



MODELOS TRIDIMENSIONAIS APLICADOS À ENGENHARIA DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO OFFSHORE: ETAPAS DE PERFURAÇÃO E RISCOS AMBIENTAIS

THREE-DIMENSIONAL MODELS APPLIED TO OFFSHORE OIL RIGS ENGINEERING: DRILLING STEPS AND ENVIRONMENTAL RISKS

B. S. ZAMPIROLI^{1,*}, R. A. MARQUES¹

¹ Federal University of Espírito Santo, Department of Geologia, Alegre, Espírito Santo, Brazil

*Corresponding author. Federal University of Espírito Santo, Department of Geologia, Alegre, Espírito Santo, Brasil, Phone: +55 27 995034284
e-mail address: siqbrian@gmail.com (B. S. Zampiroli).

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2020-11-27

Accepted 2020-12-12

Available online 2020-12-12

Keywords

Offshore

Petróleo

Environment Impacts

Blender 3D

palavras-chave

Offshore

Petróleo

Impactos Ambientais

Blender 3D

ABSTRACT

Oil is the main source of energy in the current world capable of supplying an immense market, moving a large part of the world economy. It is a complex compound, extracted by drilling exploration wells on land or at sea. At sea, the extraction process is more complex and also has a higher risk inherent to the environment. The joint work associated with the development of new technologies and public policies, allows the activity to be less impactful every day. The present work integrates previous models and provides new three-dimensional models, in order to allow the detailing of the oil extraction processes, associating the environmental risks to the exploration, profiling, completion and production stages and the mechanisms of control and remediation of impacts.

RESUMO

O petróleo é a principal fonte de energia do mundo atual capaz de abastecer um imenso mercado, movimentando grande parte da economia mundial. É um composto complexo, extraído por meio da perfuração de poços de exploração em terra ou em mar. No mar, o processo de extração possui maior complexidade, possuindo também um maior risco inerente ao meio ambiente. O trabalho conjunto associado ao desenvolvimento de novas tecnologias e de políticas públicas, permite a atividade ser menos impactante a cada dia. O presente trabalho integra modelos prévios e fornece novos modelos tridimensionais, de modo a permitir o detalhamento dos processos de extração de petróleo, associando os riscos ambientais às etapas de exploração, perfilagem, completação e produção e os mecanismos de controle e remediação de impactos.

1. INTRODUÇÃO

O interesse econômico do petróleo surge no início do século XIX. As buscas por jazidas petrolíferas se faziam necessárias, geralmente junto com a busca por carvão e outros minerais para substituir o óleo de baleia, que começava a se tornar escasso e caro em razão do aumento da demanda mundial (MORAIS, 2013). Entretanto, o maior estímulo para a produção mundial de petróleo ocorreu devido o desenvolvimento do motor a combustão interna nas décadas de 1870 e 1880 (SELLEY e SONNENBERG, 2016). Desde então, o petróleo foi tomando espaço e se tornando a principal fonte de energia do mundo atual, sendo fator desencadeante de muitos conflitos políticos e econômicos, devido ao mercado que é capaz de mover.

O caminho para a exploração de petróleo em ultra profundidades é caracterizado por uma série de processos que vão desde os processos de extração de poços rasos em terra, onde foram realizadas as primeiras perfurações, a zonas cada vez mais profundas, aprimorando tecnologias para extração e adequação ao novo ambiente, a água. De acordo com Ortiz Neto e Costa (2007), a indústria offshore teve seu início em meados do século XX, onde devido a descoberta de novos campos potenciais em regiões afastadas da costa, ao avanço da tecnologia para exploração e extração e a implementação de políticas públicas, foi possível produzir petróleo em zonas remotas.

A trajetória de exploração offshore inicia-se entre os anos de 1930 e 1950, na Venezuela e no Golfo do México, respectivamente. A partir de então, ocorre a expansão para o Mar do Norte. No Brasil, os primeiros poços foram descobertos em 1968, nos Campos de Guaricema (SE) e Garoupa (Bacia de Campos, RJ). No mesmo ano, iniciam-se os processos de perfuração na Bacia de Campos (ORTIZ NETO e COSTA, 2007).

A partir das primeiras descobertas, no Brasil, a Petrobrás deu sequência a uma série de outras, mas estas surtiriam maiores efeitos somente com o avanço das tecnologias em território nacional. Segundo Ortiz Neto e Costa (2007), a exploração no ambiente marinho se fez possível ao sintetizar de modo geral o processo em três conjuntos tecnológicos distintos, estes, objetos de estudo das companhias offshore: plataformas, sistemas de perfuração e mecanismo de transmissão do óleo das profundezas para a plataforma.

A exploração de um poço de petróleo exige grandes esforços de diversas áreas do conhecimento e apesar de diversos estudos e tecnologias de última geração envolvidas, este trabalho apresenta alto risco, associado principalmente às condições extremas nas quais são realizadas estas atividades. Os riscos envolvidos na atividade de perfuração de um poço de petróleo podem ser identificados como os agentes físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes/mecânicos que possam ocasionar danos ao meio ambiente (SOUSA e JERÔNIMO, 2014).

As formas de impacto associadas ao ambiente,

interagindo com a fauna e flora existente podem ser relacionadas a perturbação devido a instalação do empreendimento, agressão ao meio associadas ao descarte de cascalhos, resíduos do fluido de perfuração e/ou contaminação de aquíferos por meio da percolação por zonas fraturadas. No meio offshore, a descarga de fluidos de perfuração é um assunto a ser discutido (AQUINO e COSTA, 2011).

1.1 Geologia do petróleo

O petróleo tem sua origem a partir da deposição de matéria orgânica, originada de microrganismos e algas, depositada junto aos sedimentos, em ambiente redutor, pouco permeável com condições adequadas de pressão e temperatura. A geração de óleo ou gás, dependerá da composição da matéria orgânica e da intensidade do processo (THOMAS, 2001). Os compostos químicos presentes na matéria orgânica são transformados em querogênio pelo processo de diagênese durante o soterramento (SELLEY e SONNENBERG, 2016).

A catagênese, fase seguinte, ocorre em profundidades pouco maiores, com o aumento das pressões conforme progride o soterramento, liberando o petróleo entre as faixas de temperatura de 60 °C e 120 °C e a gerando gás entre 120 °C e 225°C. A terceira fase aproxima se do metamorfismo, denominada metagênese, geralmente responsável apenas pela expulsão do metano (SELLEY e SONNENBERG, 2016).

Para a acumulação do óleo, o que o torna economicamente viável para a exploração, é necessário que, após o processo de geração, este seja realocado por condicionantes geológicas (armadilhas). Em tese, o petróleo é gerado em uma rocha (rocha geradora) e migra para outra rocha, onde se acumula, nomeada rocha reservatório, sendo esta de caráter poroso e permeável (THOMAS, 2001). De acordo com Rostirolla (2017), a expulsão do óleo da rocha geradora, ocorre por meio do fraturamento hidráulico, quando a saturação em folhelhos excede 10-20%. A eficiência aumenta de acordo com a maturidade. A rocha reservatório deverá estar capeada por uma camada superior que atue como barreira, esta denominada rocha selante, devendo apresentar baixa permeabilidade e ser dotada de plasticidade (THOMAS, 2001).

Um dos requisitos para o jazimento de petróleo é a existência de trapas (estratigráficas, estruturais ou mistas), caracterizadas como armadilhas contentoras de migração, e o desenvolvimento das condições para o aprisionamento do óleo pode ser ditado pela geração de esforços físicos que vão determinar a formação dos elementos estruturais que abrigarão os fluidos (THOMAS, 2001).

2. METODOLOGIA

O processo de criação do modelo 3D leva em consideração elementos básicos de uma plataforma de exploração (unidade de perfuração marítima), sendo baseada em projetos de plataforma disponibilizados em Seadrill (2020), em específico as plataformas *West Aquarius* e *West Eclipse*, além

do infográfico de Petrobrás (2020b) e fotos de plataformas e de compartimentos disponibilizados nas imagens do Google. O modelo busca ser apenas esquemático e tem como principal função, exemplificar e associar a exploração com os riscos ambientais.

Para a confecção do modelo, utilizou-se os programas de modelagem Tinkercad (2020), um modelo online para a implementação das formas geométricas mais básicas e o Blender (2020) para a parte compilação de dados e edição avançada, responsável pela maior parte do trabalho.

A imagens foram posicionadas, desenhando-se os principais compartimentos responsáveis pela perfuração do poço, onde visa detalhar o fluxo de material para o poço e do poço para a superfície, de modo a construir uma linha de raciocínio para discutir os riscos ambientais, mecanismos de segurança e estudos para conciliar exploração e sustentabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de obtenção do petróleo até o encaminhamento para seus produtos finais pode ser dividido nas fases que serão detalhadas a seguir: exploração, perfilagem, completação e produção. As fases se relacionam, de modo a trabalhar com os estudos, avaliação e segurança do poço explorado.

Foram gerados nessa etapa, um modelo tridimensional de uma plataforma do tipo semissubmersível com os componentes básicos para exploração de um poço em águas profundas, modelos esquemáticos do poço e de disposição do material que é permitido ser descartado no mar. Dessa forma, os processos foram descritos em associação com os modelos gerados, para discussão com riscos ao meio e integração com demais modelos.

3.1 Exploração

A atividade de exploração de petróleo pode ser considerada uma atividade de alto custo e risco, com isso é relacionada a necessidade de extensos estudos, abrangendo uma grande base multidisciplinar. Estes custos estão relacionados aos levantamentos geológicos e estudos que visam aumentar as chances de perfuração de um poço com ocorrência de óleo. Sendo assim, faz-se uso da geofísica, sismologia, modelagem, processamento de dados e a ampla multiplicidade de tecnologias sofisticadas, como a sondagem e a perfuração. Além disso, com os estudos são avaliadas as áreas descobertas, identificadas as jazidas e possível viabilização das atividades de extração do óleo (KIMURA, 2005).

A etapa de prospecção busca localizar, dentro de uma bacia sedimentar, situações geológicas mais propícias de uma acumulação de petróleo e verificar em qual dessas há mais chance de conter o óleo (THOMAS, 2001). A produção em meio offshore é mais complexa se comparada à extração em terra, devido à profundidade em que se encontra o óleo. Desta forma, a perfuração necessita de equipamentos ainda mais sofisticados tanto para a exploração, como para a segurança da atividade. A exploração se divide em duas etapas: estudos geológicos e geofísicos; perfuração de poços para prospecção (KIMURA, 2005).

A geologia aplicada nesse trabalho, analisa as características das rochas em superfície e em subsuperfície, através do estudo e elaboração de mapas geológicos e seções estruturais, por meio da correlação da perfuração e de demais poços perfurados (THOMAS, 2001). A geofísica busca as características da rocha e a sua disposição em subsuperfície, obtendo dados semelhantes a uma “radiografia” do subsolo auxiliando na análise de reservas. A ferramenta principal nas explorações marítimas é sísmica, onde aplica-se pequenos terremotos artificiais, através de explosivos, para posterior leitura e interpretação das trapas. Após obtidos os dados, estes serão posteriormente analisados e interpretados (KIMURA, 2005).

O método sísmico mais utilizado é a sísmica de reflexão, fornecendo alta definição de feições geológicas em subsuperfície propícias à acumulação de petróleo. Para isso, é gerada uma perturbação mecânica (por meio de canhões de ar comprimido) em um ponto da superfície, onde as ondas elásticas são refletidas e refratadas nas interfaces rochosas, retornando à superfície, com o registro das reflexões feito por meio de centenas de canais de receptores (hidrofonos) ao longo de uma linha reta. Esses canais encontram-se equidistantes, com posicionamento dinâmico definido por radioposicionamento e satélites, sendo a amostragem horizontal definida em função de detalhe necessário ao objetivo do levantamento (THOMAS, 2001).

No levantamento de dados para sísmica tridimensional, a amostragem lateral é definida em função do espaçamento dos cabos. Além do grau de detalhe do levantamento, algoritmos sofisticados irão exigir amostragem espacial e temporal adequadas, para amostragens lateral e horizontal. Linhas paralelas afastadas entre si e em igual distância entre os canais receptores, promovem a coleta dos dados. No processamento de dados, seguindo basicamente o roteiro de processamento 2D, o algoritmo tem a possibilidade de integrar planos perpendiculares que geram agora uma projeção tridimensional, aumentando o nível de detalhe e precisão dos resultados, conforme mostrado na Figura 1. Uma repetição do levantamento 3D, em intervalos grandes de tempo, mantendo-se as mesmas condições, caracteriza a chamada sísmica 4D, tendo tem grande aplicação para monitoramento de processos de injeção térmica (THOMAS, 2001). Segundo Petrobras (2020a), com a instalação de sensores (Nodes) no fundo marinho, é garantida uma estabilidade e precisão, permitindo definir melhores condições e possibilidades de produção, enviando informações sobre a variação de saturação de fluidos e pressão, ao longo do tempo de produção do campo petrolífero.

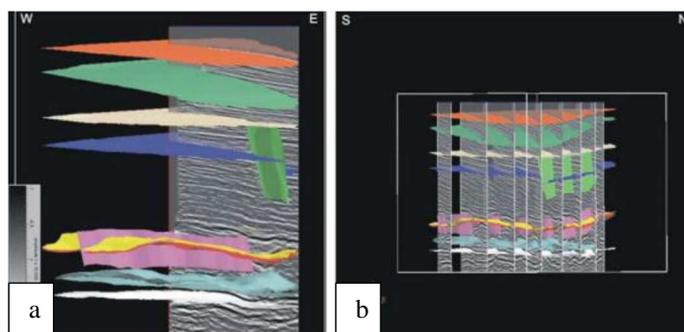


Figura 1 - Estratos sedimentares diferenciados em uma leitura sísmica, em (a) perfil de uma de leitura sísmica em (b) integração de planos para interseção de camadas e geração de um modelo tridimensional (Albuquerque, 2004).

Com a integração constante de dados obtidos ao longo da perfuração, é permitido a um modelo terrestre 3D não apenas corrigir o erro do modelo por trás da broca, mas também melhora a previsão antes da perfuração da camada. Um modelo 3D preciso das formações, conforme ilustrado na Figura 2, em termos de posicionamento espacial da estrutura geológica, falha e propriedades das rochas do reservatório é a chave para o sucesso na exploração de petróleo e perfuração de exploração (PENG et al., 2013).

Um método de monitoramento, usando informações obtidas durante a perfuração do poço, dados sísmicos pré-existentes e informações de poços de compensação está sendo implementado na indústria do petróleo. O método chamado de Perfuração Sísmica Guiada, permite recalibrar e atualizar um modelo terrestre 3D existente, incluindo imagem sísmica, pressão de poros, gradiente de fratura e riscos geológicos, a fim de reduzir a incerteza da perfuração e mitigar o risco de perfuração à frente da broca (PENG et al., 2013).

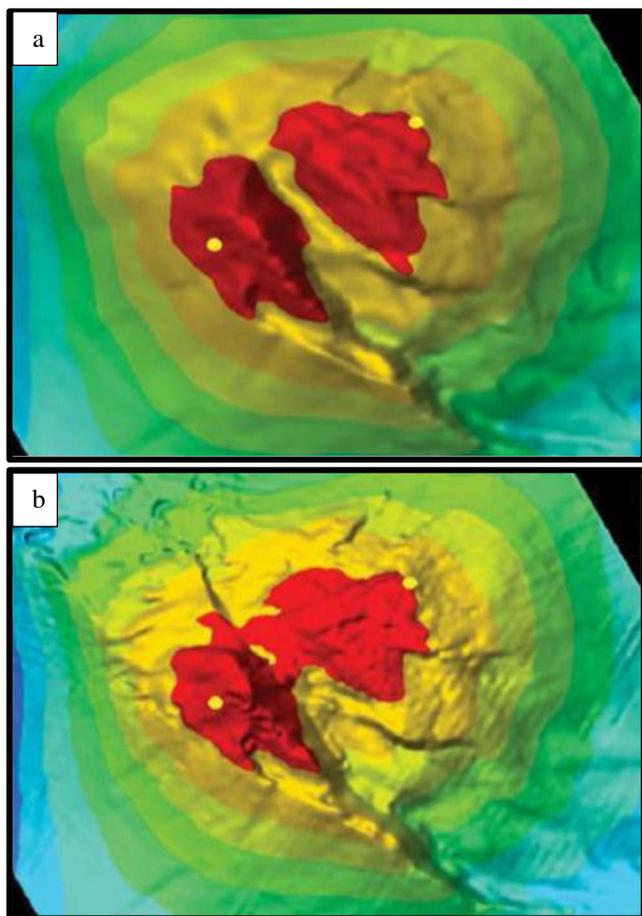


Figura 2 - Modelo geológico tridimensional de um poço de petróleo gerado em a) somente através dos dados sísmicos e em b) após atualização do modelo por integração com demais dados obtidos ao longo da perfuração do poço de exploração (PENG et al., 2013).

De acordo com Peng et al. (2013), à medida que o poço está sendo perfurado, novas informações são disponibilizadas nos registros de perfuração, sondagem, testes dinâmicos de formação, testes de vazamento, densidade de lama, cascalho, eventos de perfuração etc. A integração de dados de leitura sísmica, a medida da perfuração, corroboram para construção de modelos atualizados que permitem avaliar melhor as características do poço no intervalo perfurado (Figura 3).

Além disso, registros de poços são usados para atualizar o modelo sísmico local usado na previsão de pressão de poros, e a pressão de poros e o gradiente de fratura são atualizados com o modelo aprimorado de rochas e informações de velocidade quase em tempo real. Isso fornece informações importantes em tempo hábil para modificar o programa de perfuração, como o plano de revestimento e o programa de lama antes da broca (PENG et al., 2013).

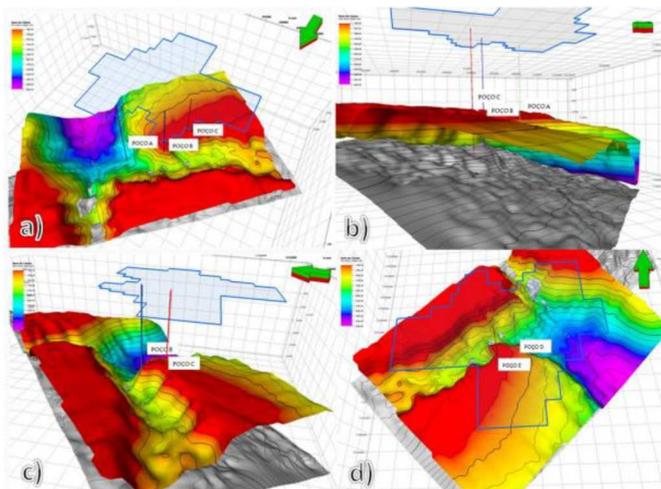


Figura 3 - Modelos tridimensionais do Campo de Polvo, após integração de dados de leitura sísmica com perfuração de poços (Furtado, 2018).

Após a obtenção dos dados através da leitura sísmica, são instalados os equipamentos para a perfuração do poço. Nessa etapa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação da broca na extremidade da coluna de perfuração, sendo esta pressionada contra as formações devido ao peso aplicado por essa coluna sobre a broca (THOMAS, 2001).

A plataforma é instalada no local e para permitir que ela se estabilize, deverá se posicionar dentro de um raio de tolerância, ditado pelos equipamentos de subsuperfície, operação a ser executada e lâmina d'água, de modo a não sofrer ação de ondas, correntes marítimas, ventos ou outros fatores. Os principais tipos de sistema responsáveis por isso são o de ancoragem (normalmente lâminas d'água de até 400m) e o de posicionamento dinâmico.

Em sondas que utilizam o sistema de ancoragem, a estabilização é dada por um sistema de cabos guias, descendo primeiro o equipamento chamado de Base Guia Temporária (BGT), com função de ancorar quatro cabos de aço, de modo a guiar o início da perfuração do poço. Após o assentamento da BGT, é baixada a coluna de perfuração, perfurando-se assim a primeira fase com uma broca 26" e alargador de 36". Em sequência é descido o condutor de 30" com a Base Guia Permanente (BGP), ambos montados previamente em superfície e após a descida, condutor é cimentado em toda sua extensão, conforme ilustrado na Figura 4 (THOMAS, 2001).

No caso de plataformas com sistema de posicionamento dinâmico, de acordo com Thomas (2001), é descida junto a coluna de perfuração, uma baja, com um condutor de 30" e um conjunto fundo do poço (BHA) com componentes da coluna na perfuração, incluindo broca de núcleo, o tambor de núcleo externo e conectores (Figura 5).

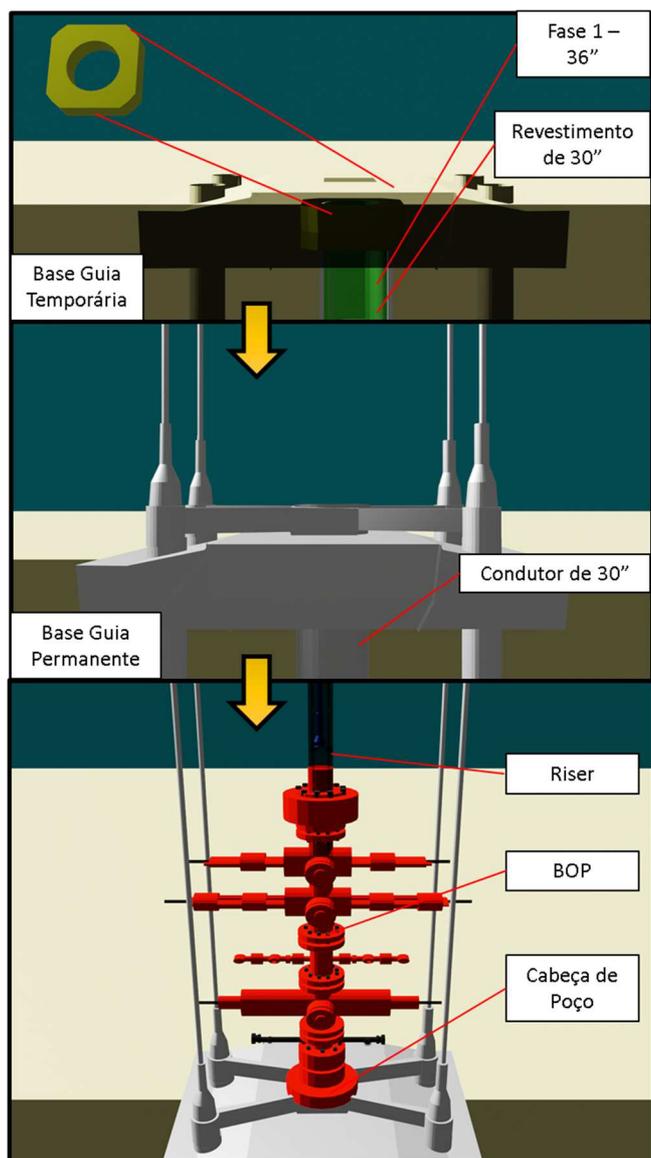


Figura 4 – Instalação de equipamentos no assoalho marinho de plataformas com sistema de ancoragem (O autor, 2020).

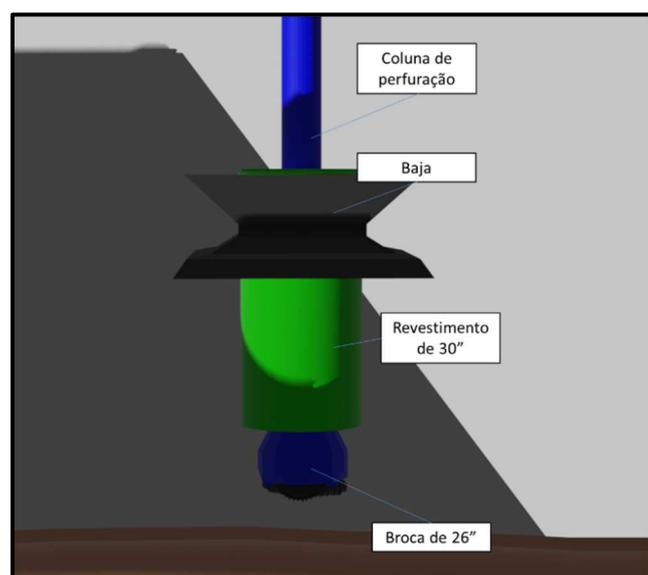


Figura 5 – Conjunto inicial para perfuração de poços sem o uso de cabos guia (O autor, 2020).

Na próxima fase, segue a perfuração com broca de 26” e cimentação. É então descido o revestimento de 20” e cimentado, recebendo um alojador de alta pressão na extremidade, integrando o revestimento de superfície com os demais componentes e permitindo a conexão dos equipamentos de segurança e de controle do poço, além de atuar como sede para os suspensores dos revestimentos intermediários e de produção e conectar os equipamentos de produção na fase de produção do poço. Nas duas primeiras fases, o cascalho do poço é depositado diretamente no mar (THOMAS, 2001).

Na geração de bacias sedimentares, o material é depositado pela ação de meios físicos (água, ar, gelo), sendo transportado de uma área fonte para as bacias, onde formam-se os depósitos. Devido ao grande aporte sedimentar, associado aos diversos ciclos deposicionais, os sedimentos são submetidos a uma sobrecarga, compactando-os. Além disso, a decomposição da matéria orgânica (também responsável pela geração do petróleo) e a conversão de alguns minerais para outros sob as novas condições, geram produtos como gases, água e também o próprio petróleo. A ação da tectônica, por meio da divergência, transcorrência ou convergência de placas, pode provocar falhamentos, sendo estes muitas vezes proveitosos, servindo de armadilha para o petróleo, mas tendo também como consequência a geração de instabilidade devido à perda de coesão do material. Por meio desses processos, ao perfurar um poço de petróleo, os fluidos confinados (gases, água e óleo) em pressão muito superior à da atmosfera, ao serem submetido às novas condições da superfície, apresentam uma tendência de ascensão (pelo menos nos momentos iniciais de perfuração), pela própria diferença de potencial. Outro fator relevante é o comportamento do sal, pois diferente das demais rochas, esta apresenta um caráter dúctil em condições próximas às normais, de pressão e temperatura.

Durante a perfuração de um poço, inúmeras dificuldades podem ser encontradas, dentre elas, um fluxo ascendente de material à superfície, provocando grandes desastres biológicos por derramamento de óleo, além de diversos outros problemas associados. Entretanto, com o avanço da tecnologia, dos estudos das bacias por meio de correlação de dados e geologia de poços já perfurados, modelos geológicos e diversos acervo gerado. O processo tem se tornado cada vez mais seguro, além de seguir normas cada vez mais rigorosas para redução de impacto aos meios físico, biológico e antrópico.

Conhecendo-se os riscos, para a perfuração segura das etapas seguintes, de acordo com Thomas (2001) após a cimentação e revestimento de superfícies, descem e são conectados o BOP e o riser, ilustrados na Figura 6, permitindo a perfuração das fases seguintes até a conclusão do poço. A configuração inclui uma segunda porção, denominada Lower Marine Riser (LMR), acoplada ao BOP, permitindo uma rápida saída e abandono do poço em casos extremos de acidentes.

O que é trabalhado nessas fases de perfuração, revestimento e cimentação, além da instalação do BOP, é justamente para permitir a estabilidade e segurança do processo. Dado o comportamento das rochas em subsuperfície, os fluidos da perfuração podem migrar para as formações, os fluidos das formações podem migrar para o poço, instabilidade do material pode afetar a perfuração, a exemplo da reologia do sal. Então todos esses processos devem ser cautelosos a cada etapa, de modo a permitir segurança às etapas seguintes.

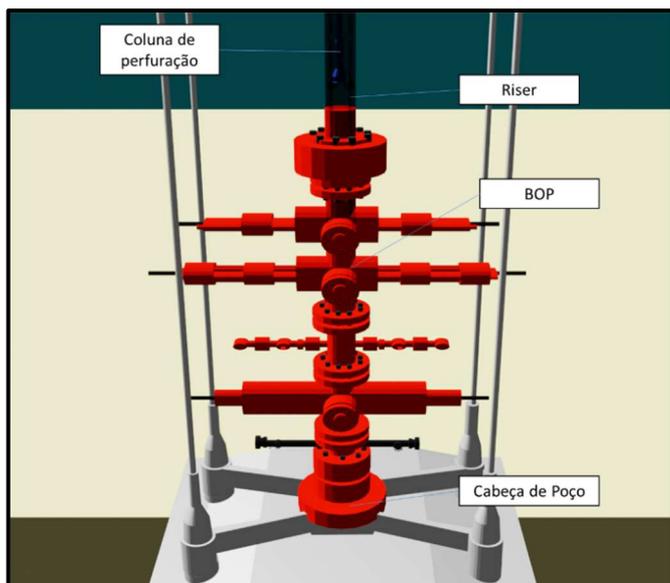


Figura 6 – Sistema de Cabeça de Poço e de Segurança posicionados no assoalho marinho (O autor, 2020).

Na superfície, uma torre ou mastro, é instalado na direção do poço a ser perfurado, suportando as cargas correspondentes ao peso da coluna de perfuração, transferindo para sua subestrutura e desta, para a base. É uma estrutura projetada para permitir manobras, ou seja, a retirada de toda coluna de perfuração para substituição da broca. A coluna de perfuração é girada por uma mesa rotativa, localizada na plataforma da sonda. A rotação é transmitida ao chamado kelly, que transmite a rotação a coluna de perfuração. Os componentes são ilustrados na Figura 7. Em certos sistemas, usa-se um aparelho chamado top drive, realizando a rotação diretamente por um motor acoplado a Catarina. Um motor de fundo também pode ser acoplado acima da broca, permitindo a perfuração direcional (THOMAS, 2001).

Para trabalhar com a movimentação da coluna de perfuração, revestimento e outros equipamentos, tem-se uma série de componentes necessários (Figura 8). O Guincho, responsável por receber a energia mecânica, permite a movimentação das cargas. Este é conectado ao Bloco de Coroamento (conjunto estacionário de polias, montados em linha num eixo, suportados por peças de apoio de guias e eixos) pelo cabo de perfuração, permitindo suportar as cargas transmitidas. Um equipamento chamado de Catarina, formado por um sistema de 3 a 6 polias móveis, montadas sob um eixo que se apoia nas faces externas da sua própria estrutura, presa a um gancho na sua parte inferior, permite a conexão com a Cabeça de injeção – swível (THOMAS, 2001).

O *swível* separa os equipamentos de sustentação de carga e os equipamentos que irão permitir a rotação da sonda de perfuração. É por meio deste equipamento também que são injetados os fluidos de perfuração da bomba para o interior da coluna, com isso os fragmentos de rochas removidos retornam à superfície através do espaço anular presente entre as paredes do poço e a coluna. Ao atingir determinada profundidade, variando conforme as características da rocha, a coluna de perfuração é retirada do poço e é descida uma coluna de revestimento de aço, havendo uma cimentação no espaço entre a coluna de revestimento e as paredes. Sequências de revestimento e cimentação ocorrem ao decorrer da perfuração, reduzindo-se os diâmetros da broca (THOMAS, 2001).

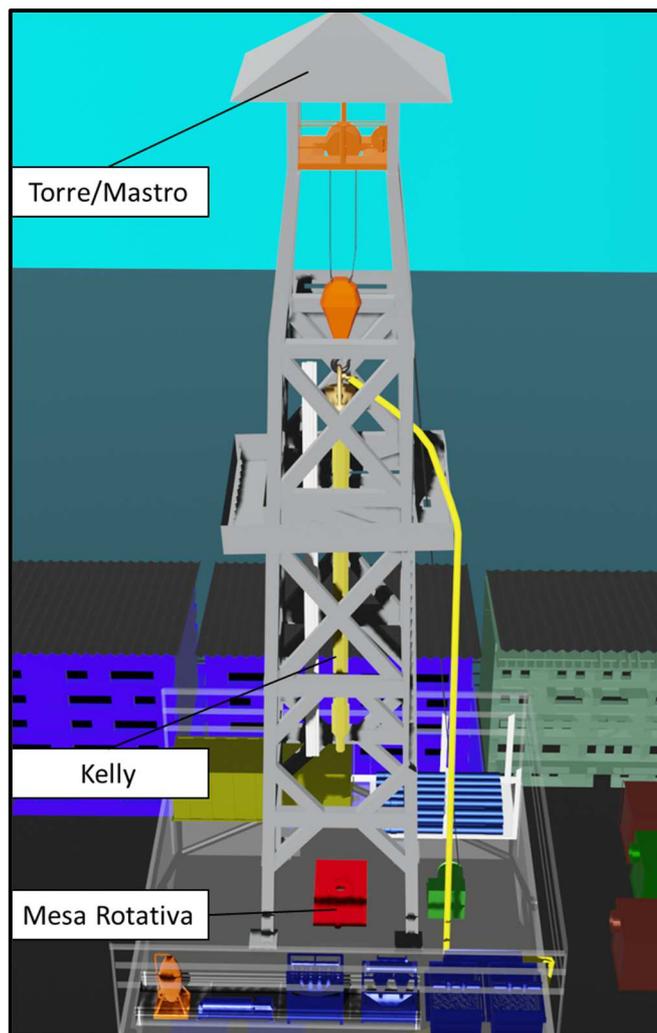


Figura 7 – Estrutura da Torre/Mastro, comportando os equipamentos de superfície para exploração (O autor, 2020).

A depender da composição do fluido de perfuração, a classificação pode ser feita com base no constituinte principal. Fluidos a base de água, considera principalmente a natureza da água e os aditivos químicos utilizados. A razão entre os componentes básicos e a interação desses componentes entre si provocam sensíveis modificações nas propriedades físico-químicas do fluido. A função da água é promover o meio de dispersão para os materiais coloidais, principalmente argilas e polímeros, que vão ditar as características do fluido. Do mesmo modo, fluidos a base de óleo são caracterizados pela fase contínua ou dispersante constituída de fase óleo. O uso dependerá do tipo de formação e do local em que se está trabalhando (THOMAS, 2001).

O fluido de perfuração (lama) é aplicado na forma de pressão da lama para apoiar as paredes do poço para impedir o influxo e o colapso do poço durante a perfuração. Para evitar o influxo de fluido e a instabilidade do furo de poço em uma seção de poço aberto, é necessária uma pressão de lama mais pesada que a pressão de poros. No entanto, quando o peso da lama é superior ao gradiente de fratura da seção de perfuração, ele pode interromper a formação, causando perdas de lama ou até perda de circulação. Para evitar um fraturamento hidráulico não intencional do poço devido ao alto peso da lama, em caso de sobrepessão, é necessário definir um revestimento para proteger as formações subjacentes da fratura (ZHANG, 2019).

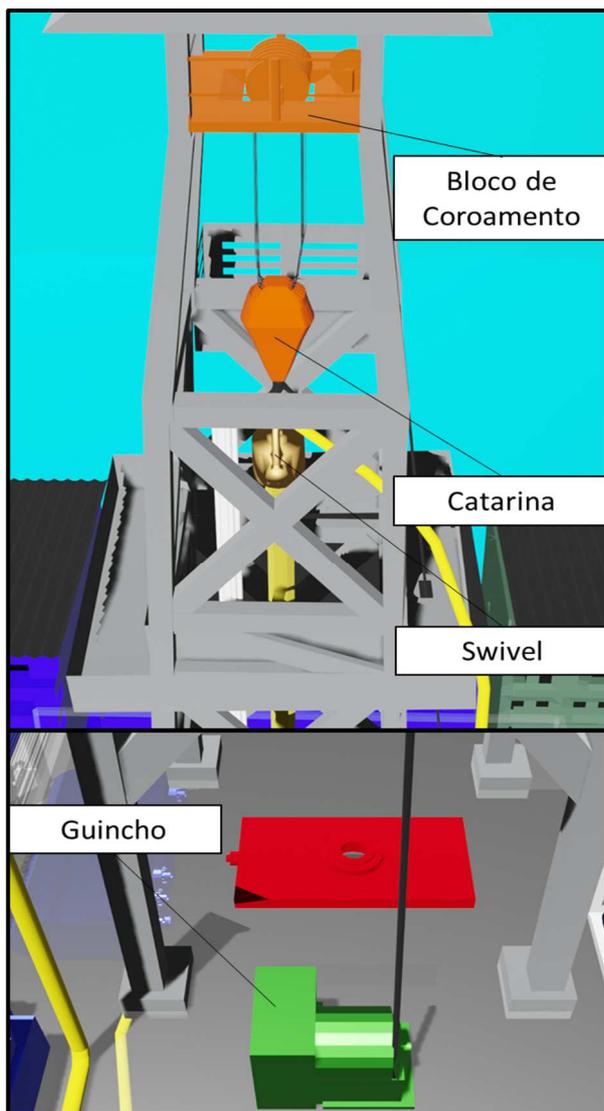


Figura 8 – Equipamentos de sustentação de cargas e sua conexão com o swível (O autor, 2020).

No processo de circulação e tratamento do fluido de perfuração, este é bombeado através da coluna de perfuração saindo por orifícios (jatos) na broca. Ao voltar para a superfície pelo riser, chega na peneira vibratória, realizando o tratamento. O caminho percorrido pelo fluido é ilustrado na Figura 9. O circuito de tratamento (Figura 10) consiste na separação granulométrica de sólidos e gases que se incorporam ao fluido durante o processo, adicionando produtos químicos para ajuste de propriedades quando necessário. Ao sair da peneira vibratória, passa pelo desareiator, do desareiator para o dessiltador e por fim, a centrífuga. O processo serve para separar as frações, cascalho, areia, silte e argila. Há ainda o degaseificador, responsável por separar o gás do fluido de perfuração (THOMAS, 2001).

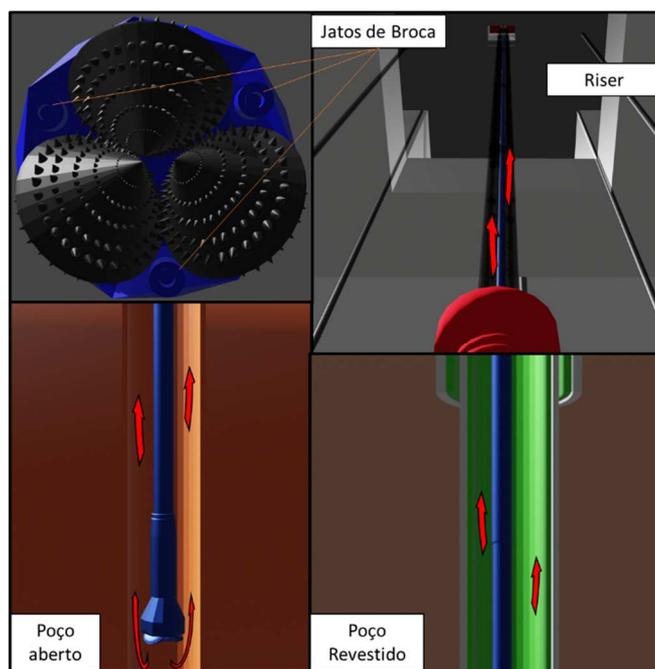


Figura 9 – Trajetória percorrida pelo fluido de perfuração desde a saída por meio dos jatos de broca até o retorno à superfície, pelo riser (O autor, 2020).

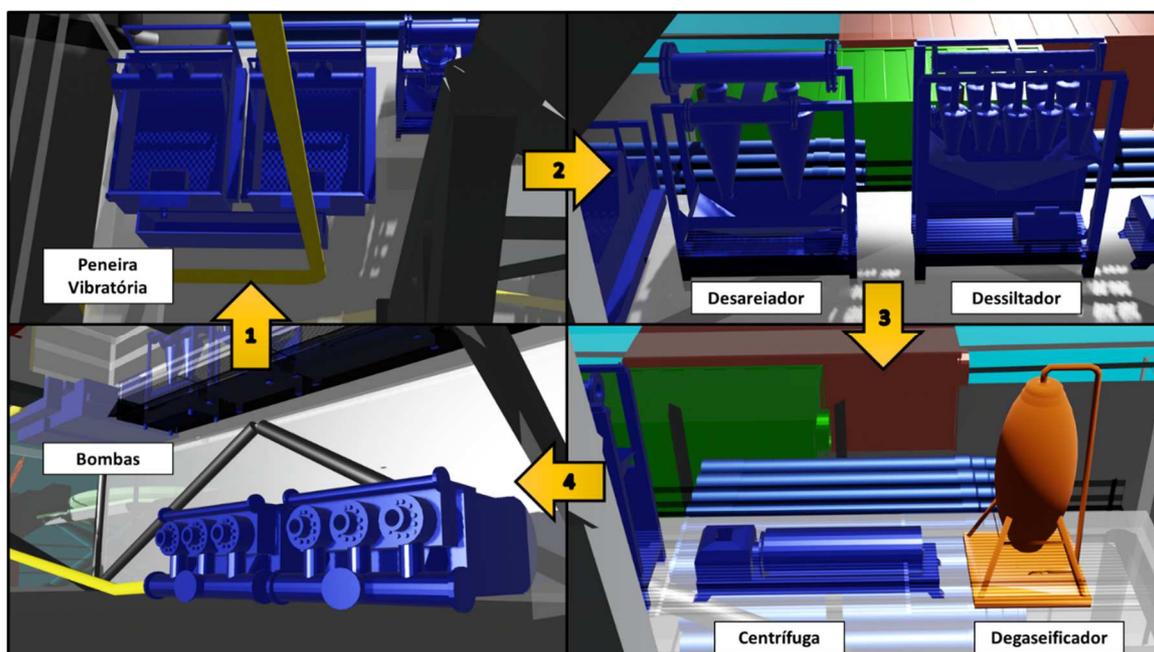


Figura 10 – Sistema de tratamento do fluido e separação das frações granulométricas (O autor, 2020).

As condições implementadas para o manejo e destinação correta do material usando na plataforma abrangem para o uso de fluidos de perfuração, fluidos complementares e pasta de cimento, uma série de procedimentos. Os cascalhos, quando dentro das normas para serem despejados ao mar, são misturados com a água do mar e descarregados por um tubo conhecido como canal descendente, normalmente a poucos metros do fundo do mar. A maioria do material lançado no fundo do mar, deposita-se e acumula-se no próprio assoalho marinho. A deposição do material no fundo marinho tende a

apresentar um comportamento semelhante ao ilustrado na Figura 11. A área e a espessura, resultado dessa deposição, dependerá do tipo de fluido de perfuração, se ele é de base aquosa ou não, quantidade de fluido retido nos cascalhos, da profundidade da água e das correntes marítimas. As partículas de grão fino se dispersam e afundam lentamente através da coluna d'água e as maiores tendem a se depositar mais próximo (SANZONE et al., 2016). As novas normas inseridas pelo IBAMA sobre o descarte de material contaminado com fluido de base não-aquosa proíbem o descarte no mar.

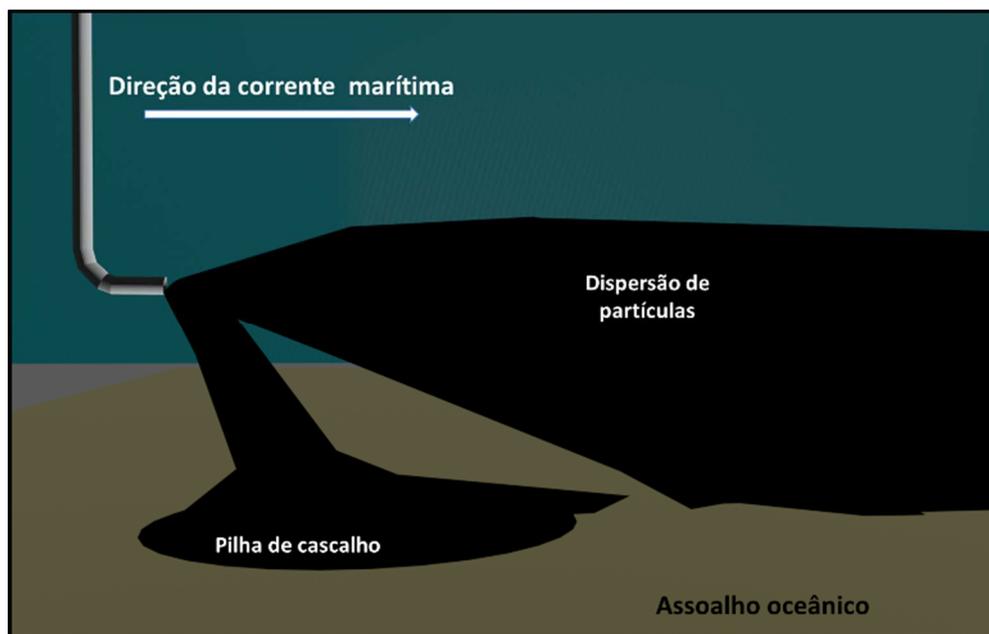


Figura 11 – Comportamento do material presente no fluido de perfuração descartado no mar, tratando-se de partículas de diferentes tamanhos – (O autor, 2020).

Quanto aos produtos componentes, deverão ser observadas proibições pela legislação quanto ao uso de certos produtos nocivos ao meio e para a utilização e o transporte de produtos e substâncias químicas. Para os fluidos de perfuração, fica proibido o uso de óleo diesel, cromo hexavalente, lignossulfonato de cromo e de ferrocromo, ligas de ferrocromo e brometo de zinco. Além disso, seguem-se restrições quanto a concentração de certos produtos químicos (EVARISTO, 2018).

O descarte de fluidos de base aquosa, cascalhos associados e demais efluentes de perfuração e cimentação, durante as fases com retorno à plataforma, é permitido se não for detectada a presença de óleo livre no fluido analisado momentos antes do descarte, e ser aprovado pelo Teste de Iridescência Estática. Se o limite da fração particulada suspensa for inferior a norma estabelecida, será proibido o descarte. Operações na fase sem retorno de fluidos e cascalhos, deverão seguir as condições ambientais estabelecidas para uso, devendo o descarte se restringir ao processo de licenciamento ambiental dependente do local em que se atua o empreendimento. Não é permitido o descarte em águas marinhas do material referente as fases de reservatório dos poços. Além disso, é proibido o descarte de fluidos de perfuração e complementares, efluentes de cimentação e águas de lavagem de tanque de fluidos de base não aquosa em águas marinhas (EVARISTO, 2018).

A turvação na água causada pela presença de argila no fluido (bentonita e barita) e à demora para se assentar, prejudica a penetração da luz, afetando negativamente o fitoplâncton, zooplâncton, larvas pelágicas de invertebrados e peixes, prejudicando a fotossíntese, alimentação e respiração (SMIT et al., 2008). No geral, o efeito é temporário, somente ocorrendo quando há a deposição. E se associado a animais maiores, observa-se estes se afastando do local onde está instalada a plataforma (SANZONE et al., 2016).

Os efeitos na fauna demersal e bentônica, que abrange peixes de fundo, equinodermes, estrela do mar, ouriço do mar, organismos sesséis solitários ou coloniais, anelídeos, moluscos, crustáceos, demais invertebrados e a microfauna. Podem ser afetados, sofrendo sufocamento e morte, aparentam ser maiores em profundidades inferiores a 600m, em profundidades maiores, as partículas tendem a se dispersas por distancias também maiores (SANZONE et al., 2016).

Os efeitos do descarte nas comunidades biológicas, apresentam no geral, baixo risco de prejuízo associado aos organismos da coluna d'água (NEFF et al., 2000), isso devido a rápida diluição e dispersão primária na coluna d'água e acumulação dos cascalhos próxima ao local de dispersão.

Para tanto, são implantados projetos de monitoramento

e gerenciamento de fluidos e resíduos tem por objetivo gerenciar os fluidos empregados e cascalhos contaminados durante a operação do poço de petróleo, estabelecendo diretrizes, critérios e procedimentos para o gerenciamento. São realizadas análises físico-químicas e ecotoxicológicas no preparo dos fluidos e avaliação dos cascalhos gerados antes da destinação final. A depender dos resultados obtidos durante a etapa de monitoramento dos fluidos e cascalhos, estes poderão ser descartados no mar ou encaminhados para destinação em terra (SERRA et al., 2019).

O trabalho com modelos tridimensionais, de modo a estimar a trajetória dos cascalhos ao serem despejados no mar, permitem uma avaliação e um estudo das áreas de impacto, permitindo maior monitoramento e caracterização do risco, conforme ilustra a Figura 12.

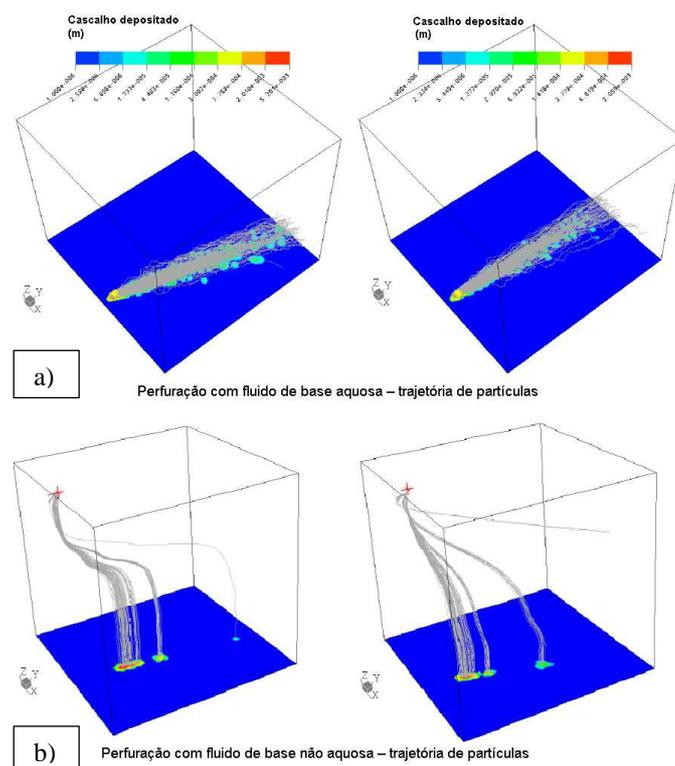


Figura 12 – Comportamento dos cascalhos de perfuração depositados no mar, buscando estimar a trajetória das partículas e dimensionar a zona afetada, apresentando um comparativo entre cascalhos contaminados em a) com fluidos de base aquosa e em b) com fluidos de base não aquosa (Dias et al., 2005).

3.2 Perfilagem

No passo seguinte, ocorrem os estudos para dimensionar o potencial da jazida petrolífera, baseando-se nos princípios de perfilagem de poço aberto, testes de pressão a poço revestido e na perfilagem de produção. Acompanham também essa etapa, os estudos prévios realizados de forma concomitante, inclusive os dados obtidos no estudo geológico e geofísico ou na etapa de perfuração do poço. A integração dos dados permite uma avaliação efetiva (THOMAS, 2001).

No processo de formação das rochas sedimentares formam-se espaços não preenchidos entre os grãos, caracterizados como porosidade primária. A porosidade caracterizada como secundária é obtida por meio do

fraturamento, dissolução ou outro mecanismo que permita o espaço gerado ser preenchido por um tipo de fluido, após a deposição desses sedimentos. A porosidade vai permitir que haja fluidos presentes entre esses grãos e isso deve ser avaliado na formação, visto que se deseja avaliar a presença de hidrocarbonetos.

O perfil de um poço é a imagem visual em relação a profundidade buscando informação das características da rocha perfuradas, sendo obtidas pelo deslocamento contínuo de um sensor de perfilagem (sonda) dentro do poço. A presença de hidrocarbonetos pode também ser indicada durante a perfuração por amostras de calha de rochas perfuradas, em testemunhos ou em kiccs, resistência à perfuração, detector de gás, etc (THOMAS, 2001).

O teste de formação a poço aberto consiste em realizar medições antes do revestimento e cimentação, sendo efetuado de forma rápida, devido à instabilidade do local. Tem a função de estimar a capacidade de fluxo e identificação dos fluidos das formações de interesse antes da descida do revestimento de produção. O teste de formação a poço revestido se caracteriza por certificar o isolamento do intervalo de interesse e melhores condições mecânicas do poço, realizados para validar a cimentação e revestimento com qualidade (THOMAS, 2001).

A perfilagem de poços pode ser realizada por dois métodos (Figura 13). Para medições no método Wireline Log (WL), a sonda é abaixada no poço aberto por meio de um cabo de aço fixo de condutor múltiplo, blindado contra helicoidal. Quando a sonda atinge o final do intervalo de interesse, são realizadas medições de baixo para cima, na tentativa de manter a tensão no cabo, o mais constante possível para fins de correlação de profundidade. No método Logging While Drilling (LWD), as medições são realizadas por uma ferramenta independente próxima à parte inferior do conjunto da coluna de perfuração e acima da broca, sendo registrado à medida que o poço é perfurado (GLOSSARY, 2020).

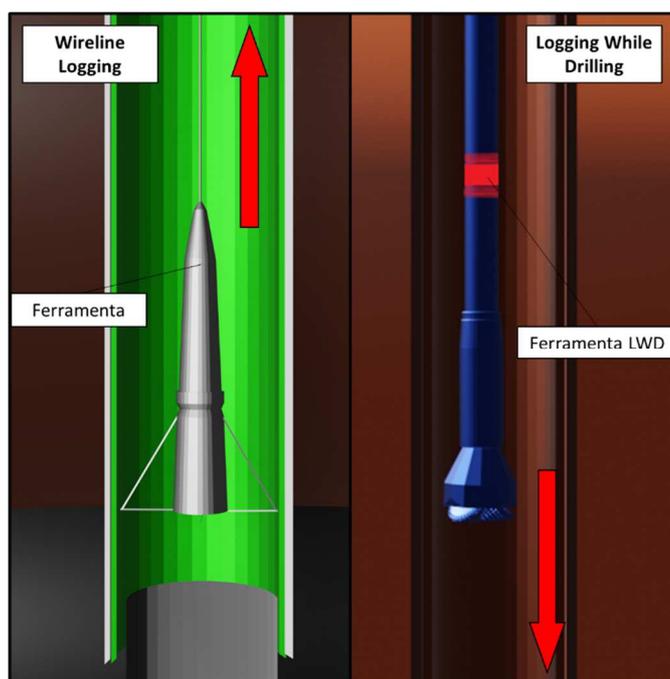


Figura 13 – Perfilagem de poços por meio do método Wireline Logging em comparação com o método Logging While Drilling (O autor, 2020).

Atualmente é possível realizar o monitoramento da pressão dos poros, introduzido no domínio da geomecânica em tempo real durante a perfuração. A geomecânica bem-sucedida em tempo real depende da disponibilidade de dados e a viabilidade da aquisição de dados. Dados de WL ou LWD, em conjunto com outros conjuntos de dados, podem ser usados para integrar um modelo tridimensional durante a pré-perfuração para entender as complexidades regionais e locais da perfuração. Os recentes avanços nas técnicas LWD fornecem dados de qualidade razoável para análise quantitativa em tempo real (KUMAR, 2012).

Na engenharia de perfuração faz-se uso do gradiente de poro-pressão, sendo mais conveniente para determinar a densidade da lama, que deve ser selecionada adequadamente com base no gradiente de pressão dos poros, na estabilidade do furo de poço e no gradiente de fratura antes de definir e cimentar um revestimento (ZHANG, 2019).

Antes de se aproximar dos 2 quilômetros de profundidade numa perfuração de um poço, a poro-pressão é hidrostática, indicando que uma coluna contínua e interconectada de fluido de poros se estende da superfície para essa profundidade. Em profundidades maiores, a sobrepressão inicia e a pressão dos poros aumenta com a profundidade rapidamente, o que implica que as formações mais profundas são isoladas hidráulicamente das mais rasas. Em 3800 m, a pressão dos poros atinge um valor próximo ao estresse causado pela sobrecarga, uma condição conhecida como sobrepressão forte. A pressão efetiva da previsão de pressão de poros é convencionalmente definida como a subtração da pressão de poros, da pressão por sobrecarga (ZHANG, 2019).

Quando o poço é colocado em produção, a pressão estática original é perdida, sob as novas condições impostas. Com o avanço da produção e conseqüente retirada do fluido do reservatório (período de fluxo), diminui-se a pressão cada vez mais, tendendo a depleção. Embora o poço tenda a estabilização, a pressão média do reservatório tende a diminuir cada vez que atinja a estabilidade, visto que o fluido está sendo retirado. Os objetivos do teste de pressão podem estar associados a identificação dos fluidos contidos na formação, determinação da produtividade e dos parâmetros da formação e do dano de formação. Além disso, busca amostragem de fluidos para testes de pressão, temperatura e volume. A importância desses testes é indicar se o reservatório tem características comerciais (THOMAS, 2001).

A denominada perfilagem final, realizada após a descida do revestimento de produção e completação inicial do poço, permite informar: litologia, espessura, porosidade, fluidos inclusos e saturação. Tem como característica, a verificação da efetividade da completação ou as condições de produtividade de um poço. Entretanto, a perfilagem possui restrição a áreas próximas. Através da análise dos perfis gerados, é possível avaliar se é um local de interesse econômico, abandonando-se o poço, caso não seja. A comprovação da jazida só é dada por colocação do poço em fluxo (THOMAS, 2001).

3.3 Completação

Esta etapa ocorre posterior a perfuração e consiste em deixar o poço em condições de operar de forma segura e econômica. É de extrema importância que os processos ocorrentes nessa etapa busquem otimização da vazão de produção (ou de injeção) e tornem a completação mais

permanente possível, evitando posteriores intervenções para manutenção (THOMAS, 2001).

Em uma completação típica de ambiente offshore, a instalação dos equipamentos de segurança é feita no fundo do mar. Os procedimentos da completação, obedecem uma ordem cronológica. Sendo assim, ocorre primeiramente a instalação da cabeça de poço e do BOP, o que permite acesso ao poço de forma segura. O BOP stack (Figura 14) é um sistema rígido e estável, integrado de gavetas vazadas e cisalhantes, válvula anular, linhas kill e choke e válvulas associadas. Além disso, possui um sistema de acionamento remoto e acumuladores submarinos de fluido de acionamento, permitindo que as funções principais de segurança possam ser acionadas sem supressão em superfície.

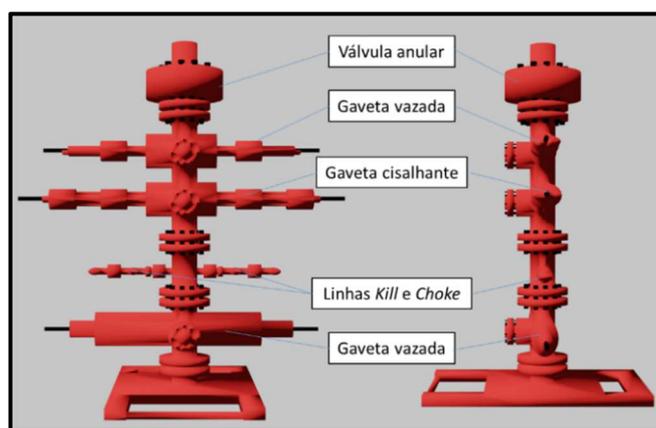


Figura 14 – Componentes principais do BOP stack (O autor, 2020).

O derramamento de óleo pode gerar grandes complicações no ambiente devido aos seus constituintes. Dentre as classes de hidrocarbonetos presentes no petróleo, dominam os saturados e aromáticos, possuindo cadeias lineares, fechadas e ramificadas, que abrangem a maior porcentagem. Alguns dos hidrocarbonetos cíclicos são resistentes a biodegradação. Há ainda a presença de asfaltenos e resinas, sendo que o primeiro possui teores de níquel e vanádio, sendo esses resistentes a degradação biológica (MENDELSSOHN et al., 2012).

O derramamento de óleo danifica o sistema respiratório de animais pelo óleo aprisionar nas guelras. A captação pelas guelras, carrega toxinas que podem ter efeitos letais ou sub-letais, podendo também ter efeito na reprodução das espécies (WHITEHEAD et al., 2012).

O derrame de óleo pode causar diversos danos às espécies marinhas. Além de crustáceos, artrópodes e peixes, as aves marinhas podem ser contaminadas ao mergulharem na água em busca de alimento, tendo suas penas revestidas por óleo, limitando a capacidade de voar e reter calor no corpo. Mamíferos como baleias, ao emergirem em busca de oxigênio podem se contaminar com o óleo na superfície da água. Os cetáceos estão em perigo porque as outras espécies que consomem podem ser contaminadas com óleo como resultado da biomagnificação (ARYEE, 2012). Além do óleo materiais dispersantes usados para facilitar a diluição do material, podem influenciar predadores de espécies contaminadas (GOHIKE et al., 2011). A cadeia alimentar pode até mesmo afetar o ser humano, já que peixes de longa vida como o atum, estão em sua dieta.

No mar, animais que filtram os alimentos da água, podem ser expostos a micro gotículas de óleo no oceano. A capacidade do fitoplâncton de acessar a luz solar e realizar a fotossíntese é afetada, impactando também a cadeia alimentar. Pyrosomas morrem por causa de hidrocarbonetos em seus tecidos e tartaruga são afetados quando ingerem pyrosomas. A digestão de grandes quantidades de plumas de óleo subaquático e metano por organismos microbianos podem levar ao esgotamento de oxigênio (ARYEE, 2012).

Trabalhos com o uso de modelagem tridimensional, permitem estimar a direção de deslocamento das partículas presentes em superfície e em subsuperfície, que podem variar de acordo com a época do ano, visto que isso influencia nas correntes marítimas e direção dos ventos. Além disso, o uso de dispersantes para diminuir o tamanho das partículas, permitem

e emersão do óleo para a superfície em um tempo menor, o que permite um maior controle antes da sua propagação.

Um trabalho realizado por Paiva (2016), com um software de simulação hidrodinâmica e transporte de constituintes em suspensão e solução, utilizado para simular os blowouts de poços de petróleo na região da Bacia de Campos, aponta cenários em que a dispersão do material varia conforme a profundidade do poço em que ocorre o vazamento, a sazonalidade e o efeito do uso de dispersantes no material (Figura 15). Para isso, são inseridos dados como contorno da linha da costa, batimetria, ventos, marés etc. Dessa forma, modelos tridimensionais gerados poderão auxiliar na remediação dos impactos causados em caso de falhas mecânicas e perda de controle do poço.

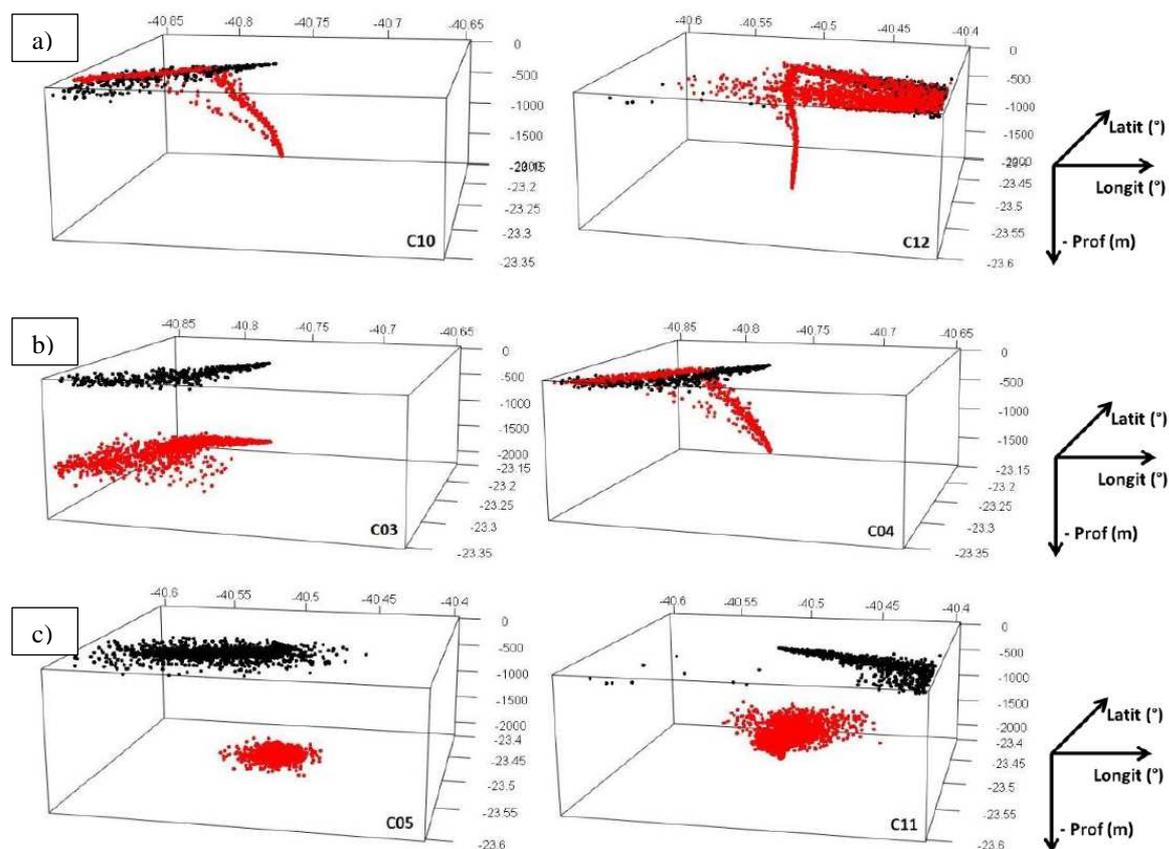


Figura 15 – Cenários de dispersão do óleo em caso de vazamento, com intuito de prever o comportamento da pluma em superfície (em preto) e em subsuperfície (em vermelho) conforme as condições do ambiente, permitindo projetar medidas de remediação para redução dos impactos, comparando condições, da esquerda para a direita de: a) profundidade, comparando poço com 1400m e um com 2000m; b) variação de sazonalidade, sendo uma estimativa de um mesmo poço para o inverno e uma para o verão; c) não uso e uso de dispersantes em um mesmo poço, observando a emersão das partículas (Paiva, 2016).

Após a instalação dos equipamentos para prevenção e controle de um fluxo ascendente, o poço é revestido e cimentado, sendo o fluido do interior do poço, substituído pelo fluido de completação (geralmente uma solução salina de composição compatível ao reservatório). A cimentação então é avaliada afim de evitar a percolação de fluidos, sendo o processo realizado por meio de perfilagem sônica. Perfura-se então a última fase do poço, revestindo-o caso necessário. O revestimento de produção pode ser realizado com liner canhoneado ou rasgado e com revestimento canhoneado, exemplificados na Figura 16. Afim de permitir a comunicação

do poço com a formação produtora, é feito o uso de cargas explosivas moldadas para este fim, dentro de canhões (THOMAS, 2001).

A coluna de produção enfim é descida, constituída basicamente por tubos metálicos, tem por objetivo conduzir os fluidos produzidos até a superfície, protegendo o revestimento de fluidos e pressões elevadas. Além disso, permite a instalação de equipamentos para elevação artificial e possibilita a circulação de fluidos para o amortecimento do poço caso necessário futuramente (THOMAS, 2001).

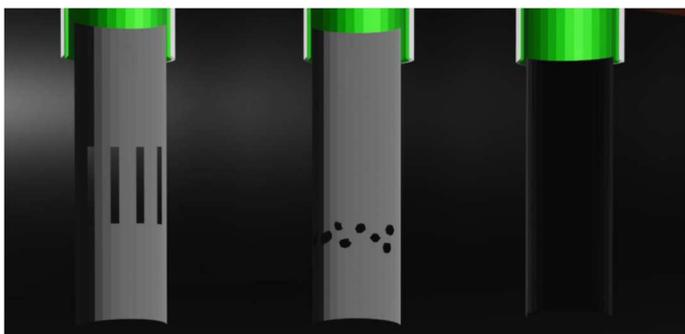


Figura 16 – Completação e revestimento de poços em a) com liner rasgado, em b) revestimento canhoneado e em c) com poço aberto (O autor, 2020).

3.4 Produção

A fase de produção consiste na retirada do óleo e encaminhamento para o refino, e posteriormente comercializado os produtos obtidos. Essa fase somente ocorrerá caso o campo se mostrar comercial.

O óleo pode emergir de forma natural para a superfície, impelido pela pressão interna dos gases, sendo os denominados poços surgentes (KIMURA, 2005). A elevação natural do petróleo ocorre normalmente no início da vida produtiva do reservatório. Com o passar do tempo, a pressão exercida pelos gases tende a diminuir, diminuindo a vazão do poço. Há também reservatórios onde a pressão dos fluidos é relativamente baixa, sendo necessário o uso de métodos artificiais para elevação (THOMAS, 2001).

Os métodos de elevação artificial mais comuns para o meio offshore segundo Thomas (2001), são Gás-lift Contínuo (GLC) e Intermitente (GLI), Bombeio Centrífugo Submerso (BCS) e o Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP).

- Gás-lift - consiste num método de elevação de fluido utilizando a energia contida em gás comprimido, gaseificando a coluna de fluido (GLC) ou simplesmente deslocando-a (GLI) determinado local à superfície.
- BCS – Um motor alocado em subsuperfície, conectado a uma bomba centrífuga, transmite energia para o fluido na forma de pressão, elevando-o a superfície.
- BCP – A transferência de energia ao fluido é realizada por meio de uma bomba de cavidades progressivas, de deslocamento positivo, que trabalha imersa no poço de petróleo. É constituída de um rotor e um estator, em que o giro do rotor no interior do estator gera um movimento axial das cavidades, progressivamente, realizando um bombeio.

Estudam-se os impactos em caso de um derramamento não esperado de óleo, realizando cálculos da vazão em caso de blowout e estimando baseado no potencial de produção de reservatórios, considerando a composição provável e o grau de soterramento destes reservatórios. São calculados dois cenários de vazão, com máxima produção (cenário economicamente otimista), e mínima (cenário economicamente pessimista), através de parâmetros do óleo e a geometria dos reservatórios, permitindo estimar, reduzir ou evitar danos maiores (SERRA et al., 2019).

Dos impactos efetivos, as ações que mais geram impacto são: o trânsito das embarcações de apoio e a presença das plataformas. Já nos impactos potenciais, a possibilidade de um vazamento acidental de combustível e/ou óleo no mar pode gerar mais impactos (ZABINI et al., 2017).

Avaliam-se as espécies, comunidades biológicas ou ecossistemas com presença significativa na área afetada, vulneráveis à poluição por óleo e importantes para a população local, de interesse nacional ou internacional e com importância ecológica. Para avaliar os efeitos sobre o meio ambiente são identificados os fatores ambientais passíveis de serem atingidos por vazamento de óleo, definindo o tempo de recuperação e a probabilidade de toque pelo óleo (SERRA et al., 2019).

Estudos são constantemente realizados para caracterizar os impactos a fauna marinha. Segundo Hawkins e Popper (2014), num trabalho de monitoramento sobre diferenças de comportamento de peixes auditivos e não auditivos, em resposta a ruídos provocados por meio artificial. O trabalho apresentou ligeira diferença no comportamento entre os grupos. Entretanto, é apontado que esses resultados podem ser influenciados por alimentação, migração, busca de habitats particulares, ou outras atividades.

Apresenta-se as medidas para redução dos riscos e minimização de impactos, caso ocorra algum acidente. São implementados programas de inspeção, manutenção e testes dos equipamentos e sistemas de segurança para certificação do correto funcionamento dos mesmos. Os equipamentos de segurança contam com um conjunto de válvulas para segurança da coluna de perfuração e para fechamento do poço, sistema para prevenção de Blowout, desvio do fluxo do poço para proteção da sonda, separador atmosférico, desgaseificador, medidor de variação de vazão de retorno e de volume do tanque (SERRA et al., 2019).

Projetos de monitoramento visam, ao longo da exploração, avaliar o local do empreendimento, de modo a caracterizar e minimizar impactos ao meio, como também fornecer informações a respeito de fenômenos meteorológicos e fauna local. São realizados projetos de monitoramento da qualidade do sedimento, da fauna Bentônica, de características meteo-oceanográficas, de impactos de plataformas e embarcações sobre a avifauna e, de praias. Além de inspeção do fundo oceânico, identificação e registro da fauna marinha a partir da unidade de perfuração e embarcações de apoio e levantamento de dados das aves aquáticas (SERRA et al., 2019).

São incluídos projetos de controle de poluição, garantindo o cumprimento de normas nacionais e práticas de gerenciamento de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas. Possuindo objetivo de reduzir a quantidade de resíduos, efluentes e gases gerados durante a atividade. Além disso, visa a destinação correta, garantindo o armazenamento e transporte seguros, buscando a reutilização e reciclagem destes resíduos (SERRA et al., 2019).

Inclui-se também projetos de prevenção e controle de espécies exóticas invasoras, afim de evitar um desequilíbrio na diversidade biológica da área. O projeto é realizado por gerenciamento de risco em embarcações prestadoras de serviços, exigindo que as empresas comprovem que os cascos de suas embarcações estejam limpos e livres de bioincrustação (SERRA et al., 2019).

4. CONCLUSÕES

A extração de petróleo, como qualquer outra atividade humana gera impactos ao meio ambiente, podendo esses serem positivos ou negativos. Entretanto é responsável por gerar economia, fornecendo empregos, dando contribuições ao PIB, além de ser um bem essencial na vida das pessoas, visto que no nosso país, a maioria do transporte é realizada por meio de rodovias, sendo o combustível dado pelos derivados do petróleo.

Os acidentes associados a plataformas de petróleo são ocorrências raras. O processo envolve uma capacitação de profissionais para o empreendimento, além de um rigoroso sistema de regras de segurança impostos aos funcionários. Quando ocorrem, normalmente estão associados a grandes desastres ambientais, impactando meio físico, fauna e flora. Além de causar aos trabalhadores locais, consequências graves, desde a amputação de membros até mesmo ao óbito. O empreendimento conta com diversos profissionais de diversas áreas do conhecimento, trabalhando para permitir uma exploração eficiente e segura.

O trabalho com modelos tridimensionais permite criar ferramentas digitais, de modo a construir uma base de dados visando a redução dos impactos ambientais. Sendo assim, a geração de modelos que apontem as características de perfuração de um poço, equipamentos utilizados, dados de monitoramento do poço, bem como de características geológicas e estruturais do local, promove um maior controle da perfuração. Da mesma forma, o trabalho com modelos que visem a remediação de riscos e monitoramento do material descartado no mar, permite a delimitação de áreas de impacto e consequentemente melhor gerenciamento dos riscos ao meio.

A aplicação de modelos tridimensionais colabora para um caracterização e dinamização dos estudos referentes a todas as etapas de exploração, bem como nos processos referentes a coleta de dados para controle ambiental. Os modelos, permitem gerenciar melhor as atividades, estimando e integrando dados, de modo a contribuir com o avanço das pesquisas. A criação de um banco de dados que permita a associação e integração de modelos poderá dispor ferramentas de modo a monitorar perfuração e gerenciar o material depositado no mar, tornando a atividade mais segura e causando menor impacto ao ambiente.

A elaboração de modelos tridimensionais, usando dados do poço, dados sísmicos 3D de alta qualidade e um modelo de estrutura geológica, provam ser eficiente nos estudos, dada a representação mais realista se comparados a modelos convencionais expostos na literatura. Do mesmo modo, apontam que modelos tridimensionais para resultados da modelagem de tensão 3D oferecem uma ferramenta rápida para prever possíveis condições de perfuração seguras e inseguras e, assim, o aplicativo contribui para avaliar a localização dos poços e o design realista da carcaça. Além disso, permitem elaborar meios de perfurar camadas de geologia complexa, como camadas de sal, de modo a fornecer segurança ao trabalho (NAGY et al., 2013).

Além dos métodos de remediação discutidos, os métodos tridimensionais integrados para otimizar a perfuração permitirão um avanço da perfuração de forma mais segura. Sendo assim, os riscos referentes a exploração de petróleo estão cada vez menores. Além disso, o constante trabalho em conjunto

com os órgãos de preservação ao meio ambiente, tornam a atividade cada dia menos impactante ao meio.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. F. Modelagem tridimensional de superfícies geológicas utilizando dados sísmicos 3D do Campo de Namorado, Bacia de Campos, Brasil. Monografia (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.
- AQUINO, F. N. P. M.; COSTA, L. F. L. G. Riscos Ambientais em uma sonda de perfuração de petróleo onshore na unidade de negócios - RN/CE – Mossoró/RN. HOLOS, RN, v. 3, p. 64-83, 2011.
- ARYEE, A. Risks of offshore oil drilling: Causes and consequences of British petroleum oil rig explosion. Aquatic Science and Technology. Toronto, Canadá, v. 1, n. 1, p. 101-118, 2012.
- BLENDER. Pacote de criação 3D - Modelagem, Rigging, Animação, Simulação, Renderização, Composição e Rastreamento de movimento, Edição de vídeo e Pipeline de animação 2D. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- DIAS, G. J.; COUTINHO, A. L. G. A.; MARTINS, R. P. Modelagem tridimensional do lançamento de cascalhos de perfuração de poços de petróleo em águas profundas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador, Ba. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2005.
- EVARISTO, L. M. Instrução Normativa nº 1 de 2 de janeiro de 2018. Diretrizes estabelecem as condições ambientais para o uso e descarte de fluidos, cascalhos e pastas de cimento nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de óleo e gás. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2018. 8 Ed. Seção 1, p. 7-8-58.
- FURTADO, F. C. Fatores Geológicos que impactam na biodegradação das acumulações petrolíferas no Campo de Polvo, Bacia de Campos. Rio de Janeiro. 2018.
- GLOSSARY, Schlumberger Oilfield. Wireline Log. Disponível em: <<https://www.glossary.oilfield.slb.com/>> Acesso em: 26 jul. 2020.
- GOHIKE, J. M., DOKE, G. D., TIPRE, M., LEADER, M., FITZGERALD, T. A. Review of Seafood Safety after the Deepwater Horizon Blowout. Environmental Health Perspectives, v. 119, n. 8, p. 1062-1069, 2011.
- HAWKINS, A. D.; POPPER, A. N. Assessing the impacts of underwater sounds on fishes and other forms of marine life. Acoustics Today, v. 10, n. 2, p. 30-41, 2014.
- KIMURA, R. M. Indústria brasileira de petróleo: uma análise da cadeia de valor agregado. Monografia (Bacharelado em Economia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- KUMAR, D., SINGH, H., KUMAR, R. R., RAO, D. G., SUNDARAM, K. M. Real Time Drilling Geomechanics: Successful Application in an Inclined Well in Ultra-deepwater off East Coast of India. In: SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Perth: Society of Petroleum Engineers, 2012.
- MENDELSSOHN, I. A., ANDERSEN, G. L., BALTZ, D. M., CAFFEY, R. H., CARMAN, K. R., FLEEGER, J. W.,

- JOYE, S. B., LIN, Q., MALTBY E., OVERTON, E. B., ROZAS, L. P. Oil impacts on coastal wetlands: implications for the Mississippi River Delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill. *BioScience*, v. 62, n. 6, p. 562-574, 2012.
- MORAIS, J. M. Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore. Brasília, Ipea; Petrobrás. 2013.
- NAGY, Z. R., LEE, D. W., SAYERS, C. M., ZAPATA, T. R., SILVESTRO, J. L. Iterative 3D geomechanical modeling to determine distribution and impact of stresses in deepwater Gulf of Mexico subsalt and near-salt environments. In: 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. [S.l.]: ARMA, 2013.
- NEFF, J. M.; MCKELVIE, S.; AYERS JR, R. C. Environmental impacts of synthetic based drilling fluids. New Orleans, Louisiana: Minerals Management Service. 2000.
- ORTIZ NETO, J. B.; COSTA, A. J. D. A Petrobrás e a exploração de Petróleo Offshore no Brasil: um approach evolucionário. *Revista Brasileira de Economia*, v. 61, n. 1, p. 95-109, 2007.
- PAIVA, P. M. Modelagem Tridimensional do Blowout de Poços de Petróleo: Metodologia e Aplicações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Macaé, Rio de Janeiro. 2016
- PENG, C.; DAI, J.; YANG, S. Seismic guided drilling: Near real time 3D updating of subsurface images and pore pressure model. In: 6th International Petroleum Technology Conference, 2013, Beijing. Paper [IPTC] 16575. Beijing, China: European Association of Geoscientists & Engineers, 2013.
- PETROBRAS. Fatos e dados – Tecnologia: Campo de Lula, no pré-sal, terá levantamento em sísmica 4D. Disponível em: <<https://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/tecnologia-campo-de-lula-no-pre-sal-tera-levantamento-em-sismica-4d.htm>> Acesso em: 10 jul. 2020a.
- PETROBRÁS. Infográfico Tipos de Plataformas. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/infograficos/tipos-de-plataformas/desktop/index.html#>> Acesso em: 03 mar. 2020b.
- ROSTIROLLA, S. P. Análise de incertezas em sistemas petrolíferos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 2, p. 261-270, 2017.
- SANZONE, D. M.; VINHAEIRO, N.; NEFF, J. M. Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations. IOGP report, v. 543, 2016.
- SEADRILL. RIG PORTFOLIO. Disponível em <<https://www.seadrill.com/fleet/rig-portfolio/>> Acesso em 21 mar. 2020.
- SELLEY, R. C.; SONNENBERG, S. A. *Geologia do Petróleo: Tradução da 3ª edição*. Brasil, Elsevier, 2016.
- SERRA, R., ANTUNES, J. C., MURBACK, J., GREGÓRIO, H. P., PINOTTI, B. T., PAIVA, J. P. P., GINCIENE, B., PINTO, A. C., SANTOS, D. O., ZATI, M. S., SILVEIRA, S., OLIVEIRA, A. D., MORAES, A. F., SILVA, E. F. C., VIEIRA, E. D. R., COSTA, F. P., AVELLAR, J. M. P., SIQUEIRA, N. M., ROSA, P. B., GOLODNE, P. M., SILVA, R. V., SOUZA, T. C. L., SIMÕES, B. N., DAROS, R. C., TOLEDO, R. G. A. RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL – RIMA: Atividades de perfuração marítima nos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Brasil. EGIS; PETROBRAS. 2019.
- SMIT, M. G.D., HOLTHAUS, K. I. E., TRANNUM, H. C., NEFF, J. M., KJEILEN - EILERTSEN, G., JAK, R. G., SINGSAAS, I., HUIJBREGTS, M. A. J., HENDRIKS, A. J. Species sensitivity distributions for suspended clays, sediment burial, and grain size change in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 27, n. 4, p. 1006-1012, 2008.
- SOUSA, G. G.; JERÔNIMO, C. E. M. Análise Preliminar de Riscos Ambientais para Atividades Relacionadas a Perfuração de um Poço de Petróleo Terrestre. *Revista Monografias Ambientais [s.l.]*, v. 13, n. 3, p.3265-3277, 31 ago. 2014.
- THOMAS, J. E. (org). *Fundamentos de engenharia de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS. 2001.
- TINKERCAD: Aplicativo online gratuito para projetos 3D. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com>>. Acesso em: 03 mar. 2020.
- WHITEHEAD, A., DUBANSKY, B., BODINIER, C., GARCIA, T. I., MILES, S., PILLEY, C. RAGHUNATHAN, V., ROACH, J. L., WALKER, N., WALTER, R. B., RICE, C. D., GALVEZ, F. Genomic and physiological footprint of the Deepwater Horizon oil spill on resident marsh fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. v. 109, n. 50, p. 20298-20302, 11 dez. 2012.
- ZABINI, M. E., SIMONSEN, R. M., BONANI, F., KLAUSSNER, G. H. B., GREGÓRIO, H. P., MILANELLI, J. C., MORENO, J. F., PAIVA, J. P. P., DONIZETTI, J., PASSALACQUA, L. B., BARONI, P., SILVEIRA, S. B. RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL – RIMA: Atividade de produção e escoamento de petróleo e gás natural do polo do pré-sal da Bacia de Santos – Etapa 3. São Paulo, Mineral Engenharia e Meio Ambiente Ltda; PETROBRAS, 2017.
- ZHANG, J. J. *Applied Petroleum Geomechanics*. 1 Ed. Houston, Elsevier. 2019.