

Análise de Riscos Para a Ocorrência de Blowouts no Processo de Perfuração de Poços de Petróleo Offshore

João Heinrich Ferreira da Matos

Engenheiro de Produção pela Universidade Federal Fluminense.

Carlos Frederico Barros

Professor Adjunto Eng. de Produção - Depto.de Engenharia - Instituto de Ciência e Tecnologia
Coordenador LABRISK - Laboratório de Engenharia de Alta Complexidade - Riscos Tecnológicos e Ambientais UFF/Universidade Federal Fluminense.

Pesquisador – Garta - Grupo de Análise de Risco Tecnológico e Ambiental COPPE/UFRJ

RESUMO

O processo de perfuração de poços de petróleo *offshore* é complexo e envolve vários riscos em sua operação de controle de poço. Neste contexto, as funções desempenhadas pelos controles primário e secundário de poço são fundamentais para garantia de uma operação eficaz e segura. O controle primário é composto pelas ações do fluido de perfuração e o controle secundário pelas ações de prevenção do BOP. O presente projeto foi desenvolvido com o intuito de minimizar os riscos da atividade de perfuração através de análises de falhas do sistema de controle de poço, para assim, evitar a ocorrência de *kicks*, *blowouts* e suas causas associadas. Para isso foi desenvolvido um mapeamento de processos da operação de perfuração, onde foi definido uma atividade crítica para análise. Nesta atividade crítica foi elaborado um Diagrama Bow-Tie identificando a Árvore de Falhas que levam a ocorrência de *blowouts* e Árvore de Eventos das consequências desse tipo de acidente.

Palavras-chave: Petróleo; Perfuração; Sistema de Controle de Poço; Análise de Riscos e Falhas.

ABSTRACT

The offshore oil well drilling process is complex and involves several risks in its well control operation. In this context, the functions performed by primary and secondary well controls are essential for ensuring an effective and safe operation. The primary control is composed of the functions of the drilling mud and the secondary control is composed of the preventive actions of the BOP. This project was developed with the objective to minimize the risks of drilling activity through failure analysis of the well control system, to avoid the occurrence of kicks, blowouts and their associated causes. For this, a process mapping of the drilling operation was developed where a critical activity was defined for analysis. In this critical activity was developed a Bow-Tie Diagram to identify the Fault Tree that lead to the occurrence of blowouts and consequences Event Tree of this type of accident.

Keywords: Oil and Gas; Drilling; Well Control System; Failure and Risk Analyses.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Nas últimas décadas, o petróleo tem sido a principal fonte de energia para a humanidade, pois é dele que se originam diversos combustíveis e produtos para o seu consumo. Embora hoje em dia haja fontes de energia renováveis, o petróleo ainda é a principal. O setor do petróleo e gás natural é um dos mais dinâmicos segmentos da economia do Brasil e do mundo, pois conta com um grau elevado de desenvolvimento tecnológico.

A exploração de petróleo no Brasil iniciou em 1858 com a extração de mineral betuminoso para fabricação de querosene, porém somente no ano de 1897 foi perfurado o primeiro poço com objetivo de extrair petróleo. No final de 1939 foram perfurados, aproximadamente, 80 poços de petróleo, mas só no ano de 1941 foi descoberto o primeiro campo comercial, em Candeias-BA [1].

A partir de 1953 foi instituído o monopólio estatal de petróleo com a criação da Petrobras, dando início as pesquisas voltadas para a exploração e produção de petróleo. Desde a sua criação, a Petrobras já descobriu campos comerciais em 13 estados brasileiros, contando com a principal Bacia que é a de Campos, situada no Rio de Janeiro [1].

Segundo dados do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis divulgado pela ANP (2016), o Brasil ficou na 12ª colocação do ranking mundial de produtores de petróleo, tendo uma produção nacional, no ano de 2015, de 889,7 milhões de barris de petróleo (média de 2,4 milhões de barris/dia ante a produção média de 2,3 milhões de barris/dia em 2014) [2].

A indústria de petróleo é segmentada em três grandes blocos: *upstream*, *midstream* e *downstream*. O *upstream* corresponde às atividades de exploração e produção (E&P) que é o segmento alvo de estudo deste trabalho. O *midstream* está relacionado à atividade de transporte e refino, o *downstream* à distribuição de derivados de petróleo e gás [3].

A exploração de petróleo no mar desenvolveu-se substancialmente nas últimas décadas. Ao longo desse processo, notadamente a partir da década de 80, a quantidade de informação gerada durante a perfuração aumentou dramaticamente [4].

A perfuração de poços de petróleo, desde os seus primórdios, é caracterizada por um conjunto de atividades e operações que envolvem grande complexidade, riscos e, sobretudo, elevados custos financeiros que devem ser gerenciados [5]. Nesta fase, existe um conjunto de sistemas na sonda de perfuração com tecnologias de ponta para que o processo ocorra de forma eficaz e eficiente. Porém, os riscos de acidentes são significativos, pois além de provocar perdas da tecnologia disposta, eles podem causar acidentes com vítimas e desastres ambientais provocando severos danos financeiros ao negócio. O principal risco no processo de perfuração é a ocorrência de *blowout* [6].

A indústria do petróleo, em toda a sua extensão, tem o potencial de produzir expressivos impactos ambientais, que podem advir tanto das atividades rotineiras (poluição por emissão de poluentes e resíduos), quanto de possíveis acidentes operacionais [7]. Com isso, a atividade de gerenciar os riscos das operações de perfuração passa a ser de extrema relevância para a garantia da competitividade das empresas, redução de potenciais perdas de ativos e diminuição dos impactos ambientais.

Diversas técnicas de análise de riscos são utilizadas para o gerenciamento e administração de operações que envolvem os riscos de acidentes. As principais ferramentas para análise de risco são: FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), HAZOP (*Hazards and Operability Study*), ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) e Diagrama Bow-Tie [8].

O presente artigo abordará métodos para o levantamento e análise dos potenciais riscos no processo de perfuração de poços de petróleo *offshore* para a ocorrência de *blowouts*, onde um conjunto de ferramentas de análise será utilizado para ajudar na tomada de decisão para o gerenciamento desses riscos com a finalidade de prevenção de perdas de processos.

1.2. Objetivo Geral

O projeto tem como objetivo analisar os principais riscos no processo de perfuração de poços de petróleo *offshore* com foco em eventos de *blowout* e causas associadas.

1.3. Objetivos Específicos

No decorrer do projeto, os seguintes objetivos específicos se tornam essenciais para proporcionar o alcance do objetivo geral:

- Revisar a bibliografia sobre os conceitos e operações de perfuração de poços de petróleo *offshore*;
- Mapear o processo de perfuração;
- Analisar o processo de perfuração e identificar os principais riscos de falhas para a ocorrência de *blowouts* para um projeto de poço de uma empresa de petróleo.

1.4. Justificativa do Estudo

A perfuração, hoje em dia, tem o objetivo de atingir cenários geológicos de grande complexidade, e é capaz de atingir zonas de elevadas profundidades e consequentemente sujeitas a pressões e temperaturas críticas [9]. Diante desses cenários, a perfuração é uma das fases mais complexas do segmento *upstream* na cadeia de petróleo, pois esta fase requer a maior parte de todo investimento disponibilizado para a obtenção do óleo e gás.

Como se trata de uma fase complexa, inúmeros equipamentos e procedimentos são requeridos para que se inicie e conclua de forma eficaz e segura. Porém, como os ambientes em que estão os reservatórios de petróleo são ambientes hostis, este processo requer muito cuidado durante sua operação, pois os riscos podem gerar grandes acidentes.

As atividades de exploração, perfuração e produção são complexas, pois podem afetar negativamente os ecossistemas, a cultura local e a saúde humana [7]. Em vista disso, os acidentes numa sonda de perfuração são catastróficos, pois podem matar pessoas e causar danos ambientais irreversíveis. Em razão disso, o presente artigo visa analisar os principais riscos para poder gerenciá-los de forma eficiente, eficaz e segura, fazendo com que o processo de perfuração continue sendo executado, mesmo diante dos potenciais riscos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Segmento Upstream de Petróleo

O segmento *upstream* da indústria de petróleo pode ser dividido em quatro etapas: **Exploração** que consiste na etapa de prospecção por formações rochosas que haja acúmulo de hidrocarbonetos recuperáveis; **Desenvolvimento** cuja etapa envolve a perfuração de poços de petróleo, desde o início até o abandono, caso não seja encontrado uma jazida com volume economicamente recuperável de hidrocarbonetos [7].

A **Produção** é o processo de exploração do petróleo e separação dos hidrocarbonetos líquidos da mistura inicial de óleo, água e sólidos. Já a fase de **Abandono**, o poço é descomissionado após a sua vida útil ou quando são poços recém-perfurados que não tem uma quantidade de hidrocarbonetos economicamente recuperável ou são abandonados temporariamente para operação futura [7].

2.2. Sondas de Perfuração

A sonda de perfuração ou plataforma de perfuração é a estrutura que permite perfurar poços e garantir acesso aos reservatórios. As mesmas são classificadas conforme a localização das operações podendo ser de dois tipos: sondas terrestres, destinadas às operações *onshore* e sondas marítimas destinadas às operações *offshore* [9].

Todos os equipamentos de uma unidade de perfuração são agrupados nos chamados “sistemas” de uma sonda, que são definidos como [1]:

- Sistema de sustentação de cargas;
- Sistema de sustentação de cargas;
- Sistema de movimentação de cargas;
- Sistema de rotação;
- Sistema de circulação;
- Sistema de monitoração;
- Sistema de Segurança do poço.

O presente artigo abordará as principais funções do Sistema de Segurança de Poço.

2.2.1. Sistema de Segurança do Poço

A segurança do poço na perfuração consiste de princípios, práticas e procedimentos operacionais, além de equipamentos de segurança de cabeça de poço e equipes treinadas que possibilitam o fechamento e controle do poço caso haja influxo indesejável da formação para o interior do poço. Esse influxo indesejável é denominado como *kick*, no qual pode ser controlado pelo sistema de segurança do poço. Porém, quando a equipe falha na detecção ou remoção desse fluxo invasor, pode ocorrer um *blowout* [10, 11].

2.2.1.1. Definição de Kick

Um *kick* pode ser definido como um fluxo do fluido da formação rochosa para o interior do poço. A ocorrência de um *kick* é devido à pressão dos fluidos contidos nos poros das formações se tornar maior do que a pressão hidrostática exercida pelo fluido de perfuração que é uma das suas principais funções [10].

A ocorrência de *kicks* podem fazer com que haja perda do poço e do tempo produtivo devido aos riscos operacionais inerentes a esse fluxo indesejável [11].

2.2.1.2. Definição de Blowout

Um *blowout* é definido como um fluxo descontrolado do reservatório para o poço e deste para a atmosfera, fundo do mar ou para outra formação exposta [10].

As análises em operações de perfuração demonstram que os *blowouts* são considerados um dos principais contribuidores para os riscos das atividades *offshore*, onde as ocorrências desses eventos podem trazer perdas de equipamentos, reservas, prejuízos à imagem da empresa e também perdas de vidas humanas [6].

Para que haja uma diminuição da ocorrência de *blowouts*, as sondas de perfuração devem contar com: membros das equipes treinados em controle de poço, a manutenção e os testes dos equipamentos do sistema de controle de poço devem ser realizados constantemente; normas e procedimentos operacionais de segurança de poço seguidos e implementar a análise de risco das atividades [10].

A seguir serão apresentados os conhecimentos aplicados na atividade de segurança do poço durante o processo de perfuração.

2.2.2. Conhecimentos Fundamentais do Controle de Poço

2.2.2.1. Fluidos de Perfuração

O fluido de perfuração tem como um dos principais objetivos o controle primário do poço. Em razão disto, se a pressão hidrostática exercida por ele se tornar menor do que a pressão de poros (pressão dos fluidos contidos na formação) e se a formação tiver permeabilidade suficiente, haverá um *kick* para o interior do poço e com isso, o controle primário é perdido [10].

O fluido de perfuração ainda tem outras funções que são de remover os cascalhos das formações cortadas pela broca, carrear os cascalhos até a superfície, manter os mesmos em suspensão, evitar o desmoronamento e fechamento do poço, além de resfriar e lubrificar a broca e a coluna de perfuração [1].

2.2.2.2. Pressão Hidrostática

É requerido o conhecimento e monitoramento da pressão em todas as etapas das operações de construção de poços de petróleo, até atingir o interior da formação da rocha reservatório.

A pressão hidrostática é a pressão exercida por uma coluna de fluido em repouso, sendo também conhecida como pressão manométrica. Para encontrar a pressão hidrostática é usual utilizar a equação a seguir, pois leva em consideração as unidades de grandezas mais utilizadas em campo. Com isso, a pressão hidrostática pode ser encontrada [10]:

$$Ph = 0,17. \rho. H \quad (2.2.2.2.1)$$

Onde:

Ph é a pressão hidrostática do fluido, em psi;

0,17 é o fator de conversão das unidades não homogeneizadas;

ρ é a massa específica do fluido, em lb/gal;

H é a altura de líquido, em metros.

2.2.2.3. Blowout Preventer (BOP)

O equipamento BOP é o controle secundário de poços de petróleo do sistema de segurança do poço para evitar a ocorrência de *blowout* após a ocorrência de *kicks* [10].

Os BOPs são equipamentos mecânicos que são acionados hidráulicamente e constituídos de diversos componentes, onde podem ser divididos em dois conjuntos: BOP *stack* e LMRP (*low marine riser packet*). Os principais componentes do BOP são o conector hidráulico que liga o BOP *stack* ao LMRP, preventor anular, preventores de gaveta e conector hidráulico de cabeça poço (liga a cabeça de poço ao BOP *stack*) [11].

As figuras 1 e 2 exemplificam o BOP *stack* e BOP LMRP, respectivamente.

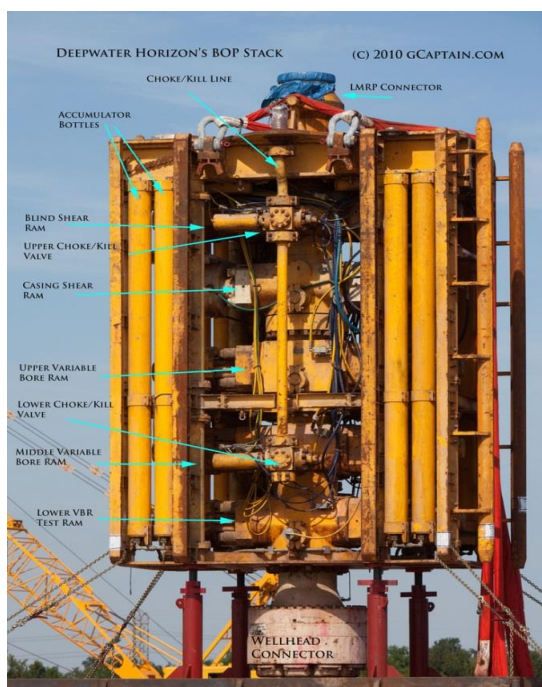


Figura 1: Exemplo de BOP Stack

Fonte: www.gcaptain.com (2012)

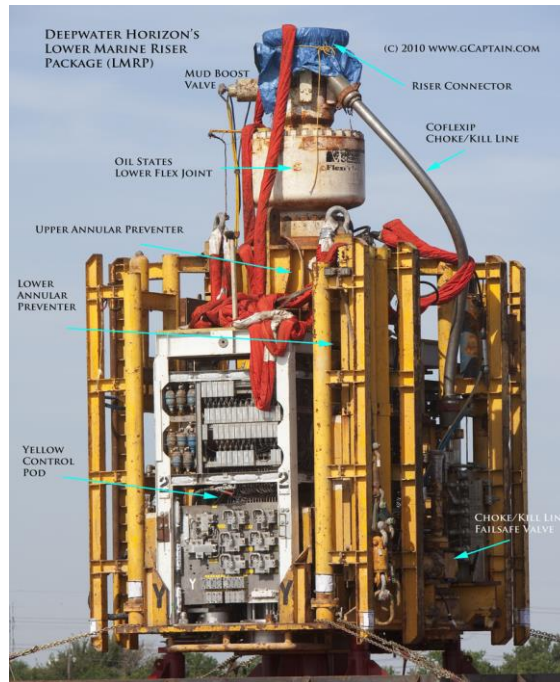


Figura 2: Exemplo de BOP de LMRP

Fonte: www.gcaptain.com (2012)

2.3. Causas de Kicks

O fluxo indesejável de fluidos da formação rochosa para o interior do poço ocorre quando a pressão exercida pelo fluido de perfuração é inferior a pressão de poros (pressão dos fluidos contidos na formação) [12].

As causas de kicks estão geralmente relacionadas a redução do nível de fluido de perfuração no interior do poço e/ou com a redução da massa específica do mesmo [10]. Com isso, qualquer acontecimento que implique na diminuição desses valores que determinam a pressão hidrostática, é um potencial causador de influxos.

As principais causas de *kicks* são [10]:

- Falta de ataque ao poço durante as operações de manobra;
- Perda de circulação;
- Pistoneio;
- Massa específica insuficiente do fluido de perfuração, e;
- Corte do fluido de perfuração.

2.4. Gerenciamento de Riscos

Todas as atividades envolvem riscos e a todo o momento é decidido sobre o quão disposto está em aceitar ou não esses riscos. Existem riscos que não são tão simples de se identificar e por isso se faz necessário um gerenciamento para se aprofundar e assim, controlar os mesmos [8].

A ocorrência desses incidentes é ocasionada pela falta de conhecimento do risco e de seu tratamento adequado. Em razão disto, se faz necessário o gerenciamento de riscos para poder identificar, analisar e propor soluções que eliminem ou mitiguem a probabilidade da sua ocorrência.

A rapidez e a qualidade com que são tomadas as decisões diante dos riscos são críticas, pois demora e inconsistências podem trazer vários prejuízos, tais como: danos econômicos, sociais e ambientais graves ou até mesmo irreversíveis [8]. Devido a isto, o gerenciamento de riscos utiliza um conjunto de ferramentas que ajuda na eliminação e/ou redução do risco. No tópico a seguir serão apresentadas algumas ferramentas que compõe esse conjunto para a identificação e análise dos potenciais riscos.

2.5. Ferramentas de Análises de Riscos

A identificação de áreas de vulnerabilidade e perigos específicos é de fundamental importância na prevenção de acidentes. A análise e avaliação de riscos são denominados como o processo de coleta de dados de forma a traduzir as informações para o entendimento dos riscos de um empreendimento em particular [13].

Para identificar, analisar e tomar decisões com relação aos potenciais riscos de um negócio é utilizado ferramentas de análise de riscos para o gerenciamento dos mesmos [8]. A seguir serão apresentadas as principais ferramentas para análises de riscos utilizadas para o desenvolvimento deste artigo.

2.5.1. Mapeamento de Processos

O mapeamento de processos é uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação que promove melhorias e implanta uma estrutura voltada para novos processos [14]. Essa ferramenta é utilizada para analisar e documentar os processos de bens e serviços, onde são usadas pelas empresas para a melhoria de seus processos atuais.

A grande vantagem do mapeamento de processos é a visualização e a identificação das fases de desenvolvimento de processos por meio da decomposição das etapas e caracterização das diferentes funções.

O objetivo principal do fluxograma é descrever o passo a passo a natureza e o fluxo de processo, mostrando de uma forma simples o fluxo das informações entre as diferentes etapas e também a interação entre ela. Essas etapas geralmente são representadas por figuras geométricas que podem ser retângulos, círculos, paralelogramos, setas, tendo cada um uma função específica no mapa de processo [15].

2.5.2. Diagrama Bow-Tie

O diagrama “Bow-tie” é utilizado para obter uma visão geral dos cenários de acidentes bem como a identificação de causas e consequências partindo do ponto central que é o acontecimento crítico. O diagrama é feito através da junção de uma árvore de falhas e uma árvore de consequências [16].

A metodologia de análise Bow-Tie é uma maneira de descrever e analisar os caminhos críticos de um risco, desde as suas causas até as suas consequências, onde o foco está nas barreiras de segurança entre elas [8]. Sendo assim, esse diagrama é utilizado para analisar os potenciais riscos de um negócio a fim de evitar ou reduzir a probabilidade de acontecimentos dos mesmos.

O diagrama recebe esse nome “Bow-tie”, pois se assemelha a um laço do tipo *papillon*, onde no ponto central é identificado o evento crítico ou indesejado caracterizado como risco, e as sequências de barreiras são apresentadas no lado esquerdo do laço configurando as causas e as falhas. No lado direito são apresentadas as sequências de eventos para configuração das consequências que representam o conjunto de eventos até o desdobramento dos efeitos de acidentes. Neste lado do diagrama contém as

barreiras de contenção para mitigar as consequências causado pelo acidente crítico. Na Figura 3 é apresentado o conceito desse diagrama com os principais elementos em destaque.

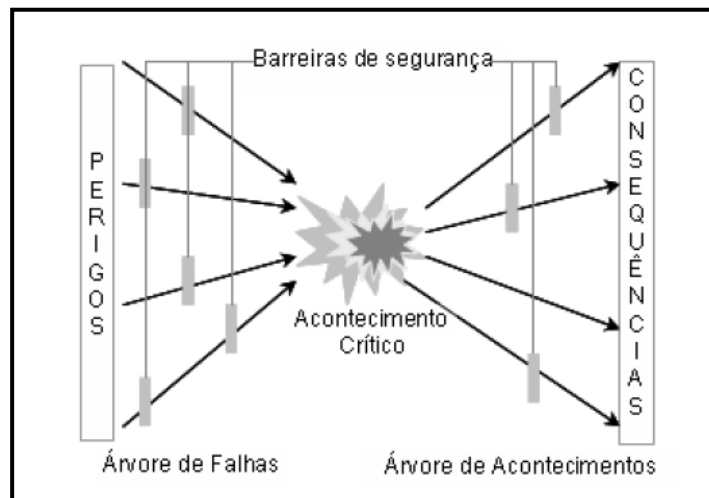


Figura 3: Esquema representativo do diagrama *Bow-tie*

Fonte: Dianous e Fievez 2006 apud Sequeira 2010

O conhecimento das falhas e como elas podem ocorrer é de extrema importância na análise operacional de processos que apresentam riscos, principalmente para estudo da frequência de falhas e ocorrência de eventos acidentais. O estudo preliminar de análise de confiabilidade é uma das linhas de abordagem do trabalho atender os objetivos do projeto.

3. METODOLOGIA

A metodologia que será utilizada para o desenvolvimento deste artigo é composta por uma revisão bibliográfica e a aplicabilidade das análises em operações de perfuração offshore. Como descrito nos capítulos anteriores, o projeto visa assim identificar e analisar os principais riscos de falhas para a ocorrência do acidente de *blowout* no processo de perfuração de poços de petróleo *offshore*.

O objetivo deste artigo é tipificado como descritivo, pois busca descrever os fenômenos envolvidos na sonda de perfuração e os riscos associados a um fenômeno específico, *blowout* de poço.

No desenvolvimento da pesquisa são utilizados os procedimentos técnicos, ou seja, a maneira como são obtidos os dados necessários na construção e elaboração da pesquisa para atingir os objetivos, o que é denominado de “*design*” [17]. Neste artigo é entendido “*design*” como estrutura de método de pesquisa.

Quanto ao procedimento de método de pesquisa utilizado, este é caracterizado como um estudo aplicado, pois o tratamento da análise é prático e operacional, que consiste nas atividades de sondas de perfuração no processo de construção de poços, com elementos definidos e objetos investigados, mas que permite um amplo detalhamento de conhecimento [17].

As pesquisas para esse tipo de natureza estão voltadas mais para a aplicação imediatas de conhecimentos em uma realidade circunstancial, relevando o desenvolvimento de teorias [17]. Desse modo, a realidade são as atividades operacionais aplicadas para todos os tipos de perfuração de poços de petróleo, assim como a identificação de perigos por meio de ferramentas de gestão de risco.

Para completar, a estrutura metodológica deste artigo é classificada como pesquisa bibliográfica, pois foram utilizadas fontes de referências de publicações, dissertações e teses sobre os diferentes temas preconizados no artigo.

Para atingir os resultados do artigo é preciso desenvolver alguns passos após o referencial teórico. O primeiro passo constitui o mapeamento básico de um processo de perfuração *offshore*, afim de identificar uma fase crítica do mesmo para análise dos principais riscos para a ocorrência de um *blowout*. Após a identificação da fase crítica, será utilizado um conjunto de ferramentas de análise de riscos para identificação de potenciais perigos e as consequências, constituindo assim, a etapa de caracterização das causas de ocorrência do evento indesejado.

O próximo passo consiste na análise de falhas dos controles primário e secundário de poço, afim de construir a primeira etapa do *Bow-Tie* (lado esquerdo) que leva a ocorrência de *blowouts* e, por conseguinte, a construção da Árvore de Eventos (lado direito) que consiste nas consequências dos *blowouts*. No lado esquerdo do diagrama será desenvolvido as barreiras de prevenção, já no lado direito será desenvolvido as barreiras de contenção.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Mapeamento do Processo de Perfuração Offshore

A perfuração de poços de petróleo *offshore* é realizada através de um número específico de fases presente no projeto de poço, onde cada uma dessas fases é composta pela perfuração de diferentes diâmetros de broca e o assentamento de seus respectivos *casings* (tubos de revestimentos). Estas fases variam de acordo com o tipo, trajetória de poço e do reservatório a ser explorado.

O presente estudo, visando o entendimento dessas fases, desenvolveu um mapeamento do processo básico da operação de perfuração de poços de petróleo *offshore*, onde utilizou o *software* Bizagi Modeler que conta com a linguagem BPMN (*Business Model and Notation*) para a realização do fluxograma desse processo. Na Figura 4 é mostrado o fluxograma com as etapas do processo de perfuração.

Analisando o fluxograma, é possível notar que o processo de perfuração é composto por um número determinado de fases no qual é definido no projeto de poço. Essas fases são compostas basicamente da montagem da BHA (*Bottom-hole assembly*) que tem como principais *inputs* os tubos de perfuração, comandos de perfuração, tubos pesados de perfuração e a broca.

Após a montagem do conjunto, o mesmo é descido para começar a perfurar a região desejada. No momento que a broca está cortando as formações rochosas é injetado o fluido de perfuração para poder limpar o fundo do poço a medida que a broca vai avançando. Após chegar a uma profundidade pré-determinada na fase e limpar o poço, começa o processo de assentamento dos tubos de revestimentos. Com isso, é percebido que em um processo básico de perfuração de poços de petróleo *offshore*, as fases que o compõe consistem em perfurar as formações rochosas, circular o fluido de perfuração, assentar os tubos de revestimento e cimentar, originando assim, um ciclo que só termina quando é atingida a profundidade final estabelecida no projeto de poço.

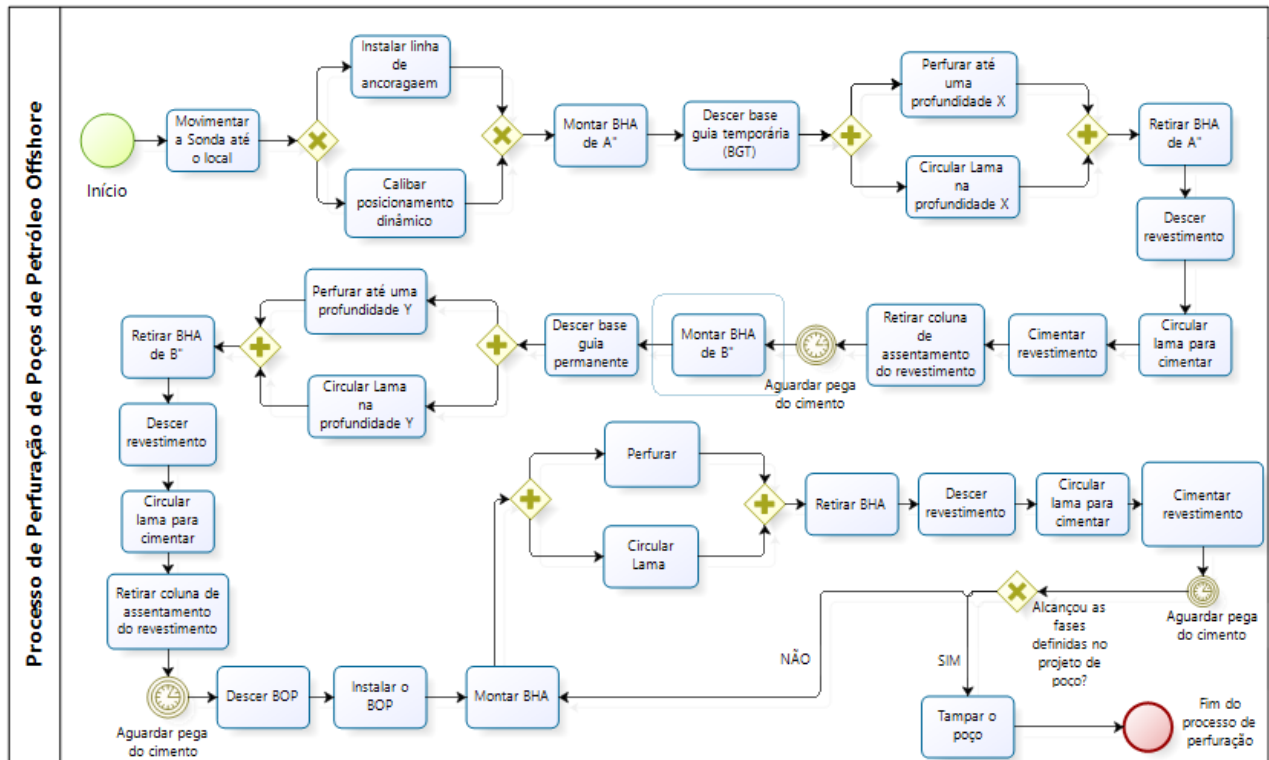


Figura 4: Fluxograma Básico do Processo de Perfuração de Poços de Petróleo Offshore

Fonte: Matos (2017)

Analisando o ciclo descrito na Figura 4, as fases utilizadas para perfurar o poço são críticas, pois nelas são perfuradas diferentes zonas com diferentes cargas de pressões, onde essas pressões de poro da formação geológica devem ser controladas pela ação do fluido de perfuração, afim de manter e controlar uma pressão hidrostática para fazer com que os fluidos contidos nas formações permaneçam nas mesmas condições. Esse controle exercido pelo fluido de perfuração é o controle primário do poço para poder evitar a ocorrência de *kicks*, influxo de fluidos para o interior do poço e consequentemente de *blowouts* que é o influxo em regime de descontrole para o interior do poço.

4.2. Análise dos Riscos no Processo de Perfuração

Como o processo de perfuração consiste em diversas fases até chegar a profundidade objetivo do projeto, o mesmo apresenta diversos riscos já mencionados anteriormente. Para que esses riscos não venham a se tornar acidentes graves, o sistema de segurança do poço deve ser operado de forma eficaz e eficiente para que possa evitar a ocorrência desses problemas. Como o principal objetivo desse sistema é evitar a ocorrência de *kicks* e por consequência a de *blowouts*, o mesmo não pode vir a falhar.

O sistema de segurança da operação de perfuração é constituído de dois tipos de controles de poço: o controle primário e o controle secundário. O controle primário, como descrito anteriormente, é exercido pelas ações do fluido de perfuração para que possa manter uma pressão hidrostática superior à pressão de poros dos fluidos contidos nas formações rochosas.

Já o controle secundário, que entra em ação no momento que o controle primário é perdido, consiste nas ações do equipamento de prevenção de *blowouts* (BOP) com intuito de controlar e remover os influxos indesejados antes que os mesmos se tornem em um *blowout*. Em vista disso, se faz necessário que esses dois controles não apresentem falhas. Porém, se apresentarem, as mesmas devem ser bloqueadas fazendo com que os riscos inerentes a elas sejam evitados ou mesmo mitigados.

Os riscos são intrínsecos a qualquer tipo de atividade, sendo que alguns são mais críticos que os outros. Os riscos presentes na perfuração de poços de petróleo no mar, apresentam um nível alto de gravidade. Por isso, esse estudo visa analisar esses riscos presentes na operação de segurança de controle de poço para poder evitar a ocorrência do acidente crítico, que neste caso é o *blowout*.

Para poder analisar esses riscos é utilizada a ferramenta *Bow-Tie* para poder analisar a árvore de falhas que conduz a ocorrência de *blowout*, levando em consideração os dois tipos de controle de poço mencionados anteriormente e a árvore de eventos gerada após a ocorrência do mesmo para análise das consequências. Na Figura 5 é apresentado o diagrama *Bow-Tie* para evitar a ocorrência de *blowout* onde são identificadas as diversas barreiras a partir da ocorrência do evento indesejado de perda de controle do poço.

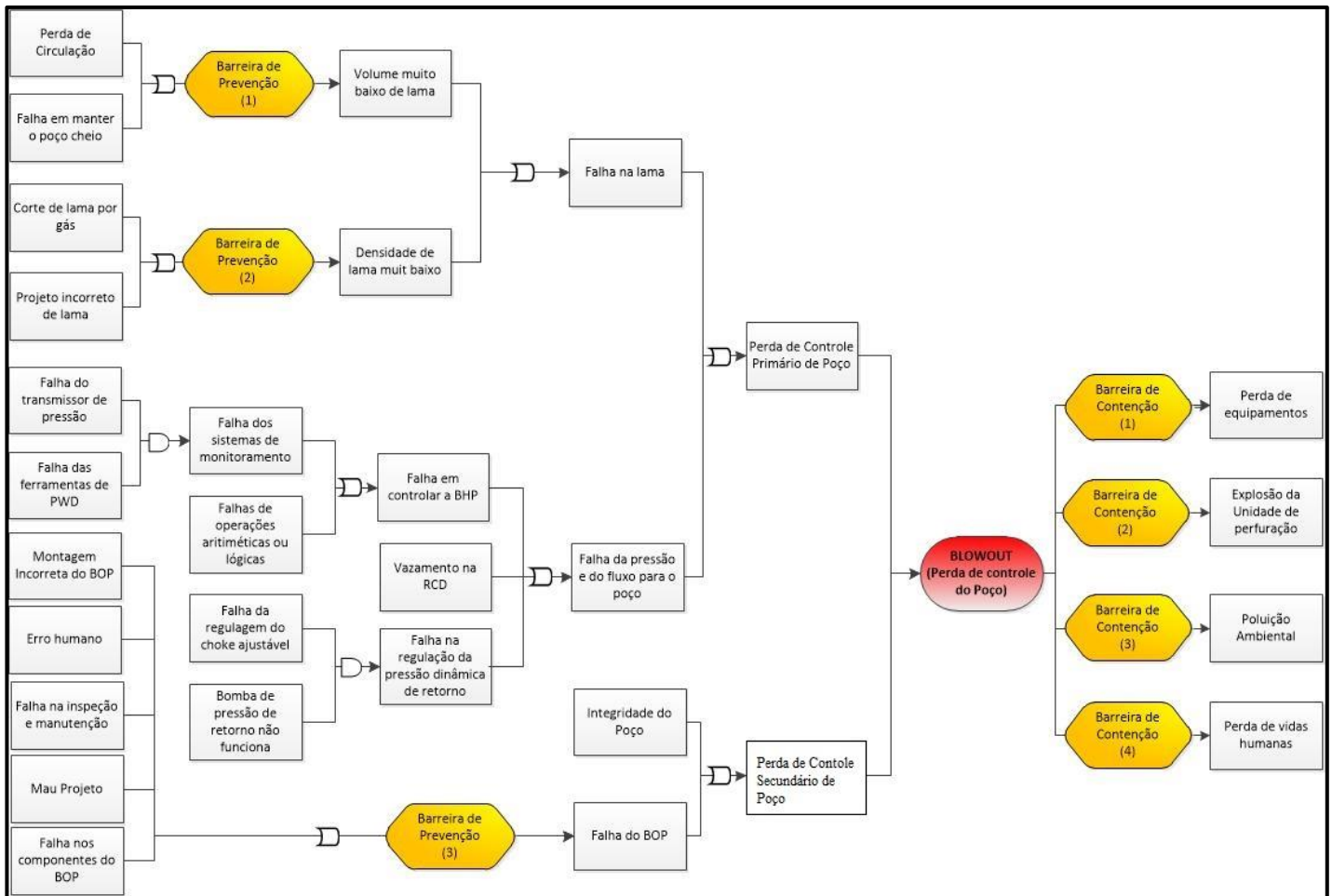


Figura 5: Diagrama Bow-Tie da ocorrência de blowout

Fonte: Matos (2017)

Analisando o diagrama, é possível notar que a perda de controle do poço que provoca a ocorrência de *blowouts* se dá pelas perdas dos controles primário e secundário.

O controle primário é perdido basicamente por todas as falhas que acarretam na diminuição do nível do fluido de perfuração e da massa específica do mesmo, pois esses dois parâmetros estão diretamente relacionados com a pressão hidrostática do fluido de perfuração. Com isso, é possível afirmar que monitorar a lama de perfuração que é injetada no poço e a lama que retorna é de suma importância para garantir que a mesma não venha a falhar devido a diminuição dos parâmetros descritos acima. Ainda analisando a árvore de falhas do controle primário de poço, é visualizado que a falha da pressão e do fluxo de lama, que está relacionada com as perdas de cargas durante a pressão de bombeio para circular o fluido de perfuração dentro do poço, contribuem também para a perda desse controle. Com isso, se faz necessário o monitoramento da pressão de circulação e da pressão hidrostática exercidas pelo fluido de perfuração.

Em vista disso, a equipe responsável pela segurança do poço no processo de perfuração, tem que ficar atenta com as causas principais de *kicks* (falta de ataque ao poço durante as operações de manobra, perda de circulação, pistoneios, massa específica insuficiente do fluido de perfuração e corte do fluido de perfuração), pois serão estas causas que indicarão que a massa específica e o nível do fluido de perfuração estão diminuindo. Sendo assim, elas representam as principais ameaças durante a operação de perfuração de poços de petróleo *offshore*.

Em relação aos cenários apresentados, as barreiras de prevenções (1) e (2) têm como funções o monitoramento e controle dos indicadores das causas de *kicks*, tais como: retorno do fluido de perfuração, densidade do fluido de perfuração, níveis dos tanques de fluido de perfuração, perda de circulação do fluido de perfuração, treinamento da equipe de perfuração etc.

A perda de controle secundário do poço é causada, basicamente, pela falha do BOP. Pode ser observado no diagrama que este equipamento pode vir a falhar por causa da montagem incorreta, erro humano, falha na inspeção e manutenção, mau projeto e falhas dos seus componentes. A barreira de prevenção (3) é composta pelos testes de funcionalidade dos componentes do BOP.

Após a ocorrência do *blowout*, os planos de contenção para a mitigação do acidente são realizados para minimizar os impactos do mesmo. Essas medidas compõe a barreira de contenção (1) que tem como principal função o desvio do fluido em *blowout* para equipamentos projetados para comportar um volume maior de fluido ou desviá-lo para fora da unidade de perfuração.

A barreira de contenção (2) serve para proteger a sonda de eventuais explosões por causa da expansão dos gases incorporados no *blowout*, sendo assim, a sonda deve estar equipada para pronta detecção da presença de gases no *deck* de perfuração e áreas adjacentes para poder evitar que fontes de ignição iniciem reações de combustão com esses gases e causar explosões.

As ações que devem ser projetadas para a barreira de contenção (3) são para poder evitar a propagação do óleo no mar, evitando a morte de seres marinhos e o atingimento da costa. Por último, temos a barreira de contenção (4) que é um tipo de barreira estruturada para a evacuação dos operadores e tripulantes a bordo da unidade de perfuração, através de treinamentos de segurança para este tipo de acidente, equipamentos individuais e bote salva-vidas para poderem evacuar a sonda de perfuração em caso de incêndio e explosões oriundas pelo total descontrole do poço.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Diante do exposto neste projeto, pode-se observar a importância das análises de riscos do processo de perfuração de poços de petróleo *offshore*. Como apresentado, o processo de perfuração é uma atividade complexa, pois envolvem muitos riscos em sua operação, com isso, o gerenciamento desses riscos para diminuição da probabilidade da ocorrência de *blowouts* é essencial para evitar perdas que podem ser ocasionadas por esse tipo de acidente.

O trabalho desenvolvido fez uma abordagem para identificação e análise das principais falhas no sistema de segurança do poço durante as operações de perfuração. Para sua elaboração foi necessário o entendimento dos conceitos de perfuração de poços de petróleo, com o intuito de identificar as principais etapas deste processo e a sua relação com o sistema de segurança de poço.

O estudo identificou uma etapa crítica na operação de perfuração e fez o levantamento de dados históricos de falhas do sistema de segurança do poço que é responsável por garantir a segurança nesta etapa crítica. Após a identificação das falhas, o presente projeto analisou os seus riscos através de ferramentas para poder evitar/mitigar as ocorrências dos mesmos.

Com isso, as barreiras desenvolvidas no diagrama *Bow-Tie* são essenciais para minimizar a probabilidade de ocorrência de *kicks* e *blowouts* e assim, garantir que o processo de perfuração de poços de petróleo *offshore* seja realizado de maneira eficaz e segura.

5.1. Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento deste artigo, observou-se que existe uma bibliografia escassa quanto a abordagem dos riscos das falhas presentes no processo de perfuração de poços *offshore*. Um estudo mais aprofundado neste ramo é de relevância para as empresas responsáveis pelas operações de

perfuração. Em razão disto, o desenvolvimento de projetos futuros para dar continuidade a este é relevante tanto para as operações de perfuração como para a área de gerenciamento de riscos.

O estudo propôs uma análise para evitar a ocorrência de *blowouts*, onde foi observado que a falha do BOP no controle secundário de poço é crucial para a ocorrência de tal acidente. Em razão disto, se faz necessário analisar os modos de falhas e os efeitos deste equipamento, onde todos os seus componentes (conectores hidráulicos, preventores de gavetas, preventores anulares e etc) devem ser analisados.

A proposta de um trabalho futuro é desenvolver um estudo de confiabilidade para entender como os componentes do BOP falham e qual a probabilidade do mesmo vir a falhar durante sua operação de controle de *kicks* e *blowouts* e também, poder definir a manutenibilidade deste equipamento levando-se em consideração essa confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] THOMAS, José Eduardo. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editoria Interciência, 2001. 271p.
- [2] ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/noticias/3138-anp-divulga-anuario-estatistico-2016>.
- [3] FERNANDES Elton; ARAÚJO S.B Renato. *As mudanças no Upstream da Indústria do Petróleo no Brasil e Tendências no Posicionamento das Operadoras do Setor*. In: Encontro Nac. de Eng. De Produção, XXIII, 2003. Ouro Preto. Anais... Ouro Preto – MG, 2003. p.2.
- [4] TAVARES, Rogério Martins. *Interpretação e Análise de Dados de Perfuração em Poços de Petróleo*. 2006. 129p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [5] CHIPINDU, Njalo Sócrates Chipongue. *Pós-análise de Problemas de Perfuração de Poços Marítimos de Desenvolvimento*. 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [6] HOLAND, Per. *Offshore Blowouts: Causes and Control*. 1st Edition. Gulf Professional Publishing, 1997. 176p.
- [7] MARIANO, Jacqueline Barboza. *Proposta de Metodologia de Avaliação Integrada de Riscos e Impactos Ambientais para Estudos de Avaliação Ambiental Estratégica do Setor de Petróleo e Gás Natural em Áreas Offshore*. 2007. 571 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Planejamento Energético - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [8] DA SILVA Mario Mardone. *Visualização do Risco como Meio de Suporte à Tomada de Decisão: Uma Abordagem através da Análise de ferramentas de Gerenciamento de Risco*. 2016. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade Federal de Pernambuco, Caruaru.
- [9] CHIPALAVELA, Ariana Francisco. *Análise e Discussão das Operações de Perfuração e Completação em Poços Petrolíferos*. 2013. 103p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Geológica e de Minas, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.

- [10] SANTOS, Otto Luiz Alcântara. *Segurança de Poço na Perfuração*. 1ª Edição. São Paulo: Blucher, 2013. 205p.
- [11] DA SILVA Sidnei Guerreiro. *Confiabilidade de Equipamentos Submarinos de Segurança de Sondas Flutuantes (Blowout Preventers – BOPs)*. 2002. 194 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [12] DA COSTA Dirlaine Oliveira; LOPEZ Juliana de Castro. *Tecnologia dos métodos de controle de poço e Blowout*. 2011. 62p. Graduação do Curso Engenharia de Petróleo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [13] NETO, Luiz Maia. *Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos em uma Unidade Offshore na Fase de Operação: Um estudo de caso em um FPSO*. 2007. 225p. Dissertação (Mestrado) – Sistema de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- [14] VILLELA, Cristiane da Silva Santos et al. *Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional*. 2000. 182p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- [15] SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. *Fluxograma de Processo – O que é, como elaborar e benefícios*. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/fluxograma/>>. Acessado em: Junho de 2017.
- [16] SEQUEIRA, Daniel Guilherme Rodrigues. *Análise e Avaliação de Risco de Incêndio através de Diagramas “Bow-Tie”*. 2010. 65p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Geológica e de Minas, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal.
- [17] PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. 2ª Ed., Feevale, Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul, Brasil, 2013