

**UMA PERSPECTIVA SOBRE INVESTIGAÇÕES DE ACIDENTES NA INDÚSTRIA  
DE ÓLEO E GÁS  
A PERSPECTIVE ON ACCIDENT INVESTIGATIONS IN THE OIL AND GAS  
INDUSTRY**

Natália Jaeger Basso Werle<sup>1</sup>;

Francisco Rodrigues Schuster<sup>2</sup>;

Eder Henriqson<sup>3</sup>;

Rafael Trancoso<sup>4</sup>

*Abstract: in this study, we show a big picture of accident investigations in the oil and gas industry through the analysis sixteen accident investigation reports. Accidents were represented using AcciMap method, where each of the contributing factors identified was plotted in its socio-technical level related to the system. Afterwards, the contributing factors were classified into generic categories allowing the abstraction of data and the analysis of the frequency distribution between the different levels. Of the 589 contributing factors identified, 55% appear at operational levels, 37% at company levels and 8% at regulatory and government levels. Our results indicate that the independence of the investigation boards and the methods adopted are determinants to the systemic approach level and learning achievements in any investigation.*

*Keywords: accident investigation; AcciMap; Oil and Gas.*

**Resumo:** este estudo apresenta uma perspectiva sobre investigações de acidentes na indústria de óleo e gás por meio da análise de dezesseis relatórios de investigação de acidentes. Os acidentes foram representados utilizando método AcciMap, onde cada um dos fatores contribuintes identificados foi traçado em seu nível sociotécnico relacionado ao sistema. Após, os fatores contribuintes foram classificados em categorias genéricas permitindo a abstração dos dados e a análise da distribuição de frequência entre os diferentes níveis. Dos 589 fatores contribuintes identificados, 55% aparecem nos níveis operacionais, 37% nos níveis de companhia e 8% nos níveis de regulação e governo. Os resultados indicam que a independência dos comitês de investigação e os métodos adotados são determinantes para o nível de abordagem sistêmica e de aprendizagem em qualquer investigação.

*Palavras-chave:* investigação de acidentes; AcciMap; Óleo e Gás.

## **1 INTRODUÇÃO**

---

<sup>1</sup> Escola de Negócios - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) Porto Alegre – Brasil. ORCID: <https://orcid.org/000-0002-8697-3545>. e-mail: [natalia.basso@pucrs.br](mailto:natalia.basso@pucrs.br)

<sup>2</sup> Escola de Negócios - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) Porto Alegre – Brasil. ORCID: <https://orcid.org/000-0002-2636-2064>. e-mail: [francisco.rodrigues@pucrs.br](mailto:francisco.rodrigues@pucrs.br)

<sup>3</sup> Escola de Negócios - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) Porto Alegre – Brasil. ORCID: <https://orcid.org/000-0003-1081-6583>. e-mail: [ehenriqson@pucrs.br](mailto:ehenriqson@pucrs.br)

<sup>4</sup> Escola de Negócios - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) Porto Alegre – Brasil. ORCID: <https://orcid.org/000-0003-0066-685X>. e-mail: [rafael.trancoso@pucrs.br](mailto:rafael.trancoso@pucrs.br)

Analisar um acidente está associado a uma antiga premissa de que o aprendizado ocorre a partir dos erros. No paradigma clássico da segurança as análises de acidentes são conduzidas de modo a atribuir responsabilidade e culpa pelo ocorrido às vítimas do evento. Na visão tradicional que trata o acidente como um fenômeno simples, é apresentada uma estrutura causal linear, ou seja, um acidente é o resultado do descumprimento de normas de segurança e prescrição com origem em aspectos individuais. Já a abordagem atual procura enxergar o acidente de forma organizacional, buscando as origens de comportamento no contexto do trabalho em oposição a ideia de erro humano.

Para analisar acidentes em sistemas sociotécnicos complexos o método AcciMap vem sendo amplamente empregado, pois permite organizar os fatores contribuintes em um diagrama causal lógico que promove uma visão sistêmica das causas do acidente (Rasmussen, 1997; Salmon et al., 2020). Essa abordagem vai além das causas imediatas do evento ao revelar os fatores de nível superior que contribuíram para o resultado e não olhar apenas para as ações realizadas em nível operacional (Vicente & Christoffersen, 2006)

Este trabalho tem como objetivo mostrar uma perspectiva sobre investigações de acidentes na indústria de óleo e gás. Para isso, foi realizado uma seleção de dezesseis relatórios de investigação de acidentes, onde os fatores contribuintes identificados foram representados e categorizados por meio de AcciMaps. A categorização desses fatores contribuintes permitiu a realização de análises quantitativas da frequência de ocorrência desses fatores em cada nível sociotécnico do sistema. Por fim, algumas implicações são discutidas que emergiram das análises dos relatórios, principalmente no que tange a forma de realizar uma investigação de acidente e os métodos empregados nesses eventos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES**

Investigação de acidente é um processo de análise retrospectiva que tem como finalidade identificar e compreender as causas ou fatores que geraram resultados inesperados ou indesejados para, assim, fundamentar mudanças no sistema, de forma a aumentar a segurança e prevenir futuras ocorrências (Grant, Salmon, Stevens, Goode & Read, 2018; Roed-Larsen & Stoop, 2012). O processo de uma investigação geralmente é orientado por um método, o qual apresenta um conjunto de procedimentos que estruturam os passos de uma

investigação. Está subjacente a cada método de investigação um modelo de acidente. O modelo de acidente explica genericamente como acidentes ocorrem baseado na identificação de padrões comuns presentes em um conjunto de acidentes. Porém, os padrões comuns definem e limitam os elementos relevantes ao modelo que, desta forma, passam a representar abstrações da totalidade de um fenômeno (Leveson, 2011). Portanto, o modelo atrelado ao método de investigação adotado vai direcionar o processo de investigação a olhar para certos aspectos e ignorar outros (Lundberg, Rollenhagen & Hollnagel, 2009).

Um dos primeiros modelos de acidentes foi proposto por Heinrich (1941), chamado de modelo Dominó. O modelo descreve um acidente como uma cadeia simples de causa e efeito que se propaga linearmente. Apesar do objeto de análise ser o operador humano, a lógica sequencial do modelo Dominó serviu inicialmente de base para fundamentar métodos voltados para falhas tecnológicas, predominante nos acidentes do período industrial em que o modelo foi concebido (Stoop & Dekker, 2012). Métodos como failure modes and effects analysis, fault tree analysis, hazard and operability analysis estão todos fundamentados na perspectiva sequencial com foco em causas tecnológicas (Hollnagel, 2004).

Heinrich (1941), entretanto, observou que quando acidentes causados puramente por falhas tecnológicas diminuía, acidentes causados por “*man failure*” se tornavam predominantes. Assim, o objeto de análise das investigações começou a migrar para o operador humano, representando o elo fraco do sistema, propenso a falhar e, portanto, causadores de acidentes (Woods, Johannesen, Cook & Sarter, 1994). Os métodos sequenciais existentes foram ampliados para considerar erros humanos da mesma forma que falhas tecnológicas, dando origem ao root cause analysis e event tree analysis (Yousefi, Hernandez, & Peña, 2018).

Inspirados em modelos epidemiológicos, os modelos de acidentes posteriores passaram a reconhecer fatores indiretos ou distantes temporalmente e espacialmente do evento, como desvios no desempenho, condições locais de trabalho, barreiras e condições latentes (Guldenmund & Li, 2017; Yousefi et al., 2018). Destes, o modelo do Queijo Suíço de Reason é o mais conhecido. O modelo sugere que a progressão de deficiências organizacionais de longo prazo (i.e., condições latentes) podem ser disparadas por falhas ativas na linha de frente. As falhas ativas são influenciadas pelas condições locais de trabalho e a natureza da tarefa e representam o gatilho do acidente quando não prevenidas por barreiras do sistema. Vale mencionar que apesar do erro humano ser empregado para se referir as falhas ativas, o termo passou a representar um entendimento de consequências, ao invés de causa como atribuído nos modelos sequenciais (Reason, 1997). Diversos métodos de

investigação estão fundamentados nos princípios do modelo do queijo suíço, como: human factors analysis and classification system (HFACS), TRIPOD Delta e desdobramentos desenvolvidos pela ATSB e EUROCONTROL (Underwood. & Waterson, 2013).

Novos modelos de acidentes baseados em teoria de sistemas e teoria de controle passaram a observar as características de desempenho no nível do sistema como um todo. Essas teorias assumem que as propriedades dos sistemas apenas podem ser tratadas adequadamente em sua completude, sem a decomposição estrutural das partes, para representar a natureza dinâmica das interações e a não linearidade dos efeitos. As variações no desempenho ocorrem devido aos constrangimentos, como limitações de tempo, recursos, informações, etc., exigindo ajustes aproximados ao invés de precisos. Na maior parte do tempo, as variações de desempenho permitem ao sistema o funcionamento contínuo, eficiente e bem sucedido. Entretanto, essas mesmas variações de desempenho, quando associadas de forma não prevista, podem gerar os acidentes. Dentre os modelos/ métodos baseados em teoria de sistemas e teoria de controle estão: Systems Theoretic Accident Model/Method and Processes (STAMP) (Leveson, 2004), Functional Resonance Accident Model/Method (FRAM) (Hollnagel, 2012) e AcciMap method (Rasmussen, 1997).

Investigações de acidentes oferecem espaço para diferentes narrativas ou versões sobre os eventos de forma que beneficie um grupo de interessados e, assim, possa minimizar a responsabilização desse grupo (Gephart, 1984). Esse possível direcionamento da investigação por algum dos atores envolvidos é uma barreira para aprendizagem organizacional (Pidgeon & O’leary, 2000) e, superar essa barreira é a principal finalidade de uma investigação conduzida de forma independente. Investigações independentes não estão atreladas necessariamente a modelos/ métodos específicos ou limitadas a um escopo de investigação, mas são baseadas em *fact-findings* (Stoop & Roed-Larsen, 2009). Outra característica central é que investigações independentes estabeleceram oposição a judicialização das investigações, bem como a possibilidade de responsabilização de indivíduos (Roed-Larsen & Stoop, 2012).

## 2.2 PERSPECTIVA DO RASMUSSEN

Para Rasmussen (1997, 1985), a modelagem de sistemas fundamentadas na decomposição estrutural das partes requer uma migração para modelagens baseadas na abstração funcional em níveis. Em vista disso, Rasmussen propôs um modelo hierárquico de sistemas sociotécnicos, o qual está estruturado na hierarquia de seis níveis: governo, agência reguladora, companhia, gestão técnica e local, pessoal e trabalho. A integração vertical entre

as interações desempenha papel fundamental sobre a segurança do sistema sociotécnico, pois, caso as instruções vindas dos níveis superiores não forem seguidas nos níveis inferiores; ou as informações dos sistemas não forem transmitidas aos níveis superiores, o entendimento, mesmo que aproximado, da estrutura relacional (das ações e decisões) pode ser perdido. Nesse sentido, segurança no sistema sociotécnico não depende somente das atividades desempenhadas pelos trabalhadores de linha de frente que interagem diretamente com processos perigosos, mas também das atividades desempenhadas em cada nível (i.e., segurança como uma propriedade emergente).

Alinhado às premissas do modelo hierárquico de sistemas sociotécnicos, o AcciMap é um método que permite representar graficamente as ações e decisões presentes no contexto de um acidente. O método está baseado na dinâmica causal de eventos, porém, diferentemente de ferramentas tradicionais de nível único, o AcciMap emprega os níveis do sistema sociotécnico. Desta forma, o AcciMap representa um acidente na forma de diagrama multinível e multicausal. Vale destacar que o AcciMap não tem a finalidade de encontrar os responsáveis pelo acidente, mas suportar uma análise posterior dos atores mais sensíveis do sistema, principalmente nas condições normais de trabalho.

### **3 METODOLOGIA**

Esse estudo descritivo envolveu uma pesquisa documental de relatórios de investigação de acidentes da indústria de óleo e gás, ocorridos mundialmente nos últimos 40 anos. A análise dos relatórios de investigação teve como objetivo identificar os fatores contribuintes dos acidentes e empregar o método AcciMap para descrever os eventos através da conexão entre os fatores contribuintes identificados. Na sequência, os fatores contribuintes foram classificados num sistema de categorias, o que possibilitou realizar a abstração das informações de cada AcciMap para análise da distribuição de frequência dos fatores.

#### **3.1 SELEÇÃO DOS RELATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO**

Para a pesquisa documental foram empregadas duas principais fontes: os relatórios de investigação desenvolvidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), disponibilizados até o ano passado no próprio site da agência e; uma publicação da Joint Research Centre (2012) sobre segurança da indústria de óleo e gás. Neste último documento é apresentada uma lista de sete acidentes, porém, dois casos foram excluídos do estudo. O relatório de investigação

Adriatic IV não foi encontrado e o escopo do relatório Ixtoc I se detém apenas a analisar as consequências provocadas pelo blowout e não investiga os fatores que levaram a ocorrência do evento. Para substituir esses casos foram incluídos os acidentes de Glomar Java e Ocean Ranger devido a sua relevância para a indústria, completando assim, o corpus de dezesseis relatórios de investigação analisados.

### 3.2 ELABORAÇÃO DOS ACCIMAPS

O método AcciMap foi empregado para descrever os acidentes por meio da identificação e conexão entre os fatores contribuintes. Adota-se como fatores contribuintes qualquer tipo de atribuição identificada pela comissão de investigação como fator ou causas de um acidente, ex: erros, falhas, violação, cultura, problemas de gestão, normas etc. Após, os fatores contribuintes descritos nos dezesseis AcciMaps foram classificados por um sistema de categorias fundamentadas em Goode, Salmon, Taylor, Lenné e Finch (2017), mas adaptados ao contexto de óleo e gás (figura 1).

Figura 1 – Sistema de categorias dos fatores contribuintes

<b>Governo</b>	<b>Governo</b>		
		1.Política e legislação 2.Questões financeiras	
<b>Regulação</b>	<b>Regulação</b>		
		3.Auditoria 4.Responsabilidades 5.Comunicação 6.Padrões e normas 7.Concessões 8.Autorizações/ certificações 9.Controle/ supervisão 10.Qualificação e treinamento 11.Gestão de contingências	
	<b>Companhia</b>	<b>Processos organizacionais</b>	
			12.Cultura organizacional 13.Compliance 14.Comunicação 15.Metas conflitantes 16.Tomada de decisão 17.Procedimentos 18.Redução de custos 19.Controle/ supervisão 20.Planejamento das operações
			<b>Sistemas de gestão</b>
			21.Gestão da segurança 22.Gestão dos procedimentos 23.Gestão das contratadas 24.Gestão de pessoas 25.Gestão de mudança 26.Gestão de projetos 27.Gestão de contingências

<b>Prestadores de serviço</b>	<b>Processos organizacionais</b> 28.Cultura organizacional 29.Compliance 30.Comunicação 31.Metas conflitantes 32.Tomada de decisão 33.Procedimentos 34.Redução de custos 35.Controle/ supervisão 36.Planejamento das operações	<b>Sistemas de gestão</b> 37.Gestão da segurança 38.Gestão dos procedimentos 39.Gestão das contratadas 40.Gestão de pessoas 41.Gestão de mudança 42.Gestão de projetos 43.Gestão de contingências	
	<b>Operacional</b>	<b>Organização do trabalho</b> 44.Planejamento e preparação para atividade 45.Avaliação de riscos 46.Metas conflitantes 47.Recursos 48.Controle/ supervisão 49.Manutenção 50.Mudanças plano de trabalho	<b>Habilidades técnicas e não técnicas</b> 51.Trabalho multidisciplinar 52.Condições físicas/ mentais 53.Carga de trabalho 54.Treinamento 55.Experiência e competência 56.Coordenação 57.Tomada de decisão 58.Liderança 59.Comunicação 60.Resposta à emergência
<b>Equipamentos, ambiente</b>		<b>Condições de trabalho</b> 68.Infraestrutura 69.Ergonomia 70.EPI/EPC 71.Isolamento de perigos 72.Sistemas de alertas	<b>Equipamento</b> 73.Problema em componentes/ equipamentos 74.Problema em sistemas 75.Recursos 76.Integridade da unidade
			<b>Desempenho do trabalho</b> 61.Violações de procedimentos 62.Atos inseguros 63.Erros/ falhas 64.Adaptações 65.Compliance 66.Sensemaking  <b>67.Evento Crítico</b>
			<b>Ambiente</b> 77.Condições oceano-meteorológicas 78.Características do poço

Fonte: autores (2021)

A categorização dos fatores contribuintes permitiu abstrair as especificações de cada AcciMap, por exemplo, o fator contribuinte “ondas severas” foi categorizado como “condições oceano-meteorológicas”, possibilitando a realização da análise da distribuição de frequência dos fatores contribuintes. Vale destacar que cada AcciMap e categorização dos fatores do AcciMap foi elaborado individualmente por pelo menos dois pesquisadores. Após, os pesquisadores envolvidos se reuniam para validar o AcciMap em questão e sua respectiva categorização, estabelecendo assim, uma versão final de cada modelo. Esse é um dos critérios indicados por Flick (2009) para qualidade na pesquisa qualitativa.

#### 4 RESULTADOS

Os relatórios de investigação analisados foram sumarizados num quadro de metadados (quadro 1). O quadro apresenta a identificação do órgão responsável pela investigação, uma breve descrição do evento crítico e o escopo da investigação de forma quantitativa em relação a distribuição dos fatores contribuintes nos seis níveis sociotécnicos de cada AcciMap. Dentre os dezesseis relatórios analisados, nove acidentes ocorreram no Brasil e foram todos investigados pela ANP, enquanto os acidentes que ocorreram em outros países foram investigados por órgãos regionais de investigação independente (ex.: NTSB, NOU). Os

eventos críticos identificados foram baseados na “causa definitiva” do acidente conforme apontado no relatório de investigação. Entre as consequências estão severos danos ambientais e estruturais, naufrágio de unidades e diversas perdas humanas.

Quadro 1 – Quadro metadados com a caracterização dos acidentes

<b>Evento/ Ano</b>	<b>Órgão investigador</b>	<b>Evento crítico</b>	<b>Escopo da investigação</b>
Ekofisk – Bravo/ 1977	Norges offentlige utredninger (NOU), inv. públicas da Noruega	Blowout	TOTAL FATORES: 25. Gov.: 4%; Reg.: 20%; Cia: 16%; Prest. serviço: 0; Oper.: 48%; Equip.: 12%
Alexander L. Kielland/ 1980	Norges offentlige utredninger (NOU), inv. públicas da Noruega	Ruptura da coluna D	TOTAL FATORES: 31. Gov.: 3%; Reg.: 23%; Cia: 6%; Prest. serviço: 19%; Oper.: 19%; Equip.: 29%
Ocean Ranger/ 1982	National Transportation Safety Board (NTSB), Bureau of Acc. Inv. (EUA)	Inundação dos chain lockers e da parte superior do casco	TOTAL FATORES: 56. Gov.: 0; Reg.: 11%; Cia: 4%; Prest. serviço: 43%; Oper.: 14%; Equip.: 29%
Glomar Java/ 1983	Investigação conjunta da NTSB com a U.S. Coast Guard	Navio afundou com consequente perda de comunicação	TOTAL FATORES: 43. Gov.: 0; Reg: 5%; Cia: 21%; Prest. serviço: 23%; Oper.: 30%; Equip.: 21%
Piper Alpha/ 1988	Public Inquiry on the Piper Alpha Disaster – Cullen Report	Explosão após ruptura do riser de gás vindo da Tartan	TOTAL FATORES: 51. Gov.: 0; Reg.: 6%; Cia: 35%; Prest. serviço: 0; Oper.: 31%; Equip.: 27%
Plataforma P36/ 2001	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Ruptura de tanque e explosão na coluna boreste com alagamento	TOTAL FATORES: 31. Gov.: 0; Reg.: 0; Cia: 16%; Prest. serviço: 3%; Oper.: 35%; Equip.: 45%
Plataforma P34/ 2002	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Abertura de válvulas, após queda da geração principal de energia	TOTAL FATORES: 25. Gov.: 0; Reg: 0; Cia: 20%; Prest. serviço.: 8%; Oper: 24%; Equip: 48%
Campo Montara/ 2009	Montara Commission of Inquiry – Departamento de Ind., Energia e Recursos	Blowout	TOTAL FATORES: 43. Gov.: 2%; Reg.: 7%; Cia: 30%; Prest. serviço: 14%; Oper.: 28%; Equip.: 19%
Macondo - Deepwater Horizon/ 2010	National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling	Blowout	TOTAL FATORES: 66. Gov.: 6%; Reg.: 12%; Cia: 21%; Prest. serviço: 9%; Oper.: 30%; Equip.: 21%
Campo de Frade/ 2011 e 2012	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Blowout	TOTAL FATORES: 48. Gov.: 0; Reg.: 8%; Cia:40%; Prest. serviço: 2%; Oper.: 27%; Equip.: 23%

Sonda Alpha Star/ 2013	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Desprendimento e queda de cesta elevatória da torre de perfuração	TOTAL FATORES: 19. Gov.: 0; Reg.: 0; Cia: 0; Prest. serviço: 32%; Oper.: 63%; Equip.: 5%
Sonda West Eminence/ 2013	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Queda do operador do elevador spider, após rompimento de cabo	TOTAL FATORES: 21. Gov.: 5%; Reg.: 0; Cia: 14%; Prest. serviço: 29%; Oper.: 43%; Equip.: 10%
Plataforma P20/ 2013	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Rompimento do tanque de etanol	TOTAL FATORES: 19. Gov.: 0; Reg.: 0; Cia: 37%; Prest. serviço: 0; Oper.: 37%; Equip.: 26%
FPSO Cidade de São Mateus/ 2015	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Explosão na casa de bombas	TOTAL FATORES: 64. Gov.: 0; Reg.: 2%; Cia: 8%; Prest. serviço: 38%; Oper.: 45%; Equip.: 8%
Plataforma P48/ 2016	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Incêndio devido perda de contenção com ignição de serviços a quente	TOTAL FATORES: 22. Gov.: 0; Reg.: 0; Cia: 36%; Prest. serviço: 0; Oper.: 27%; Equip.: 36%
Sonda Norbe VIII/ 2017	Agência Nacional do Petróleo (ANP)	Explosão da caldeira auxiliar nº 1 durante processo de aquecimento	TOTAL FATORES: 25. Gov.: 0; Reg.: 0; Cia: 4%; Prest. serviço: 36%; Oper.: 28%; Equip.: 32%

Fonte: autores (2021)

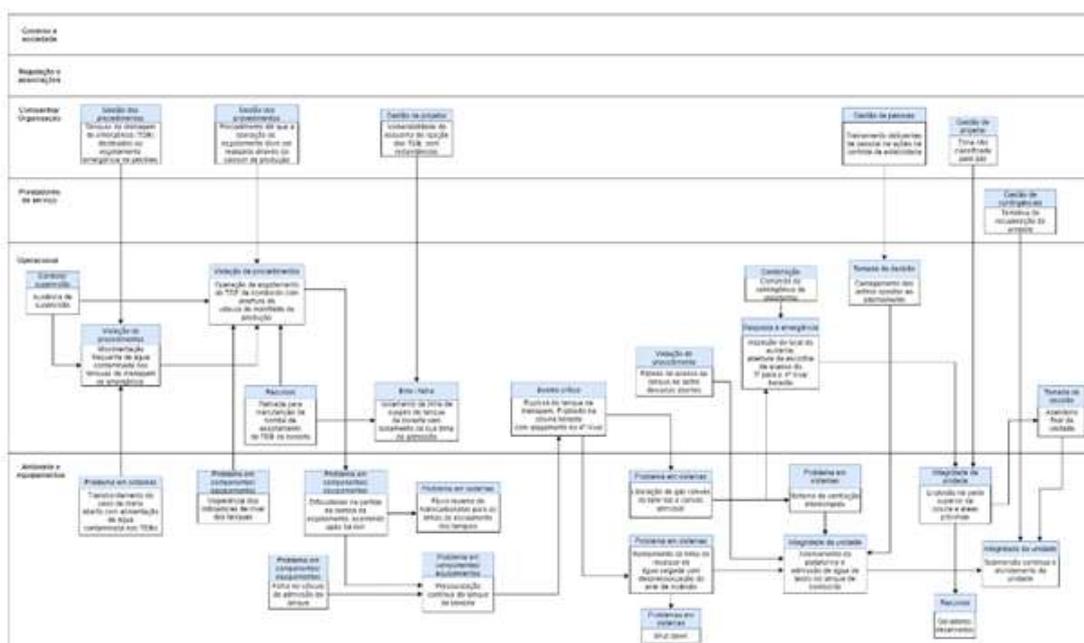
Outro elemento observado na análise dos relatórios finais foi o método de investigação empregado. As investigações conduzidas pela ANP empregam o método árvore de falhas com a finalidade de identificar fatores causais. Posteriormente, os fatores causais identificados são relacionados à desvios das diretrizes do Sistema de Gestão da Segurança Operacional (SGSO), para isso, o mapa de causas raiz é utilizado. Em contrapartida, os relatórios de investigações realizados por comissões e órgãos independentes não explicitam os métodos utilizados. Apesar disso, pistas (*hints/clues*) estão presentes nos relatórios que permitem deduzir o modelo de acidente assumido (neste caso não o método de investigação), como realizado por Lundberg et al. (2009). Essas pistas foram principalmente identificadas em: objetivos, escopo das investigações, conclusões (*findings*) e na terminologia adotada. Os objetivos das investigações são todos voltados para determinar as causas do acidente. Esses objetivos retratam entendimentos de que causas podem ser identificadas e servem como explicações para acidentes; e, uma vez identificadas, estas causas podem ser controladas e/ou removidas através das recomendações, assim, evitando futuros acidentes.

Em relação ao escopo é importante notar que as investigações são moldadas pelas características do acidente. Essa diferença de escopo pode ser representada pela distribuição

de frequência nos níveis do AcciMap. Na investigação do colapso na estrutura de Alexander Kielland, por exemplo, o nível de equipamento representa 29% do total de fatores contribuintes, enquanto no blowout de Montara, o nível operacional e companhia representam 29% e 30%, respectivamente, do total de fatores contribuintes. Apesar das diferenças na distribuição de frequências, é possível verificar que os acidentes investigados por comissões e órgãos independentes abordam os níveis regulatórios e, por vezes, governamentais do sistema.

Nos dezesseis AcciMaps elaborados foram identificados 589 fatores contribuintes dos acidentes, resultando na quantidade média de 37 fatores por representação. Ao estratificar entre as investigações realizadas pela ANP e por comissões independentes, essa média fica em 30 e 45, respectivamente. Dentre os seis níveis sociotécnicos adotados nos modelos, aquele que apareceu com maior representatividade nos fatores contribuintes foi o operacional com 32% de todas as ocorrências. Após, aparece o nível equipamento/ ambiente com 24% do total de fatores, ou seja, os níveis relacionados ao sharp-end (operacional e equipamentos) aparecem com 56% no total dos 589 fatores contribuintes citados. Seguindo a ordem, o nível companhia aparece com 20% dos fatores, o nível prestador de serviço com 17%, regulação e associações com 7% e o nível governo apareceu em apenas 5 modelos com 1% do total de fatores representados. Para fins de ilustração, a Figura 2 apresenta um AcciMap elaborado a partir de um relatório de investigação, onde cada caixa traz a descrição do fator contribuinte identificado e a parte em azul traz a categoria adotada para classificar o fator em questão.

Figura 2 – Exemplo de AcciMap elaborado a partir da análise de um relatório de investigação de acidente



Por meio do sistema de categorias adotado para classificação dos fatores contribuintes, foi identificado os fatores mais representativos no contexto dos acidentes. As dez categorias de maior ocorrência são: problemas em componentes/ equipamentos (n=43); integridade da unidade (n=31); erros/ falhas (n=28); tomada de decisão em nível operacional (n=25); resposta à emergência (n=25); recursos em nível de equipamentos (n=20); padrões e normas (n=19); características do poço (n=18); gestão de procedimentos em prestador de serviços (n=17); violações de procedimentos (n=15). Das 77 categorias identificadas, 8 delas não foram relacionadas a nenhum fator contribuinte dos dezesseis acidentes. Entretanto, elas permaneceram no sistema de classificação para servir como um modelo genérico que possa ser aplicado no domínio de investigação de acidentes.

## 5 DISCUSSÃO

A análise documental de dezesseis relatórios de investigação de acidentes relevantes da indústria de óleo e gás como Piper Alpha, P36 e Macondo, foi orientada para a identificação dos fatores contribuintes dessas ocorrências. Utilizando o método AcciMap foi elaborado um mapa de cada acidente, onde os fatores contribuintes foram estruturados dentro do seu respectivo nível sociotécnico. Após, esses fatores foram classificados dentro de um sistema de categorias, possibilitando análises de distribuição de frequência que buscaram dar subsídio para explorar as diferenças existentes entre os relatórios de investigação conduzidos por comissões independentes e por uma agência reguladora local.

A distribuição dos fatores contribuintes nos níveis sociotécnicos pode demonstrar um certo direcionamento nas investigações. Assim como verificado por Salmon et al. (2020), foi identificado nos relatórios maior concentração de fatores contribuintes nos níveis operacional e equipamento (56%). Essa concentração é ainda mais alta nos acidentes investigados pela ANP (61%) do que nos acidentes investigados por comissões independentes (51%).

A identificação das causas de acidente é um processo complexo que envolve todo o sistema sociotécnico incluindo legisladores, governo, agências reguladoras, associações, gestão de empresas, pessoal técnico e trabalhadores de linha de frente (Rasmussen, 1997). Para compreender por que um acidente ocorreu o processo inteiro precisa ser examinado. Isso parte do pressuposto que algumas propriedades do sistema somente podem ser tratadas em sua totalidade, levando em consideração todas as facetas que relacionam os aspectos sociais aos técnicos (Dekker, 2011). Porém, muitos dos métodos de investigação de acidentes atuais

apresentam limitações em considerar somente causas ou fatores mais diretos para o acidente do que o processo inteiro que levou ao acidente (Leveson, 2011), como, por exemplo, a árvore de falhas.

Woltjer, Pinska-Chauvin, Laursen e Josefsson (2015) argumentam que o método árvore de falhas modela o sistema sociotécnico por sua estrutura física e organizacional e foca em relações causais lineares entre componentes independentes do sistema. Neste sentido, o método de investigação adotado pela ANP pode limitar um olhar sistêmico durante as investigações. Técnicas como árvore de falhas, diagrama espinha de peixe e 5 porquês apresentam limitações ao considerar apenas os eventos subjacentes a um acidente e não o processo como um todo, levando ao entendimento de que os acidentes são o resultado de uma infeliz coincidência de fatores (Leveson, 2011). Porém, a análise de acidentes em muitos casos, requer modelos que possam descrever os eventos no nível do sistema como um todo.

O conceito de investigação independente foi criado como oposição a abordagem judicial para investigação de acidentes, a qual envolve a alocação de culpa e responsabilização de indivíduos. Em termos pragmáticos a independência é alcançada quando a investigação é realizada independente de autoridades públicas, interesses comerciais ou de partes afetadas (vítimas), em uma entidade com alto grau de autonomia, a qual tenham acesso aos recursos necessários para que a investigação possa ser realizada (Macrae & Vincent, 2014; Roed-Larsen & Stoop, 2012), como por exemplo a NTSB – que investigou os acidentes de Ocean Ranger e Glomar Java.

As investigações conduzidas pela ANP, apesar de não atribuir responsabilidades a indivíduos e não adotar caráter punitivo, não podem ser caracterizadas como investigações independentes, pois, a própria Agência compõe o sistema que está ou deveria estar sob investigação no caso de um acidente. Através da análise dos relatórios de investigação de acidentes conduzidos pela ANP, foi possível identificar que a Agência não assume qualquer influência ou interferência sobre o evento. Os poucos fatores contribuintes identificados no nível de agência reguladora estão limitados a padrões e normas internacionais da indústria que tiveram, em menor grau, relação sobre o acidente. A isenção de responsabilidade também pode ser visualizada por meio das causas identificadas nos relatórios, as quais estão todas associados a uma falha no cumprimento do SGSO elaborado pela própria ANP. Portanto, em última instância para a Agência o acidente ocorre como uma falha de *compliance*.

Por outro lado, os relatórios de investigações conduzidos por comissões independentes apresentaram abordagens mais integrativas dos atores do sistema. Investigações de acidentes como Alexander Kielland e Macondo retrataram falhas graves relacionadas a padrões e

normas exigidos pelas agências reguladoras que tiveram impacto significativo sobre a ocorrência do acidente. Como efeito destes acidentes, mudanças no sistema regulatório foram realizadas. No caso da Deepwater Horizon as mudanças foram também de ordem estrutural com a dissolução da agência reguladora, a qual foi substituída por três novas agências com funções especializadas. Mudanças dessa ordem não seriam esperadas caso a investigação fosse conduzida pela própria agência.

Stoop (2004) argumenta que o conceito de investigação independente aborda segurança de forma integral, ao compreender o evento em momentos que antecederam e que sucederam ao acidente, permitindo, assim cobrir aspectos de recuperação, preparação e prevenção do sistema. Portanto, ao comparar com os resultados entre as investigações independentes e não independentes, é possível verificar uma maior qualidade quando a investigação oferece um olhar imparcial e mais abrangente sobre os níveis sociotécnicos envolvidos.

Todos os acidentes investigados por comissões independentes tiveram uma grande repercussão internacional devido aos severos resultados e consequências que eles trouxeram. Piper Alpha e Macondo, por exemplo, ainda são alguns dos acidentes mais discutidos até hoje, onde o primeiro registrou 167 óbitos e no segundo o derramamento de petróleo chegou a afetar 2.000 km de costa. Provavelmente esses impactos podem ter sido um dos motivos para que essas ocorrências fossem investigadas por comissões independentes. Dos acidentes brasileiros o de maior abrangência a nível mundial provavelmente foi o caso da P36, o primeiro acidente investigado pela ANP inclusive, conforme disponibilizado em seu endereço eletrônico. Portanto, deve-se considerar que se um evento da magnitude de Piper Alpha ou Macondo tivesse ocorrido no Brasil, a responsabilidade pela investigação do evento pudesse ser diferente da normalmente estabelecida que é por meio da ANP, visando justamente esse olhar imparcial e sistêmico conforme discutido nesse estudo.

Esse estudo foi elaborado a partir de informações disponibilizadas ao público, como os relatórios de investigação independentes que por seu caráter de autonomia, conferem uma ampla divulgação dos dados e resultados e os relatórios da ANP, onde um dos objetivos da agência, quando realiza uma investigação de acidente, é tornar públicas as informações que possam ser um incentivo da segurança operacional de outros agentes regulados. Na era digital o acesso aos dados e informações são de extrema relevância, pois proporcionam um ambiente favorável à aprendizagem organizacional.

## **AGRADECIMENTOS**

Este estudo foi realizado no âmbito do Projeto Fatores Humanos (Projeto HF) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), financiado pelo Consórcio de Libra, com apoio da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil) associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de P,D&I - Regulamento nº 03/2015 (processo 2019/00105-3).

## REFERÊNCIAS

- Dekker, S. W. A. (2011) *Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems*. Ashgate.
- Flick, U. (2009). *Qualidade na pesquisa qualitativa*. [S. l.]: Bookman.
- Gephart, R. P., (1984). Making Sense of Organizationally Based Environmental Disasters. *Journal of Management*, vol. 10, no. 2, p. 205–225.
- Goode, N., Salmon, P. M., Taylor, N. Z., Lenné, M. G. & Finch, C. F. (2017). Developing a contributing factor classification scheme for Rasmussen's AcciMap: Reliability and validity evaluation. *Applied Ergonomics*, vol. 64, p. 14-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2017.04.014>.
- Grant, E., Salmon, P. M., Stevens, N. J., Goode, N. & Read, G. J. (2018). Back to the future: What do accident causation models tell us about accident prediction? *Safety Science*, vol.104, p. 99-109. <https://doi:10.1016/j.ssci.2017.12.018>.
- Guldenmund, F.& Li, Y., 2017. Safety management systems: A broad overview of the literature. *Safety Science*, vol. 103, p. 93-123. <https://doi:10.1016/j.ssci.2017.11.016>.
- Heinrich, H. W. (1941). *Industrial Accident Prevention. A Scientific Approach*. No. Second Edition pp. xxii + 448 pp. New York & London: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Hollnagel, E. (2004). *Barrier Analysis & Accident Prevention or how to improve safety by understanding the nature of accidents rather than finding their causes*. Aldershot, UK: Ashgate , 2004. , p. 226.
- Hollnagel, E., (2012). *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-Technical Systems*. Ashgate Publishing. <https://doi:10.1201/9781315255071>.
- Joint Research Centre of the European Commission (2012). *Safety of offshore oil and gas operations: Lessons from past accident analysis*. Institute for Energy and Transport.
- Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, vol. 42, p. 237-270. [https://doi:10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi:10.1016/S0925-7535(03)00047-X).
- Leveson, N. G. (2011, Jan). Applying systems thinking to analyze and learn from events. *Safety Science*, vol. 49, no. 1, p. 55–64. <https://doi:10.1016/j.ssci.2009.12.021>.
- 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*, vol. 47, p. 1297-1311. <https://doi:10.1016/j.ssci.2009.01.004>

- Macrae, C. & Vincent, C. (2014). Learning from failure: the need for independent safety investigation in healthcare. *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 107, no. 11, p. 439–443.
- Pidgeon, N. & O’leary, M., (2000). Man-made disasters: why technology and organizations (sometimes) fail. *Safety Science*, vol. 34, no. 1–3, p. 15–30, Feb. 2000.
- Rasmussen, J., (1985). The role of hierarchical knowledge representation in decisionmaking and system management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, no. 2, p. 234–243.
- Rasmussen, J., (1997). Risk management in a dynamic society: A modelling problem. *Safety Science*, vol. 27, no. 2–3, p. 183–213.
- Reason, J., (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate, London.
- Roed-Larsen, S. & Stoop, J. (2012). Modern accident investigation - Four major challenges. *Safety Science*, vol. 50, no. 6, p. 1392–1397. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.03.005>.
- Salmon, P. M., Hulme, A., Walker, G. H., Waterson, P., Berber, E., Stanton, N. A. (2020) The big picture on accident causation: A review, synthesis and meta-analysis of AcciMap studies. *Safety Science*, vol. 126, no. August 2019, p. 104650. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104650>.
- Stoop, J. A. (2004). Independent accident investigation: A modern safety tool. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 111, no. 1–3, p. 39–44.
- Stoop, J., & Dekker, S. (2012). Are safety investigations pro-active? *Safety Science*, 50(6), 1422-1430. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.03.004>
- Stoop, J. & Roed-Larsen, S., (2009). Public safety investigations-A new evolutionary step in safety enhancement? *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 94, p.1471-1479. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.02.016>.
- Underwood, P. & Waterson, P. (2013). Systems Thinking, the Swiss Cheese Model and Accident Analysis: A Comparative Systemic Analysis of the Grayrigg Train Derailment Using the ATSB, AcciMap and STAMP Models. *Accident; analysis and prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.027>.
- Vicente, K. J. & Christoffersen, K. (2006, Mar). The Walkerton E. coli outbreak: a test of Rasmussen’s framework for risk management in a dynamic society. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 7, no. 2, p. 93–112. DOI 10.1080/14639220500078153. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14639220500078153>.
- Woltjer, R., Pinska-Chauvin, E., Laursen, T. & Josefsson, B. (2015, Sep.). Towards understanding work-as-done in air traffic management safety assessment and design. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 141, p. 115–130.
- Woods, D. D., Johannesen, L. J., Cook R., & Sarter, N. B., (1994). *Behind Human Error: Cognitive Systems, Computers and Hindsight*. State-of-the-Art Report. University of Dayton Research Institute.
- Yousefi, A., Hernandez, M. R. & Peña, V. L., (2018). Systemic accident analysis models: A comparison study between AcciMap, FRAM, and STAMP. *American Institute of Chemical Engineers. Process Safety Progress*, vol. 38, No.2. <https://doi.org/10.1002/prs.12002>.