Disponível em <<https://www.telegraph.co.uk/news/2016/12/31/huge-fire-ripped-titanic-struck-iceberg-fresh-evidence-suggests/>>. Acesso em: 25 jul 2019.
- [7] Encyclopedia Titanica. “The forgotten drills aboard Titanic”. (1996). Disponível em: <<https://www.encyclopedia-titanica.org/titanic/>>. Acesso em: 20 mai 2019.
- [8] Encyclopedia Titanica. “RMS Titanic: An introduction to the greatest shipwreck drama of all time. The key Titanic facts and how to discover more”. (1996). Disponível em: <<https://www.encyclopedia-titanica.org/titanic/>>. Acesso em: 20 mai 2019.
- [9] BEESLEY, Lawrence. *THE LOSS OF THE S.S. TITANIC: Its story and its lessons*. Gonville and Caius College: Proofreading Team. (2004).
- [10] Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas. *NORMAN-13/DPC: Normas da autoridade marítima para aquaviários*. (2003).
- [11] BOISSON, Philippe. “The History of Safety at Sea”. (1999). Disponível em: <<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/HistoryofSafetyatSea/Documents/P.%20Boisson%20History%20of%20safet%20at%20sea%20extract.htm#top>>. Acesso em: 22 ago 2019.
- [12] IMO. “International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)”. (1974). Disponível em: <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>. Acesso em: 19 jul 2019.
- [13] International Conference On Safety Of Life At Sea. *Text of the Convention for the Safety Of Life At Sea*. Londres. (1914).
- [14] LABIB, Ashraf. “Not just rearranging the deckchairs on the Titanic: Learning from failures through Risk and Reliability Analysis”. *Safety Science* 51, p.397. (2013).
- [15] LEVESON, Nancy. “A New Accident Model for Engineering Safer Systems”. *Safety Science* 42, p.237. (2004).