

ação ergonômica volume 10, número 1

PENSAMENTO SISTÊMICO E ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA APLICADOS À SEGURANÇA DE PROCESSOS DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO - ESTUDO DE CASO DEEPWATER HORIZON

Rogério Ferreira Pereira
Programa de Engenharia Ambiental - UFRJ
rfpereira@gmail.com

Claudia do Rosário Vaz Morgado
Programa de Engenharia Ambiental - UFRJ
cmorgado@poli.ufrj.br

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN
paulov195617@gmail.com

Isaac Jose Antônio Luquetti dos Santos
Instituto de Engenharia Nuclear - IEN
luquetti@ien.gov.br

Resumo: O objetivo deste estudo é a identificação, modelagem e análise das principais relações entre as variáveis que exercem influência na segurança de processos das atividades de exploração e produção de Petróleo, sendo utilizado como referência o acidente da Deepwater Horizon, ocorrido em 20 de abril de 2010 no golfo do México. Como exploração e produção de petróleo fazem parte de um sistema sócio-técnico complexo, foi utilizada neste estudo a metodologia STAMP (LEVESON, 2004), baseada na teoria de sistemas, fundamentada no pensamento sistêmico, e na engenharia de resiliência.

O acidente da Deepwater Horizon, ocorrido em 20 de abril de 2010 foi escolhido como estudo de caso devido a sua importância para a indústria, sendo reconhecido por alguns autores como o maior acidente da história do Petróleo. A metodologia STAMP, adotada nesta pesquisa, baseia-se na teoria de sistemas e os três pilares do método são: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle e modelo de processo.

Os resultados demonstram, através de modelagem da aplicação da teoria de sistemas, as inter-relações e possíveis descontroles entre as principais variáveis que podem influenciar a segurança de processo das atividades de exploração e produção, tomando como referência as publicações técnicas e os relatórios dos órgãos reguladores referentes ao acidente da Deepwater Horizon. O estudo não buscou identificar falhas humanas ou tecnológicas específicas, pois uma abordagem baseada unicamente nas falhas poderia ser reducionista, ignorando todas as condições que permitiriam o processo funcionar sem falhas apesar das variabilidades normais dos processos de exploração e produção de petróleo.

Palavras Chave: Deepwater Horizon, Petróleo

Abstract: The aim of this study is the identification, modeling and analysis of the main relationships among variables performing influence on the process safety of Petroleum exploration and production. We used as the reference the Deepwater Horizon accident, which occurred on April 20, 2010 in the Gulf of Mexico. As exploration and production of oil are part of a complex socio-technical system, was used in this study STAMP (Leveson, 2004) methodology, based on systems theory, systems thinking, and resilience engineering.

The Deepwater Horizon accident, which occurred on April 20, 2010 was chosen as a case study due to its importance for the industry, being recognized by some authors as the largest accident in the history of Oil. The STAMP methodology adopted in this research is based on systems theory and the three pillars of the method are: security restrictions, hierarchical control structure and process model.

The results demonstrate, through modeling of the application of systems theory, the interrelationships and possible out of control situations among the main variables that may influence the security of the process of exploration and production activities, using technical publications and reports of the organs regulators related to the Deepwater Horizon accident as reference. The study doesn't tried to identify specific human or technological failures, because an approach based solely on failures could be reductionist, ignoring all the conditions that would allow the process to work flawlessly despite the normal variability of the processes of exploration and production of oil

Keywords: Deepwater Horizon, Petróleo



1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da indústria do petróleo na atualidade é a segurança dos processos de exploração e produção. Estes desafios envolvem a intolerância dos atuais processos a acidentes únicos devido a quantidade de energia envolvida, a complexidade do sistema sócio-técnico, as interferências externas, combinações não previstas de variáveis e o próprio avanço tecnológico que impõe dificuldades no aprendizado com os eventos do passado, pois circunstâncias mudam muito rapidamente o tempo todo. Com o desafio da segurança surge uma necessidade clara de avaliarmos se as metodologias que utilizamos para análise de riscos e acidentes em exploração e produção de petróleo continuam atualizadas face aos sistemas complexos atuais.

De acordo com (RICKLES; HAWE; SHIELL, 2007), sistemas complexos são aqueles que possuem a característica de comportamento dinâmico através da simples interação de um grande conjunto de variáveis. Este comportamento dinâmico é evidente na indústria do petróleo, uma vez que os atuais sistemas possuem um conjunto de variáveis e interações que tornam difícil qualquer tentativa de gerenciar intelectualmente as inter-relações entre as variáveis. Para lidar com esta complexidade, a indústria química e do petróleo tem investido seus recursos na elaboração de guias e normas focados em segurança de processo (OECD, 2008), (CCPS, 2007), (HSE, 2006), (CEFIC, 2011). Estes guias partem da premissa de que segurança de processos diferencia-se da segurança ocupacional, pois a segurança de processos estaria focada em acidentes com um grande número de vítimas devido aos processos químicos e a integridade das instalações, enquanto a segurança ocupacional estaria focada na prevenção de lesões e doenças aos trabalhadores (KHAN; ABUNADA; JOHN, 2010). Apesar da tentativa de desenvolver modelos específicos de segurança de processos para lidar com a complexidade, o enfoque específico em processos químicos pode tirar o foco de

aspectos que eventualmente possam contribuir para acidentes ocupacionais e de processo ao mesmo tempo. Com todos estes desafios, há uma necessidade evidente de investirmos na melhoria contínua das metodologias de análise de acidentes e riscos para que sejam atualizadas aos desafios atuais.

O objetivo deste trabalho é a análise de segurança do processo de exploração e produção de petróleo por meio da modelagem sistêmica com base na metodologia STAMP, fundamentada no pensamento sistêmico e na engenharia de resiliência, sendo utilizado como estudo de caso o acidente Deepwater Horizon Blowout no Golfo do México, ocorrido em 20 de abril de 2010. Como este foi um dos maiores acidentes ambientais da história, este estudo buscou realizar uma análise de resiliência dos aspectos da atividade de exploração e produção de petróleo em águas profundas, pois este continua sendo um desafio relevante e atual.

2. PENSAMENTO SISTÊMICO

Quando estudamos um problema complexo, geralmente buscamos dividi-lo em partes menores para facilitar o entendimento. Após desenvolvermos o conhecimento sobre o funcionamento das partes, buscamos atuar sobre elas para alcançar os resultados desejados no todo. A estratégia de partir das partes para o todo permite um conhecimento aprofundado em determinados aspectos estudados, todavia, para que isso seja possível, acabamos perdendo o entendimento do todo para as partes, ou seja, perdemos o entendimento de que as variáveis estudadas podem se comportar de forma diferente e gerar resultados desproporcionais quando combinadas com o todo ou podem ao longo de um intervalo de tempo gerar resultados que levem o todo a um descontrole.

A dificuldade em enxergar o todo por métodos reducionistas torna-se ainda mais acentuada quando lidamos com problemas complexos, nos quais há grande

interação entre variáveis e muitas combinações possíveis, incluindo interações entre atividades humanas e tecnológicas ao longo do tempo. Além da complexidade das decisões humanas, os microprocessadores e sistemas baseados em software tornam-se bastante complexos ao ponto de tornar difícil a compreensão dos modelos de processos neles estabelecidos. O trabalho de (SENGE, 1990, p. 8) utiliza as palavras do físico David Bohm para definir a estratégia de enxergar o todo pelo estudo das partes em um sistema complexo, no qual segundo Bohm, não teria utilidade, pois seria como juntar os pedaços de um espelho quebrado para enxergar uma imagem verdadeira.

Para solucionar esta dificuldade no entendimento de sistemas complexos, um conjunto de metodologias foi desenvolvido ao longo dos anos a partir dos trabalhos pioneiros de (FORRESTER, 1961) e (BERTALANFFY, 1969) nos quais busca-se representar os processos por meio de loops de controle e retroalimentações e tenta-se compreender a importância da visão holística e entendimento do todo em oposição ao estudo isolado das partes. Este conjunto de metodologias e conceitos gerou um grande número de aplicações na indústria e na busca por soluções de problemas sociais complexos (STERMAN, 2000). A figura 1 é um exemplo de aplicação da teoria sistemas, modelada através da dinâmica de sistemas, a qual elaboramos com apoio do software VENSIM® e adaptação de modelos padronizados de dinâmica de sistemas desenvolvidos nos estudos de (MARAIS, SALEH e LEVESON, 2006).

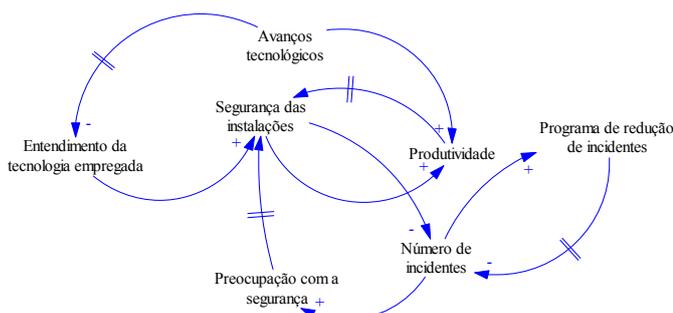


Figura 1- Diagrama de enlace Segurança de Instalações

As setas na figura indicam o sentido do fluxo e os sinais "+" ou "-" indicam se a variável aumenta ou diminui a variável que recebe influência. Os dois traços na seta indicam um atraso entre a alteração na variável que exerce influência e o impacto sobre a variável influenciada.

Os modelos construídos permitem entendimento de situações como a descrita na figura 1, na qual é possível observar situações de interação entre variáveis de forma abrangente. O caso da figura demonstra que uma simples redução no número de incidentes leva à redução da preocupação das pessoas com a segurança, em longo prazo, e leva a uma futura redução na segurança das instalações. Em todos os modelos desenvolvidos é possível observar que a interação entre variáveis leva a consequências desproporcionais, tornando-se cada vez mais necessária a aplicação de metodologias que ajudem a explicar mais claramente os fenômenos complexos e que as análises não sejam reducionistas ou compartimentadas. A aplicação do pensamento sistêmico demonstra ser uma possível alternativa.

Como o processo de exploração e produção de petróleo é um sistema complexo e sistemas complexos geralmente falham de forma complexa, a hipótese desta pesquisa baseou-se na afirmação de que a teoria de sistemas, fundamentada no pensamento sistêmico, é uma ferramenta útil para a compreensão de acidentes de segurança de processos de exploração e produção de petróleo. Para que seja possível o desenvolvimento de modelos, torna-se necessária uma melhor compreensão do significado de segurança de processo para a indústria do petróleo

3. SEGURANÇA DE PROCESSO

De acordo com (CCPS, 2007), a segurança de processos diferencia-se da abordagem tradicional de segurança ocupacional. Enquanto a segurança ocupacional está muito mais fortemente empenhada em evitar lesões e doenças do

trabalhador, a abordagem de Segurança em processos está voltada para a necessidade de prever possíveis falhas em processos para evitar acidentes com um grande número de vítimas ou até mesmo catástrofes ambientais. Apesar de serem complementares, a abordagem de um sistema de gestão com indicadores diretos e ações para melhorias pode ser interessante para segurança ocupacional, mas não muito aplicável para segurança em processos, pois os eventos diretos de segurança em processos ocorrem menos frequentemente para que possam ser definidas ações corretivas. Além de pouco frequentes, um único evento pode significar uma catástrofe de grandes proporções do ponto de vista da segurança de processo e também ambiental. Ainda segundo (HSE, 2006), gestão de segurança de processo trata-se de um sistema de gestão focado em acidentes maiores. Para que seja possível realizar esta gestão, o guia (OGP, 2011) define que segurança de processos é um framework para gerenciar a integridade da operação de sistemas e lidar com substâncias perigosas.

Conforme as definições apresentadas, é possível observar que um dos maiores desafios da segurança de processos está na intolerância dos atuais processos a acidentes únicos, devido a quantidade de energia envolvida. Além deste desafio, a velocidade dos avanços tecnológicos torna difícil a tarefa de manter atualizada uma abordagem de segurança baseada na confiabilidade de componentes. O desafio da confiabilidade torna-se ainda mais difícil quando percebemos que as pessoas desempenham papel importante neste conjunto e eventualmente falham. Adicionalmente, os processos também estão sujeitos a interferências do meio externo, e o próprio avanço tecnológico impõe dificuldades na atividade de aprendizado com os eventos do passado, pois circunstâncias mudam muito rapidamente o tempo todo.

Com o desafio da segurança de processos surge também uma necessidade clara de avaliarmos se as metodologias que utilizamos para análise de riscos e acidentes em exploração e produção de petróleo continuam

atualizadas ou necessitam de novas abordagens para encararmos os desafios do futuro.

4. MODELOS DE ANÁLISE DE ACIDENTES E RISCOS

A estratégia de prevenção de acidentes e resposta aos desastres dependem da escolha correta e aplicação de modelos de análises de acidentes e avaliação de riscos, pois eles vão ajudar a explicar porque os acidentes ocorrem, e determinar as medidas que devemos tomar para preveni-los (LUNDBERG; ROLLENHAGEN; HOLLNAGEL, 2009). Nenhum modelo é completo o bastante para representar com perfeição a realidade, entretanto é importante que a escolha do modelo de análise leve em consideração a complexidade do processo estudado e permita entendê-lo de forma abrangente, considerando suas inter-relações e fontes de variação.

Os modelos de acidentes e riscos normalmente utilizados na indústria de exploração e produção de petróleo baseiam-se no princípio de que os acidentes ocorrem através de eventos bem definidos e encadeados, os quais geram um resultado indesejado. De acordo com este modelo é possível identificar uma ou mais causas como raiz, as quais seriam responsáveis por desencadear o evento indesejado. As tradicionais ferramentas de análise de riscos ou acidentes na indústria de Petróleo e Gás como HAZOP, FMEA e árvore de falhas partem do modelo de cadeia de eventos ou variações deste. Os modelos de cadeia de eventos são bastante úteis para sistemas técnicos, todavia quando incluímos possíveis falhas humanas e as recombinações e retroalimentações ao longo do tempo, começamos a tornar nosso modelo pouco adequado. No contexto dos sistemas complexos, identificar o evento gerador torna-se também uma atividade extremamente subjetiva, uma vez que o sistema é dinâmico, variando e gerando combinações ao longo do tempo. As vezes apontamos a falha humana como evento causador, quando na verdade temos dificuldade em identificar os fatores que moldaram o comportamento.

A complexidade dos sistemas de segurança é retratada por (PERROW, 1981), o qual chegou a utilizar a expressão "acidentes normais" em suas publicações para fazer referência a dificuldade na prevenção de acidentes que ocorrem quando a combinação de variáveis normais de processo leva a consequências desproporcionais. Neste contexto, esta pesquisa adotou como metodologia uma abordagem baseada na teoria de sistemas e engenharia de resiliência chama de STAMP Systems-Theoretic Accident Model and Processes (LEVESON, 2004), na qual os acidentes não são vistos como eventos específicos que falham, mas são tratados como problema de controle e de resiliência. De acordo com o método adotado para a realização desta pesquisa, a variabilidade existe e é intrínseca ao processo, todavia os controles devem ser robustos o suficiente para manter os processos funcionando, mesmo com as variabilidades impostas. Neste sentido, segurança seria a capacidade de manter o processo funcionando, mesmo com as variações normais de processo e não somente como a ausência de acidentes e incidentes (LEVESON, 2011) (HOLLNAGEL; WOODS; WREATHALL, 2010). O exemplo da Deepwater Horizon nos ajuda a justificar esta abordagem, uma vez que de acordo com (GRAHAM et al., 2011, p. 22) a plataforma estava há mais de 7 anos sem ocorrência de acidentes com afastamento no momento em que um descontrole de poço gerou um dos maiores acidentes da história do Petróleo.

5. METODOLOGIA

O modelo STAMP (LEVESON, 2004) adotado nesta pesquisa baseia-se na teoria de sistemas e os três pilares do método são: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle e modelo de processo. De acordo com o método, as restrições de segurança devem ser reforçadas através de controles, os quais utilizam mecanismos de realimentação e buscam garantir a segurança do sistema observando as mudanças e readaptando o controle quando necessário. O controle hierárquico significa que é possível estabelecer níveis de controle, nos quais os níveis mais

baixos estão mais próximos da estrutura física onde ocorre o acidente. Cada nível acima possui mecanismos para reforçar as restrições de segurança dos níveis abaixo e ter retroalimentação para avaliar se as restrições impostas estão sendo bem sucedidas ou falhando. Para que as ações de controle sejam possíveis, o controlador de cada nível estabelece um modelo de processo, o qual permite a identificação de como o processo deve se comportar ao ser aplicada a restrição de controle (LEVESON, 2011). Enxergando acidentes como problema de controle, temos as seguintes classificações de falhas possíveis:

Tabela 1 : Classificação de Falhas de controle (LEVESON, 2004)

1 - Inadequação da imposição de restrições para implantação das ações de controle (ações de Controle)

- 1.1 - Perigos não identificados
- 1.2 - Perda, ineficácia ou inadequação de ações de controle para fatores de risco identificados
 - 1.2.1 - Projeto do algoritmo de controle (processo) não impõe restrições.
 - Falhas na criação do processo.
 - Mudança de processo sem a correspondente mudança no algoritmo de controle (assincronia de evoluções).
 - Modificação ou adaptação incorreta
 - 1.2.2 - Modelo de processo inconsistente, incompleto ou incorreto,
 - Falhas na criação de processo.
 - Falhas na atualização de processo (evolução assíncrona).
 - Defasagem de tempo
 - Impresões de medição não contabilizadas
- 1.2.3 - Coordenação inadequada entre controladores e tomadores de decisão (áreas de fronteira entre atividades e co-atividades)

2 - Inadequação da execução de ações de controle:

- 2.1 - Falha de comunicação
- 2.2 - Operação inadequada do operador
- 2.3 - defasagem de tempo

3 - Perda de retroalimentação ou retroalimentação inadequada

- 3.1 - Não fornecida no projeto do sistema
- 3.2 - Falha de comunicação
- 3.3 - defasagem de tempo
- 3.4 - Operação inadequada do sensor (informação incorreta ou não fornecida)

A metodologia de investigação de acidentes utilizando STAMP é chamada CAST - Causal Analysis using System Theory. Para que seja possível entender acidentes através da aplicação da metodologia CAST, são realizados os passos de investigação a seguir, de acordo com (LEVESON, 2011):

1. Identifique os acontecimentos próximos ao evento
2. Identifique o perigo do sistema violado e as restrições projetadas para o sistema de segurança.
3. Construa a estrutura de controle como ela foi projetada para funcionar.
4. Para cada componente, determine se ele preenche todas as responsabilidades ou fornece controle inadequado.
Examine a coordenação e comunicação.
Considere a dinâmica e migração para riscos maiores.
5. Determine as mudanças que poderiam eliminar o controle inadequada (falta de reforço nas restrições) no futuro.
Elabore recomendações.

Como o principal objetivo de uma análise de acidentes é a prevenção de recorrências futuras, o enfoque da análise utilizando o CAST é identificar as fragilidades do sistema de controle e promover melhorias para garantir que o sistema de controle continue funcionando mesmo com variações semelhantes no futuro. As mudanças no sistema de controle visam garantir que a estrutura de restrição e retroalimentação permitam que a estrutura seja capaz de se adaptar ao longo do tempo, conforme as variáveis de resposta obtidas pela retroalimentação.

Algumas vezes as causas chegam a ser atribuídas a falhas humanas, entretanto o método CAST de análise sugere que a investigação vá além, buscando entender os fatores que moldam o comportamento para identificar como o sistema de controle poderia impor restrições para que os possos tivessem condições de tomar decisões melhores. Adicionalmente avaliasse também toda a estrutura de controle dos níveis superiores para identificar porque as restrições de controle e retroalimentações não foram capazes de prevenir a degradação do sistema adaptando-se as mudanças.

5.1 The Deepwater Horizon Blowout

No dia 20 de Abril de 2010, por volta das 21h local, no Golfo do México, uma explosão na plataforma de perfuração Deepwater Horizon, de propriedade da empresa

Transocean e operando para a BP - British Petroleum, deu início ao que é registrado como um dos mais graves acidentes do setor de Exploração e Produção de Petróleo. O acidente provocou a morte de 11 trabalhadores, feriu 17 e deixou um enorme vazamento de óleo que durou 87 dias, provocando a maior catástrofe ambiental da indústria do Petróleo nos estados unidos. A causa do enorme desastre foi um descontrole do poço, chamado de Blowout pela indústria de Petróleo (GRAHAM et al., 2011). Para entender melhor como o acidente aconteceu, é necessário conhecer um pouco sobre o processo de exploração de petróleo e por este motivo este artigo buscou explicar resumidamente esta atividade tão complexa.

Antes de iniciar as atividades de perfuração são realizados diversos estudos sísmicos para conhecer a formação rochosa e o potencial de exploração de petróleo da provável reserva. De posse destes estudos, o poço de petróleo é então construído em etapas com o apoio de uma broca rotativa que perfura o leito do mar. A broca é conduzida até o local de perfuração através de imensas plataformas onde ficam todos os equipamentos necessários para perfuração. Para que a plataforma não fique em movimento durante a perfuração e dificulte os trabalhos, é utilizado um sofisticado sistema de posicionamento via satélite e poderosos motores que conseguem manter a posição da plataforma nas diversas situações de trabalho. Para tornar a perfuração possível é também utilizado um fluido de perfuração como meio para lubrificação da broca, limpeza do poço e contenção dos hidrocarbonetos (SKALLE, 2012).

A contenção dos hidrocarbonetos se faz necessária, pois conforme ocorre a perfuração, as reservas nas rochas podem invadir o poço e dificultar a perfuração ou provocar acidentes. Esta contenção é realizada por meio do controle de densidade do fluido de perfuração, o qual exerce pressão sobre os hidrocarbonetos da formação, mantendo eles controlados dentro do poço. Devido a função importante do fluido de perfuração, o mesmo é



desenvolvido através de um conjunto de compostos para que tenha uma densidade adequada para não ser pouco densa demais ao ponto de não conseguir conter os hidrocarbonetos e evitar que eles retornem pelo poço, ou muito densa, ao ponto de fraturar as formações, podendo provocar vazamentos de hidrocarbonetos através da formação.

Após algumas etapas de perfuração, um tubo de aço é posicionado no poço e é realizada uma cimentação para evitar a invasão de hidrocarbonetos através da formação. Na entrada do poço é posicionado um equipamento de proteção chamado BOP (Blowout Prevent). Este equipamento possui um conjunto complexo de válvulas, o qual permite fechar o poço em caso de pressões anormais de hidrocarbonetos ou situações de emergência, podendo chegar até a selar o poço no leito do mar e desconectar a plataforma, como último recurso.

O fechamento pode ser manual ou automático em caso de acidentes e desconexão da plataforma. Há um "kick" quando ocorre uma invasão de hidrocarbonetos no poço através da formação. Quando não é possível controlar o "kick" através dos mecanismos supracitados, o poço estará fora de controle e isso é chamado de Blowout.

5.2 CAST

5.2.1. Identificação dos Fatos Próximos ao Evento.

De acordo com (BP, 2010) e (GRAHAM et al., 2011) os passos que antecedem o acidente da Deepwater Horizon foram:

- Um dia antes do acidente foi realizada a cimentação do poço através do bombeamento de uma pasta leve de cimento para prevenir que hidrocarbonetos invadissem o poço. A pasta precisaria ser leve para reduzir a pressão da coluna de cimentação sobre a formação. Posteriormente a equipe de investigação

identificou a cimentação como uma das prováveis causas do acidente.

- A equipe de investigação concluiu que posteriormente os hidrocarbonetos entraram no poço através da Shoe-Track, e não através de uma falha no próprio revestimento de produção ou até o anel do poço e através do conjunto de vedação.
- O teste de pressão negativa foi aceito apesar de integridade do poço não ter sido identificada adequadamente. Após a realização de testes, a tripulação entendeu que divergências nos valores identificados de pressão eram devido a "um efeito bexiga".
- Fluxo desconhecido de hidrocarbonetos estava Riser.
- As ações de resposta à invasão de hidrocarbonetos falharam. As primeiras ações de controle foram fechar o BOP e desviar os fluidos que saem do riser para o separador de gás da lama em vez de para a linha de desvio para o mar.
- Redirecionamento para o separador de gás e lama resultou na libertação de gás para a plataforma.
- Os sistemas de incêndio e gás não preveniram a ignição dos hidrocarbonetos
- O BOP falhou na tentativa de selar o poço.

5.2.2 Identificação do perigo do Sistema Violado e as Restrições Projetadas Para o Sistema de Segurança.

Como estamos considerando o acidente da Deepwater Horizon, foram definidos os perigos e restrições de segurança para a fase de exploração, conforme o andamento no momento do acidente, todavia é importante salientar que os perigos e restrições de segurança mudam conforme as mudanças de atividades. Em todos os casos, os controles de processo devem alterar os algoritmos de controle e as restrições de acordo com as mudanças.

Perigo: Blowouts e vazamento de hidrocarbonetos para o poço.

Restrições de segurança: Prevenir o fluxo de hidrocarbonetos da reserva para o poço.

Partindo destas premissas, são avaliados os controles existentes e como eles falharam na missão de reforçar esta restrição.

5.3. Construção da Estrutura de Controle Como ela Foi Projetada Para Funcionar

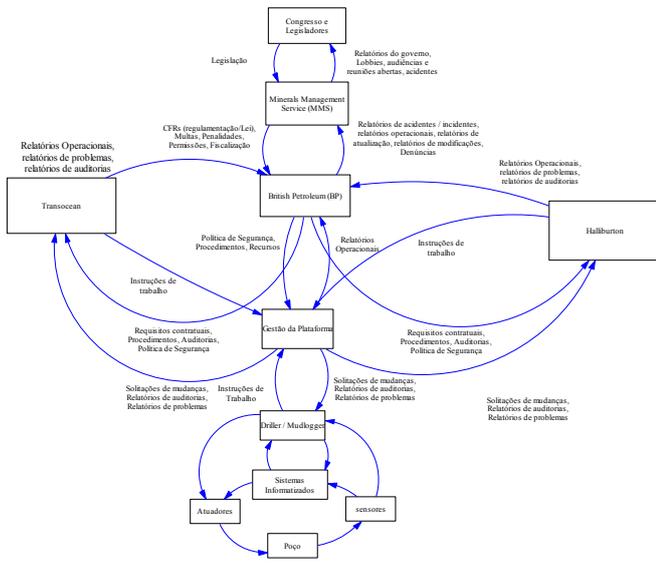


Figura 2 - Estrutura de Controle Deepwater Horizon. A estrutura de controle foi montada com os principais envolvidos no acidente, todavia uma análise mais robusta poderia ser feita com outras inclusões. É possível observar nas setas do modelo as restrições de segurança e as retroalimentações recebidas por cada um dos controladores. O objetivo do sistema de controle é reforçar a restrição identificada no item 5.2.2

5.4. Para Cada Componente, Determine se Ele Preenche Todas as Responsabilidades ou Fornece Controle Inadequado.

Com o objetivo de demonstrar aplicação do CAST, avaliaremos as responsabilidades e controles dos principais componentes. A avaliação dos controles é realizada normalmente partindo do nível mais inferior da

estrutura, incluindo suas restrições, para os níveis superiores. A organização das informações em tabelas facilitam a análise posterior.

Tabela 2 : Responsabilidades e condições de controle

Componente	Responsabilidade de Segurança	Ação de Controle Inadequado	Contexto em que a decisão foi tomada	Falha de processo ou modelo mental
Driller / Muddlogger	Assegurar a integridade do Poço, Avaliar as informações de fluxo/pressão e operar em conformidade com os procedimentos, Operar o poço em conformidade com a agenda da gestão da plataforma, Detectar e controlar Kicks durante a perfuração,	Interpretação incorreta das informações dos sensores, direcionamento inadequado do fluxo do poço para os separadores de gas/lama, BOP falhou quando acionado	mudança de turno, Atrasos nas atividades programadas para a plataforma, Pressão para redução de custos, ausência de procedimento formal para análise de informações de pressão dos testes	Entendimento incorreto de que as informações de divergência de pressão identificadas em testes eram causadas por "efeito bexiga".
Gestão da Plataforma	Assegurar o cumprimento da agenda da plataforma, estabelecer controles de acordo com as condições do poço, Operar em conformidade com o plano de trabalho estabelecido pela BP e Contratadas, Aplicar as políticas de segurança da BP, Assegurar a integridade estrutural da plataforma	Não houve disponibilização de procedimento formal para análise de informações de pressão dos testes, Padrões de trabalho não garantiria funcionamento do BOP, Liberação da equipe de cimentação sem a realização de testes de integridade,	Mudança de turno, Atrasos nas atividades programadas para a plataforma, Pressão para redução de custos,	Entendimento incorreto de que as informações de divergência de pressão identificadas em testes eram causadas por "efeito bexiga". Entendimento de que não eram necessários os testes de cimentação
BP	Estabelecer o programa de perfuração, atender a legislação, encaminhar informações Operacionais ao MMS, estabelecer o plano de trabalho em conformidade com as condições de perfuração, Avaliar fornecedores, verificar cumprimento dos procedimentos, fornecer recursos, realizar treinamentos, monitorar as operações, estabelecer política de segurança.	Falha no atendimento a CFRs do MMS, ausência de padrões para testes de integridade	Atrasos nas atividades programadas para a plataforma, Pressão para redução de custos,	Cultura anti-regulatória
MMS	Fiscalizar BP, fornecer autorizações para mudanças, fornecer regulamentação ao setor	Não há regulamentação com as especificidades de águas profundas, Testes de BOP liberados com requisitos divergentes do local para onde seria aplicado	Equipe subdimensionada, pressão por mudanças na estrutura	

Com a elaboração do modelo, é possível identificar que em alguns casos, como o não funcionamento do BOP, um conjunto de restrições dos níveis superiores não funcionaram, chegando até o nível mais elevado da estrutura que no nosso caso foi o MMS, o qual não possuía regulamentação adequada para águas profundas. Desta forma é possível estabelecer controles nos níveis mais baixos e subirem na estrutura com mecanismos que reforcem estes controles. O fato de o modelo ser hierárquico não significa que seja linear, permitindo assim que os sistemas se inter-relacionem e adaptem o controle em conformidade com a retroalimentação recebida.

6. CONCLUSÕES

De acordo com a análise do acidente utilizando CAST, podemos concluir que a teoria de sistemas fornece uma abordagem que vai além das formas tradicionais lineares de análise de acidentes. O enfoque no controle fornece informações que podem auxiliar o estabelecimento de ações e manutenção dos processos de forma mais direta, entretanto o método não gera informações probabilísticas para auxiliar a tomada de decisão pelos órgãos fiscalizadores e não permitem a indicação de um culpado específico para ações judiciais. Um dos maiores desafios neste tipo de análise está na elaboração de um mapa mental comum para toda a equipe que trabalha na investigação de acidentes, entretanto é evidente que o investimento no estudo de alternativas para atualizarmos os tradicionais modelos de análises de acidentes e riscos, em busca de uma melhoria contínua, continua sendo um desafio relevante e atual.

Partindo da informação dos controles existentes e de como falharam/podem falhar é possível estabelecer controles adicionais ou novos que se atualizem automaticamente de acordo com as informações recebidas do processo (feedback). A coluna que apresenta o contexto em que a decisão foi tomada também representa uma fonte rica de informações que permitem uma atuação para tornar o processo mais resiliente, pois indicam fatores que podem

ter moldado o comportamento das pessoas e influenciado as decisões.

7. REFERÊNCIAS

BERTALANFFY, L. VON. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. 1. ed. New York: George Braziller Inc, 1969. p. 296

BLYTHE, B. J. *et al.* SUBSEA DRILLING, WELL OPERATIONS AND COMPLETIONS Prepared by the Offshore Operations Subgroup. p. 1–45, 2011.

BP, B. P. *Deepwater Horizon Accident Investigation Report*. Houston: British Petroleum, 2010. p. 192 Disponível em: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=oJnW9R4m_3sC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Deepwater+Horizon+Accident+Investigation+Report&ots=nWwKTkKXrR&sig=f65MoVDdRY0qIdMp4QtMO0iKbG0>. Acesso em: 12 fev. 2014.

CCPS, C. FOR C. P. S. *Guidelines for risk based process safety*. 1. ed. Hoboken: [s.n.], 2007. p. 768 Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=xdU1XfHiNLQC&oi=fnd&pg=PR29&dq=Guidelines+for+Risk+Based+Process+Safety&ots=omUf8IkycA&sig=F7uYE6ra1RQDvUTG-GscW3Nya5o>>. Acesso em: 26 nov. 2013.

CEFIC. *Guidance on Process Safety Performance Indicators*. 2. ed. Brussels: [s.n.], 2011. v. 2. p. 50 Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/prs.10418>>.

FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. 1. ed. Cambridge: The M.I.T. Press, 1961. p. 484

GRAHAM, B. *et al.* *Deepwater - The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling*. Vasa. Washington, DC: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; WREATHALL, J. *Resilience Engineering in Practice*. 1. ed. Farnham: Ashgate Publishing Limited, 2010. p. 363

HSE, S. E. *Developing process safety indicators - HSG 254*. 1. ed. [S.l.]: HSE books, 2006. p. 59

KHAN, F.; ABUNADA, H.; JOHN, D. Development of Risk-Based Process Safety Indicators. v. 29, n. 2, p. 133–143, 2010.



LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, v. 42, n. 4, p. 237–270, abr. 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092575350300047X>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

LEVESON, N. *Engineering a Safer World*. 1. ed. Cambridge: Library of Congress, 2011. p. 555

LUNDBERG, J.; ROLLENHAGEN, C.; HOLLNAGEL, E. What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety Science*, v. 47, n. 10, p. 1297–1311, dez. 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753509000137>>. Acesso em: 21 out. 2013.

OECD. *Guidance on Developing Safety Performance Indicator*. Second Edi ed. Paris: [s.n.], 2008. p. 156 Disponível em: <www.oecd.org/ehs/>.

OGP, I. A. OF O. & G. P. *Process Safety – Recommended Practice on Key Performance Indicators Table of Contents*. 1. ed. London: 1, 2011. p. 36 Disponível em: <www.ogp.org.uk>.

PERROW, C. Normal accident at three Mile Island. *Society*, v. 18, n. 5, p. 17–26, jul. 1981. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02701322>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

RICKLES, D.; HAWE, P.; SHIELL, A. A simple guide to chaos and complexity. *Journal of epidemiology and community health*, v. 61, n. 11, p. 933–7, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2465602&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

SENGE, P. M. *The Fifth Discipline*. 1. ed. New York: Library of Congress, 1990. p. 412

SKALLE, P. *Pressure control during oil well drilling*. [S.l.]: bookboon, 2012. p. 145 Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=LslW1IwOcl0C&oi=fnd&pg=PA7&dq=Pressure+Control+During+Oil+Well+Drilling&ots=fQSF1KhIqS&sig=dvswgbCcXYsWa7NRUVKFZS4WdA>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

STERMAN, J. D. *Business Dynamics - Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. 1. ed. Cambridge: McGraw-Hill/Irwin, 2000. p. 1008