

Estudo da geração de resíduos nas operações de perfuração e cimentação durante a construção de poços marítimos de petróleo e gás

Study of waste generation in the drilling and cementing operations during construction of offshore oil and gas wells

Letícia Ferraço de Campos^{*}
Jader Lugon Júnior^{**}
Wagner Rambaldi Telles^{***}
Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues^{****}

Resumo

Este artigo de revisão bibliográfica tem por finalidade apresentar as atividades de perfuração e cimentação durante a construção de poços marítimos de petróleo e gás, citando os resíduos gerados em cada etapa. O IBAMA, órgão ambiental que regula a atividade, permite duas opções de disposição para esses resíduos: descarte em mar aberto ou tratamento seguido de destinação final em terra. A pesquisa documental aplicada neste artigo detalha as opções de destinação mostrando que o monitoramento exigido pelo órgão ambiental é uma forma de acompanhar o real resultado das atividades descritas.

Palavras-chave: Perfuração de poços de petróleo. Cimentação de poços de petróleo. Descarte de resíduos. Ambiente marinho.

Abstract

This literature review aims to present drilling and cementing activities which take place during the construction of offshore oil and gas wells, listing the waste generated in each step. IBAMA, the environmental agency that regulates the activity, allows two disposal options for these wastes: disposal in open sea or treatment followed by disposal on shore. The documentary research applied in this article details the destination options showing that the monitoring required by the environmental agency is a way to track the actual results of the activities described.

Keywords: Drilling oil wells. Cementing oil wells. Waste disposal. Marine environment.

^{*} Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) em 2015. Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro/RJ – Brasil. E-mail: leticiaferraco@hotmail.com.

^{**} Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2005. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFFluminense), Macaé/RJ – Brasil. E-mail: jlugonjr@gmail.com.

^{***} Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2014. Professor do Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior da Universidade Federal Fluminense (INFES/UFFE), Santo Antonio de Pádua/RJ – Brasil. E-mail: wr_telles@yahoo.com.br.

^{****} PhD pela School of Marine Science and Technology - University of Newcastle Upon Tyne (2003). Professor Associado do Instituto Politécnico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Nova Friburgo/RJ – Brasil. E-mail: pwatts@iprj.uerj.br.

Introdução

No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, instituído pela Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, é o órgão executor da política ambiental. A Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG) da Diretoria de Licenciamento Ambiental (DILIC) é responsável pela fiscalização e licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás, de acordo com a Resolução CONAMA nº 237 (GAMA, 2014; POLLIS, 2008).

O processo de construção de poços de petróleo e gás gera uma grande variedade de resíduos. Alguns desses resíduos são subprodutos naturais de perfurar a formação geológica, como os cascalhos de perfuração, e alguns vêm de materiais utilizados para perfurar o poço, por exemplo, fluido de perfuração não reutilizável (REIS, 1996a). A CGPEG visa à padronização de procedimentos de análise de estudos e relatórios ambientais, bem como ao aprimoramento do acompanhamento das medidas mitigadoras dos impactos ambientais desses resíduos, exigidas para concessão de licenças (BRASIL, 2011).

A seguir, o Quadro 1 apresenta os resíduos das operações de perfuração e os resíduos das operações de cimentação.

Operação	Resíduo	Descrição
Perfuração	Fluidos de Perfuração	Volume não reaproveitável de fluido de perfuração de base aquosa (FPBA) e de base não aquosa (FPBNA).
	Fluidos Complementares	Volume não reaproveitável de fluido complementar de base aquosa (FCBA) e de base não aquosa (FCBNA).
	Cascalhos	Cascalhos associados ao fluido de perfuração de base aquosa (cascalhos + FPBA) e ao fluido de base não aquosa (cascalhos + FPBNA).
Cimentação	Água de lavagem	Volume residual resultante da operação de lavagem das unidades de cimentação e do tanque de mistura.
	Água de mistura	Volume residual do veículo aquoso que serve como base para o preparo da pasta de cimento.
	Fluido Complementar	Volume residual de colchão espaçador.
	Pasta de Cimento	Volume residual de pasta de cimento.

Quadro 1 – Resíduos das Operações de Perfuração e Cimentação

Fonte: Adaptação de Brasil (2014)

Em 2011 foi emitida a Nota Técnica Nº 0007/2011/CGPEG/DILIC/IBAMA, que apresentou uma divulgação mais específica e focada no âmbito do licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural *offshore* (BRASIL, 2011). Devido a fatores específicos do processo de licenciamento, a geração e destinação final dos resíduos citados no Quadro 1 não são contempladas nos relatórios de acompanhamento dos projetos de controle da poluição.

No *site* do órgão ambiental encontra-se em consulta pública uma minuta de Nota Técnica Nº XXX/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA, sem numeração definida, que traz a definição de cada tipo de fluido utilizado ou gerado durante as operações de perfuração e cimentação.

Dentro do processo de licenciamento das atividades de construção de poços de petróleo, condicionantes a serem atendidas deixam claro que é vetado o descarte em águas marinhas de fluidos de perfuração e complementares de base não aquosa, de pasta de cimento excedente nos tanques da unidade de perfuração e não bombeada para o poço, bem como dos efluentes gerados a partir do processo de limpeza do sistema de cimentação. Para os demais resíduos, o descarte em alto-mar é permitido, e o IBAMA solicita diversos parâmetros de monitoramento como parte do processo de licenciamento de cada operação específica.

Neste artigo, por meio de revisão bibliográfica complementada por pesquisa documental, pretende-se fazer uma breve descrição das atividades de perfuração e cimentação de poços, com ênfase na geração de volumes residuais em cada etapa; apresentando os critérios que o gerador deve atender para dispor adequadamente cada resíduo.

Operação de perfuração

Durante a perfuração de um poço de petróleo, a rocha é perfurada pela ação de rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração. A torre de perfuração fica apoiada sobre uma superestrutura, onde se localiza a mesa rotativa. Esta mesa sustenta e comunica um torque à coluna de perfuração, formada por diversos tubos conectados entre si com uma broca em sua extremidade, que vai perfurando as rochas em direção aos potenciais reservatórios. Quanto mais a broca se aprofunda, mais tubos de perfuração vão sendo encaixados em sua parte superior na superfície (SCHAFFEL, 2002; THOMAS, 2001).

A broca lança um fluido que circula pelo poço chamado fluido ou lama de perfuração. A Figura 1 ilustra a circulação do fluido durante a perfuração, destacando a suspensão e consequente remoção dos fragmentos da formação gerados, denominados de cascalhos.

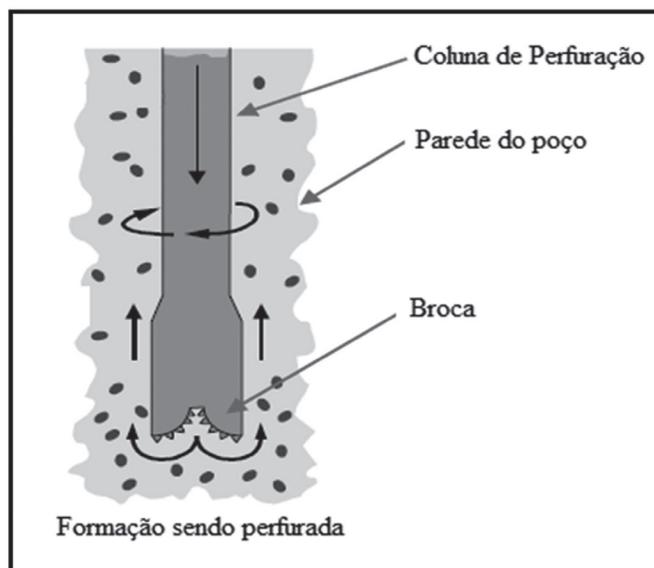


Figura 1 – Circulação do fluido de perfuração durante a perfuração

Fonte: Adaptação de OGP (2003)

A Figura 2 (A) ilustra a perfuração sem riser, tubo condutor de grande diâmetro que estabelece um meio de comunicação entre o poço e a plataforma na superfície. De acordo com Veiga (2010), os fragmentos de rocha triturada são lançados em um fluxo ascendente diretamente para o assoalho oceânico se acumulando no entorno do poço. Após a instalação do riser, Figura 2 (B), os cascalhos chegam à superfície da unidade marítima junto com o fluido de perfuração.

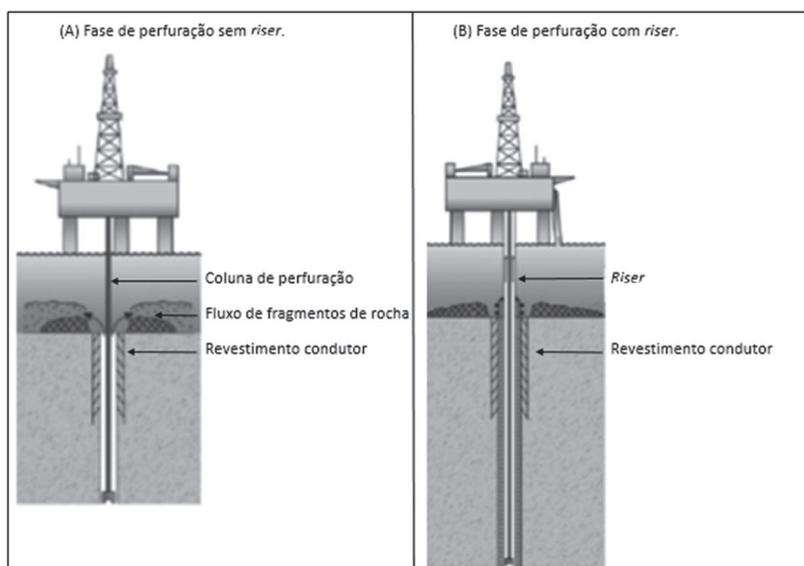


Figura 2 - Esquema geral das fases da perfuração de um poço de óleo e gás

Fonte: Adaptação de VEIGA (2010)

Os fluidos de perfuração são formulações químicas que consistem de uma fase líquida contínua, na qual vários produtos químicos e materiais sólidos são adicionados com o objetivo de alcançar uma composição com propriedades específicas tais como densidade, viscosidade, salinidade, troca iônica, dentre outras necessárias para a perfuração de poços de óleo e gás (MENZIE, 1982; VEIGA, 2010).

Para Gettleson (1980), Holdway (2002) e Thomas (2001), os fluidos de perfuração possuem basicamente as seguintes funções:

Limpar o fundo do poço dos cascalhos gerados pela broca e transportá-los até a superfície.

Exercer pressão hidrostática sobre as formações, de modo a evitar o influxo de fluidos indesejáveis e estabilizar as paredes do poço.

Resfriar e lubrificar a coluna de perfuração e a broca.

Segundo Veiga (2010), os fluidos podem ser classificados em dois tipos principais: fluidos de base aquosa e fluidos de base não aquosa. Os fluidos aquosos ou de base aquosa são aqueles que apresentam água como sua fase contínua. Esses fluidos consistem basicamente de 100% a 90% de água por volume, com a adição de componentes tais como barita, argila, lignosulfonatos, soda cáustica, polímeros e outros aditivos especiais. A base aquosa utilizada na formulação dos fluidos pode ser água industrial, água do mar ou soluções salinas saturadas.

Os fluidos de base não aquosa são formulados usando produtos orgânicos como fase contínua e água como fase dispersa. Os dois componentes principais dos fluidos base de óleo são: um composto orgânico ou oleoso, utilizado principalmente para a lubrificação, e sais de bário ($BaSO_4$), utilizados devido a sua alta densidade que permite o controle hidrostático de pressão do poço (BAKKE et al., 2013; KHONDAKER, 2000).

De acordo com Veiga (2010), em geral, a primeira fase de um poço é perfurada utilizando somente água como fluido de perfuração, mas também podem ser utilizados fluidos de base aquosa. Na medida em que o processo evolui para outras fases, já com o *riser*, vários outros tipos de fluidos são utilizados, incluindo fluidos de base não aquosa. Os fluidos de base não aquosa são mais caros do que os aquosos, porém ainda sim são economicamente compensadores, pois apresentam melhor desempenho. Proporcionam vantagens operacionais por apresentar elevada estabilidade química e resistência térmica (GAMA, 2014; KHONDAKER, 2000).

O êxito da construção de um poço e seu custo total dependem em grande parte das propriedades do fluido de perfuração escolhido. O custo do próprio fluido de perfuração é relativamente baixo, mas a escolha do fluido e manutenção das suas propriedades, enquanto ocorre a perfuração, influenciam diretamente no custo total do poço. Por exemplo, o número de dias necessários para alcançar a profundidade total do poço depende da taxa de penetração da broca e da prevenção de atrasos que podem ser causados por problemas durante a operação, fatores influenciados pelas propriedades do fluido de perfuração utilizado (CAENN et al., 2011a).

Resíduos gerados durante a operação de perfuração

Durante a perfuração de poços os principais rejeitos gerados são: cascalhos associados ao fluido de perfuração de base aquosa ou de base não aquosa e fluidos gastos de base aquosa ou não aquosa que não podem mais serem aproveitados. Na fase inicial da perfuração, antes da instalação do *riser*, todo o cascalho gerado é lançado sobre o assoalho oceânico. Para garantir a pequena interferência ambiental deste procedimento, os fluidos utilizados nestas fases são de base aquosa e apresentam muitas vezes composição simplificada, o que garante sua baixa toxicidade a organismos marinhos (GAMA, 2014).

Já em operações de perfuração com *riser*, após a perfuração, o fluido retorna do poço através do espaço anular entre a coluna de perfuração e o revestimento. Antes de chegar aos tanques da unidade marítima, o fluido usado passa por uma bateria de peneiras que têm a função primordial de separá-lo do cascalho agregado durante a perfuração. Para a separação de sólidos do fluido de perfuração emprega-se um sistema de separação constituído, basicamente, por peneiras, desareiator, dessiltador e, quando necessário, utiliza-se uma centrífuga.

De acordo com Veiga (2010), após a separação do cascalho, o fluido ainda permanece com partículas coloidais e argilas finas, perdendo aos poucos suas propriedades originais.

Dependendo de cada situação operacional estes fluidos podem ser reconstituídos e reutilizados ou então estocados para uso em outras localidades. Segundo Ayers (1982), os fluidos de base aquosa podem se tornar inutilizáveis, durante o período de perfuração, em três situações típicas: quando ocorre a diluição do fluido, quando há necessidade de se trocar o sistema para perfurar formações específicas e, ao final da perfuração, quando não se pretende reaproveitá-lo. Normalmente, a cada 1 a 3 dias, cerca de 16 a 32 m³ de fluidos podem ser descartados; porém, quando é necessária a troca de sistema, este valor pode chegar a 160 m³.

A gestão típica desses resíduos inclui como opções a reutilização do fluido de perfuração, o descarte no mar ou disposição/tratamento em terra do fluido não reutilizável e dos cascalhos gerados. A escolha normalmente considera os regulamentos locais, avaliação ambiental e análise de custo-benefício.

A reutilização consiste na recuperação dos componentes do fluido logo após a conclusão da perfuração, visando à possível utilização em outros poços. O fluido pode ser recuperado em tratamento na sonda ou pode ser reencaminhado para o fornecedor desde que a infraestrutura necessária para sua recuperação esteja disponível em terra.

A possibilidade de descarte no mar dos resíduos de perfuração é restrita por requisitos regulamentares na maioria das áreas exploradas. Segundo OGP (2003), em grande parte dos países, volumes de fluidos de perfuração de base aquosa (não passíveis de reutilização) e cascalhos gerados durante operações com este tipo de fluido podem ser lançados ao mar depois de submetidos a tratamento por equipamentos de controle de sólidos. Já o descarte contínuo ou em batelada de fluidos de base não aquosa é proibido no mundo inteiro, exceto para o fluido associado ao cascalho, respeitando os limites máximos de massa de base orgânica a este aderida, definida em regulamentação específica.

Estudos de revisão da literatura indicam que os impactos ambientais decorrentes do lançamento de cascalhos da perfuração nos ambientes marinhos podem ser de ordem física

ou toxicológica (OGP, 2003). A ação física do ambiente pode ser de dois tipos: soterramento da comunidade e alteração da textura do sedimento devido à introdução de sólidos de granulometria e composição distinta da originalmente encontrada na superfície dos sedimentos no ambiente local. A ação ecotoxicológica está diretamente relacionada com a composição química dos fluidos de perfuração aderidos aos cascalhos e se caracteriza pela capacidade de as substâncias químicas presentes na formulação causarem efeitos adversos para organismos vivos tais como: alterações fisiológicas, comportamentais ou, em última instância, a morte (CAPP, 2001; GERRARD et al., 1999; MONAGHAN et al., 1980; VEIGA, 2010).

O impacto físico do descarte do resíduo de cascalho contaminado com fluido de perfuração pode ser previsto através da aplicação de modelagem computacional. O material injetado no ambiente marinho tende a formar plumas de dispersão características que derivam conforme as condicionantes ambientais predominantes, determinadas pelas condições de ondas, ventos, correntes e hidrografia da região. O processo de dispersão destes sólidos depende amplamente das condições ambientais (correntes, densidade, temperatura), bem como das propriedades do material (granulometria, densidade) e será determinante para a abrangência da área de impacto.

O descarte de cascalhos da perfuração com fluidos não aquosos, por exemplo, apresenta baixa capacidade de dispersão, devido à força de coesão dos sólidos com a base orgânica, o que leva a um rápido assentamento do material no assoalho oceânico, dentro de uma área mais restrita no entorno da plataforma, se comparada com os cascalhos gerados com perfuração com fluidos de base água como ilustra a Figura 3 (DIAS, 2004; OGP, 2003; SCHAFFEL, 2002).

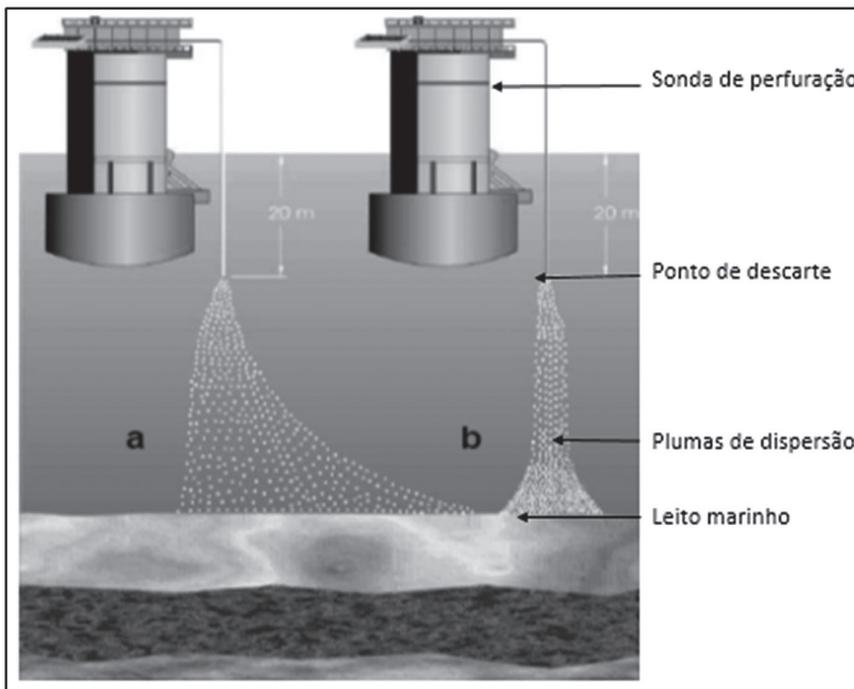


Figura 3- Ilustração dos padrões genéricos de assentamento do cascalho das fases de perfuração com fluidos de base água (a) e de base não aquosa (b)

Fonte: Adaptação de OGP (2003)

O estudo de Dias (2004), através do emprego de uma ferramenta de fluidodinâmica computacional (CFD), apresenta simulações tridimensionais para o lançamento de cascalhos de perfuração em oceano aberto. O trabalho de modelagem foi realizado com o emprego do pacote de fluidodinâmica computacional denominado CFX[®]. A Figura 4 ilustra que o máximo valor de espessura acumulada no leito marinho na fase de perfuração com fluido de perfuração de base aquosa foi estimado em 8,2 mm e a Figura 5 mostra que para fase de perfuração com fluido de perfuração de base não aquosa o máximo valor de espessura acumulada é de 5,0 cm.

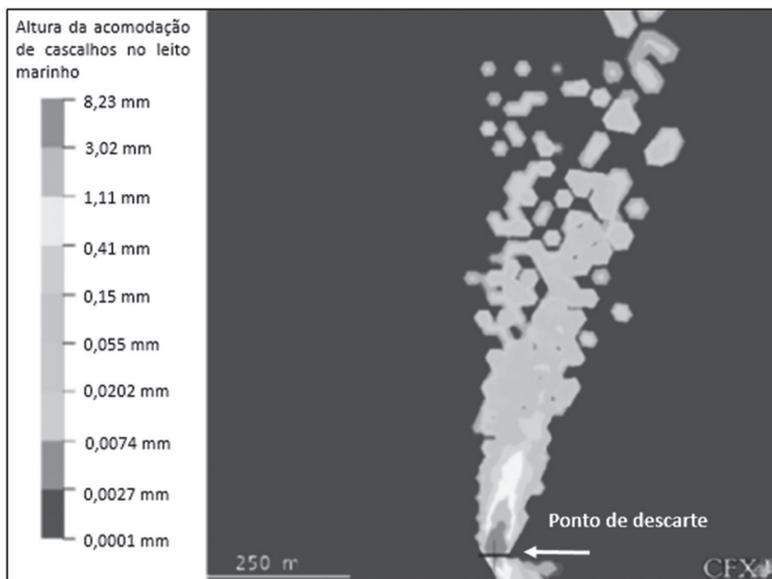


Figura 4 - Espessura de cascalho aderido a fluido aquoso acumulados no leito marinho
 Fonte: Adaptação de DIAS (2004)

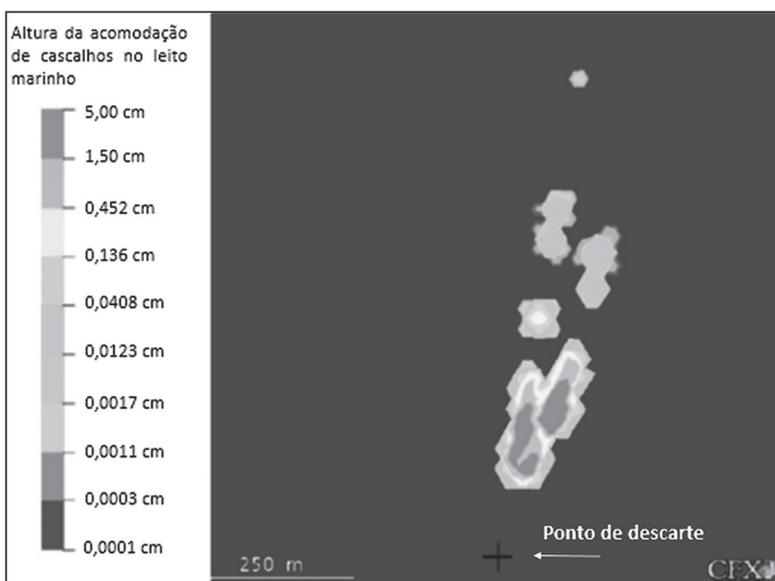


Figura 5 - Espessura de cascalho aderido a fluido não aquoso acumulados no leito marinho
 Fonte: Adaptação de DIAS (2004)

No Brasil, a minuta de Nota Técnica Nº XXX/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA apresenta as restrições de descarte dos efluentes da atividade de perfuração marítima de poços de petróleo e gás, baseada em toxicidade e presença de contaminantes a partir de avaliação feita pelo gerador no momento da operação. Os Quadros 2 e 3 trazem os critérios que possibilitam o descarte.

CONDIÇÕES PARA DESCARTE EM ÁGUAS MARINHAS	
FLUIDOS DE PERFURAÇÃO DE BASE AQUOSA	Não deve ser detectada presença de óleo livre, através do Teste de Iridescência Estática em amostra do fluido coletada em momento pré-descarte.
	O resultado da CL50-96h, pelos métodos NBR 15308 e NBR 15469, realizada com amostra de fluido coletada no momento pré-descarte, deve ser superior a 30.000 ppm da FPS.
FLUIDOS COMPLEMENTARES DE BASE AQUOSA	Não contiver óleo diesel, lignosulfonato de ferrocromo, lignosulfonato de cromo, ligas de ferrocromo ou brometo de zinco (ZnBr ₂).
	Não deve ser detectada presença de óleo livre, através do Teste de Iridescência Estática em amostra do fluido coletada em momento pré-descarte.
	O resultado da CL50-96h, pelos métodos NBR 15308 e NBR 15469, realizada com amostra de fluido coletada no momento pré-descarte, deve ser superior a 30.000 ppm da FPS.

Quadro 2 – Critérios para descarte de fluidos de perfuração

Fonte: Adaptação de Brasil (2014)

CONDIÇÕES PARA DESCARTE EM ÁGUAS MARINHAS	
CASCALHO ASSOCIADO A FLUIDOS DE PERFURAÇÃO DE BASE AQUOSA	Não deve ser detectada presença de óleo livre, através do Teste de Iridescência Estática em amostra do fluido coletada em momento pré-descarte.
	O resultado da CL50-96h, pelos métodos NBR 15308 e NBR 15469, realizada com amostra de fluido coletada no momento pré-descarte, deve ser superior a 30.000 ppm da FPS.
CASCALHO ASSOCIADO A FLUIDOS DE PERFURAÇÃO DE BASE NÃO AQUOSA	Não deve ser detectada presença de óleo livre, através do Teste de Iridescência Estática em amostra do fluido coletada em momento pré-descarte.
	O resultado da CL50-96h, pelos métodos NBR 15308 e NBR 15469, realizada com amostra de fluido coletada no momento pré-descarte, deve ser superior a 30.000 ppm da FPS.
	Não deve ser detectada contaminação por óleo da formação, conforme o método <i>Reverse Phase Extraction</i> (RPE) em amostra do fluido coletada em momento pré-descarte.
	Não deverá exceder o limite de 6,9% de n-parafinas, olefinas internas, olefinas alfa lineares, polialfa olefinas e fluidos a base de óleo mineral tratados ou de 9,4% de base orgânica de ésteres, éteres e acetais no Teste de Retorta de Massa.

Quadro 3 - Critérios para descarte de cascalho associado a fluidos de perfuração

Fonte: Adaptação de Brasil (2014)

O teste de iridescência estática (*Static Sheen Test*) afere se o fluido está contaminado ou não com óleo livre seguindo o protocolo “EPA 40: *Protection of Environmental - Part 435 - Oil and Gas Extraction Point Source Category - Appendix 1 to Subpart A of Part 435 - Static Sheen Test (EPA Method 1617)*” (USEPA, 2011).

Os testes de toxicidade aguda buscam a resposta quanto ao potencial de letalidade do resíduo e são realizados segundo a metodologia NBR 15.308 (ABNT, 2011), através da exposição de amostras

ao microcrustáceo *Mysidopsis juniae*, por um período de 96 horas em um sistema estático com efeitos sobre a sobrevivência observados a cada 24 horas. Após este período é observado o percentual estimado de mortalidade de 50% dos organismos, sendo este denominado CL50 96h (concentração letal a 50% dos organismos) (GAMA, 2014; RAND, 1995; VEIGA, 1998).

O teste RPE (*Reverse Phase Extraction*) é realizado conforme a “EPA 40: *Protection of Environmental - Part 435 - Oil and Gas Extraction Point Source Category - Appendix 6 to Subpart A of Part 435-Reverse Phase Extraction (RPE) Method for Detection of Oil Contamination in Non-Aqueous Drilling Fluids (NAF)*” indicando se o cascalho analisado está ou não contaminado com óleo da formação (USEPA, 2011).

Os resíduos de perfuração que não podem ser descartados no mar são encaminhados para destinação em terra, seguido do transporte marítimo e terrestre para o tratamento, se necessário, e disposição final. A destinação final mais comum para estes resíduos é a disposição em aterros industriais. O método de tratamento que cada resíduo será submetido dependerá do seu tipo, composição e padrões da gerenciadora de resíduos. Algumas alternativas de reciclagem, como a fabricação de material asfáltico ou de construção civil a partir do cascalho de perfuração, têm sido desenvolvidas (GAMA, 2014; OGP, 2003; PIRES, 2009; REIS, 1996b).

O IBAMA impõe, através de suas licenças ambientais, que toda a atividade de perfuração tenha um monitoramento contínuo de todas as fases da operação. Periodicamente um programa de monitoramento é encaminhado ao órgão ambiental servindo para documentar o cumprimento das determinações estabelecidas pela minuta de Nota Técnica N° XXX/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA (BRASIL, 2014).

Operação de revestimento e cimentação

Segundo Schaffel (2002), o poço é perfurado em fases, de acordo com o tipo de formação geológica encontrada. Cada fase que se encerra recebe um revestimento adequado, permitindo que se inicie a perfuração da próxima fase. Como ilustrado na Figura 6, existem basicamente quatro tipos de revestimentos: o condutor, o de superfície, o intermediário e o de produção. Não precisam ser necessariamente utilizados todos os tipos de revestimentos em um poço. O primeiro revestimento do poço é o condutor, que, como está mais próximo da superfície, tem a função de prevenir desabamentos de formações próximas à superfície que estejam fracas ou não consolidadas, e proteger lençóis freáticos. O revestimento de superfície também contribui para prevenir desmoronamentos de formações não consolidadas e serve como base de apoio para equipamentos de segurança. Por último, tem-se o revestimento de produção, que é descido ao poço em caso de existir possibilidade de produção. Ele isola as zonas de produção no caso de um vazamento de uma tubulação específica, que é colocada dentro do revestimento para levar o óleo e gás até a superfície.

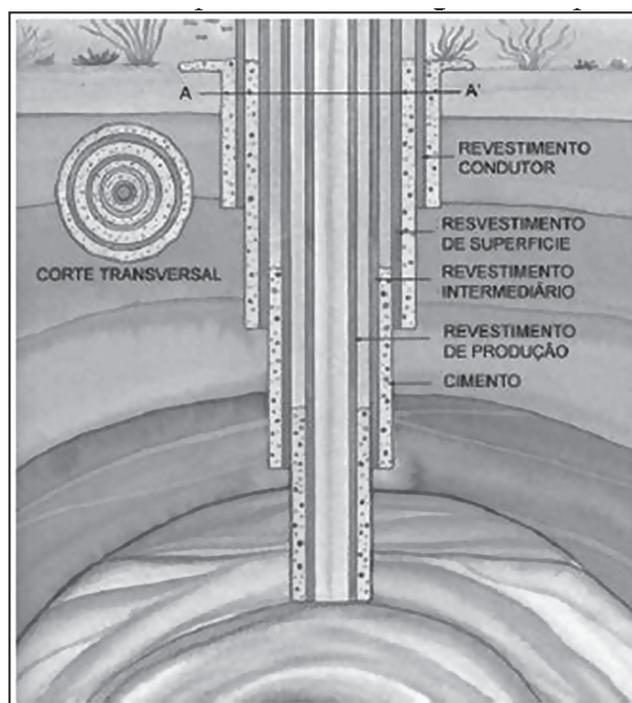


Figura 6 – Perfil do poço exibindo seus revestimentos

Fonte: SCHAFFEL (2002)

| 130 |

Assim que cada revestimento é assentado, inicia-se a operação de cimentação. Uma pasta de cimento é bombeada ocupando o espaço anular entre o revestimento e as paredes do poço, fixando a tubulação e selando o espaço anular. Segundo Ilyas et al. (2012), o objetivo da operação de cimentação é proporcionar isolamento, criando uma vedação hidráulica impedindo assim o fluxo de fluidos do poço como óleo, água ou gás entre as formações ou à superfície. A vida útil do poço é diretamente dependente da qualidade desse selo hidráulico, fazendo do trabalho de cimentação uma operação vital. Isolamento incompleto pode impedir tanto o poço de ser concluído quanto posteriormente resultar na perda do poço produtor. A importância da operação de cimentação pode ser ampliada pelo fato de o cimento ter que sobreviver a vida completa do poço, a qual pode variar entre um e cinquenta ou mais anos.

De modo geral, a operação de cimentação é realizada bombeando-se pasta de cimento precedida de um colchão espaçador para o poço. A pasta de cimento é formada por adição de cimento em pó à água de mistura, que é composta de aditivos químicos líquidos ou sólidos dissolvidos ou suspensos em água doce ou em água do mar. Os aditivos darão à pasta de cimento o comportamento ideal para o sucesso da operação de cimentação. Já o colchão espaçador compõe-se basicamente de agentes tensoativos, viscosificantes e adensantes, e segue na frente da pasta com função de limpar o poço e evitar o contato da pasta com o fluido de perfuração de modo a permitir o melhor posicionamento da pasta de cimento.

Os aditivos empregados ao cimento podem ser: aceleradores (para diminuir o tempo de pega da pasta de cimento), retardadores (prolongam o tempo de pega do cimento), extensores (são absorventes de água ou aditivos para redução de peso), aditivos contra perda de fluido (são utilizados polímeros para reduzir a taxa de expulsão da água presente no cimento para formações permeáveis), aditivos contra a perda de circulação (aditivos para tampar zonas que possuam a tendência de absorver os fluidos, por serem inconsolidadas ou fracas), agentes antiespumante (aplicados para alterar a tensão superficial do cimento) e agentes antimigração de gás (SCHAFFEL, 2002).

Denomina-se primária a cimentação de cada coluna de revestimento, levada a efeito logo após a sua descida no poço. Seu objetivo básico é colocar uma pasta de cimento não contaminada em determinada posição no espaço anular entre o poço e a coluna de revestimento, de modo a se obter fixação e vedação eficiente e permanente desde anular. Estas operações são executadas em todas as fases do poço, sendo previstas no programa do mesmo (THOMAS, 2001).

Cimentação de revestimentos intermediários, de produção e *liners* tem o objetivo de isolar as formações com pressões anormalmente baixas ou anormalmente altas, isolar as formações incompetentes e sensíveis ao contato com o fluido de perfuração e proteger as zonas portadoras de hidrocarbonetos para evitar redução da produtividade devido a uma possível sensibilidade da formação aos fluidos contidos no poço. Os *liners* são utilizados em operações de cimentação em zonas com profundidades altas, no sentido de se eliminar a descida de um revestimento completo. Diferente dos outros revestimentos que são instalados presos ao revestimento de superfície, o *liner* é acoplado diretamente no último revestimento descido. Operações para corrigir deficiências resultantes de alguma operação de cimentação malsucedida também podem ser realizadas. A decisão quanto à necessidade ou não da correção de cimentação primária é uma tarefa de grande importância, pois o prosseguimento das operações, sem o devido isolamento hidráulico entre as formações permeáveis, pode resultar em danos ao poço (THOMAS, 2001).

Dando sequência à construção do poço, operações com fluidos de completação são realizadas na etapa posterior à perfuração e cimentação dos poços. O objetivo principal da etapa de completação é estabelecer a comunicação física entre a formação produtora e o poço propriamente dito. Para isto, os fluidos de completação atuam substituindo os fluidos de perfuração remanescentes no poço, por isso apresentam composições específicas para evitar danos às zonas de interesse. De maneira geral, as operações com os fluidos de completação são simplificadas e consistem no bombeio adequado do fluido preparado para o poço. Ao término da operação, o fluido de completação é recolhido do poço, recebido em tanque específico na unidade marítima e submetido à sua destinação apropriada, que em alguns casos pode ser o descarte direto no mar.

Resíduos gerados na operação de cimentação

A operação de cimentação pode gerar como volumes residuais: resíduo de água de lavagem, água de mistura, colchão espaçador ou lavador e pasta de cimento. A minuta de Nota Técnica N° XXX/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA proíbe o descarte de todos esses efluentes, como ilustra o Quadro 4.

DESCARTE PROIBIDO EM ÁGUAS MARINHAS	
TODOS os resíduos da Operação de Cimentação	Água de Lavagem
	Volume morto de Água de Mistura
	Volume morto de Colchão Espaçador ou Lavador
	Pasta de Cimento

Quadro 4 – Resíduos com descarte proibido pelo IBAMA

Fonte: Adaptação de Brasil (2014)

A geração de água de lavagem ocorre durante a frequente operação de lavagem das partes internas do equipamento onde a pasta de cimento foi preparada, unidades de cimentação ou tanque de mistura. O volume de resíduo gerado geralmente contém 1 parte de sólido (pasta de cimento) para 20 partes de água doce utilizada na operação de lavagem.

Existem duas situações em que volumes residuais de água de mistura e colchão espaçador/lavador podem ser gerados: oriundo do volume morto não bombeado do tanque em que a água de mistura ou colchão em questão são preparados ou em situações emergenciais onde todo o volume preparado não pode ser utilizado devido a alguma alteração do programa operacional da operação de cimentação. Nos casos em que não é possível concluir a mistura (por razão incontornável) de um determinado volume de pasta, a pasta retorna aos tanques da sonda na superfície caracterizando assim uma situação emergencial em que resíduo de pasta de cimento é gerado.

Na operação de cimentação o resíduo gerado com maior frequência é o de água de lavagem. Esta geração quando comparada com a geração dos resíduos da operação de perfuração tem frequência maior, entretanto os volumes gerados são consideravelmente menores. Um poço típico tem a operação de cimentação dividida em 5 fases e cada fase deve ter o revestimento específico cimentado: revestimento condutor (fase I), revestimento de superfície (fase II), revestimento intermediário (fase III), revestimento de produção (fase IV) e *liner* (fase V). Na geração do resíduo de água de lavagem, em torno de 3 m³ de resíduo são gerados por fase cimentada, totalizando um volume de em média 15 m³ por poço.

A pasta de cimento é preparada na unidade de cimentação, equipamento que recebe água de mistura dos tanques da sonda e cimento dos silos da sonda e logo depois é bombeada continuamente para o poço em operações de início de poço. Após o bombeio de toda pasta de cimento realiza-se a lavagem das partes internas da unidade de cimentação. Como resultado é gerado um volume residual de água de lavagem que será armazenado em um tanque de resíduo, como indica a Figura 7.

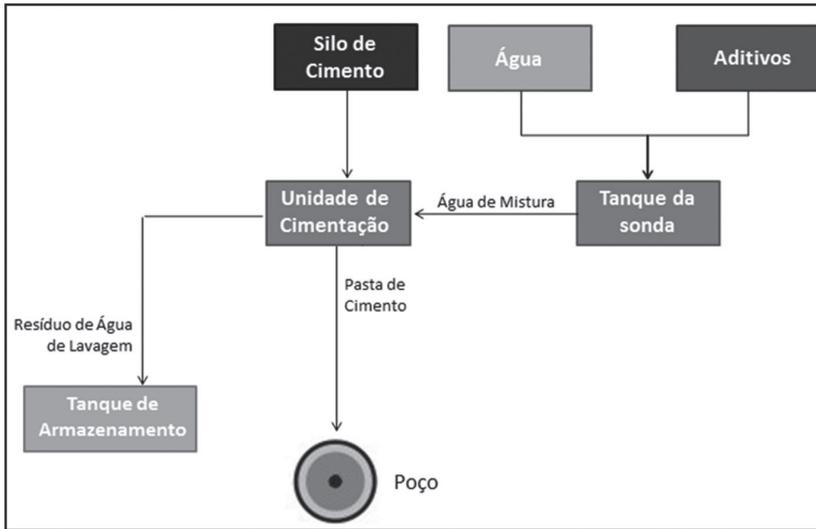


Figura 7 – Preparo de pasta de cimento para operações de início de poço
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2014)

Nas operações de cimentação de revestimento intermediário, de produção e *liner* existe a possibilidade de uso de equipamento denominado tanque de mistura (*batch mixer*) para o preparo de pasta de cimento ou somente da água de mistura. Este recurso está disponível como equipamento fixo nas unidades ou como equipamento portátil. Quando a pasta de cimento é preparada no *batch mixer*, a unidade de cimentação apenas bombeia a pasta já pronta para o poço, por meio de suas bombas. São gerados volumes residuais de água de lavagem do próprio *batch mixer* e da unidade de cimentação, esses resíduos são armazenados em um tanque de resíduo como mostra a Figura 8.

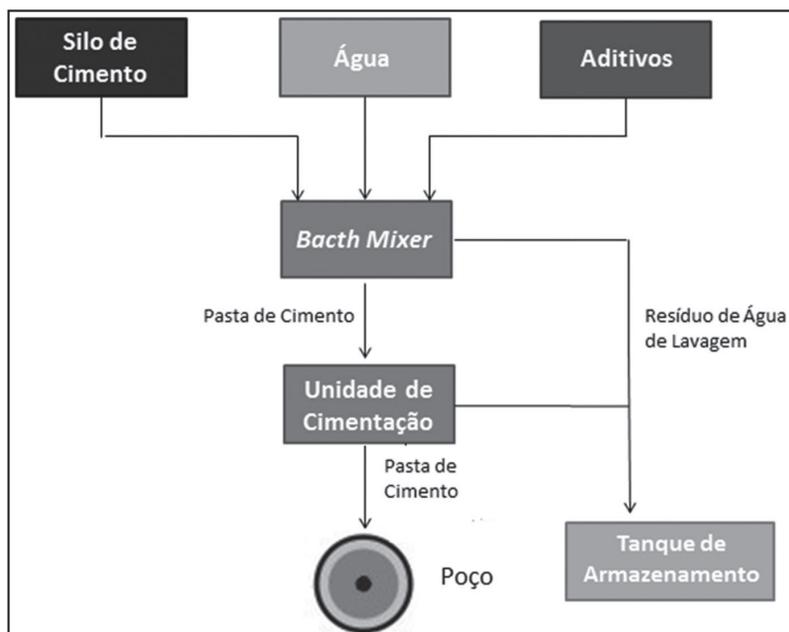


Figura 8 - Preparo de pasta de cimento no batch mixer para as operações de cimentação de revestimento intermediário, de produção e liner

Fonte: Próprio Autor (2014)

| 134 |

Quando o *batch mixer* é utilizado somente para o preparo da água de mistura, esta é enviada para a unidade de cimentação, que recebe o cimento dos silos das sondas. A unidade de cimentação, à medida que recebe estes insumos, mistura-os na proporção correta e, continuamente, bombeia a pasta preparada diretamente para o poço. É gerado volume residual de água de lavagem da unidade de cimentação que é armazenado em um tanque de resíduo. Se o *batch mixer* não estiver disponível, a água de mistura e a pasta de cimento são preparados convencionalmente na unidade de cimentação.

Os tanques de resíduos, também chamados de *cementing boxes*, são o principal método de transporte dos resíduos de cimentação. Segundo Piper et al. (2005), os *cementing boxes* foram desenvolvidos para facilitar o recolhimento e transporte dos resíduos, atendendo as restrições de peso dos guindastes *offshore* em sondas de perfuração. Os *cementing boxes* são colocados perto dos tanques que geram os resíduos, para facilitar a transferência de um tanque para o outro através de bombeio. Quando o conjunto de *cementing box* disponível na sonda fica cheio, o desembarque é providenciado, e um novo conjunto chega para substituí-lo.

O transporte marítimo dos *cementing boxes* cheios é realizado por barcos de apoio que fornecem suporte à atividade e em terra estes resíduos seguem por transporte rodoviário até o local onde será realizada a destinação final adequada. Chegando à gerenciadora de resíduos responsável pela destinação final adequada, a fase líquida segue para tratamento biológico ou físico-químico em uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) e a parte sólida/semisólida é encaminhada para aterro industrial.

Periodicamente um programa de monitoramento é enviado ao órgão ambiental documentando a quantidade de resíduo de cimentação encaminhado para destinação final em terra, evidenciando o cumprimento das determinações estabelecidas pela minuta de Nota Técnica Nº XXX/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA (BRASIL, 2014).

Conclusão

Analisando o apresentado neste trabalho, vemos que as soluções ambientais adotadas para as atividades de perfuração e cimentação de poços de petróleo e gás são bem definidas e controladas pelo órgão ambiental (IBAMA) através de monitoramento constante junto ao gerador, tanto durante a opção de descarte em mar aberto quanto no recolhimento para destinação em terra.

A ênfase nos processos de controle e monitoramento resulta em uma eficiente forma de acompanhar o resultado real das atividades. Segundo Brasil (2014), prevê-se ainda uma evolução gradual no nível de controle do programa e incentiva-se que o gerador evidencie a busca por procedimentos que minimizem a poluição gerada pelos resíduos sólidos e efluentes líquidos passíveis ou não de descarte em águas marinhas.

Recomenda-se que sejam realizados estudos de caracterização ambiental dos resíduos de cimentação e simulações computacionais de possíveis descartes do resíduo gerado em maior frequência – o de água de lavagem, assim como o citado para os resíduos de cascalhos de perfuração, onde Dias (2005) conseguiu prever o comportamento dos sólidos na coluna d'água e sua acomodação no leito marinho.

Acrescenta-se ainda que qualquer tentativa de conhecer o resultado advindo da geração de resíduos a bordo, de sua disposição em terra e do descarte de rejeitos no mar é de fundamental importância para buscar a minimização de impactos e assim descobrir a melhor forma de proteger a saúde do meio ambiente, fator essencial para que os geradores preservem suas responsabilidades legal e financeira (ARARUNA JR. & BURLINI, 2013).

| 135 |

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.308: Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de ensaio com misidáceos (Crustacea)*. Rio de Janeiro, 2011. 25 p.

ARARUNA JR., J.; BURLINI, P. *Gerenciamento de resíduos na indústria de petróleo e gás*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 01-76.

AYERS JR, R. C. Fate and effects of drilling discharges in the marine environment. *Am. Soc. for environ. Educ.*, p. 218-234, 1982.

BAKKE, T.; KLUNGSOYR, J.; SANNTI, S. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research*, Maryland, v. 92, p. 154-169, 2013

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 07/2011*. Resíduos sólidos das atividades de Exploração e Produção de petróleo e gás em bacias sedimentares marítimas do Brasil no ano de 2009 – Consolidação dos resultados da Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/08. 2011. Disponível em: < <https://www.ibama.gov.br/licenciamento/petroleo/procedimentos>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Minuta para Consulta Pública da Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº XX/14*. Novas diretrizes para uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalhos, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás natural. 2014. Disponível em: < <https://www.ibama.gov.br/licenciamento/petroleo/procedimentos>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. Introduction to Drilling Fluids. In: _____. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. 6. ed. Waltham: Gulf Professional Publishing, 2011a. cap. 1.

CAPP; CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEUM PRODUCERS. *Offshore drilling waste management review*. Canadian Association of Petroleum Producers. Calgary, Alberta, 2001. 289 p. Technical Report.

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., 2004, Salvador. *Anais...*

DIAS, G. J. *Modelagem Tridimensional do Lançamento de Rejeitos das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo em Águas Profundas*. 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2005. 123 p.

GAMA, M. C. G. F. *Avaliação de uma unidade embarcada de tratamento de fluidos de perfuração de base não aquosa contaminados com interface de deslocamento e águas residuárias oriundos da perfuração marítima*. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014. 104 p.

GETTLESON, D. A. Effects of oil and gas drilling operations on the marine environment. In: GEYER, R. A. *Marine Environment Pollution I*. 1. ed. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1980. cap. 14.

- GERRARD, S.; GRANT, A.; MARSH, R.; LONDON, C. *Drill cutting piles in the North Sea: management options during platform decommissioning*. Centre for Environmental Risk. School of Environmental Sciences of University of East Anglia. Norwich, 1999. Research report n. 31.
- HOLDWAY, D. A. The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, Melbourne, 2002. v. 44, p. 185–203.
- ILYAS, M.; SADIQ, N.; MUGHAL, M. A.; PARDAWALLA, H.; NOOR, S. M. SPE-163128: Improvement of Cementing in Deep Wells. In: SPE/PAPG ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 2012. Paquistão.
- KHONDAKER, A.N. Modelling the fate of drilling waste in marine environment: an overview. *Computers & Geosciences*, Dhahran, n. 26, p. 531-540, 2000
- MENZIE, C. A. The environmental implications of offshore oil and gas activities. *Environ. Sci. Technol*, Waltham, v. 16, n. 8, 1982.
- MONAGHAN, P. H.; MCAULIFFE, C. D.; WEISS, F. T. Environmental aspects of drilling muds and cuttings from oil and gas operations in offshore and coastal waters. In: GEYER, R. A. *Marine Environment Pollution I*. 1. ed. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1980. cap. 15.
- OGP, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS. *Environmental aspects of the use and disposal of non-aqueous drilling fluids associated with Offshore Oil & Gas Operations*. London, 2003. 114 p. (Report; n. 342).
- PIPER, W.; HARVEY, T.; MEHTA, H.; Waste Management. In: ASME. *Drilling Fluids Processing Handbook*. Burlington: Elsevier, 2005. cap. 16.
- PIRES, P. J. M. *Utilização de cascalho de perfuração de poços de petróleo para a produção de cerâmica vermelha*. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2009.
- POLLIS, A. M. *Avaliação das emissões de gases de efeito estufa através da comparação dos métodos de destinação final de resíduos gerados na atividade de produção de petróleo offshore*. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2008.
- RAND, G. M. *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate and Risk Assessment*. 2. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1995. p. 30.
- REIS, C. J.; Drilling and Production Operations. In: _____. *Environmental Control in Petroleum Engineering*. 1. ed. Texas: Gulf Professional Publishing, 1996a. cap. 2.
- REIS, C. J. *Environmental control in petroleum engineering*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 1996b. p. 19-20.

SCHAFFEL, S. B. *A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil*. 2002. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Programa de Planejamento Energético. Rio de Janeiro, 2002. 147 p.

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2001. 271 p.

USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Analytic Methods for the Oil and Gas Extraction Point Source Category*, 2011.

VEIGA, L. F. *Avaliação de risco ecológico dos descartes da atividade de perfuração de poços de óleo e gás em ambientes marinhos*. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2010. 254 p.

VEIGA, L. F. *Estudo de toxicidade marinha de fluidos de perfuração de poços de óleo e gás*. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 1998.