

FERNANDA GRAMORELLI

**ESTUDO DE IMPACTOS GERADOS PELO FLUIDO DE
PERFURAÇÃO NA PERFURAÇÃO OFFSHORE DE POÇOS DE
PETRÓLEO E GÁS**

São Paulo, 2006

FERNANDA GRAMORELLI

**ESTUDO DE IMPACTOS GERADOS PELO FLUIDO DE
PERFURAÇÃO NA PERFURAÇÃO OFFSHORE DE POÇOS DE
PETRÓLEO E GÁS**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Petróleo do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Wilson Siguemassa Iramina

São Paulo, 2006

*Dedico este trabalho, bem como tudo
que produzirei daqui para frente,
ao meu filho, a maior fonte de
energia que já encontrei.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, sem os quais eu não teria chegado onde cheguei, pela educação que me proporcionaram e por todo o companheirismo e apoio ao longo destes vinte e três anos.

Agradeço ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT pelo auxílio financeiro na elaboração desta pesquisa.

RESUMO

Os impactos gerados pela utilização dos fluidos de perfuração na perfuração de poços de petróleo tem grande importância nos impactos gerais da indústria petrolífera. Exceto quando tratamos de derramamentos provenientes de eventos acidentais, é o fator mais impactante nas ações corriqueiras da indústria extrativa. O uso em si não trás muitos impactos, mas o descarte dos fluidos utilizados e dos cascalhos de rochas impregnados com o fluido é de extrema relevância nas mudanças causadas no ambiente analisado. Neste trabalho, foram estudados os impactos gerados na plataforma de perfuração e suas proximidades.

Durante as operações de perfuração, o uso do fluido é extremamente importante e, em alguns casos, o seu manuseio é essencial para evitar acidentes. Seu uso durante a atividade e as operações em que seu uso indevido pode causar acidentes são importantes na compreensão de seus impactos.

O tipo de fluido utilizado (base aquosa ou não aquosa) tem total importância na deposição dos resíduos descartados e nos impactos causados ao ambiente. A descrição de cada tipo de fluido é essencial para um entendimento dos diferentes graus de impactos por eles gerados.

A legislação brasileira não impõe regras claras quanto ao descarte de resíduos na etapa de perfuração de poços de petróleo. Assim, os impactos gerados, apesar de serem monitorados, ainda não são inteiramente evitados. O desenvolvimento de tecnologias voltadas a evitar os impactos tem mostrado melhoras na conjuntura atual, mas ainda há muito para se desenvolver neste sentido. A normalização do uso de determinados fluidos e aditivos, bem como de seu descarte deve ter grande participação na melhoria desta atividade.

Palavras chave: petróleo; poços; fluido de perfuração; impactos; meio ambiente

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. O Processo de perfuração de poços.....	8
2.1. Histórico.....	8
2.2. A operação de perfuração.....	8
2.2.1. Equipamentos de uma sonda de perfuração.....	8
2.2.2. Sistema de circulação do fluido de perfuração.....	11
2.2.3. Descrição das operações envolvidas.....	12
2.3. Riscos eminentes do processo.....	13
3. O Fluido de Perfuração.....	14
3.1. Funções do fluido de perfuração.....	14
3.2. Tipos de fluidos de perfuração.....	16
3.2.1. Lama a base de água.....	16
3.2.2. Lama a base de óleo.....	17
3.2.3. Lama sintética.....	17
3.2.4. Lama aerada.....	18
3.3 Aditivos do fluido de perfuração.....	18
4. Descarte de resíduos gerados na operação de perfuração.....	21
5. Impactos gerados.....	24
5.1. Metodologia de classificação dos impactos.....	25
5.2. Potenciais impactos ambientais	25
5.2.1. Impactos gerados pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração.....	27
5.2.2. Impactos Gerados pela erupção do poço (<i>Blowout</i>).....	28
5.2.3. Impactos gerados por acidentes na plataforma.....	28
5.3. Considerações finais.....	29
6. Conclusão.....	31
7. Referências.....	32

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um assunto que tem estado em muitas pautas de discussão é o problema da degradação ambiental. Gradativamente, o Homem, em busca da melhoria da qualidade de vida de sua espécie, vem destruindo o ambiente em que vive. Um processo de conscientização já se iniciou há algum tempo e há uma crescente preocupação em transformar as atividades humanas em processos cada vez menos predatórios ao meio ambiente e aos próprios trabalhadores. Para isso, além de haver uma mudança na mentalidade das pessoas e nos princípios de gestão das empresas, é preciso haver uma transformação nos processos produtivos, nos equipamentos e nos profissionais. A indústria extrativa, principalmente, tem sido alvo de grandes investimentos neste sentido.

O tema deste projeto—"ESTUDO DE IMPACTOS GERADOS PELO FLUIDO DE PERFURAÇÃO NA PERFURAÇÃO OFFSHORE DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS"- se encaixa claramente nesta discussão. Sem dúvida alguma o processo de perfuração de poços vai contra o estado natural do meio-ambiente, podendo causar poucos ou inúmeros impactos. Isto ocorre principalmente porque as áreas envolvidas são normalmente muito grandes, os equipamentos são gigantescos, há muitas pessoas trabalhando no processo, e manuseia-se material inflamável e tóxico constantemente. Além de todos os riscos de acidentes comuns a processos industriais, no caso da produção de hidrocarbonetos em plataformas, conta-se ainda com o fato de ocorrer em locais isolados e que sofrem grandes influências das forças naturais como mar, vento e tempestades, além das forças intraterrenas, responsáveis por grande parte dos acidentes já ocorridos.

Porém, os impactos ambientais vão muito além dos conhecidos derramamentos de petróleo no oceano; envolvem muitas vezes contaminações que não são vistas na superfície, mas podem trazer muitos danos para a flora e fauna próximas ao local de perfuração. Apesar de normalmente os impactos estarem associados a eventuais acidentes, eles também são gerados pelas atividades cotidianas na operação de perfuração. Um exemplo é o descarte dos cascalhos enlameados retirados dos poços, que ocorre diariamente durante o processo.

Outro grande problema relacionado a este tema é que em alguns casos chega a ser mais barato para as empresas custear as indenizações em casos de acidentes ambientais que os custos envolvidos na prevenção destes acidentes.

O objetivo do presente trabalho é compilar os possíveis impactos ambientais causados pelos fluidos de perfuração na atividade de perfuração offshore de poços de petróleo e gás. Foi realizada uma análise das operações envolvidas e dos riscos destas operações. Os fluidos utilizados na operação e os resíduos gerados foram caracterizados e associados aos possíveis impactos que podem causar.

Como tema deste trabalho foi escolhido o estudo dos impactos gerados pelos fluidos de perfuração durante a operação de perfuração e de descarte dos mesmos. Os impactos estudados estão presentes na área de influência direta da atividade, ou seja, no meio marinho próximo da sonda, excluindo impactos indiretos, ou que não estejam associados diretamente à sonda de perfuração. O estudo engloba os impactos gerados no processo de perfuração, envolvendo as diferentes etapas do processo, equipamentos e pessoal da operação de perfuração. Assim, nesta análise excluem-se os impactos que tem relações indiretas com a atividade de perfuração, como por exemplo, gerados no transporte sonda-terra de materiais, equipamentos e pessoas.

Considerando a área de influência da atividade com sendo a área próxima à plataforma, no ambiente marinho, excluem-se também quaisquer relações com atividades sócio-econômicas.

Um dos objetivos deste projeto também é disponibilizar para docentes e alunos do recém-criado curso de Engenharia de Petróleo informações atualizadas sobre o tema, ajudando inclusive o bom andamento das aulas. Foi desenvolvido um material específico para o curso da EP-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), que poderá ser útil para futuras turmas.

Para a realização deste trabalho foi feita uma longa pesquisa sobre assuntos relacionados à perfuração de poços. Utilizou-se principalmente a Internet como fonte de informações, já que é acessível e com vasto conteúdo. Através da Internet, obteve-se contato com documentos como livros, teses, estudos e relatórios. Além disso, foi utilizado o novo acervo da Biblioteca do PMI¹, com livros técnicos da área de Petróleo, necessários para o embasamento teórico do trabalho.

Durante a graduação foram realizados encontros com profissionais da área de P&G² em visitas organizadas pelo próprio Departamento e em Encontros, Feiras e Conferências específicas. Estes contatos foram de exímia importância para o andamento do trabalho, ajudando com referências de pesquisas e dados sobre a indústria, além de possibilitar um maior contato com a área de trabalho, fornecendo uma visão mais realista para a pesquisa.

Este trabalho está organizado de forma a oferecer um maior entendimento do assunto tratado. Antes de se referir aos impactos gerados pela perfuração de poços, há uma breve descrição das operações envolvidas na perfuração, dos perigos eminentes nestas operações e, principalmente, do papel do fluido de perfuração na perfuração e na geração de impactos. Uma maior ênfase é dada a estes fluidos, já que eles são os maiores causadores de impactos neste tipo de atividade e o conhecimento sobre sua composição e propriedades é essencial para a avaliação destes impactos.

A organização dos capítulos foi feita de forma lógica, com a seqüência determinada para que o conhecimento adquirido em cada capítulo auxiliasse no entendimento do capítulo seguinte.

Para a execução do trabalho, utilizou-se como referência a definição de impacto ambiental da Resolução CONAMA No. 001. Segundo esta Resolução, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas que afetem direta ou indiretamente: as atividades sócio-econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. (VALLE, 2002). Além disso, os impactos causados aos trabalhadores da plataforma também foram considerados na elaboração do trabalho.

¹ PMI - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

² P&G – Petróleo e Gás.

2. O PROCESSO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS

2.1. HISTÓRICO

As perfurações em larga escala para a extração do petróleo começaram somente a partir do século XIX, quando a industrialização aumentou a demanda por produtos derivados do petróleo. Mas as tecnologias utilizadas nos processos de perfuração datam de muitos séculos, quando o líquido procurado era a água.

Os registros mais antigos de perfuração de poços datam do século III a.C., na China. A técnica - perfuração com ferramenta na ponta de um cabo - envolvia a queda de uma pesada ferramenta metálica de perfuração e a remoção da rocha pulverizada com um recipiente tubular. Os chineses estavam relativamente avançados nessa arte e receberam os créditos como os primeiros a utilizar fluidos no processo de perfuração. Nesse caso, o fluido era a água. Ela amolecia a rocha, facilitando a penetração, e ajudava na remoção dos pedaços de rocha pulverizada.

Em 1833, um engenheiro francês chamado Flauville estava observando uma operação de perfuração no momento em que houve o encontro da água. Ele percebeu que o jato de água era muito eficaz na elevação dos fragmentos de rochas (chamados cascalhos) para fora do poço. O princípio de utilização da circulação de fluido para a remoção dos cascalhos em uma perfuração de poço estava estabelecido. Ele concebeu uma montagem que continua padrão até hoje, como será explicado no item seguinte.

Duas formas de perfuração são discutidas. A perfuração por percussão, que foi a primeira a ser desenvolvida, é adequada para poços rasos e ainda é utilizada para a perfuração de poços d'água. A perfuração rotativa, que substituiu a tecnologia da percussão na indústria petrolífera, é adequada para poços profundos.

À medida que os poços se tornam mais profundos, tecnologias mais avançadas são aplicadas no processo, novos materiais são desenvolvidos para suportar as extremas condições encontradas milhares de metros abaixo do solo e as funções do fluido de perfuração ganham cada vez mais importância(SEED, 2006, adaptado)³.

2.2. A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

2.2.1. Equipamentos de uma Sonda de Perfuração

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda. Para o melhor entendimento da operação de perfuração, serão apresentados, sucintamente, alguns equipamentos presentes no tipo de sonda em questão: sonda rotativa, utilizada na perfuração offshore, como mostra a Figura 1 a seguir. Para isto será feita uma adaptação das descrições feitas em Thomas (2001).

Torre ou mastro: Equipamento do sistema de sustentação de cargas posiciona-se verticalmente, acima do poço, permitindo o içamento de cargas, bem como sua manobrabilidade. *Subestruturas:* posicionam-se abaixo do mastro, permitindo uma área de movimentação e onde são colocados os equipamentos de segurança.

³ SEED - SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATIONAL DEVELOPMENT

O sistema de geração e transmissão de energia pode variar de acordo com a fonte energética utilizada (normalmente elétrica) e com o tipo de sonda (mecânica ou diesel-elétrica).

O sistema de movimentação de cargas é composto pelos seguintes equipamentos: *Guincho*: É a estrutura responsável pela movimentação das cargas. Movimenta-se verticalmente, podendo controlar sua velocidade e torque em cada manobra; *Bloco de coroamento*: É um conjunto de polias fixas posicionadas na parte superior da torre, responsáveis por permitir a movimentação dos cabos de aço. Posicionadas lado a lado, suportam todas as cargas transmitidas pelo cabo de perfuração; *Catarina*: É um conjunto de polias móveis que se movimenta verticalmente ao longo da torre. Na parte inferior da Catarina encontra-se uma alça onde se prende o gancho, que tem um sistema de amortecimento, impedindo que os trancos da movimentação das cargas se propagem por ela; *Cabo de Perfuração*: É um cabo de aço formado por uma trança de pequenos cabos de aço especial em volta de um núcleo (também chamado de alma do cabo). Uma de suas extremidades fica fixa no guincho e a outra enrolada numa bobina de cabo. O cabo passa pelas polias do bloco de coroamento e da Catarina, sustentando as cargas erguidas pelo gancho; *Elevador*: sistema de suspensão utilizado para erguer e descer tubulações de perfuração.

O sistema de rotação pode assumir diferentes formas: se utilizada uma mesa rotativa (método convencional) utiliza-se acoplado à coluna de perfuração um equipamento chamado *kelly*, que transmite a rotação à coluna. Caso não se utilize a mesa rotativa pode-se colocar um motor acoplado na catarina (quando utiliza-se o *top drive*) ou no interior do poço, acima da broca (com a utilização de um motor de fundo). Os principais equipamentos são:

Mesa Rotativa: é o equipamento que transmite a rotação à coluna. A mesa é fixa na plataforma e tem um centro giratório, onde é acoplado o *kelly*; *Kelly*: é o equipamento que transmite a rotação da mesa rotativa à coluna de perfuração; *Swivel (cabeça de injeção)*: é o equipamento que separa os elementos rotativos dos estacionários. A parte superior é acoplada aos elementos estacionários e a parte inferior aos elementos rotativos. Por ele é injetado o fluido de perfuração para dentro do poço, dentro da coluna; *Top Drive*: substituindo a mesa rotativa e o *kelly*, fica acoplado diretamente no *swivel* e facilita a colocação dos tubos dentro do poço, que podem ser colocados três a três e não um a um (como com a mesa rotativa).

O sistema de segurança do poço é constituído por elementos que possibilitam o fechamento e controle do poço. O principal deles é o BOP (*Blowout Preventer*), sistema de válvulas que se encontram na cabeça de poço. *Cabeça de Poço*: é um conjunto de equipamentos que permite a vedação e sustentação das colunas de revestimento na superfície; *Preventores*: são equipamentos que fecham o espaço anular quando acionados. No caso de perfuração *offshore* normalmente encontram-se no solo marinho.

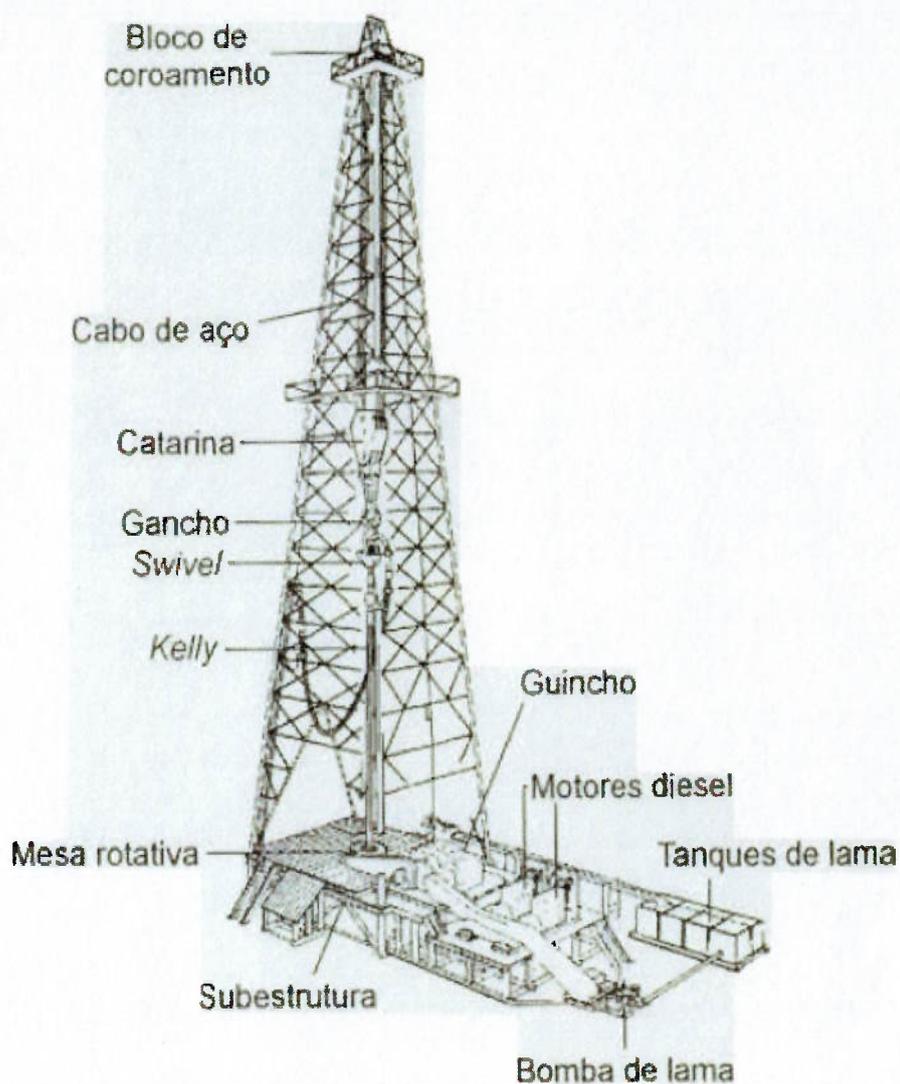


Figura 1: Esquema de uma sonda rotativa
 Fonte: Thomas (2001)

O sistema de monitoração é constituído por equipamentos que controlam a operação de perfuração, como medidores de pressão, indicadores de torque e de peso sobre a broca, essenciais para manter a segurança da operação.

A coluna de perfuração é basicamente formada por tubos que exercem peso sobre a broca e promovem rigidez à coluna.

A *broca*, alocada na extremidade inferior da coluna de perfuração é a responsável pela ruptura da formação e desagregação dos cascalhos. Pode conter partes móveis ou não ser de diferentes materiais.

2.2.2. Sistema de Circulação do Fluido de Perfuração

O sistema de circulação do fluido de perfuração é composto por equipamentos que permitem a circulação e tratamento do fluido. A maior parte do fluido utilizado em uma operação de perfuração é recirculada em um ciclo contínuo.

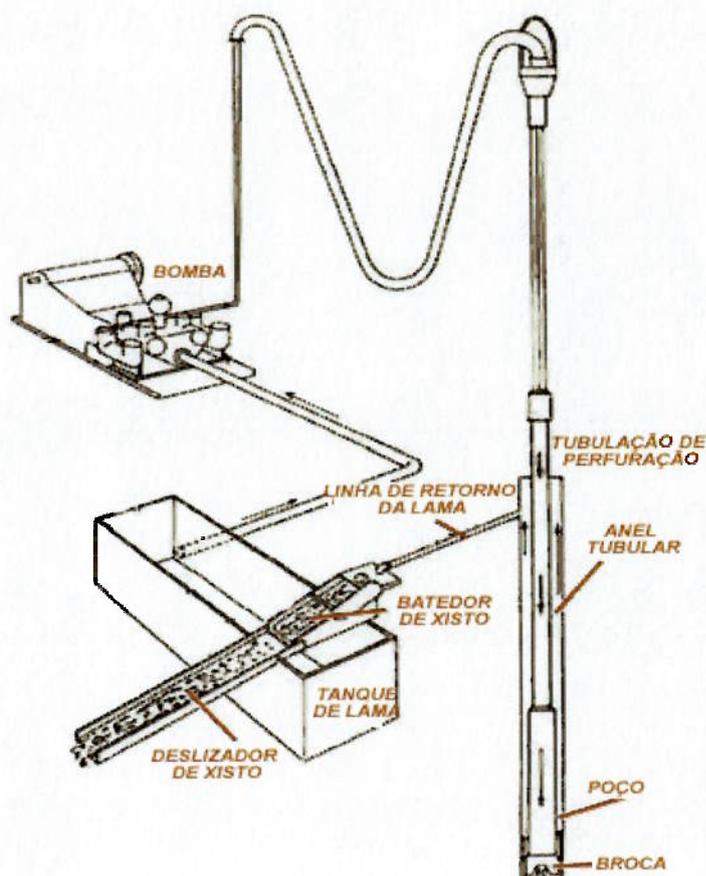


Figura 2: Esquema simplificado do ciclo da lama

Fonte: Schlumberger (2006)

Este ciclo da lama é caracterizado basicamente pela seguinte seqüência de etapas: a lama é misturada e mantida no tanque de lama. Uma bomba extrai a lama do tanque e a transporta, através do furo central da coluna de perfuração, para dentro do poço. Ela flui por toda a tubulação em um fluxo descendente, até alcançar o fundo do poço. Ela emerge da tubulação de perfuração no fundo do poço, por orifícios da broca em forma de jatos sobre a formação rochosa. A lama realiza a viagem de volta à superfície através do espaço anular entre a coluna de perfuração e as paredes do poço (que podem estar já revestidas ou não)⁴, transportando os cascalhos que foram raspados da formação pela broca. Na superfície, a lama é transportada através da linha de retorno ao batedor de xisto uma série de telas de metal vibratórias utilizadas para separar a lama dos cascalhos. A lama goteja através das telas e retorna ao tanque de lama, onde será analisada a necessidade de adição de produtos químicos. Ela passa também por desareidores (que retiram o

⁴ Explicações sobre revestimentos no item 4.3

excesso de areia presente no fluido), pelo dissiltador (que elimina o excesso de partículas semelhantes ao silte) e pelo desgaseificador (onde é retirado o excesso de gás diluído no fluido). Os cascalhos de rocha escorrem pelo deslizador de xisto para serem descartados (THOMAS, 2001; SCHLUMBERGER, 2006, adaptado).

Dependendo das considerações ambientais e outras considerações, os cascalhos podem ser lavados antes do descarte. A lama também é constantemente monitorada, variações em seu volume e/ou composição química indicam mudanças nas condições da perfuração (esta é uma das funções do fluido, como será explicitado no item 3.1).

2.2.3. Descrição das Operações Envolvidas

Na perfuração rotativa a broca é instalada na extremidade de uma tubulação giratória. O processo é similar àquele utilizado com furadeira manual elétrica, utilizada domesticamente. Porém, em vez de perfurar alguns centímetros na madeira ou concreto, os poços petrolíferos atuais podem alcançar milhares de metros abaixo do solo. As rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicado à broca. Os cascalhos são removidos continuamente através do fluido de perfuração.

Durante a operação de perfuração, o processo de perfuração propriamente dito é parado algumas vezes até que se atinja a profundidade total a ser perfurada. Atingidas determinadas profundidades, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço é descida no poço. Este revestimento cilíndrico tem diâmetro menor que o da broca, ficando folgado dentro do poço. O anular entre os tubos do revestimento e as paredes do poço é cimentado com a finalidade de isolar as rochas atravessadas e trazer estabilidade à coluna, permitindo o avanço da perfuração com segurança. Após a operação de cimentação, a coluna de perfuração é novamente descida no poço, tendo na sua extremidade inferior uma nova broca de diâmetro menor do que a do revestimento para o prosseguimento da perfuração. Este processo repete-se quantas vezes forem necessárias, dependendo, entre outros fatores, da profundidade do poço e das camadas a serem atravessadas. Assim, percebe-se que um poço é perfurado em diversas fases, caracterizadas pelos diferentes diâmetros das brocas.

Para aumentar a profundidade do poço, novas colunas de perfuração são acopladas no topo da coluna que já se encontra dentro do poço. Esta operação é chamada de conexão. Quando o topo do *kelly* atinge a mesa rotativa, este é suspenso até que o topo da coluna de perfuração apareça e a coluna que está dentro do poço é presa na mesa rotativa com a ajuda de uma cunha. O *kelly* é desconectado e logo em seguida conectado à uma tubulação de perfuração que se encontra posicionada fora do poço. A extremidade inferior deste tubo é então acoplada à coluna que está presa na mesa rotativa. A coluna desce até que a parte inferior do *kelly* se encaixe novamente na mesa e o processo de perfuração se inicia novamente.

Para que a broca possa ser substituída, a coluna de perfuração inteira deve ser retirada e depois recolocada. Esta operação é chamada de manobra. Ao final de cada etapa, todos os equipamentos são retirados lenta e cuidadosamente do poço, para serem descidos posteriormente, também lenta e cuidadosamente, no início da nova fase da perfuração.

2.3. RISCOS EMINENTES DO PROCESSO

Quando se trabalha com perfuração de poços é preciso estar ciente das condições em que se dará a operação e dos riscos a que se está sujeito. Principalmente em operações offshore, a possibilidade de ocorrer acidentes é muito grande e o cuidado durante a operação deve ser dobrado.

A formação rochosa perfurada em grandes profundidades encontra-se sob elevada pressão e temperatura e os equipamentos e fluidos utilizados para perfurá-la devem ser dimensionados para suportar estas condições. Além disso, o pessoal que trabalha na operação deve ser especializado e treinado constantemente para saber lidar com qualquer tipo de situação e com os equipamentos e fluidos (bem como seus aditivos).

A possibilidade de ocorrer um *blowout*, ou seja, influxo descontrolado de fluido da formação para a superfície, é o maior perigo que pode haver durante a operação de perfuração. Inicialmente ocorre o *kick*, que é a invasão de fluidos da formação no poço e se este não for controlado, pode ocorrer o *blowout*. As causas para a ocorrência do *kick* são diversas, mas todas estão associadas a um mesmo motivo: a pressão dentro do poço está menor do que a pressão da formação na zona em que se encontra o fluido que está invadindo o poço. Esta diferença de pressão só pode ser controlada através do aumento da pressão hidrostática exercida pela lama de perfuração⁵.

Durante a conexão ou a manobra da coluna de perfuração, quando a coluna é retirada, um volume equivalente de lama deve ser injetado no poço para que não haja uma queda de pressão. Se este procedimento não for feito precisamente, o *kick* pode acontecer. Esta é uma das causas predominantes de *kick*⁶. Além disso, a queda de pressão de dentro do poço também pode ser causada pela perda da lama para a formação, através de fraturas ou vazios, pelo não dimensionamento correto do fluido durante a perfuração e durante a conexão, e pela expansão de gases dos cascalhos perfurados à medida que o fluido os leva para superfície (o que causa diminuição da densidade e peso do fluido).

⁵ O controle de pressão exercido pelo fluido de perfuração está descrito no item 3.1 deste trabalho.

⁶ Informações obtidas através de: IRAMINA, W.S. **Engenharia de perfuração**: notas de aulas. São Paulo: PMI/EPUSP, 2005. Notas relativas à Disciplina PMI1841 – Engenharia de Perfuração.

3. O FLUIDO DE PERFURAÇÃO

“Um automóvel moderno é basicamente o mesmo que um Modelo T Ford. Mas, após décadas de aprimoramentos, os detalhes são todos amplamente diferentes e hoje em dia temos carros muito mais seguros e confortáveis, além de serem também mais confiáveis e eficientes que seus antecessores” (SCHLUMBERGER, 2006). Este desenvolvimento de tecnologias, partindo de uma tecnologia antiga, se aplica a grande parte dos bens materiais que desfrutamos atualmente. A história do fluido de perfuração é similar. Os fluidos de perfuração começaram somente compostos por argila e água, quando foi denominado lama de perfuração. Lama é o nome popular dos fluidos de perfuração até hoje.

Atualmente, quase tudo mudou. Os fluidos de perfuração modernos são misturas de componentes complexos que são cuidadosamente projetados e ajustados de acordo com a ampla variedade de condições encontradas nos poços modernos. Muitos fatores devem ser cuidadosamente ponderados e balanceados, e não somente aqueles sobre segurança ambiental.

Os fluidos de perfuração são misturas de sólidos, líquidos, aditivos químicos e/ou gases. Podem assumir o aspecto de suspensões, emulsões ou dispersões coloidais, dependendo do estado físico de seus componentes. Como será visto, podem ter diversas composições e auxiliar de diferentes maneiras a operação de perfuração. Sua formulação varia de acordo com as características da operação e, principalmente, da formação a ser perfurada.

3.1. FUNÇÕES DO FLUIDO DE PERFURAÇÃO

Antigamente, a lama era utilizada apenas para amolecer o solo a ser perfurado e auxiliar a retirada dos cascalhos do fundo do poço. Hoje em dia, o ambiente extremo nas operações de perfuração do subsolo tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de fluidos de perfuração que podem desempenhar funções cruciais no processo de perfuração, como suspensão, controle de pressão, estabilização das formações, poder de flutuação, lubrificação e resfriamento e fonte de informações a respeito das formações perfuradas. (SCHLUMBERGER, 2006; SHAFFEL, 2002; THOMAS, 2001, adaptado)⁷.

Suspensão: O escoamento do fluido de perfuração para baixo, pela tubulação de perfuração, e para cima, pelo poço, algumas vezes é interrompido, ou por causa de um problema ou para realizar uma manobra. Quando a o escoamento do fluido pára, os cascalhos em suspensão no fluido podem afundar no poço, “engripando” a broca. Os fluidos de perfuração são projetados com uma propriedade tixotrópica que resolve esse problema: suas características variam de acordo com as condições a que estão submetidos. Sua viscosidade aumenta quando diminui o seu movimento. Quando o fluido pára de circular, ele forma um gel viscoso que mantém os cortes de rocha em suspensão e evita que eles afundem no poço. Quando o fluido começa a circular novamente, ele torna-se mais fino e volta à forma líquida anterior, voltando a fluir levando os cascalhos.

⁷ Utilizadas também notas de aula de: IRAMINA, W.S. **Engenharia de perfuração: notas de aulas.** São Paulo: PMI/EPUSP, 2005. Notas relativas à Disciplina PMI1841 – Engenharia de Perfuração.

Controle de Pressão: Existe uma imagem popular do petróleo jorrando de um poço, na direção do céu, enquanto os trabalhadores festejam o fato de tê-lo encontrado. Na realidade, essa surgência é muito rara. Além disso, não é motivo de comemoração e sim de alarde, pois o objetivo é extrair o petróleo de uma forma controlada e qualquer descontrole pode ser o início de um grande desastre. A lama é projetada para evitar esses acidentes. Um equilíbrio apropriado deve ser obtido, no qual a pressão do fluido de perfuração contra as paredes do poço é suficiente para contrabalançar a pressão exercida pelas formações rochosas e pelo petróleo ou gás, porém, sem ser muito alta para não danificar o poço.

A pressão de um líquido depende de sua densidade. Agentes de ponderação podem ser acrescentados ao fluido de perfuração para aumentar a sua densidade e, dessa forma, a pressão exercida sobre as paredes do poço. A densidade do líquido pode ser ajustada para atender as condições no poço.

Estabilização da Formação Rochosa Exposta: Há duas fases no processo de perfuração. Na primeira, a perfuração avança através da rocha que não contém petróleo. O objetivo é se mover o mais rápido possível até a rocha contendo petróleo -o reservatório. A prioridade é manter a formação rochosa exposta estável, evitando a perda do fluido de perfuração. Por meio da manutenção da pressão do fluido de perfuração acima da pressão do fluido contido nos poros da formação rochosa, existe uma tendência natural de que o fluido de perfuração penetre na rocha permeável da formação. Com a utilização de aditivos especiais isso pode ser evitado. A pressão da lama deve ser maior que a pressão da formação (sempre abaixo do limite de fraturamento da rocha, quando este não é o objetivo), sem que haja esta penetração de fluido.

O fluido de perfuração pode interagir com a rocha ao seu redor de outras formas. Por exemplo, se a rocha estiver impregnada com sal, a água (caso o fluido tenha base aquosa, como será visto no próximo item) dissolverá o sal e tenderá a desestabilizar as paredes do poço. As formações rochosas com alto conteúdo de argila também tendem a ser lavadas e removidas pela água. Após chegar ao reservatório, a composição do fluido de perfuração pode exigir uma mudança, a fim de evitar a obstrução dos poros da rocha. As partículas sólidas da lama podem grudar nas paredes do poço formando uma fina camada impermeável que estabiliza as formações (*mud cake*, que pode ser traduzido como “reboco”). Com os poros abertos, o petróleo escoará mais livremente para dentro do poço até a superfície.

Poder de Flutuação: Um poço pode ter milhares de metros de profundidade. Uma tubulação de perfuração em aço de tal comprimento pesa toneladas. A imersão da tubulação no fluido produz o efeito de flutuação (empuxo), reduzindo seu peso e colocando menos tensão nos equipamentos de superfície.

Lubrificação e Resfriamento: Quando o metal se move em contato com a rocha, ocorre atrito e aquecimento. Os fluidos de perfuração fornecem a lubrificação e o resfriamento para manter o processo de movimentação suave e estender a vida útil da broca. A lubrificação pode ser especialmente importante em poços estendidos ou horizontais, nos quais o atrito entre a tubulação de perfuração, a broca e as superfícies rochosas é maior. Devido à ação da gravidade, a coluna fica “caída” para baixo, fazendo com que o atrito seja maior na parte inferior do furo horizontal.

Fonte de informações: A lama, quando volta à superfície trazendo os cascalhos, é uma importante fonte de informações sobre a formação que está sendo perfurada. Além dos próprios cascalhos serem analisados, fornecendo informações sobre a rocha, a lama trás informações sobre as condições da formação e do processo de perfuração. Por exemplo, caso haja um aumento no

volume da lama, consegue-se concluir que está havendo produção de óleo, gás ou água, que estão se misturando à lama. Caso ocorra o contrário, haja diminuição do volume, é indício de que está havendo penetração da lama para a formação, sendo necessário repensar sua formulação.

3.2. TIPOS DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

Atualmente, o principal desafio na formulação dos fluidos de perfuração é atender às condições cada vez mais exigentes de altas temperaturas e pressões encontradas em alguns poços profundos e poços estendidos e horizontais. Aliadas a este desafio, as preocupações ambientais constituem uma força impulsionadora por trás da pesquisa e desenvolvimento dos fluidos de perfuração. Os componentes dos fluidos de perfuração devem ser selecionados de forma que qualquer contato entre o fluido e o meio ambiente cause o menor impacto possível. A saúde dos trabalhadores na plataforma petrolífera também exerce importante influência na utilização dos fluidos de perfuração e os produtos são selecionados para minimizar os riscos à saúde.

Existem três tipos principais de fluidos de perfuração: lama à base de água (WBM), lama à base de petróleo (OBM) e lama sintética (SBM). Existe também a lama aerada, pouco utilizada na indústria petrolífera.

3.2.1. Lama a base de água

O fluido à base de água consiste numa mistura de sólidos, líquidos e aditivos químicos tendo a água como a fase contínua. O líquido base pode ser a água salgada, água doce ou água salgada saturada (salmoura), dependendo da disponibilidade e das necessidades relativas ao fluido de perfuração. A principal função da água é servir de meio de dispersão para os materiais coloidais (THOMAS, 2001).

Os principais tipos de fluidos à base de água são os fluidos convencionais, fluidos naturais, fluidos dispersos tratados com lignosulfonados, fluidos tratados com cal, fluidos tratados com gesso, fluidos não dispersos tratados com cal e polímeros, fluidos salgados tratados com polímeros, fluidos de base KCl, fluidos isentos de sólidos e os fluidos biopoliméricos (VEIGA, 1998 apud SHAFFEL, 2002). Possuem um baixo custo comparado aos demais, são biodegradáveis e se dispersam facilmente na coluna d'água (DURRIEU *et al.*, 2000 apud SHAFFEL, 2002). Logo, seu descarte marítimo é permitido em quase todo o mundo, desde que respeitadas as diretrizes de descartes de efluentes marítimos de cada região.

Sua utilização tem uma desvantagem, devida à utilização de argilas hidrófilas em sua composição. Tal argila (também conhecida com 'sólido ativo'), em contato com a água do fluido de perfuração, incha e acaba formando partículas que ficam dispersas por todo o poço. Esta argila pode também ser encontrada principalmente em folhelhos. Este fenômeno interfere mecanicamente com a perfuração, provocando um efeito de intrusão da argila "inchada" nos poros das formações, trazendo instabilidade ao poço e perda de fluido para as formações. Além disso, para inibir este processo devem ser adicionados os chamados "inibidores", como o sódio, potássio e íons de cálcio, que reduzem a atividade dos sólidos ativos minimizando a hidratação e o "inchaço" da argila e folhelhos (SHAFFEL, 2002).

Os sistemas à base de água não são sempre tão eficazes como os fluidos à base de petróleo e sintéticos, especialmente para resolver os problemas associados com poços profundos e em condições particulares (nestes casos, algumas características, como lubrificação, são

essenciais e mal desempenhadas pelos fluidos aquosos). Nos poços mais recentes, vem sendo utilizada uma combinação de lamas à base de água e petróleo. A lama à base de água é utilizada primeiro no processo de perfuração. A seguir, ela é substituída pela lama à base de petróleo à medida que o poço se aprofunda e alcança o limite da lama à base de água em termos de capacidade de lubrificação e estabilização do poço.

Como foi dito no item 3.1, se a rocha estiver impregnada com sal, a água dissolverá o sal e tenderá a desestabilizar as paredes do poço. Neste caso, o uso de fluidos à base d'água não é praticamente recomendado e um fluido à base de petróleo seria a melhor opção.

Devido a tais dificuldades, os fluidos de perfuração à base de água não conseguiram acompanhar os novos desafios que foram surgindo com a evolução da tecnologia, como a perfuração direcional ou em águas profundas. A utilização dos fluidos à base de água nestes empreendimentos pode tornar a perfuração lenta, custosa ou até mesmo impossível (EPA, 2006)⁸.

3.2.2. Lama a base de óleo

Os fluidos de perfuração à base de óleo foram desenvolvidos para situações onde os à base de água apresentavam limitações técnicas e operacionais. As lamas à base de óleo são similares em composição às à base de água, exceto pela fase contínua que passa a ser o óleo. Introduzidos no mercado na década de 1940, os fluidos à base de óleo logo ganharam destaque, apesar de custarem de 2 a 4 vezes mais do que os de base aquosa. Isto ocorreu pois o desempenho do fluido oleoso se mostrou superior para determinadas e freqüentes situações (SHAFFEL, 2002; THOMAS, 2001).

O fluido oleoso mostrou maior compatibilidade com as formações sensíveis à água. Como o óleo é a fase contínua nas lamas à base de óleo, somente ele penetra na formação reduzindo ao mínimo a invasão de água que avaria as formações no caso da utilização dos fluidos aquosos. Além disso, apresentou melhor lubrificação (facilitando a perfuração de poços direcionais) e conseqüente minimização do desgaste da broca e maior estabilidade térmica e estrutural na perfuração de poços profundos e com altas temperaturas. O fluido à base de óleo também apresenta a vantagem de poder ser reaproveitado após tratamento adequado. Os fluidos de base aquosa precisam passar por tratamentos mais demorados caso sejam reutilizados (como por exemplo, separação de fases, caso o fluido entre em contato com o fluido da formação). Em virtude das vantagens acima a perfuração é feita mais rapidamente, proporcionando um aumento das taxas de penetração.

Infelizmente, ao mesmo tempo em que ganham em performance, as lamas à base de óleo são prejudiciais ao meio ambiente quando descartadas ao mar. A toxicidade é a mais séria e talvez uma desvantagem insuperável das lamas a base de óleo. Uma melhor explicação de seus efeitos está no capítulo 5 deste trabalho. Uma vez que as lamas à base de petróleo, mesmo sendo um excelente fluido de perfuração, podem ser tóxicas para plantas e animais marinhos, seu uso, em geral, deve ser rigorosamente controlado.

3.2.3. Lama sintética

Os fluidos de perfuração sintéticos foram desenvolvidos como uma alternativa às limitações de performance dos à base de água em resposta às restrições ambientais impostas aos fluidos à base de óleo. Utilizando como fluido base substâncias químicas sintéticas, os fluidos

⁸ EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

sintéticos são também chamados “pseudo-lamas à base de óleo”, pois na prática as substituem, oferecendo menor toxicidade e produção de menor volume de resíduos de perfuração. O descarte de lamas sintéticas, apesar de ainda ser mais impactante do que o descarte de fluidos a base d’água está sendo cada vez mais estudado para que forneça o menor impacto possível. Os sintéticos são muito utilizados em áreas marítimas onde é proibido o descarte de cascalho quando se perfura com lamas à base de óleo. Apesar de seu custo inicial ser aproximadamente o dobro do custo da lama à base de petróleo, não deixam de ser economicamente compensadores, pois o descarte marítimo dos fluidos de perfuração à base de óleo está proibido em diversas partes do mundo implicando em custos e riscos extras a serem assumidos com o transporte dos resíduos para descarte em terra.

3.2.4. Lama aerada

Um poço pode ser perfurado utilizando ar ou gás natural ao invés dos fluidos de perfuração líquidos convencionais. Através destes tipos de fluido o ar ou gás circulam do mesmo modo do que uma lama líquida convencional através de pressão fornecida por compressores que são instalados na superfície junto aos demais equipamentos de perfuração. A perfuração com ar puro utiliza ar comprimido ou nitrogênio. Quando o ar é utilizado, sua combinação com hidrocarbonetos no subterrâneo pode se transformar numa mistura explosiva, exigindo cuidados extras quanto a explosões ou incêndios. Os fluidos de perfuração aerados executam satisfatoriamente suas funções nas operações de perfuração, exceto em relação ao transporte de cascalho (ainda que apresentem a grande vantagem de não contaminar o cascalho) e ao controle de pressões subterrâneas. Segundo Shaffel (2002), por este motivo, sua aplicação fica limitada a regiões que possuam autorização legal e existência de formações de baixa permeabilidade, como calcários ou formações com rochas muito duras.

As formas básicas de fluidos utilizados na perfuração a ar são o pó (polvilhado), névoa (neblina) ou espuma. As lamas aeradas são utilizadas quando há problemas graves de perda de circulação nas formações perfuradas e não há possibilidade de se utilizar outro fluido. Para reduzir as taxas de corrosão associadas à utilização das lamas aeradas tem sido utilizado, ao invés do ar, o nitrogênio que é gerado na região da perfuração (ECONOMIDES *et al.* 1998 apud SHAFFEL, 2002).

3.3. ADITIVOS DO FLUIDO DE PERFURAÇÃO

A discussão sobre as várias funções da lama fornece um excelente exemplo de como uma engenharia bem sucedida envolve o balanceamento e ajuste de diversos fatores. Por exemplo: aumentar a viscosidade da lama aumenta sua capacidade de levantar resíduos de perfuração para fora do poço. Mas um fluido mais viscoso requer maior pressão de bombeamento para mantê-lo em movimento. Ele também irá penetrar nos cascalhos mais do que um fluido fino, necessitando um esforço maior para lavar as aberturas antes de ser descartado.

Os fluidos de perfuração sofrem a adição de aditivos com o objetivo de desempenharem as mais diversas funções (BALTAR *et al.*, 2003; BLEIER *et al.*, 1992, ECONOMIDES *et al.*, 1998, VEIGA, 1998 apud SHAFFEL, 2002). A seguir estão dispostos os aditivos mais utilizados na atividade de perfuração.

Agentes utilizados para conferir peso: São adicionados para aumentar o peso do fluido de perfuração com o objetivo de controlar a pressão hidrostática no interior do poço. O mais

utilizado é a barita ou sulfato de Bário ($BaSO_4$), que pode conter traços de metais pesados como cádmio e mercúrio, razão pela qual é sujeita à controle pelos órgãos ambientais competentes. Uma alternativa à barita é a hematita ou o carbonato de cálcio.

Dispersantes: Possuem a função de dispersarem os sólidos presentes nos fluidos de perfuração. São os lignosulfonatos e lignito.

Defloculantes: Previnem a floculação dos sólidos ativos nos fluidos de perfuração. São os poliacrilatos de cálcio, sódio e potássio.

Agentes utilizados no controle da “perda de fluido”: Durante a perfuração de um poço, ocorre perda de fluido de perfuração para as formações porosas, quando estas são muito cavernosas ou fraturadas. Esta perda pode contaminar zonas de óleo e gás. Os “reduzores de filtrado” como a argila de bentonita, amidos, lignita ou polímeros reduzem a perda de fluido para a formação perfurada promovendo a melhoria do reboco depositado nas paredes do poço.

Emulsificantes: São adicionados para formar, manter e estabilizar emulsões. Estabilizam a emulsão direta ou indireta (respectivamente, óleo em água e água em óleo). São exemplos os ácidos graxos e alquilados sulfonados.

Biocidas: Estes agentes controlam os processos fermentativos do fluido de perfuração devido à ação de microorganismos como o glutaraldeído, sais quaternários de amônio e tiocianato.

Viscosificantes: São agentes utilizados para conferir viscosidade aos fluidos de perfuração. A viscosidade representa a medida da resistência interna da lama a fluir. O aditivo mais utilizado para este fim é a bentonita, o primeiro e mais antigo aditivo a ser utilizado no fluido de perfuração. Trata-se de um gel que incha em contato com a água dando “corpo” à lama, além de ser escorregadio, reduzindo a fricção entre a coluna de perfuração e as paredes do poço. A adição de bentonita deve ser controlada de modo a não provocar redução da permeabilidade do reservatório perfurado. Alguns viscosificantes fornecem a propriedade tixotrópica à lama. Um exemplo é mostrado na Figura 3 por um novo aditivo da marca Schlumberger.



Em repouso, o Visplex* é um gel que suporta o peso da pequena rocha mostrada na foto.

O Visplex* pode alterar sua forma - de espessa para fina. Isso permite que o fluido de perfuração mantenha os cortes em suspensão quando a perfuração pára.



Quando agitado, ele se torna mais líquido e a rocha afunda.

*Marca da Schlumberger

Figura 3: Exemplo de aditivo industrializado de lama
Fonte: Schlumberger (2006)

Salmouras: São utilizadas como a fase aquosa ou para balancear as interações dos fluidos de perfuração com argilas ou sais solúveis das formações. As salmouras utilizadas nas lamas à base de água são tipicamente NaCl ou KCl, e nas lamas sintéticas ou à base de óleo é o CaCl₂.

Lubrificantes: Reduzem o atrito entre a coluna de perfuração e as paredes do poço. São os ésteres graxos e o polipropilenoglicol.

Inibidores de Corrosão: Prevenção de corrosão e descamação dos tubos e demais equipamentos de perfuração. São as aminas filmicas e álcoois superiores.

Liberadores de Coluna: Empregados no preparo de tampões de fluidos para injeção no espaço anular, quando ocorre aprisionamento da coluna de perfuração. Destroem o reboco formado pelos fluidos na interface coluna/poço. São os ácidos, hidrocarbonetos e ésteres graxos.

Controladores de pH: Aditivos destinados não só a controlar o pH dos fluidos de perfuração numa faixa preestabelecida, mas também reduzir as taxas de corrosão e estabilizar as emulsões. São os hidróxidos de sódio ou potássio, ácido acético e acetato e carbonato de sódio.

4. DESCARTE DE RESÍDUOS GERADOS NA OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO

Os resíduos são uma expressão visível, talvez a mais palpável, dos riscos ambientais. Segundo a definição proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o resíduo é algo que seu proprietário não mais deseja, em um dado momento e em determinado local, e que não tem um valor de mercado. Outra definição, proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define os resíduos como material decorrente de atividades antrópicas, gerados como sobras de processos, ou os que não possam mais ser utilizados com a finalidade para a qual foram originalmente produzidos (VALLE, 2002). Na Tabela 1 estão dispostos todos os efluentes típicos das atividades de E & P de petróleo. Na Tabela 2 estão algumas saídas materiais do processo de desenvolvimento do poço, do qual a perfuração faz parte.

Tabela 1. Efluentes Típicos das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo

Fonte, Atividade	Efluente
Perfuração Exploratória	Lamas de perfuração (em sua maioria, a base de água), cascalhos de perfuração
Perfuração de Desenvolvimento	Lamas de perfuração (em sua maioria, a base de água), cascalhos de perfuração, fluidos de tratamento de poços
Completação do Poço	Fluidos de completção de poços
Workover do Poço	Fluidos de <i>workover</i>
Operações de Produção	Água de produção (incluindo água das formações dos reservatórios e água de injeção), água de lastro, água de drenagem de convés, lamas de perfuração, cascalhos de perfuração, areias de produção, resíduos de cimento, fluido dos BOP's, esgotos sanitários e domésticos, efluentes de processamento do óleo e do gás, águas de refrigeração, água de testes dos sistemas de combate a incêndios, emissões atmosféricas
Descargas Acidentais	Derramamentos de óleo, explosões de gás e derramamentos de produtos químicos

Fonte: Patin, 1999 apud Mariano, 2006

Tabela 2. Saídas Materiais Potenciais do Processo de Desenvolvimento do Poço

Emissões Atmosféricas	Efluente	Resíduos
Emissões fugitivas de gás natural, compostos orgânicos voláteis (VOCs), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), CO ₂ , CO e H ₂ S.	Lamas de perfuração, ácidos orgânicos, óleo diesel, fluidos ácidos de estimulação (HCl e HF)	Cascalhos de perfuração (alguns cobertos de óleo e/ou fluido), sólidos da lama de perfuração, agentes espessantes, dispersantes, inibidores de corrosão, surfactantes, agentes de floculação, concreto e parafinas.

Fonte: EPA, 2000 apud Mariano, 2006, adaptado

O cascalho e o fluido de perfuração são os resíduos que caracterizam a perfuração dos poços de óleo e gás. A polêmica em torno da utilização e descarte destes rejeitos tem os colocado em posição de destaque no debate internacional sobre a proteção ambiental na etapa da exploração marítima de óleo e gás.

Na atividade *offshore*, os resíduos gerados podem ter diferentes destinações. Além do convencional descarte de cascalhos no mar, pode haver injeção local em formações permeáveis

após trituração. Um poço de aproximadamente 2000 metros de comprimento e com 15 polegadas gera por volta de 200 metros cúbicos de cascalhos. Novas tecnologias de reinjeção para disposição de cascalho de perfuração e outros resíduos em formações geológicas apropriadas estão em teste de campo, sob coordenação do Cenpes⁹, da Petrobrás. (PETROBRAS, 2006)¹⁰.

É fácil notar a grande influência do fluido de perfuração nos efluentes gerados pela etapa de desenvolvimento do poço. A quantidade de efluentes gerados durante a vida útil do poço pode variar bastante e, conseqüentemente, seus impactos também. A quantidade de cascalhos de perfuração, normalmente, decresce na medida que o poço se torna mais profundo e, correspondentemente, seu diâmetro diminui. A perfuração das camadas superiores dos sedimentos de fundo (até uma profundidade de, aproximadamente, 100 m) pode ser feita sem a utilização de fluidos de perfuração muito complexos. Em alguns casos, água do mar com aditivos de suspensões de argilas podem ser utilizados com tal finalidade.

Apesar de os fluidos serem essenciais para o sucesso da operação de perfuração de um poço petrolífero, eles também podem ser um de seus aspectos mais complexos. Os cascalhos que são transportados até a superfície do poço devem ser descartados, assim como qualquer fluido de perfuração impregnado neles. Com a presença de muitos poluentes, o impacto ambiental é influenciado pela forma como eles são descarregados e a seguir dispersos pelo meio ambiente. Os cascalhos com lamas à base de petróleo, quando descarregados na água, não se dispersam tão bem como aqueles feitos com lamas à base de água, e tendem a se aglomerar em “placas”, que passam rapidamente pela coluna d’água acumulando-se no fundo do mar sob a forma de pilhas submarinas, como é mostrado na Figura 4 a seguir. O mesmo não ocorre quando se usa lama de base aquosa.

Além destes resíduos gerados pela operação de perfuração em si, existem outros resíduos como a água de limpeza do convés da plataforma, impregnada com hidrocarbonetos e fluido e os resíduos sanitários gerados na plataforma. Este último não será analisado, já que não está diretamente relacionado com a operação de perfuração e com os fluidos utilizados.

Em alguns países legislações impõe severas restrições ao descarte e uso destes resíduos. No Brasil, ainda há a necessidade de uma legislação própria que regulamente a matéria, principalmente após a abertura do setor petróleo no país.

Na perfuração de poços executada na costa do Canadá pelo projeto Hibernia (SCHLUMBERGER, 2006), onde utiliza-se fluidos à base de petróleo, os cascalhos com a lama devem ser lavados (sobre a plataforma), de forma a remover o petróleo antes de descarregar. A legislação local exige este tipo de processo para fluidos a base de óleo. Esse processo de lavagem consome tempo e tem demonstrado ser um fator de limitação da taxa de perfuração.

⁹ Cenpes – Centro de Pesquisas da Petrobrás

¹⁰ Informações obtidas informalmente por email, vindas de: Universidade Petrobrás: Gestão Ambiental (s.l., s.d.)

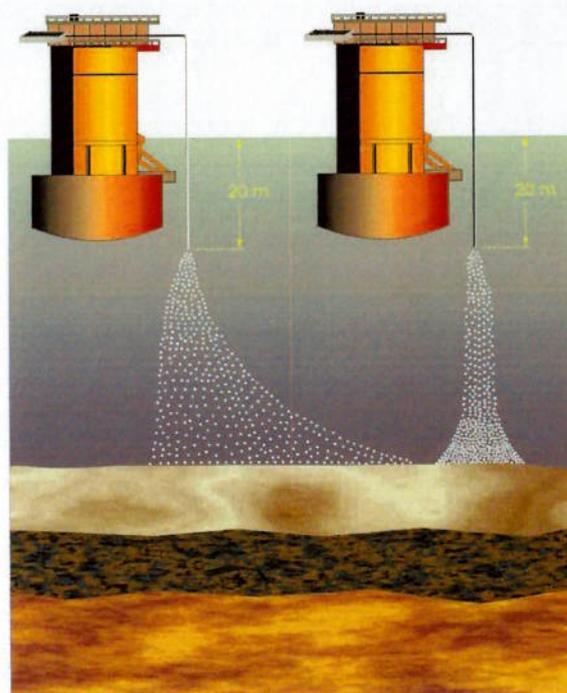


Figura 4: Comparação entre descarte de cascalhos com fluido aquoso e não aquoso
 Fonte: PAMPILLI (2001)¹¹

É importante ressaltar que antes de ser utilizada, a lama passa por diversos testes laboratoriais, onde uma mistura de água do mar com o fluido de perfuração é analisado, para descobrir, entre outras coisas, a toxicidade da lama. Os testes de toxicidade são utilizados para prever o impacto de um poluente no meio ambiente. Os resultados desses experimentos são utilizados para calcular a quantidade máxima de material que pode ser descarregada sem um efeito tóxico direto no meio ambiente. O tipo exato de teste realizado depende da legislação local e do provável destino do contaminante.

Quando descartados em ambiente marinho, os fluidos de perfuração podem impactar a coluna d'água, quando são fluidos de base aquosa, ou o assoalho marinho, quando são fluidos de base não aquosa, devido ao modo como se depositam quando são descartados. Logo, a preocupação com a toxicidade dos primeiros é sobre os organismos presentes na coluna d'água, enquanto que nos segundos é sobre os seres que vivem no fundo do mar (CLODFELTER et al., 2001, WILLS, 2000, IBP, 1999 apud SHAFFEL, 2002). Em algumas áreas, as lamas à base de petróleo são testadas em criaturas que vivem no fundo do mar, conhecidas como reprocessadores de sedimentos. Esses animais obtêm nutrientes por meio da ingestão de sedimentos e, provavelmente, serão afetados pelo acúmulo de cascalhos no leito marinho. As lamas à base de água, por outro lado, são testadas em peixes, que terão maior probabilidade de exposição a substâncias solúveis em água. O impacto causado no meio marinho devido ao descarte destes resíduos será tratado no capítulo seguinte.

¹¹ Figura obtida por meios informais

5. IMPACTOS GERADOS

Apesar de a ocupação ambiental de um poço ser relativamente pequena, estando confinada às vizinhanças da operação de perfuração, o impacto ambiental próximo à plataforma pode ser significativo. O grau de impacto dos fluidos de perfuração no meio ambiente depende do tipo de lama utilizada e das condições ambientais presentes.

Os cascalhos de perfuração feitos com as lamas à base de água causam muito menos dano ao meio ambiente e são normalmente descarregados no mar. As lamas à base oleosa são altamente tóxicas e biodegradam-se lentamente nas condições anóxicas que são encontradas no ambiente submarino (DURRIEU *et al.*, 2000 apud SHAFFEL, 2002).

Segundo Shaffel (2002), em torno da área imediata da plataforma há uma zona de recuperação, na qual existem plantas e animais capazes de tolerar um certo grau de poluição. Os organismos menos tolerantes, que vivem afastados da fonte de poluição, reaparecem gradualmente mais próximos à plataforma à medida que o local se recupera. A maior parte da ruptura ocorre em um raio de 500 metros do local da plataforma, porém, alguns efeitos biológicos já foram relatados em distâncias de até 10 km. Ao efetuar perfuração em alto mar, em regiões nas quais existem fortes correntezas de água, os cascalhos descartados tendem a se espalhar, deixando uma cobertura mais fina do leito do mar próximo ao local de descarga. Esse fato faz com essas coberturas fiquem mais suscetíveis à ação dos microorganismos que atuam na degradação do fluido de perfuração impregnado, acelerando a recuperação do leito marinho.

Os impactos ambientais podem ser gerados também em eventos acidentais ocorridos no local de perfuração. Neste caso, os principais tipos de eventos acidentais passíveis de ocorrer, relacionados aos fluidos de perfuração são: derramamento de materiais perigosos e substâncias químicas (aditivos de lama); incêndios e/ou explosões na plataforma seguidas de descontrole e conseqüente derramamento de substâncias químicas; blowouts; desastres naturais e suas implicações nas operações, gerando derramamento de fluido; guerras e sabotagens.

A análise dos impactos realizada neste trabalho envolve todo o meio afetado: físico (que neste caso é o fundo do mar, bem como a coluna d'água que se encontra abaixo da plataforma), biótico (biota marinha, composta pelos seres vivos que habitam a coluna d'água e o assoalho marinho) e antrópico (seres humanos afetados diretamente pela atividade de perfuração, neste caso os trabalhadores que operam a atividade). Os impactos aqui relatados são todos aqueles passíveis de ocorrer em uma atividade de perfuração, não representando uma atividade específica. Estão apresentados aqui os impactos ambientais gerados na área de influência direta da atividade que, segundo a classificação do ELPN/Ibama (2000)¹² é a área sujeita aos impactos diretos do desenvolvimento da atividade. Neste caso, a área de influência direta é composta pela plataforma de perfuração e pelo ambiente marinho ao seu redor, no máximo 2km distante da sonda.

¹² ELPN - Escritório de Licenciamento das Atividades de Petróleo e Nuclear

5.1. Metodologia de Classificação dos Impactos

A metodologia a ser adotada foi adaptada daquela utilizada pela PETROBRAS (2001) para classificação dos impactos ambientais de um empreendimento petrolífero na Bacia de Campos. Os impactos foram classificados por categoria, tipo, área de abrangência, duração, reversibilidade e significância.

A *Categoria* dos impactos pode ser classificada como: *Positivo*: quando o impacto é benéfico para o meio afetado; *Negativo*: quando o impacto é adverso para o meio afetado.

O *Tipo* de impacto pode ser classificado como: *Direto*: quando há consequência direta sobre o meio afetado; *Indireto*: quando há consequência indireta sobre o meio afetado.

A *Área de Abrangência* dos impactos pode ser: *Local*: quando os efeitos do impacto recaem sobre a área de influência direta; *Regional*: quando os efeitos do impacto recaem sobre a área de influência direta e indireta.

A *Duração* dos impactos pode ser: *Temporária*: quando o impacto atua temporariamente na área em que se manifesta; *Permanente*: quando o impacto atua permanentemente na área em que se manifesta.

A respeito da *Reversibilidade* do impacto, este pode ser: *Reversível*: quando é possível reverter o impacto após seu início (cessando a causa, cessa o efeito); *Irreversível*: quando não é possível reverter o impacto após seu início.

A *Significância* do Impacto pode ser: *Fraca*: quando há baixa significância do impacto tendo em vista o meio em que está inserido; *Média*: quando há média significância do impacto tendo em vista o meio em que está inserido; *Forte*: quando há alta significância do impacto tendo em vista o meio em que está inserido.

5.2. Potenciais Impactos Ambientais

Este item apresenta os impactos operacionais (que ocorrem dentro da normalidade das operações) e acidentais aos quais estão potencialmente sujeitos os meios físico, biótico e antrópico em consequência da utilização dos fluidos de perfuração na atividade de perfuração marítima de poços de óleo e gás em um bloco fictício de exploração. Na Tabela a seguir encontram-se todos os potenciais impactos da atividade de perfuração, classificados de acordo com a metodologia de classificação do item 5.1. Serão abordados apenas aqueles relacionados ao uso dos fluidos de perfuração.

Atividade	Impacto Ambiental	Categoria	Tipo	Área de Abrangência	Duração	Reversibilidade	Importância
Ancoragem da Plataforma	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Presença Física da Plataforma	Desenvolvimento de comunidades biológicas	POSITIVO	Direto	Local	Permanente	Reversível	Forte
	Atração de Peixes	POSITIVO	Indireto	Local	Permanente	Reversível	Forte
Descarte de Cascalhos e Fluidos de Perfuração	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Irreversível	Fraca
	Interferência com o meio físico submarino	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Irreversível	Fraca
Descarte de Esgoto Sanitário	Enriquecimento da água marinha com nutrientes	POSITIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Água Aquecida no Mar	Alteração das propriedades físico-químicas da água	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Resíduos Oleosos no Mar	Alteração das propriedades físico-químicas da água	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Descarte de Resíduos de Alimentos	Enriquecimento da água marinha com nutrientes	POSITIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Ruído e Vibração provocados pela Broca	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Emissões Atmosféricas	Degradação da qualidade do ar	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca
Vazamento de óleo da plataforma ou das embarcações de apoio	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com a atividade de pesca	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com o turismo	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
Erupção do Poço (Blow-Out)	Risco de incêndio e/ou explosão	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Risco de lesão e morte de trabalhadores	NEGATIVO	Direto	Local	Temporário	Reversível	Fraca a Forte
	Interferência com a biota marinha	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com a atividade de pesca	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
	Interferência com o turismo	NEGATIVO	Direto	De Local a Regional	Temporário	Irreversível	Fraca a Forte
Acidentes na Plataforma ou nas Embarcações de Apoio	Risco de lesão e morte de trabalhadores	NEGATIVO	Direto	Regional	Permanente	Irreversível	Fraca a Forte
Contratação de Mão-de-Obra	Geração de empregos diretos e indiretos	POSITIVO	Direto	Regional	Temporário	Reversível	Fraca
Arrecadação Tributária	Geração de tributos	POSITIVO	Direto	Regional	Temporário	Reversível	Média

Figura 3: Tabela de impactos da etapa de perfuração sobre os meios físico, biótico e antrópico
Fonte: Shaffel (2002)

5.2.1. Impactos gerados pelo descarte de Cascalho e Fluido de Perfuração

Após passar pelo sistema de controle de sólidos, o cascalho gerado pela perfuração dos poços é descartado para o mar, levando sempre alguma parcela de fluido agregado. Quando descartado no mar, o cascalho se deposita sobre os sedimentos do assoalho marinho que constituem substrato das comunidades bentônicas¹³. Este depósito de material provoca uma alteração física no *habitat* submarino atingido pela pluma de descarte. Sua presença pode provocar sobre as comunidades bentônicas locais impactos mecânicos (representados principalmente por morte por asfixia e ou soterramento) e/ou químicos (gerando intoxicação por contaminação com componentes dos fluidos de perfuração). Podem também vir a existir efeitos crônicos dos componentes do fluido de perfuração sobre o bentos local, que só poderão ser identificados através de monitoramento local. (BUENO et al, 1997; SHAFFEL, 2002).

A chegada do cascalho provoca uma redistribuição de sedimentos no fundo do mar e um excesso de matéria orgânica. A ação dos organismos decompositores, como as bactérias, pode levar o ambiente a condições anaeróbias fatais (anoxia) conforme vá ocorrendo a biodegradação deste material. A alteração do tamanho das partículas de sedimento impacta potencialmente o desenvolvimento larval do bentos local.

O grau de distúrbios que o descarte dos cascalhos enlameados causa no bentos marinho dependerá de vários fatores, como das características físico-químicas da deposição dos cascalhos, das condições oceânicas, do tipo de fluido utilizado e da quantidade de fluido e cascalho descartados. Uma importante consequência da exposição destes seres vivos aos componentes dos fluidos de perfuração é a bioacumulação, absorção de componentes químicos por organismos que habitam o ambiente em que os resíduos são descartados. Pelo fato dos componentes tóxicos não serem eliminados nem digeridos facilmente pelo organismo, se estes fazem parte da cadeia alimentar, estas substâncias vão se acumulando conforme aumenta o nível trófico da cadeia, até, possivelmente, chegar ao Homem, principalmente em regiões onde comunidades dependem da pesca.

É importante ressaltar que os cascalhos descartados podem estar impregnados não apenas com o fluido de perfuração, mas também com hidrocarbonetos advindos da formação perfurada. Estes hidrocarbonetos podem causar efeitos nos seres marinhos, mesmo estando em concentrações abaixo de 10 ppm. Principalmente o fitoplâncton e zooplâncton, que habitam a superfície do mar são afetados pelos hidrocarbonetos em baixas concentrações (BUENO et al, 1997). À medida que a matéria orgânica se decompõe, o oxigênio é utilizado e sulfetos tóxicos poderão ser produzidos. Quando estão em grandes concentrações, essas condições podem resultar na eliminação quase total dos organismos que vivem no fundo do mar, muito próximos à plataforma.

Todos estes impactos identificados pelo descarte do cascalho e fluido de perfuração atuam temporariamente na área em que se manifestam, que é localizada, ou seja: no entorno do ponto de descarte. São impactos negativos de fraca significância, diretos e irreversíveis: uma vez descartado, o cascalho permanecerá no mar.

Tendo em vista que os testes laboratoriais a respeito da toxicidade dos fluidos e dos impactos causados nos seres vivos pela exposição aos mesmos são realizados utilizando

¹³ Comunidade Bentônica: seres vivos que vivem no fundo do mar, lagos e lagoas, compreendendo a fauna e a flora de fundo (AMBIENTE BRASIL, 2006)

condições extremas (como alta concentração de fluido no meio e grande tempo de exposição), o monitoramento ambiental assume importância capital na determinação dos impactos reais do descarte de cascalho e o fluido de perfuração no mar. O monitoramento antes, durante e depois da ocorrência da perfuração dos poços é um retrato do impacto ambiental sobre a biota local. No Brasil um projeto pioneiro de Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima (MAPEM) foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar no fornecimento de dados sobre as biotas em questão e sobre os descartes da atividade.

5.2.2. Impactos Gerados pela erupção do poço (Blowout)

A erupção do poço (*blowout*) é a fluência descontrolada do poço podendo causar, dependendo da gravidade, vazamento de óleo para o mar, incêndios e explosões com risco de lesões e morte aos trabalhadores. Não sendo controlada a tempo, pode causar uma grande tragédia, como já ocorreu algumas vezes na história de indústria petrolífera. Os *blowouts* são acidentes mais raros, mas podem ser muito graves. A probabilidade de sua ocorrência é maior nas fases de perfuração e *workover* (quando é feita alguma intervenção no poço), porém, podem acontecer também durante as fases de desenvolvimento dos poços e de produção propriamente ditas. Tais eventos podem resultar na emissão de metano (gás natural) e, se o poço entrar em ignição, os produtos das reações de combustão dos hidrocarbonetos também serão liberados (CO, CO₂ e materiais particulados, entre outros). (MARIANO, 2006).

O fluido de perfuração que se encontra dentro do poço antes de ocorrer o blowout é expelido para fora do poço, juntamente com os cascalhos nele misturados, em alta velocidade, muitas vezes atingindo grandes alturas. Ele pode ser diretamente jogado no mar, onde causa impactos ao meio físico e biótico que se encontra nas proximidades. Normalmente ele está misturado também ao hidrocarboneto que está fluindo da formação, trazendo danos ainda maiores ao ambiente. A grande quantidade de fluido e cascalhos acaba se depositando no leito marinho, enquanto grande parte do hidrocarboneto forma uma camada sob a superfície do mar. Assim, o impacto gerado por este acidente é muitas vezes maior que o impacto gerado pelo descarte dos cascalhos e fluidos de perfuração.

Para evitar acidentes do porte de uma erupção que pode evoluir para incêndio ou explosão, as sondas de perfuração dispõem de preventores (BOP) e sistemas específicos para controle e monitoramento do poço, conforme visto no capítulo 4 deste trabalho.

Em caso de erupção seguida de vazamento de óleo para o mar, as conseqüências recairão sobre a biota, pesca e turismo, em função da quantidade vazada e do espalhamento da mancha (caracterizando o impacto como local ou regional dependendo do acidente e atribuindo sua significância de fraca a forte).

Este impacto foi classificado como negativo, direto, de local a regional, temporário, irreversível e de forte à fraca significância.

5.2.3. Impactos gerados por acidentes na plataforma

Na plataforma de perfuração e barcos de apoio há o risco de ocorrerem acidentes com lesão e morte aos trabalhadores, além de impactos ao ambiente físico e biótico. Os acidentes em plataformas de petróleo na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, foram foco de um estudo realizado por Freitas et al (2001) para o Sindicato dos Petroleiros (SINDIPETRO). Fatores como o trabalho rotineiro, a insatisfação da estadia em plataformas marítimas, as viagens dos funcionários durante

períodos críticos de tempo, a falta de segurança no trabalho e a exposição a altos níveis de ruídos são tidas como os principais causadores de acidentes operacionais nas plataformas marítimas de petróleo localizadas na Bacia de Campos. Segundo o autor, os índices de acidentes atribuídos aos funcionários de firmas terceirizadas giram em torno de 2/3 do total de acidentes ocorridos em 2000. Fatores como exposição ao perigo, baixa remuneração e pouco treinamento são considerados como os principais colaboradores para os elevados índices de acidentes.

O manuseio de equipamentos, ferramentas e principalmente dos aditivos dos fluidos de perfuração deve ser realizado com extremo cuidado pelos trabalhadores da plataforma. A possibilidade de um acidente gerar um impacto é muito grande, podendo variar de pequenos derramamentos e vazamentos na plataforma até a perda de controle do poço, que pode resultar em um *blowout* (cujas conseqüências estão dispostas no item anterior).

5.3. Considerações Finais

A biodegradação¹⁴ é um fator importante na redução do impacto ambiental, a longo prazo, dos fluidos de perfuração. Outra consideração no projeto dos fluidos de perfuração é a redução da toxicidade para a fauna marinha, como os peixes, os reprocessadores de sedimentos, as algas e o zooplâncton. Porém, em primeiro lugar, é igualmente importante a redução da quantidade de resíduos gerados. Por mais que sua toxicidade diminua, a presença de material se depositando no leito marinho já afeta o ambiente. Esta redução pode ser obtida por meio da reciclagem dos fluidos de perfuração, no maior volume possível, e pelo seu projeto adequado, a fim de facilitar essa redução. Por exemplo, nas telas do batedor de xisto, os fluidos de menor viscosidade se separam mais rapidamente dos cortes. Isso melhora a recuperação do fluido de perfuração e reduz a quantidade de material orgânico descarregado no mar.

O uso de novas tecnologias no ramo ambiental da atividade de perfuração pode trazer muitos benefícios para a indústria. No futuro, a legislação governamental poderá permitir a descarga de cascalhos efetuados com lama sintética, que oferece desempenho similar ao da lama à base de petróleo, porém com um melhor perfil ambiental, que deve melhorar com os avanços da pesquisa. A Petrobrás já utiliza fluidos de perfuração sintéticos na costa brasileira. Na Bacia de Campos o IBAMA já concedeu Licença Prévia de Perfuração para um operador descartar cascalho tendo perfurado com fluido sintético à base de parafina (SHAFFEL, 2002). Apesar de ser ambientalmente melhor que os fluidos a base óleo (mais utilizados atualmente), o uso de fluidos sintéticos devem ser monitorados no Brasil. A falta de controle deve-se pela inexistência de leis que determinem responsabilidades e jurisdições para os órgãos do governo (Marinha, Ministério do Trabalho, Ibama e Agência Nacional de Petróleo) envolvidos no âmbito da segurança e fiscalização de operações em unidades marítimas de petróleo. Desta forma, fica a critério das operadoras a criação de seus próprios programas de procedimentos operacionais.

Apesar de atualmente não haver no Brasil uma legislação severa em relação ao uso e descarte dos fluidos de perfuração nas atividades de perfuração, esta situação tende a mudar em curto prazo. A mentalidade de sustentabilidade ecológica nas indústrias vem se expandindo, trazendo valores como: adoção de praticas que evitem danos e monitorem impactos; introdução de processos que minimizem a geração de resíduos; intensificação da pesquisa para a obtenção de tecnologias de baixo teor de resíduos e eficientes no uso de recursos naturais. Além disso, está havendo um esforço no sentido de definir normas para uma adequada proteção ambiental.¹⁵

¹⁴ Biodegradação é a decomposição de uma substância orgânica pela ação de organismos vivos, normalmente microrganismos e, em especial, as bactérias.

¹⁵ Material obtido informalmente via e-mail: Universidade Petrobrás. Gestão QSMS – Petrobrás, 2005

O atual mercado competitivo trás um aumento das exigências às empresas do ramo extrativo vindas do consumidor, clientes, órgãos públicos, empregados, comunidade, acionistas, investidores e ONGs¹⁶. Uma legislação mais severa em nível mundial tem trazido maiores restrições a empresas que desrespeitam o meio ambiente: os custos com incidentes e acidentes tem aumentado, incentivando as empresas a investir na prevenção de acidentes e impactos. Segundo a API¹⁷, as despesas com meio ambiente cresceram 250%, entre os anos de 1984 e 1991¹⁸.

Segundo a recente publicação da revista Meio Ambiente Industrial (2006), neste ano de 2006, o Brasil atingiu a marca de 2,3 mil empresas certificadas em conformidade com a norma ISO 14001, 400 empresas certificadas de acordo com a norma OHSAS 18001 e 150 em relação à norma AS 8000, ficando a frente das empresas dos outros países latino americanos.¹⁹

As atividades de E&P²⁰ são fundamentais para a manutenção dos níveis de reservas e produção, no Brasil e em todo o mundo, e é muito pouco provável que o petróleo e o gás natural tenham sua importância reduzida como fonte de energia e matérias-primas num futuro próximo. Assim sendo, é cada vez mais importante que sejam conduzidas em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável.

¹⁶ ONG – Organização Não Governamental.

¹⁷ API – American Petroleum Institute

¹⁸ Material obtido informalmente via e-mail: Universidade Petrobrás. Gestão Ambiental – Petrobrás, 2005

¹⁹ ISO, OHSAS, SA são grupos de normas ambientais.

²⁰ E&P – Exploração e Produção

6. CONCLUSÃO.

A partir da pesquisa realizada para a execução deste trabalho pode-se comprovar a grande influência dos fluidos de perfuração na geração de impactos na atividade de perfuração de poços em ambientes marinhos. Não menos importante é o descarte dos cascalhos, enlameados ou não.

Percebeu-se a diferença entre a utilização de diferentes tipos de fluidos de perfuração, tanto em relação às questões operacionais quanto ambientais. As fontes de impactos ligados à utilização dos fluidos também foram caracterizadas, dentro da operação de perfuração.

Os impactos gerados pelos fluidos foram determinados como sendo negativos ao meio ambiente e aos trabalhadores de uma sonda de perfuração *offshore*.

7. REFERÊNCIAS

- BALTAR, C. A. M; LUZ, A. B. **Insumos minerais para a perfuração de poços de petróleo.** Rio de Janeiro: CETEM/UFPE, 2003. 102 p.
- BUENO, J. L.; SASTRE, H.; LAVÍN, A. G. **Contaminacion e ingenieria ambiental: contaminación de las aguas.** Oviedo: FICYT, 1997. v. 3.
- MARIANO, J. B.; ROVERE, E. L. L. Impactos ambientais de exploração e produção de petróleo em áreas offshore. In: RIO OIL & GAS 2006: expo and conference, 2006, Rio de Janeiro. **Resumos/Abstracts.** [s.L.]: IBP, 2006. p. 1-9. (IBP nº 1148). 1 CD-ROM.
- ROVERE, E. L. L et al. **Tendências tecnológicas da indústria de O&G ditadas por condicionantes regulatórios ambientais.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2003. (Nota Técnica nº 11). Disponível em: <www.tendencias.int.gov.br/textos.shtml>. Acesso em: out. 2006.
- SCHAFFEL, S. B. **A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil.** 2002. Tese (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- THOMAS, J. E. et al. **Fundamentos de engenharia de Petróleo.** Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- TOCALINO NETO, J. O advento das empresas sustentáveis marca as comemorações de 11 anos da revista *Meio Ambiente Industrial* e incentiva novas ações. **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, n. 61, p.4, junho 2006.
- VALLE, C. E. **Qualidade ambiental - ISO 14000.** 4. ed. rev. amp. São Paulo: Editora SENAC, 2002.
- AMBIENTE BRASIL. Apresenta informações sobre dados ambientais, impactos e estatísticas. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em: Set. 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Apresenta informações sobre legislação ambiental, relatórios ambientais e impactos ambientais de diferentes atividades. Disponível em: <www.ibama.gov.br>. Acesso em: nov. 2006.
- PETROBRÁS. Apresenta informações sobre as atividades de perfuração de poços e dados sobre a empresa. Disponível em: <www.petrobras.com.br>. Acesso em: nov. 2005.
- SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATIONAL DEVELOPMENT. Apresenta informações sobre processo extrativo de petróleo e alguns impactos gerados. Disponível em <www.seed.slb.com>. Acesso em: out 2006.
- SCHLUMBERGER LIMITED. Apresenta informações sobre o processo de perfuração, os fluidos de perfuração e os impactos ambientais da atividade de perfuração. Disponível em: <www.slb.com>. Acesso em: nov. 2006.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Apresenta dados estatísticos sobre a indústria do petróleo mundial e seus impactos ambientais. Disponível em: <www.epa.gov>. Acesso em: nov. 2006.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

AMARAL, S. P. Sistema de gestão integrada de meio ambiente, qualidade, saúde e segurança na indústria de petróleo brasileira. In RIO OIL & GAS 2000: expo and conference, 2006, Rio de Janeiro. **Resumos/Abstracts**. [s.L.]: IBP, 2000. (IBP nº 02800).

BRADLEY, H. B., (Ed.). **Petroleum engineering handbook**. Richardson : Society of Petroleum Engineers, 2005.

BRASIL. Comissão de Constituição e Justiça. **Estatuto do petróleo**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1948.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Apresenta informações sobre a indústria do petróleo em geral. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: Set. 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Apresenta informações sobre acidentes de trabalho. Disponível em: <www.fundacentro.gov.br>. Acesso em: nov. 2005.

ECOLOGUS CONSULTORIA AMBIENTAL. **Relatório de impacto ambiental do desenvolvimento e produção de petróleo do campo de polvo na Bacia de Campos**. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETROLEO. **Efeitos ambientais dos cascalhos associados a fluidos não aquosos: fundamentos técnicos**. [S.l., 2000]. Documento Minuta de 15 de novembro de 2000. Disponível em <www.ibp.org.br>. Acesso em: out. 2005.

OLIVEIRA, V. C. C. **Análise da segurança em operações marítimas de exploração e produção de petróleo**. 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas: 2003.

PEREIRA FILHO, J. A.; FONSECA, V. V. **Sistema de gestão integrada - Base para o desempenho global**. In RIO OIL & GAS 2000: expo and conference, 2000, Rio de Janeiro. **Resumos/Abstracts**. [s.L.]: IBP, 2000. (IBP nº 01500).

TOLDO JUNIOR, E.E. et al. Monitoramento ambiental em atividades de perfuração exploratória marítima – MAPEM. **Gravel**, Porto Alegre, n. 2, p. 122-124, out. 2004.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Centro de Estudos de Petróleo. Apresenta teses de mestrado e doutorado. Disponível em: <www.cepetro.unicamp.br> Acesso em: out. 2005.