

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

MITIGAÇÃO DE RISCOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO: UMA CORRELAÇÃO COM O SETOR AEROESPACIAL

AUTORES:

Jessica de Souza Brugognolle¹, Vivian de Mello Cionek², Alexandre Magno de Paula Dias³

INSTITUIÇÃO:

^{1,2,3}Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade do Estado de Santa Catarina

MITIGAÇÃO DE RISCOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO: UMA CORRELAÇÃO COM O SETOR AEROESPACIAL

Abstract

The oil industry has many risks since its beginning, both operational and commercial. However, they become even bigger as the industry grows and new technologies emerge, more complex equipment and more remote locations are explored, and it can lead to damage with varying levels, including catastrophic consequences. Thus, it is valid to seek risk management methods in similar sectors that may have their technology transferred to the oil and gas industry, one of them can be the aerospace industry. The focus of this work is to use knowledge of the national space agency National Aeronautics and Space Administration (NASA) to perform this technology transfer. The Probabilistic Risk Assessment (PRA), adopted by NASA, is a quantitative risk analysis method that can be used to analyze offshore industry risks with low probability of occurrence and high consequences. This method is applied by performing a few steps, such as drawing up event sequence diagrams, event trees, and fault trees. The ultimate purpose of conducting a PRA is to support decision making and risk management, which involves preventing or reducing the frequency of scenarios with undesirable consequences. Validation of the transfer of this technology to the oil industry is performed through a case study of the accident with the Petrobras P-36 platform using NASA's Root Cause Analysis Tool (RCAT) software. The software provides a fast, easy, and accurate method for performing and documenting root cause analysis, identifying recommendations, and generating usable data for Probabilistic Risk Assessment. RCAT is implemented in a few steps, starting with the identification of an unwanted result, followed by the elaboration of a short timeline, a fault tree, a tree of events and causal factors and, finally, the formulation of recommendations to avoid the recurrence of the accidental event. This means that in addition to being aware of the risks involved to support decision making and improve security, this method allows for greater understanding of the design and operations of the facility by all people involved. Some of the recommendations, based on the root causes of the accident, are: systematize the identification of potential Safety, Environment and Health risks and implement a risk analysis before making operational or infrastructure changes.

Introdução

A indústria de petróleo tem diversos riscos envolvidos, desde riscos financeiros que envolvem a decisão de explorar ou não um campo e se expor a um possível prejuízo, riscos operacionais da exploração até a comercialização dos produtos finais por conta de atividades complexas, riscos de segurança, meio ambiente e saúde que abrange vidas relacionadas direta ou indiretamente a esse setor e ainda incertezas envolvidas em todas as etapas. A magnitude das consequências dos acidentes pode incluir fatalidades ou efeitos à saúde, efeitos ambientais adversos, despesas significativas e outros efeitos adversos sobre a empresa operadora ou outras partes interessadas. O quadro 1 abaixo apresenta os principais aspectos dos riscos da indústria de petróleo, desconsiderando os riscos ambientais e aqueles relacionados à etapa de transporte.

Um dos grandes desafios desta indústria é a mitigação destes riscos. Desta forma, é válida a correlação com um setor semelhante, como os que lidam com equipamentos complexos e locais remotos, sendo um deles o aeroespacial. Apesar dos esforços dos diferentes atores envolvidos com a gestão de riscos na indústria de petróleo, ainda ocorrem acidentes. Portanto, sugere-se aproveitar as tecnologias consolidadas em outros meios e transferir para a indústria de petróleo. Esta abordagem ainda tem outras importâncias, como a de utilizar uma tecnologia já desenvolvida, diminuindo gastos com novas

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

pesquisas e avançando as já existentes. Também já há dados da efetividade dos métodos usados no ambiente aeroespacial, podendo ser transmitidos ao setor petrolífero.

Quadro 1 - Resumo dos principais aspectos dos riscos da indústria de petróleo.

Etapa	Perigo	Causa	Dano	Deteção
Exploração	Prejuízo	• Contratos • Incertezas geológicas • Políticas	• Perder capital financeiro	• Fluxo de caixa
Perfuração	Ruído	• Grandes equipamentos • Má conservação de equipamentos	• Dor de cabeça, irritabilidade • Cansaço, insônia	• Decibélímetro
	Queda de material	• Fuga das normas de segurança • Negligência	• Lesões físicas • Danos materiais • Parada do trabalho • Vítimas fatais	• Inspeção visual
	Calor	• Ambientes mal arejados / mal planejados • Gerado por máquinas	• Dor de cabeça, tonturas • Desidratação, mal-estar • Insolação	• Termômetro
	Ergonômicos	• Postura inadequada • Ambientes impróprios • Levantamento excessivo de peso • Movimentos repetitivos • Locomoção em locais de difícil acesso	• Lesões (coluna, joelhos e articulações diversas) • LER (Lesão por esforço repetitivo)	• Análise ergonômica
	Toxicidade	• Exposição a gases tóxicos • Exposição a fluidos de perfuração	• Problemas respiratórios • Tontura • Irritação na pele • Intoxicação grave • Morte	• Detectores de toxicidade
	Explosões e incêndios	• Má conservação dos equipamentos elétricos • Fios desencapados • Falhas diversas (operação e	• Lesões físicas • Prejuízos materiais • Parada do processo • Perda do poço • Mortes	• Inspeção de equipamentos e operações
Refino	Incêndio em poço	• Acúmulo de líquido inflamável	• Lesões físicas • Prejuízos materiais • Parada do processo • Mortes	• Inspeção de equipamentos e operações
	<i>Flash fire</i>	• Presença de gás inflamável		
	Explosão de nuvem	• Ambientes fechados com presença de vapores inflamáveis		
	Nuvem tóxica	• Nuvem de gases sem ignição	• Problemas respiratórios • Tontura • Intoxicação grave • Morte	

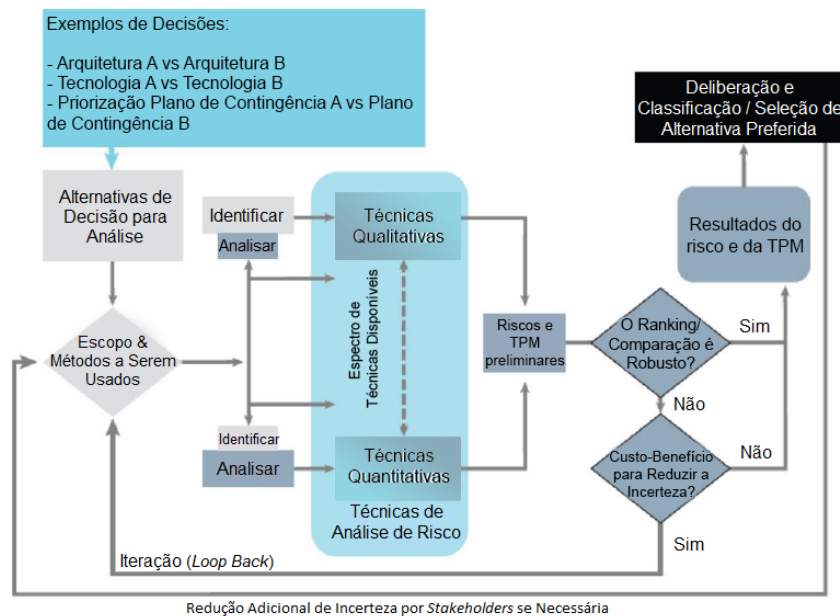
Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Neste trabalho, serão tratados apenas os riscos de natureza operacional, excluindo riscos comerciais. Isto será feito através da correlação com tecnologias do setor aeroespacial, pois suas operações têm perfis de risco notavelmente semelhantes, como equipamentos técnicos complexos em ambientes hostis e locais remotos, com necessidade de tripulação de bordo e pessoal de apoio *onshore*. Também há um profundo comprometimento com a segurança pessoal e de processo em ambos, pois fracassos causam consequências à vida e ao meio ambiente levando até mesmo a um acidente catastrófico.

Metodologia

Cross et al. (2018) sugerem que o processo geral para análise de segurança inicia com o reconhecimento da decisão em questão e uma avaliação de quais resultados técnicos são necessários para apoiar essa decisão, passando para técnicas qualitativas que identificam o potencial de acidentes e técnicas quantitativas que quantificam cenários, frequências e consequências para analisar essa decisão. E por fim, há a deliberação e seleção da melhor alternativa de decisão. Por vezes, há a necessidade de fazer uma iteração (*loop back*) e realizar mais análises e obter mais informações para dar suporte à atual decisão. Um esquema desse processo pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Processo para análise de riscos.



Fonte: Adaptado de CROSS, 2018.

A avaliação probabilística de riscos (PRA - *Probabilistic Risk Assessment*) é uma técnica quantitativa de análise de risco utilizada para identificar e avaliar riscos em sistemas tecnológicos complexos, com o objetivo de melhorar sua segurança e desempenho econômico. Essa ferramenta considera todos os eventos associados às consequências de interesse, permitindo uma avaliação de risco mais robusta. Por causa de sua abordagem lógica, sistemática e abrangente, esse método comprovou muitas vezes que é capaz de descobrir fraquezas operacionais e de projeto que escaparam até mesmo a alguns dos melhores especialistas em segurança e engenharia. Como em 1979, com um acidente em *Three Mile Island* que revelou que a causa do dano havia sido prevista pelo *Reactor Safety Study* quatro anos antes, fazendo com que a PRA ganhasse força no segmento de gerenciamento de risco. Em sua experiência, a NASA constatou que confiar apenas no julgamento especializado pode resultar na descaracterização da probabilidade de eventos de falha. A PRA é apropriada para sistemas e hardwares complexos de engenharia e que possuem interação humana crítica e vários caminhos para falhas catastróficas.

Para gerar dados utilizáveis na avaliação probabilística de riscos (PRA), faz-se uso do software *Root Cause Analysis Tool* (RCAT) desenvolvido pela NASA. Neste presente trabalho, é realizado um estudo de caso do acidente ocorrido com a plataforma P-36 da Petrobras, empresa brasileira da indústria de petróleo. Esse software não está no domínio público e pode ser usado, reproduzido e fornecido a outros somente conforme permitido sob os termos do Contrato de Uso do Software sob o qual foi adquirido da NASA para esse referido trabalho.

O RCAT é um método de avaliação de riscos que identifica as causas raízes de um resultado indesejado e apresenta um guia com recomendações de condutas adequadas para evitar a recorrência deste resultado indesejado. A análise da causa raiz ajuda a determinar o que aconteceu, como aconteceu e por que aconteceu. Essa ferramenta foi projetada para facilitar a análise de anomalias, perigos e acidentes e identificar ações corretivas apropriadas para prevenir a recorrência dos mesmos. O software RCAT fornece um método rápido, fácil e preciso para executar e documentar a análise da causa raiz, possibilitando identificar recomendações.

O acidente em grande escala com a plataforma P-36 iniciou na madrugada do dia 15 de março de 2001, em que um conjunto de fatores levou a uma grande explosão e posterior naufrágio da unidade. Neste dia, ocorreu a entrada de hidrocarbonetos no tanque de drenagem de emergência (TDE) de boreste, pois uma válvula de bloqueio estava permitindo a passagem de fluido. Esse evento associado ao raqueamento (bloqueio) do *vent* (válvula com abertura para pressão atmosférica) ocasionou sobrepressurização. O excesso de pressão no TDE fez com que o mesmo rompesse permitindo a liberação de óleo, água e gás, iniciando o alagamento da coluna de estibordo. Ao mesmo tempo, o gás ocupou gradualmente o espaço livre da coluna de popa-boreste, onde uma fonte desconhecida de ignição iniciou o processo de combustão da nuvem de gás, seguido de explosões, causando a morte de 10 membros da brigada de incêndio, o ferimento de 1 integrante, que faleceu uma semana após o acidente, e também danos estruturais importantes. Após a detecção da explosão, duas bombas de combate a incêndios foram ativadas, levando a mais inundações, devido à ruptura do tubo de água do mar, permitindo que a água invadisse os salões de popa boreste, incluindo a sala de bombas, a sala de injeção de água e o túnel de acesso. Como resultado, o adernamento da plataforma cresceu continuamente, alcançando uma inclinação de dezesseis graus. Em uma tentativa de evitar a perda da plataforma, 4.100 toneladas de nitrogênio foram bombeadas para os compartimentos alagados, numa tentativa de descarregar aproximadamente 15% dos 7 milhões de litros de água do mar. A estrutura acabou virando e afundando em 20 de março de 2001, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Plataforma P-36 durante o acidente.



Fonte: EDITORA VALETE. P-36 afunda. Disponível em: <http://www.editoravalete.com.br/site_clube/noticias/marco2001/not_marco35.html>. Acesso em: 06 abr. 2019.

A aplicação da RCAT baseada nesse acidente descrito seguirá as seguintes etapas: identificar um resultado indesejado, criar uma linha do tempo curta, criar uma árvore de falhas, criar uma árvore de eventos e fatores causais e por fim, gerar recomendações para evitar a recorrência do evento. Todas as entradas no software foram de informações retiradas do Relatório Final da Comissão de Sindicância do Acidente com a Plataforma P-36, com a fonte completa localizada nas referências bibliográficas deste trabalho.

Resultados e Discussão

O resultado indesejado é referido como "topo" por causa de sua posição no topo da árvore de falhas. Na linha do tempo, ele geralmente fica na parte inferior, pois é o último evento a acontecer. Neste caso, é a consequência final do acidente: "Vítimas morrem e plataforma P-36 afunda" (Figuras 4 e 5).

A segunda etapa da análise da causa raiz é criar o cronograma. Uma linha do tempo mostra a sequência de eventos em ordem cronológica e conta como o acidente ocorreu. A Figura 3 apresentada abaixo, é a linha do tempo curta criada no software a partir dos acontecimentos do acidente. A cor laranja representa o resultado indesejado e as cores verdes são eventos, ou seja, uma ocorrência que descreve uma ação discreta, geralmente um erro, falha ou mau funcionamento.

Figura 3 - Linha do tempo curta para o acidente da plataforma P-36 utilizando o software RCAT.

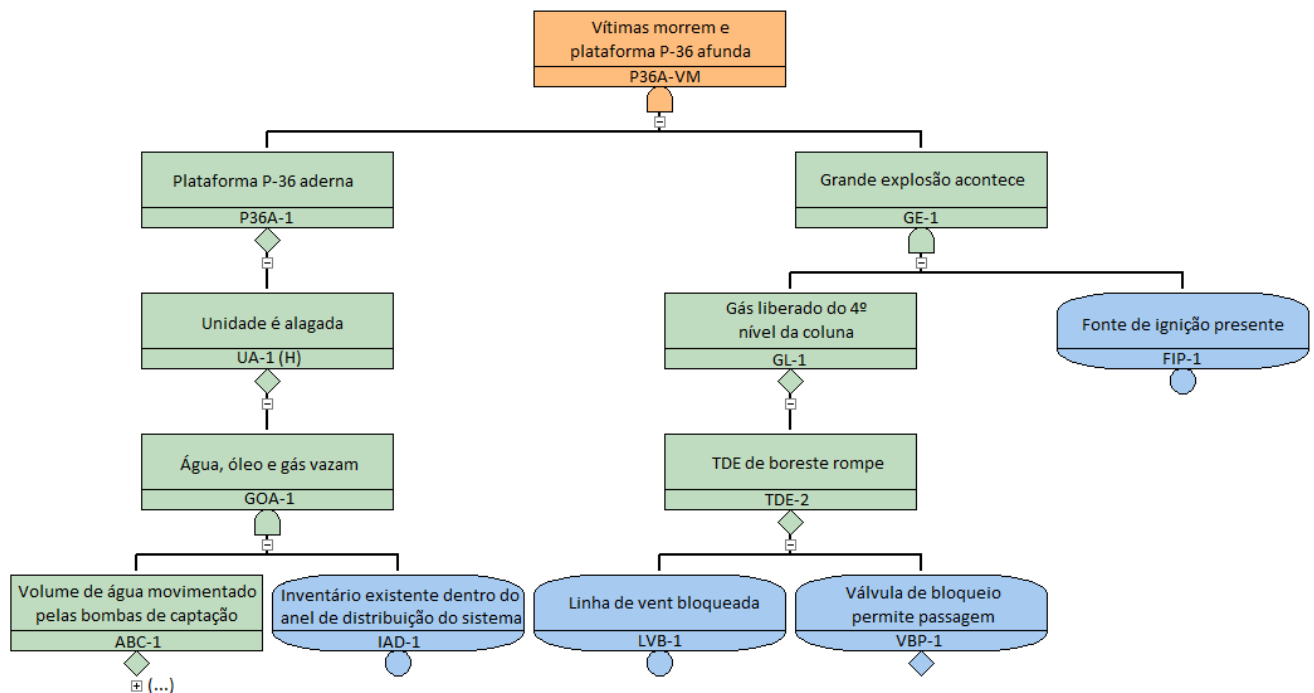
On Short Timeline	Item Type	Date	Time	Label Number	Description
✓	EV	3/15/2001	12:21:00 AM	TDE-1	TDE sobrepressurizado
✓	EV	3/15/2001	12:22:00 AM	TDE-2	TDE de Boreste rompe
✓	EV	3/15/2001	12:23:00 AM	GOA-1	Gás, óleo e água vazam
✓	EV	3/15/2001	12:39:00 AM	GE-1	Grande explosão acontece e vítimas morrem
✓	EV	3/20/2001	11:41:00 AM	P36A-1	Plataforma P-36 afunda
✓		3/20/2001	11:41:01 AM	P36A-VM	Vítimas morrem e plataforma P-36 afunda

Fonte: Elaborado pelos autores.

A terceira etapa é criar a árvore de falhas, ou seja, um diagrama de todos os possíveis eventos e condições que poderiam ter causado ou contribuído para o resultado indesejado. Uma árvore de falhas pode ser bastante extensa e pode levar dias ou até anos. Neste estudo de caso, a árvore de falhas é ilustrada nas Figuras 4 e 5, onde é possível observar quatro causas raízes em azul, representando condição ou estado encontrado que facilite a ocorrência de um evento e possa ter implicações de saúde, qualidade ou seguranças operacionais ou ambientais e duas causas raízes em azul onde o evento não se desenvolveu.

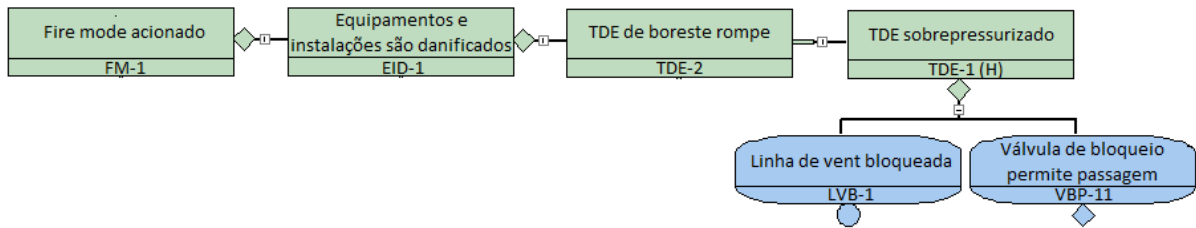
O topo dessa árvore de falhas é o estado final indesejado e abaixo encontra-se o desenrolar das falhas até as causas raízes. Como o estado final são duas adversidades, divide-se o topo em dois para tratar do adernamento e da explosão de forma separada. O alagamento é causado pelo vazamento de fluidos que tem como causas raízes a presença de inventário de água, óleo e gás na plataforma e as válvulas fora de seu estado padrão. A explosão, por sua vez, foi causada tanto por esse vazamento de gás como pela fonte de ignição que incendiou esse produto inflamável.

Figura 4 - Árvore de falhas do acidente da plataforma P-36 utilizando o software RCAT (continua).



Fonte: Elaborado pelos autores.

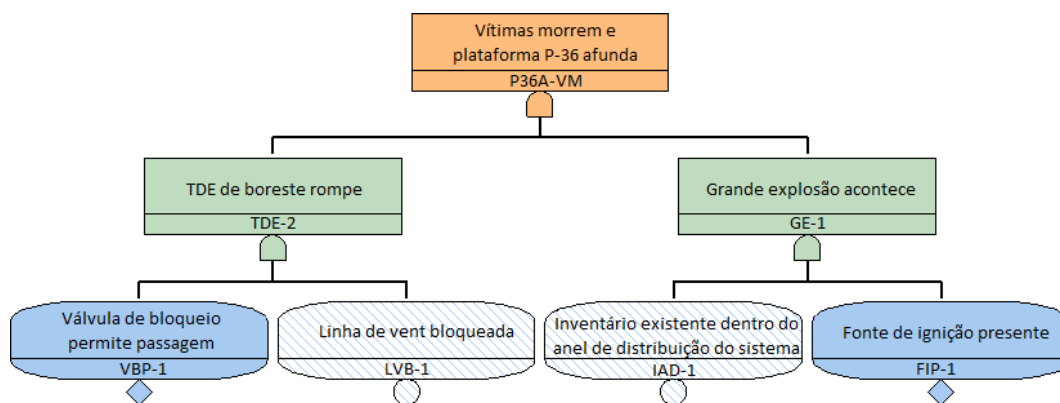
Figura 5 - Árvore de falhas do acidente da plataforma P-36 utilizando o software RCAT (conclusão).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma vez desenvolvida a árvore de falhas, a pesquisa será restringida através da identificação dos modos específicos de falha, decompondo-os em eventos e condições básicas e eliminando aqueles que não ocorreram ou não contribuem. Essa transição permite a criação da árvore de eventos e fatores causais. Os eventos e condições que contribuíram para que o acidente acontecesse, mas não possuem anomalias, são marcados com um padrão hachurado na Figura 6, que representa a árvore de eventos e fatores causais deste estudo de caso.

Figura 6 - Árvore de eventos e fatores causais do acidente da plataforma P-36 utilizando o software RCAT.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A árvore de eventos e fatores causais é focada nas causas raízes, pois elas são a fonte de todo acidente e é isso que interessa à gestão para desenvolver métodos de mitigar os riscos. Neste estudo de caso, as causas raízes são os quatro eventos na base da árvore: válvula de bloqueio permite passagem, linha de vent bloqueada, inventário existente dentro do anel de distribuição do sistema e fonte de ignição presente.

A quinta e última etapa da análise da causa raiz é criar recomendações. Depois de desenvolvida a árvore de eventos e fatores causais, há uma lista de causas e fatores contribuintes. Como os mesmos são suficientes para causar o resultado indesejado, a remoção dessas causas e fatores eliminará a recorrência do acidente. Portanto, pode-se observar no Quadro 2 abaixo as recomendações que reduzirão significativamente o risco de um acidente semelhante ao da plataforma P-36. Essas recomendações foram baseadas no Relatório Final da Comissão de Sindicância do Acidente com a Plataforma P-36, com a fonte completa localizada nas referências bibliográficas deste trabalho.

Quadro 2 - Recomendações do acidente da plataforma P-36 após análise de risco.

Código	Descrição	Recomendação
FIP-1	Fonte de ignição presente	• Sistematizar a identificação de riscos potenciais no SMS.
LVB-1	Linha de <i>vent</i> bloqueada	• Implementação de mudanças após a análise de riscos; • Qualificar as equipes em técnicas de identificação, avaliação e controle de situações de risco.
VBP-1	Válvula de bloqueio permite passagem	• Cumprimento dos programas de manutenção preventiva/preditiva;

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conclusões

O setor escolhido para realizar uma transferência de tecnologia de análise de riscos é o aeroespacial devido às semelhanças com a indústria de petróleo. Pode-se citar que ambos contam com pessoas altamente qualificadas, lidam com equipamentos complexos e locais remotos, têm um desenvolvimento de longo prazo de seus projetos, as tecnologias concebidas se ramificam para outros setores, necessitam de grande financiamento monetário, possuem intervenção governamental e fazem cooperação internacional.

Verificou-se a importância do estudo de caso realizado que visa demonstrar de forma prática a possibilidade de se fazer uma transferência de tecnologia entre os setores de petróleo e aeroespacial. O software usado, RCAT, é um método de avaliação de riscos que identifica as causas raízes e gera dados utilizáveis na avaliação probabilística de riscos (PRA). Abordou-se o acidente real ocorrido em 2001 com uma plataforma em operação no litoral brasileiro através da linha do tempo curta, da árvore de falhas e da árvore de eventos e fatores causais. Assim, pôde-se chegar a quatro causas raízes: válvula de bloqueio permitindo fluxo, linha de *vent* bloqueada, presença de uma fonte de ignição e inventário de gás e óleo presente na unidade. Assim, foi possível elaborar recomendações para evitar a recorrência desse evento catastrófico. Recomenda-se ainda, levar essa transferência de tecnologia às empresas de fato para que se possa verificar em um ambiente real a influência de um método e um software de outro setor empregados na indústria de óleo e gás.

Agradecimentos

Agradeço ao Departamento de Engenharia de Petróleo da Udesc pelo suporte e à NASA por conceder o uso do software tornando possível a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

SOUZA, Krisllen Samara Feitosa de et al. Análise quantitativa e qualitativa dos riscos de uma refinaria de petróleo. **Revista Gestão Industrial**, v. 13, n. 2, 2017.

SOUSA, Galileu Genesis; JERÔNIMO, Carlos Enrique de Medeiros. Análise Preliminar de Riscos Ambientais para Atividades Relacionadas a Perfuração de um Poço de Petróleo Terrestre. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 3265-3277, 2014.

TRIBUNAL MARÍTIMO. Diretoria de Portos e Costas. **Relatório Final da Comissão de Sindicância do Acidente com a Plataforma P-36**. Rio de Janeiro, 2001. Relatório.

CROSS, Robert et al. **Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for Offshore Applications (DRAFT)**. 2018.

NASA. **Root Cause Analysis Tool (RCAT), version 3.1.0.1**. [S.l.]: NASA, [20--].