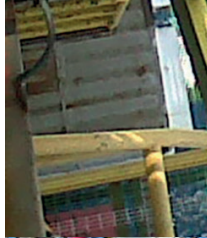
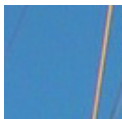
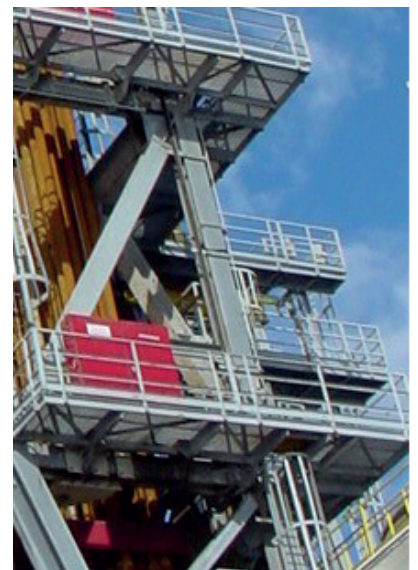
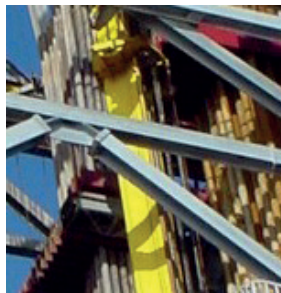
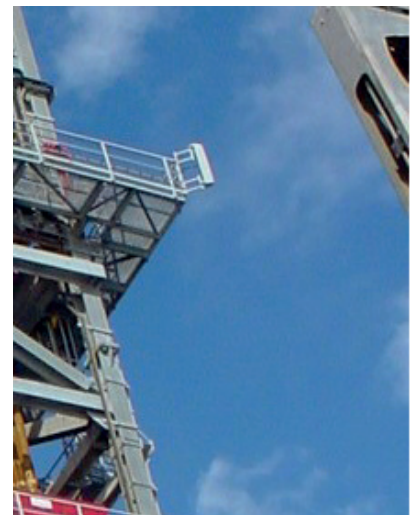
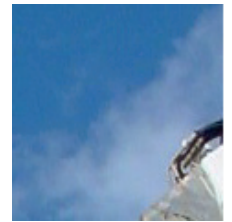


AVALIAÇÃO DE OPÇÕES PARA A DESTINAÇÃO DO CASCALHO GERADO NA PERFURAÇÃO DE POÇOS MARÍTIMOS NO BRASIL



AGOSTO 2021

Copyright © 2021 Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP)

Todos os direitos reservados ao Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP).

A reprodução não autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9610/98 (Lei de Direitos Autorais).

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada pela biblioteca do Centro de Informação e Documentação Hélio Beltrão – IBP

I59 Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
Avaliação de opções para a destinação do cascalho gerado na perfuração de poços marítimos no Brasil / Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Associação Brasileira de Empresas de Exploração e Produção de Petróleo e Gás. – Rio de Janeiro: IBP, 2021 – (Caderno de boas práticas, v. 1).
410 p. : il. color. ; PDF ; 23 MB.
Formato: e-book em PDF.
Modo de acesso: www.ibp.org.br/biblioteca
11. Indústria petrolífera. 2. Perfuração de poços. 3. Resíduos industriais. I. IBP. II. Associação Brasileira de Empresas de Exploração e Produção de Petróleo e Gás. III. ABEP. IV. Título.
CDD 622.338

www.ibp.org.br



IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
Avenida Almirante Barroso, 52 - 21º e 26 andares
Centro, Rio de Janeiro-RJ – CEP: 20031-918
Tel.: (+55 21) 2112-9000

O grupo de trabalho para elaboração destas diretrizes foi composto dos seguintes membros (em ordem alfabética):

Grupo de Trabalho de Fluidos e Cascalhos

Adelci Almeida	José Aina
Adriana Frenkiel	Juliana Padrão
Ana Beatriz Ferreira	Karima Lagraf
Ana Cupelo	Laura Martinelli
Ana Paula Brandão	Leandro Monteiro
Anderson Cantarino	Leonardo Marinho
Andrele Andres	Luciano Mendes
Anidio Correa	Ludmila Sampaio
Anne Guedes	Luiz Claudio Cosendey
Barbara Bosisio	Maíta Moura
Beatriz Mattos	Marcelo Medeiros
Carlos Silva	Maria Eduarda Pessoa
Carolina Coimbra	Patricia Burlini
Claudio Sternberg	Paula Della Nina
Daniel Aquino	Sergio Barbosa
Elaine Goverman	Sonia Lima
Emily Farias	Stella Gomes
Eric Trammell	Wallace Costa
Esdras Albuquerque	
Estevão Rodrigues	
Fernanda Othero	
Geraldo Adriano Teixeira	
Gustavo Arruda	
Gustavo Xavier	
Johanna Amezquita	

Equipe Mott MacDonald

Adeílson Barbosa Nascimento
Bruno Medeiros
Clarissa Lourenço de Araujo
Daniel Tavares Rosa
Domingos Nicolli
Elizabeth do Nascimento Carvalho
Fernando Paiva
Francisco Eduardo Mendes
Karina Reis de Araujo Pontes Ribeiro
Larissa Quaresma do Lago
Leonardo Oliveira Lopes
Mariana Siqueira
Paulo F. Garreta Harkot
Pedro Selig Botafogo
Renata Catherine Gomes do Nascimento
Ricardo Tavares
Tatiana dos Santos Rocha

Agradecimentos

Carlos Henrique Mendes
Fayga Pismel
Maria Augusta Nogueira

Com especial agradecimento a Maria Augusta e Carlos Henrique:

O comprometimento e a dedicação na administração da elaboração deste estudo foi fundamental para o sucesso!

APRESENTAÇÃO

O comitê de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (*Health, Safety and Environment*) do IBP, doravante referenciado como HSE, foi criado em 1999 para discutir e tratar temas relevantes aos seus associados e à indústria, bem como temas relacionados à conformidade regulatória, no âmbito dos requisitos ambientais, de segurança e de saúde. Subordinados ao comitê estão os grupos de trabalho (GT) criados por demanda para discutir e propor as melhores alternativas técnicas sobre os temas específicos à indústria relacionados aos assuntos pertinentes ao HSE. Apenas no ano de 2018, o IBP como um todo contou com o auxílio técnico de mais de 1.200 profissionais do setor, consultores e acadêmicos.

Diante da inexistência de uma instrução normativa (IN) específica para o tema, no ano de 2002, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (Ibama) adotou, no que coubesse, procedimentos vigentes na regulação do Golfo do México, para uso de fluidos de perfuração, pastas de cimento e demais fluidos empregados nas atividades de construção de poços marítimos no Brasil, tanto quanto as condições para o descarte no mar desses fluidos e do cascalho gerado na atividade de perfuração. Até recentemente, as regras vigentes eram tratadas por meio de pareceres técnicos emitidos pelo órgão ambiental licenciador (CGMAC/Dilic/Ibama), vinculados às condicionantes de licenças de operação de cada uma das empresas operadoras, para os quais eram constituídos processos administrativos (PA) individualizados.

O tema fluidos de perfuração é discutido no IBP desde 1998, entretanto, em 2009, foi criado um GT específico, vinculado ao comitê de HSE, para discutir itens relativos a condições de descarte de fluidos, cascalho e pastas de cimento nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de petróleo e gás, tendo, esse GT, participado de inúmeras reuniões com o grupo técnico do Ibama, sediado no Rio de Janeiro, para elaboração conjunta de uma instrução normativa sobre o tema.

Como parte do processo de colaboração técnica permanente entre os associados do IBP e o Ibama, foi estabelecida a elaboração de um estudo de balanço do custo-benefício de alternativas técnicas e locais para destinação de cascalho e fluidos de perfuração e seus respectivos riscos e impactos associados, intitulado "Avaliação de opções para a destinação do cascalho gerado na perfuração de poços marítimos no Brasil". Tal estudo foi elaborado pelo IBP em conjunto com a consultoria Mott MacDonald e apresentado em cinco fascículos.

Neste fascículo 1 foram abordadas a tipologia dos resíduos de perfuração e a análise comparativa das condições de descarte de fluidos e cascalho no cenário regulatório nacional e internacional – capítulo 1.

Já no capítulo 2, foi apresentada uma análise global das opções tecnológicas para tratamento e destinação final de resíduos das atividades de perfuração, incluindo as etapas de tratamento de fluidos e cascalho realizadas durante a operação *offshore*. Assim, uma grande variedade de tecnologias foi descrita e serão concluídas no fascículo 2.

Visando auxiliar no processo de escolha da alternativa de tratamento e destinação final mais adequada ao cenário brasileiro, em termos de eficiência e sustentabilidade, foi descrito ao longo do capítulo 3 e nos demais fascículos, as análises comparativas dos indicadores de sustentabilidade.

SUMÁRIO

Apresentação	4
1. Tipologia de resíduos gerados e visão geral do cenário regulatório para descarte de fluidos e cascalho no mar	11
1.1 Fluidos de perfuração e cascalho.....	11
1.2 Tipologia de resíduos gerados.....	12
1.3 Visão geral do cenário regulatório para o descarte de fluidos e cascalho no mar.....	15
1.3.1 Angola	15
1.3.2 Austrália	16
1.3.3 EUA (Golfo do México)	17
1.3.4 Mar do Norte.....	19
1.3.5 Mar de Barents (Noruega).....	20
1.3.6 Reino Unido.....	20
1.3.7 Brasil	21
2. Alternativas tecnológicas para tratamento e destinação final de resíduos das atividades de E&P offshore	26
2.1 Controle, tratamento e destinação na unidade marítima	26
2.1.1 Sistema típico de controle de sólidos (tratamento primário)	26
2.1.2 Tratamento secundário	28
2.1.2.1 Centrífuga vertical (secador de cascalho/Vert G)	28
2.1.2.2 Dessorção termomecânica (<i>hammermill</i>)	30
2.1.3 Alternativas para disposição <i>offshore</i>	31
2.1.3.1 Disposição no mar	31
2.1.3.2 Reinjeção de cascalho	32
2.1.3.3 Hibernação	32

3. Apresentação do problema	33
3.1 Desafios	33
3.1.1 Técnicas selecionadas	34
3.2 Cenários selecionados para o estudo quantitativo	35
3.2.1 Cenário base	36
3.2.2 Descarte no mar com dessorção térmica embarcada	36
3.2.3 Caso base + descarte zero no mar da fase reservatório	36
3.2.4 Descarte zero no mar de todo o cascalho	36
Documentos de referência	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de tratamento de lama	28
Figura 2	Ilustração do secador de cascalho	29
Figura 3	Esquema de um sistema de dessorção termomecânica	31
Figura 4	Cenários para o estudo quantitativo	35

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Tipos principais de resíduos	13
Quadro 2	Outros tipos de resíduos gerados na perfuração	13
Quadro 3	Tipos de resíduos gerados, subdivididos de acordo com suas características físico-químicas	14
Quadro 4	Faixa de avaliação de toxicidade de fluidos	16
Quadro 5	Sumário comparativo entre os requisitos regulatórios em Angola, Austrália, Brasil, Golfo do México e Mar do Norte	24
Quadro 5	Sumário comparativo entre os requisitos regulatórios em Angola, Austrália, Brasil, Golfo do México e Mar do Norte (continuação)	25
Quadro 6	Equipamentos e descrições	27

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABTLP	Associação Brasileira de Transporte de Produtos Perigosos
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CAPP	Canadian Association of Petroleum Producers
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
DNV	Det Norske Veritas
DT	Dessorção térmica
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FPBA	Fluido de perfuração de base aquosa
FPBNA	Fluido de perfuração de base não aquosa
GOM	Golf of Mexico
HPA	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
IC	Indicador de custo
IN	Instrução normativa

IOGP	International Association of Oil and Gas Producers
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material particulado
O&G	Óleo e gás
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RPE	<i>Reverse phase extraction</i>
SSC	Sistema secador de cascalho

1 TIPOLOGIA DE RESÍDUOS GERADOS E VISÃO GERAL DO CENÁRIO REGULATÓRIO PARA O DESCARTE DE FLUIDOS E CASCALHO NO MAR

1.1 Fluidos de perfuração e cascalho

Por definição, fluidos de perfuração são formulações utilizadas na perfuração de poços com as finalidades principais de promover a remoção do cascalho gerado, resfriar e lubrificar a broca e a coluna e manter equilibradas as pressões de subsuperfície, enquanto o cascalho são fragmentos originados pela ação da broca sobre a rocha ou cimento curado (IBAMA, 2019a).

De acordo com o IOGP (2016), há dois tipos primários de fluidos de perfuração, sendo a presença destes no cascalho responsável pela classificação dos dois principais tipos de cascalho:

- » Fluido de perfuração de base aquosa (FPBA): são misturas de argilas, polímeros orgânicos naturais e sintéticos, agentes de peso mineral e outros aditivos dissolvidos ou suspensos em água doce, água do mar, salmoura, salmoura saturada ou salmoura de formiato.
- » Fluido de perfuração de base não aquosa (FPBNA): são emulsões inversas, nas quais a fase contínua é um fluido não aquoso (insolúvel em água) de base orgânica, com água e produtos químicos como a fase interna.

Adicionalmente, de acordo com as definições apresentadas no SEI Ibama 5533803, são denominados genericamente como os fluidos complementares aqueles que não são fluidos de perfuração e que são utilizados durante a perfuração, cimentação e completação de poços, tais como os definidos a seguir:

- (i) fluidos de completação: são soluções salinas utilizadas, em substituição aos fluidos de perfuração, para evitar danos às zonas de interesse por ocasião da etapa de completação dos poços, ou seja, a etapa na qual se estabelece a comunicação física entre a formação produtora e o poço propriamente dito;
- (ii) colchão lavador: formulações químicas cuja função principal é a remoção do “filme” de fluido de perfuração aderido à parede interna do poço (revestimento);
- (iii) colchão viscoso ou de limpeza: formulações químicas cuja função principal é a remoção de sólidos particulados do poço e, com isso, evitar a contaminação do fluido de completação a ser deslocado para o poço;
- (iv) colchão espaçador: formulações químicas utilizadas para deslocar fluidos dos poços antes da utilização de outros fluidos, sendo sua principal função a separação de fluidos que podem ser incompatíveis entre si;
- (v) colchão traçador: é um fluido de base aquosa, de fácil visualização submarina, cuja função é a indicação de chegada da frente do fluido que se deseja deslocar ou bombear;
- (vi) *packer* fluido: é um fluido de completação, ocasionalmente deixado no espaço anular do poço após a etapa de completação.

No passado, a grande maioria dos fluidos de perfuração utilizados no mundo era de base aquosa. Contudo, devido a dificuldades técnicas ou comprometimento da segurança operacional, os fluidos de

perfuração à base de água não conseguiram atender alguns dos novos desafios que foram surgindo com a evolução da tecnologia, como, por exemplo, perfuração direcional ou em grandes profundidades. Nessas situações, o uso de fluidos à base de água tornaria a perfuração lenta, custosa e geraria uma quantidade maior de resíduos (EPA, 1999; VEIGA, 2010).

Apesar das inúmeras vantagens técnicas oferecidas, os fluidos de base de óleo diesel se tornaram alvo de intensos estudos de avaliação quanto aos impactos ambientais devido aos altos teores de hidrocarbonetos aromáticos e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). A necessidade de se utilizar fluidos de alto desempenho e adequados do ponto de vista ambiental conduziu ao aparecimento dos fluidos de base de óleo mineral e de outras bases não aquosas, minimizando assim o lançamento de hidrocarbonetos nos ecossistemas marinhos (VEIGA, 2010; FIALHO, 2012). Dessa forma, a partir do final da década de 80, os FPBNA passaram a adquirir importância crescente e estratégica, em função do rigor progressivo da legislação ambiental internacional.

Em face à impossibilidade do seu descarte no mar e, levando-se em consideração as boas práticas da indústria de óleo e gás, os FPBNA são reaproveitados de um poço para o outro ou de um projeto para o outro. E, para isso, pode ser feito o condicionamento previamente ao reúso do fluido a bordo; que pode ser uma simples correção das propriedades de cisalhamento do fluido, ou pode ser necessária a adição de produtos químicos ou o seu recondicionamento após transferência para a planta de fluidos em terra.

1.2 Tipologia de resíduos gerados

A atividade de perfuração marítima, assim como qualquer outra atividade industrial, gera diversos tipos de resíduos. Neste estudo serão avaliados especificamente os fluidos de perfuração que não serão reutilizados e o cascalho que, devido aos volumes gerados, podem se tornar um desafio tanto logístico quanto ambiental, técnico e econômico, se as alternativas de tratamento e destinação final não forem adequadas.

Esta realidade é reforçada por Borges-Campos et al. (2016) que afirma: "cascalho e fluidos de perfuração constituem os principais resíduos gerados durante a perfuração" (REIS, 1996; USEPA, 2000).

De acordo com Almeida (2016), a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estima uma geração de 0,2 a 2,0 barris de cascalho gerado (0,03 a 0,32m³) por metro perfurado. Para os poços da Bacia de Campos, Schaffel (2003 *apud* ALMEIDA, 2016) reporta uma geração entre 1,2 e 1,6 barril (0,19 a 0,25m³) de cascalho por metro perfurado, o que corrobora com os volumes indicados pela EPA.

O quadro 1, a seguir, apresenta os principais tipos de resíduos associados aos fluidos e cascalho, sendo estes e suas variações o foco deste estudo.

Quadro 1 – Tipos principais de resíduos

Resíduos	Descrição
Fluidos de perfuração de base aquosa (FPBA)	Fluidos de perfuração ou complementares que, devido à contaminação ou degradação, não possuem as propriedades necessárias para uso ou não atendem ao critério de ecotoxicidade para descarte no mar.
Fluidos de perfuração de base não aquosa (FPBNA)	Fluidos de perfuração ou complementares não enquadrados para o uso ou reúso devido à contaminação, em geral, por óleo da formação.
Cascalho com FPBA aderido	Fragmentos originados pela ação da broca sobre a rocha ou cimento curado, apresentando FPBA contaminado aderido ao mesmo e que não atendem às propriedades necessárias ao descarte no mar.
Cascalho com FPBNA aderido	Fragmentos originados pela ação da broca sobre a rocha ou cimento curado, apresentando FPBNA aderido ao mesmo e que não atendem às propriedades necessárias ao descarte no mar.

Há ainda outros tipos de resíduos gerados durante as operações, relacionados à perfuração, que não aqueles supracitados, conforme quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Outros tipos de resíduos gerados na perfuração

Resíduos	Descrição
Resíduos de cimentação	Excedente da pasta de cimento.
Efluentes da perfuração	São considerados como efluentes da perfuração as águas de lavagem dos tanques de fluidos (IBAMA, 2018).
Efluentes da cimentação	São considerados como efluentes da cimentação a pasta de cimento e água de mistura excedente nos tanques, assim como a água de lavagem do sistema de cimentação (IBAMA, 2018).
Sólidos sedimentados nos tanques das embarcações	Com FPBA ou FPBNA contaminado ou não por óleo da formação e outras substâncias químicas.

Ressalta-se que os resíduos apresentados no quadro 2 não serão abordados neste estudo por não se apresentarem como um desafio da mesma magnitude, por serem destinados conjuntamente com alguns dos resíduos foco deste estudo ou por não terem tido suas formas de destinação final influenciadas pela Instrução Normativa Ibama nº 1/2018, assim como os FPBAs e FPBNAs.

A depender das características de cada poço, o fluido a ser utilizado sofrerá a adição de outros compostos, com foco na eficiência operacional. Essa alteração na formulação básica, específica para cada poço, interfere diretamente na composição do resíduo resultante da utilização do fluido. Em relação ao cascalho, Almeida (2016) afirma que as características do cascalho gerado são influenciadas pelo tipo de formação perfurada, sistema de fluidos utilizado, tipo de broca e velocidade da perfuração.

Dessa forma, pode-se subdividir os principais tipos de resíduos, apresentados anteriormente no quadro 1, de acordo com suas características físico-químicas. No quadro 3, a seguir, são apresentados os tipos de resíduos gerados, subdivididos de acordo com suas características físico-químicas.

Quadro 3 – Tipos de resíduos gerados, subdivididos de acordo com suas características físico-químicas

Resíduo	Especificação
Cascalho	Com FPBA aderido, sem contaminação.
	Com FPBA aderido, contaminado com óleo livre ou de outra forma, fora das especificações para descarte.
	Gerado na zona produtora (reservatório), com FPBA aderido.
	Com FPBNA aderido, cujo teor de base orgânica aderida exceda o limite permitido.
	Com FPBNA aderido, sem contaminação e dentro dos padrões de biodegradabilidade/ecotoxicidade (ex.: olefina), cujo teor de base orgânica atenda aos limites permitidos.
	Com FPBNA aderido, sem contaminação e fora dos padrões de biodegradabilidade/ecotoxicidade (ex.: parafina).
	Com FPBNA aderido, contaminado com óleo livre ou de outra forma, fora das especificações para descarte.
Fluidos de base aquosa	Degradado e/ou não atende a requisito de descarte.
	Contaminado com óleo da formação ou de outra forma (ex.: contaminado com FPBNA durante troca de fluido).
Fluidos de base não aquosa	Contaminado com óleo da formação ou de outra forma, fora das especificações para reaproveitamento.

Frente à necessidade de enquadramento do cascalho às diretrizes ambientais e face ao custo dos fluidos de perfuração, faz-se necessário o tratamento dos fluidos e cascalho gerados durante a perfuração de poços (ALMEIDA, 2016). No capítulo 2 deste estudo são apresentadas as formas e tecnologias de tratamento e destinação final dos resíduos gerados na perfuração.

1.3 Visão geral do cenário regulatório para o descarte de fluidos e cascalho no mar

É notório que as atividades de empresas petrolíferas geram volumes significativos de resíduos. Especificamente na perfuração destacam-se os fluidos de perfuração e cascalho cujo gerenciamento adequado exige avaliação de diversos aspectos, tais como: características físico-químicas e toxicológica dos fluidos e cascalho, quantidade gerada, sensibilidade da área de operação, tecnologias disponíveis para tratamento e redução, infraestrutura adequada para disposição final e segurança operacional.

Durante a transição dos anos 80 para os anos 90, a consciência ambiental global aumentou e a indústria de petróleo e gás, juntamente com seus reguladores, começou a entender e avaliar o impacto ambiental potencial dos resíduos de perfuração (GEEHAN et al., 2006).

Nesse contexto, tanto no Brasil como internacionalmente, esforços vêm sendo empreendidos, mais intensamente nas três últimas décadas, para estudar e desenvolver instrumentos regulatórios com o objetivo de criar padrões e parâmetros para uso e descarte de fluidos e cascalho e, assim, minimizar os possíveis impactos relacionados à atividade por meio da adoção das melhores práticas disponíveis.

A seguir, são apresentados alguns dos mais importantes instrumentos normativos/regulatórios em vigor no mundo e discutidas suas principais características. Foram selecionadas cinco regiões distintas no planeta, sendo elas: Angola, Austrália, Brasil, EUA (Golfo do México) e Mar do Norte.

1.3.1 Angola

O Decreto Executivo 97/2014, é o instrumento legal que estabeleceu regras e procedimentos sobre a gestão de descartes operacionais gerados no decorrer das operações de petróleo, tanto em terra como no mar, no qual estão inclusas as orientações referentes aos descartes relacionados a fluidos e cascalho.

No que tange à autorização para uso dos fluidos, a estratégia é voltada para a avaliação, de forma individual, dos produtos químicos que serão utilizados e não do fluido como todo. Os parâmetros e testes exigidos são o primeiro indicativo de que a preocupação do órgão regulador se concentra no uso de fluidos de base não aquosa.

Durante a operação de perfuração com fluido de base aquosa, o descarte tanto do fluido como do cascalho associado é permitido sem prévio tratamento, impondo-se apenas limite ao fluxo de descarte em 1.000 barris por hora. Em comparação com as demais regiões avaliadas, Angola é a que possui abordagem menos restritiva no gerenciamento dessa corrente de resíduo.

Já nas fases em que se perfura usando fluido de base não aquosa, o decreto angolano está entre os mais restritivos. Para essa operação exige-se o cenário comum denominado de "descarte zero", que proíbe o descarte de fluidos e cascalho gerados.

Entretanto, deve-se pontuar uma exceção importante determinada pelo decreto: para o cascalho gerado durante a perfuração de rochas salinas com fluido de base não aquosa, é permitido o descarte deste cascalho desde que o "grau de retenção do óleo nas aparas" seja inferior a 1%. Apesar de impreciso, infere-se que 1% se refira ao teor orgânico aderido ao cascalho, seja proveniente da base orgânica ou até mesmo do eventual óleo da formação.

Mesmo com a proibição total de descarte de cascalho com fluido de perfuração de base não aquosa, o governo angolano excetua o cascalho proveniente de rochas salinas. Esta medida, favorece que este tipo de cascalho seja descartado no mar, evitando a destinação final em terra e o tratamento de matrizes essencialmente salinas. Em Angola, tal como nas principais áreas estudadas, não se observa proibição de descarte de fluido de base aquosa no mar.

Para o Brasil, o tratamento diferenciado de rochas salinas possui relevância particular devido à similaridade com o que é encontrado na principal fronteira de exploração brasileira, o pré-sal.

1.3.2 Austrália

Na Austrália, o órgão responsável por regular as atividades de perfuração é o Departamento de Minas e Petróleo, e o faz por meio das diretrizes apresentadas no *Petroleum and geothermal energy resources (resource management and administration) regulations 2015* (WESTERN AUSTRALIA, 2015). Para tratar especificamente do tema de fluidos de perfuração e cascalho, o governo australiano elaborou o guia *Petroleum guidelines - drilling fluids management* (WESTERN AUSTRALIA, s.d.).

O cenário regulatório australiano apresenta uma abordagem holística ao processo de licenciamento. Os requisitos e critérios são definidos caso a caso para cada operação com base em avaliações de risco e plano de gerenciamento ambiental, que levam em conta fatores como: justificativa técnica para uso do fluido proposto, sensibilidade ambiental da área, metodologia/tecnologia empregadas na disposição de cascalho e *performance* ambiental do fluido.

No que tange aos critérios e limites para uso de produtos químicos e fluidos, o regulamento detalha os parâmetros e respectivas metodologias que devem ser avaliados, porém não define os limites de aceitação para cada teste, com exceção da exigência de teor de aromáticos <1% para bases orgânicas.

Vale ressaltar o modelo de avaliação de toxicidade, (quadro 4 abaixo), que define faixas de concentração (relacionadas ao limite de concentração letal - LC50) e, a depender do cenário e sensibilidade da área explorada, os fluidos classificados como até "levemente tóxico" são aceitáveis.

Quadro 4 – Faixa de avaliação de toxicidade de fluidos

Classe	Concentração (LC50)
Não tóxico	> 100.000 ppm
Quase não tóxico	10.000 - 100.000 ppm
Levemente tóxico	1.000 - 10.000 ppm
Moderadamente tóxico	100 - 1.000 ppm
Tóxico	1 - 100 ppm
Muito tóxico	< 1 ppm

Fonte: Western Australia, s.d.

Para cascalho associado a fluidos de perfuração de base aquosa, o descarte é permitido sem restrições, desde que o fluido tenha sido aprovado para uso.

Já para o cascalho contaminado com fluido de perfuração de base não aquosa, o descarte é permitido desde que o fluido tenha sido aprovado para uso e atenda ao limite de <10% de teor de base orgânica associada ao cascalho - entre os regulamentos analisados é o que possui maior tolerância nesse requisito.

Por fim, nota-se na regulamentação do país que há uma grande preocupação com a formação de pilhas de cascalho, pois o guia traz uma seção que trata especificamente deste tema.

1.3.3 EUA (Golfo do México)

A Agência de Proteção Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency - EPA) é referência na regulação das atividades de perfuração e serviu como base para alguns países na construção de seus próprios requisitos legais. Por meio da Regulação Federal 40 CFR 435, são definidos as diretrizes e os limites de efluentes provenientes da atividade O&G. Entre todos os instrumentos legais, é o que oferece mais detalhes. A característica mais marcante da 40 CFR 435 é a apresentação em detalhe das premissas utilizadas no processo de definição dos requisitos e parâmetros estabelecidos pela norma. Há extensiva informação sobre testes, amostragens, revisão de tecnologias, revisão de dados históricos, colaboração com a indústria e avaliações de impacto que serviram como subsídios para a tomada de decisão do órgão regulador. Entre as principais características da 40 CFR 435 está a adoção do conceito de melhor tecnologia disponível economicamente alcançável (*best available technology economically achievable* - BAT) como ferramenta na escolha de testes, critérios e parâmetros aplicados para a prevenção e controle do impacto causado por potenciais poluentes. A EPA foi pioneira no desenvolvimento de metodologias, testes e padrões ambientais específicos para o uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalho. Destacam-se aqui as abordagens para avaliação de biodegradabilidade de bases não aquosa e toxicidade de fluidos, que são hoje amplamente utilizadas no mundo como ferramentas durante processos de licenciamento.

Antes de abordar os critérios para uso de fluidos, a norma faz uma interessante contextualização do tema, apresentando análises de aspectos que vão desde *performance* ambiental até análises de impacto econômico. Entre elas, por exemplo, está a investigação da *performance* operacional dos fluidos de perfuração fazendo um comparativo entre a taxa de perfuração em cada cenário, já que o tempo de operação da sonda tem impacto direto na emissão de poluentes não associados ao descarte no mar, tal como a emissão atmosférica. Conclui-se que o tempo de perfuração ao se usar fluido de base não aquosa é em média 50% menor quando comparado ao uso de fluidos de base aquosa.

Para fluidos de perfuração não aquosos, a base do fluido definida como padrão é a olefina interna C1618 devido ao seu desempenho de biodegradabilidade em cenários anaeróbicos. A EPA entende que nas condições de descarte do Golfo do México, o ambiente anaeróbico é aquele mais frequente - bases orgânicas com *performance* inferior, tais como parafinas lineares, têm seu descarte proibido. Além da biodegradabilidade, é avaliada também a presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na base orgânica e de metais pesados em baritina (teor de Cd e Hg), esse último requisito aplicando-se também à baritina utilizada para os fluidos de base aquosa.

O descarte de cascalho associado com fluido de base não aquosa (FPBNA) deve atender a limites de teor de base orgânica (6,9% ou 9,4%), dependendo do tipo de base utilizada e o monitoramento é realizado pelo resultado de teste de retorta em amostras de cascalho. Previamente ao descarte, é mandatário que se faça um teste chamado *reverse phase extraction* (RPE) para determinar se no FPBNA há contaminação por óleo bruto (petróleo) proveniente da formação que está sendo perfurada. O RPE é um teste de fácil execução e realizado na própria plataforma.

Para definição dos limites de base orgânica em cascalho, a agência reguladora utilizou como subsídios estudos de campo e revisão de literatura científica, que indicaram: (1) o cascalho se dispersa na coluna d'água no trajeto até o fundo do mar e pilhas de cascalho não são formadas quando a concentração de fluido base é mantida abaixo de 5%; (2) descarte de cascalho processado por secador de cascalho em combinação com *flush* de água do mar hidrata muito rapidamente e se dispersa como cascalho com fluido de base aquosa; (3) *performance* ambiental refletida pela toxicidade em sedimento e potencial de biodegradabilidade e (4) pesquisas no fundo do mar que confirmam a capacidade de recuperação total da área afetada pelo descarte em um prazo de 3 a 5 anos. O desenvolvimento de teste de ecotoxicidade com organismos marinhos é outra importante contribuição da EPA nos esforços de medir o potencial impacto ambiental dos fluidos. A LC50 (concentração média letal para 50% dos organismos do teste) é o indicador utilizado para valores de toxicidade aguda. Para fluidos de perfuração de base aquosa esse é o principal requisito para uso, estando aprovados aqueles cujo resultado seja de LC50 > 30.000 ppm da FPS segundo a ABNT NBR 15.308 e ABNT NBR 15.469.

Já para fluidos de perfuração de base não aquosa, a ecotoxicidade é estimada por meio de teste em sedimento. A avaliação é feita comparando-se a *performance* do fluido com aquela do fluido referência, olefina interna C1618, cujas propriedades variam de acordo com o peso do fluido de perfuração sendo analisado.

O descarte de fluido de base aquosa e cascalho associado é permitido desde que não se identifique presença de óleo da formação através do teste de iridescência estática, mais conhecido como *sheen test*. Assim como RPE no fluido não aquoso, constitui-se de um teste rápido e de fácil execução na plataforma, feito previamente ao descarte. Caso se identifique brilho em amostras de fluido de perfuração ou cascalho, elas devem ser recolhidas e transportadas para destinação final em terra.

Quanto ao monitoramento, em alguns casos, a norma oferece meios alternativos para comprovar *compliance*, adotando a filosofia de melhores práticas ambientais (*best management practices* – BMPs). Testes de retorta para comprovar atendimento ao limite de base orgânica, por exemplo, podem ser substituídos por evidências documentais que demonstrem a perfeita operação do secador de cascalho, tais como relatórios de manutenção, procedimentos, treinamentos etc.

Por fim, é importante observar que a US-EPA, durante sua reestruturação regulatória, também considerou a aplicação do cenário de "descarte zero" de cascalho associado a fluido de perfuração de base não aquosa, em conjunto com outros cenários. Por meio de um detalhado estudo comparativo das opções e por considerar os impactos em toda a cadeia produtiva, os aportes de poluentes decorrentes de cada opção considerada, as melhores tecnologias disponíveis à época e as questões econômicas associadas, optou-se por estabelecer a permanência do descarte de cascalho associado a fluido de perfuração de base não aquosa limitado ao valor máximo de 6,9% mm (massa/massa), tal como é aplicado no Brasil.

1.3.4 Mar do Norte

Os países que operam no Mar do Norte atendem às recomendações e decisões da Oslo and Paris Conventions (Ospar) e entre os documentos reguladores está a Ospar Decision 2000/3 que trata do uso de fluidos de perfuração de base orgânica e descarte de cascalho associado. O Mar do Norte se distingue dos demais modelos regulatórios por tratar de forma descentralizada o processo de avaliação e licenciamento, contando com a participação de diversos órgãos em etapas distintas.

Outra característica que merece destaque é a filosofia que deu suporte à construção dos instrumentos regulatórios. Nessa região, optou-se por adotar predominantemente a filosofia de controle das substâncias químicas utilizadas nos fluidos de perfuração. Cada substância, que compõe cada produto químico, que por sua vez, constitui cada fluido, é avaliada quanto aos seus respectivos potenciais impactos. Estabelecem-se, portanto, critérios mais complexos, mas não necessariamente mais restritivos, para uso e descarte de fluidos e cascalho. O "descarte zero", nessa região, está associado, principalmente, à proibição de descarte de substâncias classificadas como nocivas ao meio ambiente.

Enquanto na região do Golfo (US-EPA) e no Brasil regula-se para o valor máximo de base orgânica residual no cascalho a ser descartado em 6,9% (massa/massa), no Mar do Norte (Ospar) o valor é de 1%. Este último valor exigido faz com que algumas operadoras, por vezes, prefiram recolher o cascalho com fluido não aquoso aderido, transferindo-o para o continente. Há equipamentos de processamento térmico que podem ser instalados a bordo para atendimento à exigência de 1%, todavia, apresentam vazões de processamento limitada e, por isso, podem não atender às taxas de geração de cascalho, que algumas etapas de perfuração do poço impõem.

Devem ser consideradas pelo operador as opções para o gerenciamento de resíduos da atividade de perfuração, segundo a hierarquia estabelecida. Preferencialmente, a regulação norueguesa motiva que medidas para a redução dos descartes de cascalho com base não aquosa associada sejam implementadas. Opções de reúso da base orgânica recuperada e medidas de reciclagem/recuperação também devem ser consideradas.

Contudo, se apesar da adoção dessas medidas, ainda se fizer necessária a disposição final de resíduo de cascalho associado a fluido de perfuração de base não aquosa, as seguintes opções devem ser consideradas: desembarque costeiro para posterior tratamento, reinjeção, descarte no mar do cascalho seco (limitado a 1% m/m do teor de base orgânica aderida) e, até mesmo, o descarte de cascalho que não atenda ao valor estabelecido para o teor de base orgânica remanescente.

As opções acima devem ser avaliadas caso a caso pelas autoridades competentes.

Como mencionado, a estratégia de aprovação do uso de fluidos está relacionada às substâncias químicas, sendo que todas aquelas que compõem a formulação devem atender aos requisitos e diretrizes da Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). Essa abordagem traz o aspecto interessante da avaliação da *performance* ambiental, permitindo às operadoras flexibilidade no uso de formulações distintas para atendimento a cenários operacionais diferentes.

Para fluidos e cascalho de base aquosa não há restrição para o descarte, desde que as substâncias químicas estejam de acordo com as regras da REACH.

Entende-se que a maior contribuição da Ospar tenha sido incentivar, por meio de seus regulamentos e diretrizes, o desenvolvimento de tecnologias para tratamento e destinação final de cascalho, ainda que com restrições de vazões de processamento.

1.3.5 Mar de Barents (Noruega)

O Mar de Barents foi o único local onde efetivamente se aplicou a política de descarte zero na Noruega. Com o propósito de garantir o uso sustentável dos recursos naturais e, como consequência, manter e preservar a diversidade daquele ecossistema, o governo criou o *Integrated management plan for the marine environment of the barents sea-lofoten area* com diretrizes para realização de atividades, tais como: exploração de petróleo e pesca. O plano integrado de gerenciamento foi desenvolvido tendo como filosofia o princípio da precaução, que se baseia na aversão ao risco em cenários de incerteza.

Implementado em 2003, o plano permitia apenas o descarte de cascalho e fluidos das primeiras fases (sem retorno) do poço, desde que nenhum produto perigoso fosse usado em sua composição, requisito este significativamente mais restritivo do que aquele aplicado nas demais áreas da Noruega.

Entretanto, no momento da implantação do plano, o governo reconhecia que havia um *gap* de conhecimento que deveria ser suprido através de monitoramento e estudos, em um esforço conjunto de colaboração entre agentes públicos e privados, possibilitando o entendimento de potenciais impactos ambientais e ajustes ao plano.

Em 2011 o governo da Noruega revisou e atualizou o plano, abandonando a política de descarte zero e adotando para o Mar de Barents os mesmos requisitos aplicados às demais regiões da Noruega. Essa decisão teve como subsídio o conhecimento adquirido com estudos e avaliação dos solos oceânicos que concluíram: (1) o descarte de cascalho não oferecia impactos significativos; (2) o transporte de cascalho e fluido para a área costeira resulta em elevada emissão atmosférica e (3) o sistema de transporte de cascalho com fluido de base aquosa não é eficiente, sendo necessário uso de caçamba e içamento de cargas e incrementando o risco às pessoas.

O caso do Mar de Barents é um exemplo atual da evolução de requisitos legais suportado por análises e estudos que avaliam as melhores alternativas, caso a caso.

1.3.6 Reino Unido

A Convenção Ospar (em especial o Anexo III) é a principal regulamentação das descargas oleosas no Mar do Norte. O Reino Unido, como país integrante da convenção é, portanto, obrigado a implementar as decisões e recomendações feitas pelas comissões.

Entretanto, uma particularidade do Reino Unido, não observada em outras áreas da região, é a restrição para descarte de cascalho da zona portadora de óleo (*pay zone*), na fase reservatório. Na zona portadora de óleo é permitido descartar cascalho associado a fluido de base aquosa e a fluido de base não aquosa, desde que atendido o requisito de 1% de base residual no cascalho processado. Além disso, o descarte de cascalho é monitorado quanto ao seu conteúdo de óleo cru, por análise de retorta, com no mínimo cinco amostras coletadas ao longo da extensão do trecho perfurado. A depender do

teor de óleo verificado e da locação onde se encontra o poço, o órgão ambiental poderá decidir pelo não descarte. Se a decisão da operadora for a de reinjeção do cascalho, estará dispensada do referido monitoramento.

1.3.7 Brasil

O instrumento regulatório adotado pelo órgão ambiental em grande parte se assemelha ao regulamento federal 40 CFR 435 da EPA, tanto no que diz respeito aos requisitos e especificações, como no modelo de gestão de licenciamento. O DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 entrou em vigor no dia 30 de junho de 2018, conforme estabelecido pela IN nº 08/2018.

Antes da entrada em vigor da DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8, não havia norma específica para regulamentar o uso de fluidos de perfuração, complementares e pasta de cimento, os quais eram previamente aprovados em processo administrativo específico conforme determinado nos termos de referência (TR) emitidos pelo Ibama para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA). As empresas solicitavam a abertura do processo por meio de ofício e recebiam do órgão ambiental documento com as instruções para aprovação de fluidos de perfuração e complementares. Ao longo do tempo, o conteúdo das instruções emitidas foi sofrendo alterações com a inclusão ou alteração de algum requisito, o que trazia certa imprevisibilidade ao processo.

O antigo processo administrativo não tratava também das condições para descarte de fluidos e cascalho, estas eram reguladas por meio das diretrizes apresentadas no TR para elaboração do EIA.

No entanto, existem requisitos específicos no DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 que a diferenciam de forma significativa das práticas adotadas no Golfo do México (Gulf of Mexico - GOM), a serem discutidas a seguir.

O primeiro ponto que merece destaque é a proibição de descarte de fluido e cascalho, seja o primeiro de base aquosa ou sintética, que tenham sido gerados durante a perfuração de fases de reservatório, conforme constava na DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8: "Não será permitido o descarte em águas marinhas de cascalho com fluidos aquosos e não aquosos aderidos, gerados nas fases de reservatório (ou zonas produtoras) dos poços".

O órgão regulador não permite uso de alternativas para controle do descarte no mar desses compartimentos, tais como o monitoramento da contaminação e o uso de tecnologias para tratamento *offshore*, caso a contaminação seja identificada, a exemplo do que é feito em operações de produção. Cabe ressaltar que para atividades com licença de operação emitida antes da entrada em vigor da DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8, a aplicação desse requisito ficou prorrogada para 30 de setembro de 2019, conforme estabelecido pela IN nº 16/2018.

Segundo o Ibama (2014), desde o início do licenciamento das atividades de perfuração *offshore*, os procedimentos estabelecidos para aprovação do uso e descarte de fluidos e cascalho de perfuração baseavam-se na avaliação prévia das características físico-químicas e ecotoxicológicas dos fluidos de perfuração apresentadas pelas empresas operadoras.

Em 2014, devido à necessidade de reformulação dos procedimentos para regulação do uso e descarte de fluidos e cascalho gerados foi posta em consulta pública uma minuta de nota técnica elaborada pela

Coordenação Geral de Petróleo e Gás, da Diretoria de Licenciamento Ambiental do Ibama, a respeito das diretrizes para uso e descarte de fluidos e cascalho de perfuração.

Outro aspecto relevante é a aplicação pelo Ibama de metodologias e requisitos originalmente empregados pela US-EPA para avaliar as condições ambientais de uso e descarte de fluidos e cascalho. O órgão ambiental brasileiro os adota também como ferramentas para monitoramento de impacto ambiental durante a operação de perfuração. Previamente ao descarte, e adicionalmente ao *sheen test*, a DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 exige a coleta de amostras pré-descarte para avaliação de ecotoxicidade e teor de HPA, condicionando o descarte ao atendimento aos limites especificados para esses testes. Por não haver possibilidade de realização de alguns ensaios mais robustos a bordo das sondas, alguns resultados são obtidos após o lançamento de fluidos e cascalho ao mar, o que pode comprometer o propósito do monitoramento.

Um fato relevante é a recente publicação da Instrução Normativa nº 11/2019 (IN 11/2019), que entrou em vigor dia 14 de março de 2019. Em seu artigo 1º suspende o início da DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 até a manifestação definitiva da Advocacia Geral da União (AGU) para a resolução da divergência jurídica entre os órgãos de assessoramento jurídico do Ibama e da ANP. Tal divergência residia na aplicabilidade da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, no que se refere ao descarte de fluidos e cascalho de perfuração. O impasse foi solucionado pela AGU que entendeu que não haveria que se aplicar a PNRS como base para elaboração dos requisitos normativos, conforme feito pelo Ibama ao longo da IN nº 01/2018. De tal forma, se fará necessário a revisão da DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 para adequação, sendo que ela permanecia suspensa até o momento da conclusão deste estudo.

Por fim, devido ao vácuo regulatório causado pela suspensão da IN nº 01/2018, com possibilidade de gerar instabilidade no licenciamento de novos empreendimentos, o Ibama por meio do Despacho nº 5540547/2019-GABIN determinou a adoção obrigatória no âmbito do licenciamento ambiental das "Diretrizes para o uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalho, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos de perfuração marítima de poços de exploração e produção de petróleo e gás nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de petróleo ou gás" (SEI 5533803).

As diretrizes nesse documento, atualmente em vigor, no geral reproduzem as boas práticas adotadas pela EPA no Golfo do México, sendo, no entanto, mais restritivo quanto ao limite permitido de teor de base orgânica aderida ao cascalho descartado:

o cascalho descartado não deverá exceder o limite de 5,9% no caso de n-parafinas, olefinas internas (IO's), olefinas alfas lineares (LAO), polialfa olefinas (PAO) e fluidos a base de óleo mineral tratados ou de 7,9% de base orgânica no caso de ésteres, éteres e acetais. Caso tenha sido empregado num mesmo fluido mais de um tipo de base orgânica (i: n-parafinas, olefinas, internas, olefinas alfa lineares, polialfa olefinas e óleo mineral tratado; ii: ésteres, éteres e acetais) deve-se empregar como valor de referência para o teor de base orgânica aderida ao cascalho, o valor mais restritivo, ou seja, 5,9% m/m.

Cabe destacar que:

- » nesse trecho, a menção às bases orgânicas n-parafina e óleo mineral é inconsistente com a prática adotada pelo EPA e também com o próprio critério definido no SEI 5533802, cujo uso é permitido mediante avaliação do potencial de biodegradabilidade pelo método EPA 1647, que não é atendido pelas bases supracitadas;
- » está suspenso o “descarte zero” durante a perfuração da fase de reservatório.

O quadro 5 a seguir apresenta o sumário comparativo entre os requisitos regulatórios das cinco regiões abordadas. O foco da comparação foi exclusivamente avaliar os requisitos técnicos para uso e descarte de fluidos e cascalho durante operações de perfuração. Não foi objeto de análise a avaliação dos aspectos processuais para o licenciamento legal como: procedimentos, tempo e custos médios até a obtenção de autorização pelas operadoras.

Quadro 5 – Sumário comparativo entre os requisitos regulatórios em Angola, Austrália, Brasil, Golfo do México e Mar do Norte

	Angola	Austrália	GOM	Mar do Norte/Reino Unido	Brasil
Principais instrumentos regulatórios	Decreto Executivo nº 97/14 - 8 de abril de 2014.	Petroleum and Geothermal Energy Resources Regulations 2015; Petroleum Guidelines – Drilling Fluids Management	40 CFR 435	OSPAR Decision 2000/3; 1992 OSPAR Convention; Reino Unido: Offshore Chemical Regulations 2002, and (Amendment) 2011 Offshore Petroleum Activities 2005 (Amendment 2011)	SEI Ibama 5533803
Escopo do regulamento	Gestão de descartes operacionais para atividades de óleo e gás, em mar e terra.	Diretrizes para gerenciamento de fluidos de perfuração e cascalho	Diretrizes para limitações de efluentes e padrões para uso de fluidos	Uso e descarte de químicos, incluindo fluidos de perfuração	Diretrizes que regulamentam as condições ambientais de uso e descarte de fluidos, cascalho e pastas de cimento nas atividades de perfuração marítima de poços de petróleo e gás
Condições para uso de FPBNA	A avaliação é feita por produto químico que compõe a formulação do fluido. Base orgânica com teor de aromáticos no fluido de base >1% é proibida. Os produtos devem atender: Orgânicos: • Biodegradabilidade (28 dias) OECD 301A e 301E > 70% • Biodegradabilidade (28 dias) OECD 301B, 301C, 301F ou 306 > 60% • Toxicidade LC50 ou EC50 >10mg/l • Bioacumulação <i>log pow</i> <=3, ou MW < 700 Inorgânicos: • Toxicidade LC50 ou EC50 >1mg/l • Bioacumulação <i>log pow</i> <=3, ou MW < 700	Base orgânica com teor de aromáticos no fluido de base >1% é proibida. A aprovação é concedida caso a caso com base na avaliação dos critérios: Biodegradabilidade: • OECD 301 e 306 (fluido de base e fluido de perfuração) – não define limite para aprovação • ISO 11734 Toxicidade: • Apenas no fluido de perfuração • Aguda e crônica via OECD – não especifica metodologia. Aguda deve ser feita em três microrganismos diferentes. • Limite de aprovação depende do cenário, mas usualmente > 1.000 ppm. • Bioacumulação: <i>log pow</i> > 7	Uso de diesel é proibido. A aprovação é concedida atendendo aos seguintes limites: Biodegradabilidade: • EPA 1647, <i>performance</i> igual ou superior à olefina interna C1618 Toxicidade em sedimento: • EPA 1644 e 1646, LC50 <i>performance</i> igual ou superior à olefina interna C1618 ou fluido de perfuração padrão Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: • EPA 1654, teor HPA < 10 ppm Conteúdo Hg e Cd em baritina: • 40 CFR Part 136 Hg < 1 ppm Cd < 3 ppm	Uso de diesel é proibido Uso na fase inicial do poço é proibido – exceções podem ser concedidas por razões geológicas ou de segurança A autorização para uso é feita com base em avaliação individual de cada produto que compõe a formulação do fluido, de acordo com diretrizes da REACH	A aprovação é concedida atendendo aos seguintes limites: Biodegradabilidade: • EPA 1647, <i>performance</i> igual ou superior à olefina interna C1618 • Toxicidade em sedimento: • EPA 1644 e 1646, LC50 <i>performance</i> igual ou superior a olefina interna C1618 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: • EPA 1654, teor HPA < 10 ppm Conteúdo Hg e Cd em baritina: • EPA 7471 Hg < 1 ppm • EPA 610 Cd < 3 ppm Solicita também análise de concentração de outros 12 metais, mas sem definir limites de aprovação (*Nota: As bases orgânicas que não atenderam aos requisitos de toxicidade e biodegradabilidade poderão ser usadas, entretanto deverão atender ao modelo 100% de descarte zero)
Condições para uso de FPBA	<i>Vide</i> critérios para produto em "Condições para uso de FPBNA"	Toxicidade: • Aguda e crônica via OECD – não especifica metodologia. Aguda deve ser feita em três microrganismos diferentes. • Limite de aprovação depende do cenário, mas usualmente > 1.000 ppm.	A aprovação é concedida atendendo aos seguintes limites: Toxicidade aguda: • EPA 1619, LC50 > 30.000 ppm Conteúdo Hg e Cd em baritina: • 40 CFR Part 136 Hg < 1 ppm Cd < 3 ppm	A autorização para uso é feita com base em avaliação individual de cada produto que compõe a formulação do fluido, de acordo com diretrizes da REACH	A aprovação é concedida atendendo aos seguintes limites: Toxicidade aguda: • NBR 15308 e 15469, LC50 > 30.000 ppm Conteúdo Hg e Cd em baritina: • EPA 7471 Hg < 1 ppm • EPA 610 Cd < 3 ppm Solicita também análise de concentração de outros 12 metais, mas sem definir limites de aprovação
Condições para uso de fluidos complementares	Não há critérios específicos definidos	Não há critérios específicos definidos	Não há critérios específicos definidos	A autorização para uso é feita com base em avaliação individual de cada produto que compõe a formulação do fluido, de acordo com diretrizes da REACH	<i>Vide</i> critérios para produto em "Condições para uso de FPBNA"
Condições para descarte de FPBNA	Proibido o descarte	Proibido o descarte	Proibido o descarte	Proibido o descarte	Proibido o descarte
Condições para descarte de FPBA	Fluxo máximo de descarte < 1.000 bbl/h	Descarte permitido sem nenhuma restrição	Descarte permitido desde que se confirme ausência de óleo livre determinado por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617	Descarte permitido sem nenhuma restrição	Proibido o descarte de fluidos utilizados na fase de reservatório (ou zona produtora) Nas demais fases, o descarte é permitido desde que: • Se confirme ausência de óleo livre determinada por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617 • Valor de HPA < 10 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte • Valor de toxicidade > 30.000 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte
Condições para descarte de fluidos complementares	Não há critérios específicos definidos	Não há critérios específicos definidos		Permitido o descarte respeitando a concentração máxima de contaminação por óleo de 30mg/l	Proibido o descarte de fluidos utilizados na fase de reservatório (ou zona produtora) Nas demais fases, o descarte é permitido desde que: • Se confirme ausência de óleo livre determinado por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617 • Valor de HPA < 10 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte • Valor de toxicidade > 30.000 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte Não será permitido o descarte de fluido complementar que contiver óleo diesel, cromo hexavalente, lignosulfonato de ferrocromo, lignosulfonato de cromo, ligas de ferrocromo ou brometo de zinco (ZnBr ₂)

Quadro 5 – Sumário comparativo entre os requisitos regulatórios em Angola, Austrália, Brasil, Golfo do México e Mar do Norte (continuação)

	Angola	Austrália	GOM	Mar do Norte/Reino Unido	Brasil
Condições para descarte de cascalho com FPBNA aderido	Proibido o descarte, é considerado resíduo perigoso. Deve ser transportado para a terra para tratamento e disposição final, com exceção do cascalho resultante de perfuração de zonas salinas que devem possuir teor de base orgânica aderido ao cascalho de < 1%	Teor de base orgânica aderido ao cascalho de < 10%	Descarte permitido desde que: <ul style="list-style-type: none"> • Se confirme ausência de óleo da formação determinado por RPE - metodologia EPA 1670, que pode ser confirmado por GC/MS - metodologia EPA 1655 • Teor de base orgânica aderido ao cascalho de <6,9% (IO C1618) ou <9,4% (éster), metodologia EPA 1674 	Teor de base orgânica aderido ao cascalho de < 1%	Proibido o descarte de cascalho gerado durante perfuração da fase de reservatório (ou zona produtora). Descarte permitido desde que: <ul style="list-style-type: none"> • Se confirme ausência de óleo livre determinado por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617 • Valor de HPA < 10 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte • Valor de toxicidade > 30.000 ppm em amostra de fluido coletada no momento pré-descarte • Atenda ao critério de toxicidade (96h) em sedimento em amostra de fluido coletada no momento pré-descarte • Teor de base orgânica aderido ao cascalho <5,9% (IO, LAO e PAO ou <7,9% (éster, éteres e acetais) e, a partir de 2 anos da publicação, os limites caem para 4,5% ou 6,1%, metodologia EPA 1674
Condições para descarte de cascalho com FPBA aderido	Descarte permitido sem nenhuma restrição	Descarte permitido sem nenhuma restrição	Descarte permitido desde que: <ul style="list-style-type: none"> • Se confirme ausência de óleo livre determinado por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617 	Durante a perfuração de fases contendo reservatório de óleo, deve-se coletar ao menos cinco amostras diárias para análise de conteúdo de óleo usando retorta. Apesar de exigir monitoramento, não há um limite estabelecido para conteúdo de óleo	Descarte permitido desde que: <ul style="list-style-type: none"> • Se confirme ausência de óleo livre determinado por <i>sheen test</i> - metodologia EPA 1617 • Valor de HPA < 10 ppm em amostra coletada no momento pré-descarte
Condições para descarte de fluido e cascalho provenientes da fase reservatório	Não há critérios adicionais, aplicam-se as mesmas condições já descritas anteriormente	Não há critérios adicionais, aplicam-se as mesmas condições já descritas anteriormente	Não há critérios adicionais, aplicam-se as mesmas condições já descritas anteriormente	Reino Unido: licença/autorização específica é necessária para descarte de cascalho contaminado com óleo do reservatório	Proibido o descarte de cascalho gerado durante perfuração da fase de reservatório (ou zona produtora)
Condições para descarte de <i>slops</i> e resíduos de cimentação	Não há critérios específicos definidos	Não há critérios específicos definidos	Permitido descarte de água de lavagem e sólido residual a partir da limpeza do <i>drill floor</i> e tanques de fluido	O descarte é proibido	Somente será permitido descarte de água de lavagem de tanque de FPBA, desde que passe no <i>sheen test</i> . O descarte dos demais é proibido
Comentários	Não especifica metodologias de teste para definição de parâmetros. Solicita monitoramento de diversos parâmetros na coluna d'água, fauna bentônica e sedimentos. Solicita relatório de perfuração em que conste: <ul style="list-style-type: none"> • Análise de Cd e Hg em baritina, entretanto não estipula limites • Volumes de fluido descartado e fluxo de descarte • Volume de cascalho gerado • Número de dias em que se observar <i>sheen</i> no mar • Testes de toxicidade mencionando método e organismo 	Possui uma abordagem holística ao processo de licenciamento. A avaliação é feita caso a caso com base em avaliações de risco e plano de gerenciamento ambiental, que levam em conta fatores como: justificativa técnica para uso do fluido proposto, sensibilidade ambiental da área, metodologia/tecnologia empregadas na disposição de cascalho e <i>performance</i> ambiental do fluido. Até mesmo a <i>performance</i> ambiental do fluido é tratada de forma objetiva não definindo claramente metodologias e limites para aprovação. Há essencialmente um guia com os fatores que serão avaliados			

2 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS DAS ATIVIDADES DE E&P OFFSHORE

A Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000, que fala sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo, determina, em seu artigo 20, que a descarga de resíduos sólidos das operações de perfuração de poços de petróleo será objeto de regulamentação específica pelo órgão federal de meio ambiente. Assim, é de suma importância o conhecimento das alternativas tecnológicas disponíveis para tratamento e destinação final de resíduos das atividades de perfuração e os desafios e impactos para gestão dos mesmos. Essas alternativas serão apresentadas neste capítulo e, para fins de padronização, neste documento toda referência a resíduos estará relacionada estritamente aos resíduos associados aos fluidos e cascalho de perfuração, apresentados no capítulo 1 (item 1.1).

Cabe destacar que a aplicação das tecnologias para tratamento e destinação final levam em consideração as particularidades da legislação de cada país, as possibilidades e restrições locais e as evoluções nos processos de gestão de resíduos. Sendo assim, tendo como base as informações apresentadas neste estudo, a abordagem de cada tecnologia ou processo será focada na realidade brasileira.

2.1 Controle, tratamento e destinação na unidade marítima

O tratamento do fluido e do cascalho de perfuração nas fases com retorno à plataforma é dividido em tratamento primário e tratamento secundário.

O objetivo do tratamento primário (controle de sólidos) é remover os sólidos suspensos no fluido de perfuração, ou seja, o cascalho gerado na perfuração e carregado pelo fluido. Já o tratamento secundário possui foco na remoção dos componentes químicos aderidos ao cascalho, isto é, principalmente, a base orgânica que constitui o fluido de perfuração.

O tratamento secundário é aplicado especificamente para o tratamento de cascalho contaminado com FPBA, já que sua utilização em cascalho gerado durante a perfuração com FPBA não traria benefícios significativos ambientais ou econômicos. Em unidades *offshore*, são duas as tecnologias usualmente aplicadas para a redução do volume de fluido de perfuração aderido ao cascalho: centrifuga vertical (comumente denominada de secador de cascalho) e a dessorção térmica.

2.1.1 Sistema típico de controle de sólidos (tratamento primário)

Todas as operações *offshore* ao redor do mundo contam com o sistema de controle de sólidos (CAPP, 2001). A remoção da fase sólida do fluido de perfuração torna possível o controle e a manutenção de propriedades críticas do fluido tais como: a viscosidade e o peso e, como consequência, acarreta maior reaproveitamento e menor geração de resíduos. Os principais equipamentos que compõem o sistema de controle de sólidos são: peneiras vibratórias, desarenador, dessiltador, *mud cleaner* e centrifuga horizontal decantadora (quadro 6 e figura 1). A fração de sólidos removidos dependerá do tamanho da partícula, da eficiência do equipamento de controle de sólidos e do tipo de equipamento (IOGP, 2016).

Quadro 6 – Equipamentos e descrições

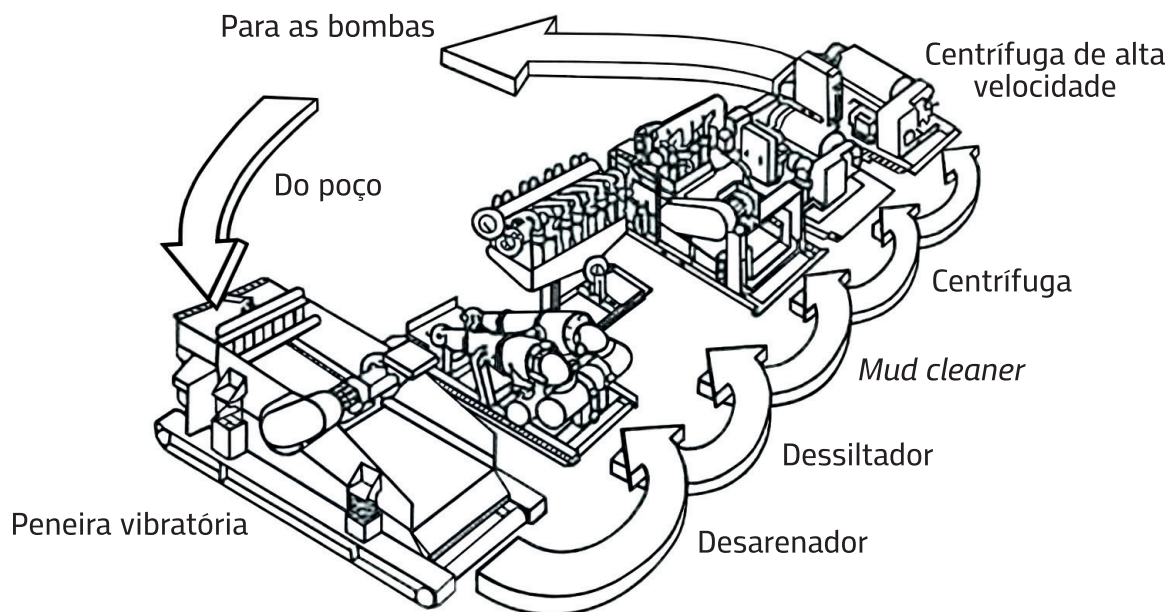
Equipamento	Descrição
Peneiras	Primeira fonte de controle de sólidos, as peneiras trabalham todo o fluxo do sistema ativo de fluido, retirando o máximo do cascalho grosso, com tamanho em média maior que 80 microns.
Desarenadores	Hidrociclones de grande porte (12 ou 10 polegadas) capazes de retirar partículas sólidas, maiores que 40 microns.
Dessiltadores	Hidrociclones de médio porte (4 ou 6 polegadas) capazes de retirar partículas sólidas, maiores que 25 microns.
<i>Mud cleaners</i>	Conjunto de hidrociclones montados sobre uma peneira classificadora que faz a recuperação do fluido aderido aos sólidos eliminados pelos hidrociclones.
Centrífuga horizontal	Utiliza a força centrífuga gerada internamente para a separação de sólidos mais finos, podendo chegar a um ponto de corte de cascalho de até 5 microns.

Em um sistema típico de controle de sólidos, a lama de perfuração é alimentada por uma bomba centrífuga em um conjunto de hidrociclones (PEREIRA, 2010) que têm a função de decantar as partículas do fluido – neste caso, areia e silte –, e que aceleram o processo de decantação; passando em seguida para o desarenador e o dessiltador. Estes são, de maneira simplificada, dois tipos de hidrociclones que separam areia e silte do fluido, respectivamente (NETO, 2017).

Após sair dos hidrociclones, o fluido é direcionado aos *mud cleaners* - conjunto de hidrociclones com uma peneira de alta *performance*. Esse equipamento recupera as partículas que retornaram ao fluido de perfuração (NETO, 2017). A lama de perfuração segue, então, para uma centrífuga decantadora que otimiza a recuperação do fluido de perfuração aderido ao cascalho no tratamento secundário (PEREIRA, 2010).

Cabe destacar que esses sistemas não possuem limitações normativas ou legislação específica para o seu emprego na atividade de perfuração marítima no país.

Figura 1 – Sistema de tratamento de lama



Fonte: Thomas, 2001.

2.1.2 Tratamento secundário

De acordo com Almeida (2016), os métodos de tratamento secundário mais comuns são realizados a partir de processos físicos distintos, um pela separação física por ação gravitacional (força centrífuga) e outro por ação termomecânica (geração de calor por fricção).

2.1.2.1 Centrífuga vertical (secador de cascalho/vert G)

A centrífuga vertical, usualmente conhecida como secador de cascalho, é o principal equipamento utilizado nas operações de perfuração *offshore* ao redor do mundo para tratamento de cascalho associado com FPBNA, mesmo naqueles países cuja filosofia é a do descarte zero. Alguns classificam esse equipamento como parte do sistema de controle de sólidos, mas aqui o abordamos de forma destacada, pois sua aplicação é específica para tratar o cascalho e seu uso não afeta as propriedades do fluido.

O cascalho removido pelo sistema de controle de sólidos (peneiras) é direcionado para o secador de cascalho por vários sistemas diferentes que incluem: alimentação por gravidade, transferência pneumática, transferência a vácuo e roscas transportadoras.

Esse equipamento consiste numa centrífuga secadora de eixos verticais (figura 2), projetada para recuperar, com a maior eficiência possível, a parcela de fluido que se agrega ao cascalho durante a perfuração de poços de petróleo e gás, com capacidade para processar até 30 toneladas de material por hora.

A separação do fluido residual do cascalho é feita por centrifugação dentro do equipamento, acompanhada da aplicação de elevada força G (força da gravidade) ao cascalho. Desse modo, o fluido aderido se desprende, podendo retornar ao sistema de fluido ativo. O cascalho é introduzido na parte superior do equipamento sendo imediatamente acelerado e centrifugado. O material é direcionado

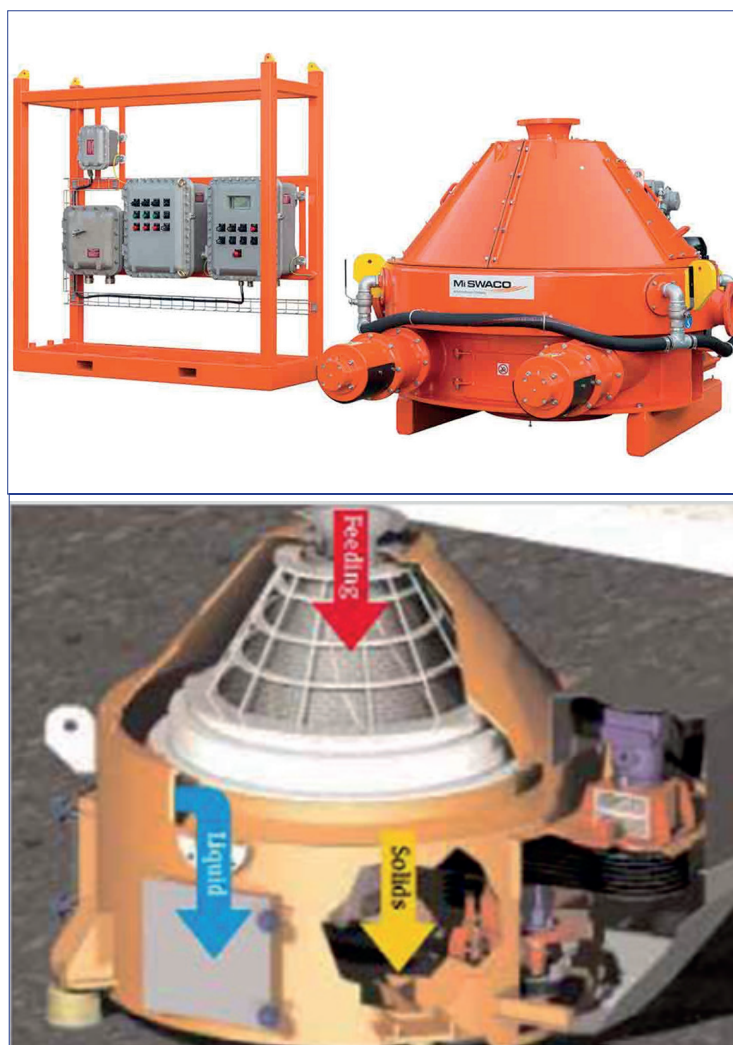
para a superfície de uma tela, que separa os líquidos dos sólidos. Logo que o cascalho esteja em contato com a tela, a separação de líquido-sólido é rapidamente concluída através dos mais de 300 Gs que a unidade é capaz de fornecer. A taxa de fluxo pela tela é controlada pelo diferencial de velocidade entre componentes internos do equipamento, como o cone e as hélices.

A centrífuga vertical reduz a quantidade de fluido base nos resíduos sólidos a um teor menor que 5% em massa. Isso acarreta uma recuperação de fluido ao sistema e economia na geração de fluido novo, além de diminuir a quantidade de produto que seria usada para a secagem dos sólidos, pois eles já são eliminados secos e podem ser misturados aos sólidos resultantes e descartados no meio ambiente sem maiores impactos.

O componente líquido do fluido que sai do secador de cascalho é usualmente direcionado para uma centrífuga para ser feita a retirada de sólidos de alta/baixa gravidade (dependendo dos parâmetros). Depois da centrífuga, o fluido pode ser retornado ao sistema ativo para incorporar novamente o fluido de perfuração.

Cabe destacar que não são encontradas limitações normativas ou legislação específica para o seu emprego na atividade de perfuração marítima no Brasil.

Figura 2 – Ilustração do secador de cascalho



Fontes: Schlumberger, 2019; M-I Swaco, 2014.

2.1.2.2 Dessorção termomecânica (*hammermill*)

Apesar de não serem empregados de forma ostensiva como o secador de cascalho, sistemas de tratamento de cascalho por dessorção térmica, como o *hammermill* (figura 3) encontram-se instalados em plataformas de perfuração no Mar do Norte e na costa oeste da África (Angola), quando o enquadramento para descarte exige que o teor de fluido de base aderido seja menor que 1%.

O *hammermill* é um processo que produz calor a partir de fricção gerando temperaturas entre 250°C/300°C que resultam na evaporação dos fluidos aderidos no cascalho. Nesse equipamento, diferentemente do secador, não se recupera o fluido de perfuração como todo, e sim seus componentes principais separadamente (água e fluido de base) com um processo de condensação.

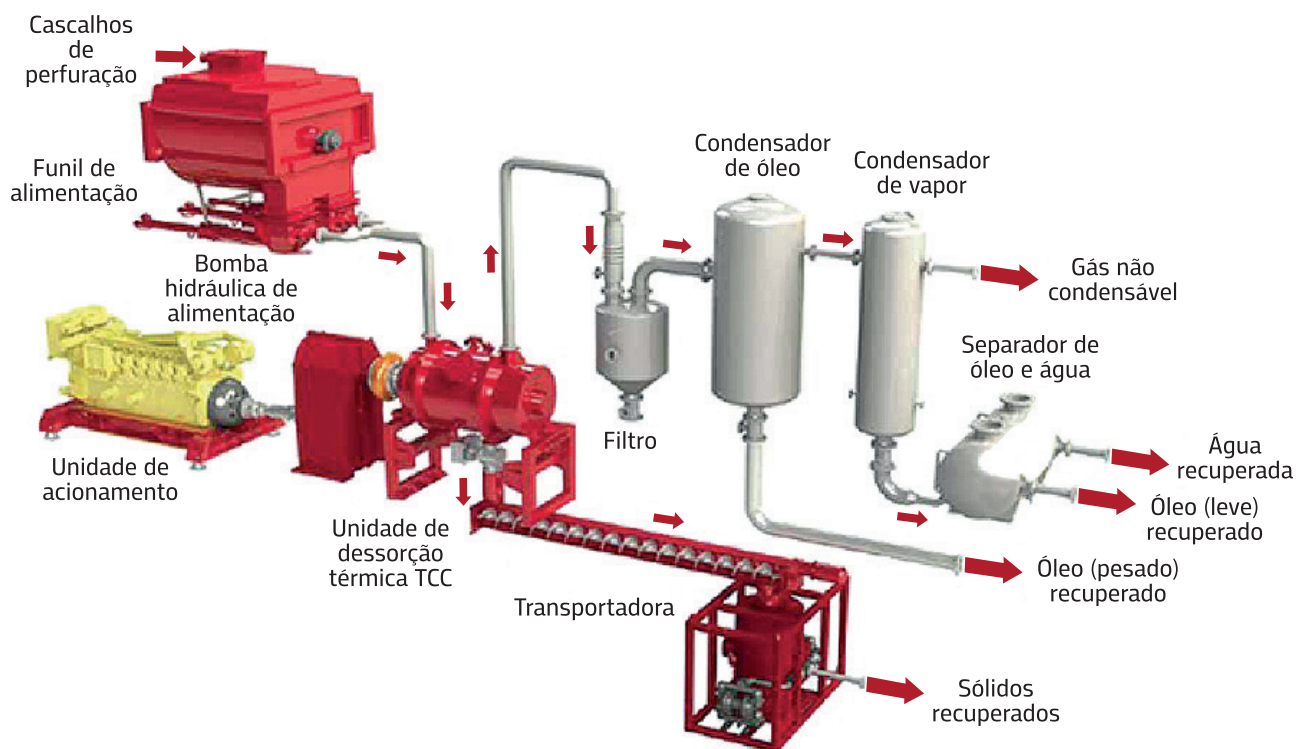
O cascalho resultante do processo de dessorção térmica possui teor de fluido de base aderido menor que 1% em massa, apresentando eficiência significativamente maior que o sistema de secador de cascalho na remoção do fluido aderido.

A eficiência do *hammermill* é impactada diretamente pela umidade do cascalho, quanto maior a quantidade de fluido aderido menor é a eficiência – maior tempo de retenção no equipamento é necessário para secar o cascalho a níveis menores que 1%. Sendo assim, de maneira geral, o uso dessa tecnologia é feito de forma combinada com o secador de cascalho para garantir que a corrente de cascalho alimentada ao equipamento de dessorção térmica possua baixa umidade.

A rigor, o tratamento a bordo e descarte do cascalho com baixo teor de hidrocarbonetos no mar seria a alternativa mais recomendável, evitando assim o envio de resíduos para a terra. Entretanto, há limitações para o uso de dessorção térmica nas sondas, a saber:

- » é necessária a instalação de equipamentos para manuseio de cascalho e de sistemas de tratamento em cada plataforma de perfuração, ou seja, não é possível o compartilhamento de equipamentos com outras unidades marítimas, como ocorre em centrais de tratamento em terra;
- » a taxa de processamento do equipamento (até 5MT/h) é outro limitante para a aplicação dessa tecnologia. Com frequência, a taxa de geração de cascalho é significativamente superior a 5MT/h, exigindo que se adicione à sonda uma estrutura para coleta e armazenamento de cascalho atuando como um tampão, permitindo que a perfuração continue sem limitação da taxa de penetração;
- » além dos investimentos associados e do transtorno com intervenções mecânicas e elétricas, faz-se necessária a recertificação da plataforma junto às entidades competentes (ex.: Det Norske Veritas - DNV);
- » em muitas plataformas de perfuração o espaço é bastante limitado, não havendo condições de instalação de todo o aparato necessário;
- » o investimento é significativo;
- » no caso de falha nos sistemas de tratamento e manuseio, como não há redundância, deve haver um plano B para recolhimento do cascalho gerado (ex.: *cutting boxes* disponíveis a bordo);
- » para contratos mais curtos, não se justifica toda a modificação física na plataforma de perfuração, pois a desmobilização não é simples.

Figura 3 – Esquema de um sistema de dessorção termomecânica



Fonte: Modificado de Halliburton *apud* IOGP, 2016.

2.1.3 Alternativas para disposição *offshore*

No que tange às alternativas para disposição *offshore*, além da disposição no mar, existem metodologias que envolvem diferentes custos e desafios tecnológicos, conforme será apresentado a seguir.

2.1.3.1 Disposição no mar

Como indicado no capítulo 1 (item 1.3.7), com o cancelamento do DOU 56 ISSN 1677-7042 1 nº 8 o descarte de fluido e cascalho das atividades de perfuração no país passou a ser guiado pelas diretrizes indicadas pelo SEI Ibama 5533803.

No cenário internacional há uma gama variada de regiões com atividade de perfuração *offshore* e com legislações ambientais específicas (como já indicado no quadro 5). Dentre as principais regiões, excetuando-se o Brasil, podemos destacar:

- » Golfo do México (área sob jurisdição dos Estados Unidos da América);
- » Mar do Norte (área sob jurisdição do Reino Unido e Noruega, regido pelo Acordo Ospar);
- » Costa Oeste da África (área sob jurisdição de Angola);
- » Austrália.

Diante desse cenário, algumas medidas para prevenção da poluição e controle ambiental podem ser adotadas, tais como (WBG, 2015 *apud* ALMEIDA, 2016):

- » escolha criteriosa do sistema de fluido, priorizando o uso de FPBA quando possível;

- » cuidados na escolha dos aditivos, considerando sua concentração, toxicidade, biodisponibilidade e biodegradabilidade;
- » uso de sistemas de controle de sólidos e sistema de secador de cascalho (SSC) eficientes.

2.1.3.2 Reinjeção de cascalho

A reinjeção é uma tecnologia sem histórico de operação no Brasil, porém com registro de aplicação *offshore* em águas rasas no Mar do Norte, Golfo do México, Canadá, Alasca e Mar Cáspio, sendo mais intensamente aplicada em perfuração *onshore* (CAPP, 2001; IOGP, 2016).

A reinjeção de cascalho em poços *offshore* envolve custos e desafios tecnológicos relativos ao local de injeção e ao tratamento do cascalho (BORGES-CAMPOS et al., 2016).

A Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP, 2001) afirma que, ao avaliar a viabilidade da reinjeção como uma opção de descarte, deve-se considerar:

- » a disponibilidade de uma formação geológica adequada para aceitar resíduos a longo prazo;
- » os tipos e quantidades de resíduos;
- » os requisitos para equipamentos de superfície, o *design* do poço e integridade;
- » o cenário de desenvolvimento de perfuração.

Podemos citar ainda os seguintes aspectos relacionados a essa alternativa de destinação final:

- » custos associados à construção de poços específicos para essa finalidade;
- » necessidade de transporte de resíduos até a localidade do poço, podendo ser distante do local de perfuração;
- » barreiras tecnológicas para o processo de reinjeção em águas profundas;
- » por não serem comuns no Brasil, a questão de licenciamento de poços de injeção precisa de uma análise mais apurada, podendo haver restrições nos âmbitos federal e estadual;
- » não há ainda no Brasil estudos de factibilidade realizados em poços/áreas candidatas à reinjeção e, dessa forma, não se pode apontar locais e estimar volumes relacionados.

Devido às restrições atuais, a reinjeção não será abordada em detalhes neste estudo. Entendemos que a avaliação e diagnóstico dessa tecnologia deve ser objeto de um estudo específico.

2.1.3.3 Hibernação

Processo para manter dentro do poço, após o término da perfuração, fluido com características que inibam, entre outras coisas, atividades de corrosão e o desenvolvimento de bactérias. Um exemplo de fluido candidato à hibernação é o *packer fluid*, cuja característica retarda/inibe a corrosão dos revestimentos, contribuindo assim para a integridade do poço.

Os fluidos hibernados são projetados especificamente para esse fim. Não são fluidos de perfuração que são abandonados no poço como estratégia de gerenciamento de resíduo.

3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

3.1 Desafios

Recentemente a indústria vem cumprindo nas operações no Brasil o compromisso de tratar o cascalho FPBNA no mínimo em sistemas secadores de cascalho a bordo das sondas, que asseguram teores máximos de fluido não aquoso de 5% m/m. Este esforço, como será demonstrado mais adiante, já implica investimentos substantivos e reverte em uma significativa redução dos níveis de lançamento de poluentes no mar com relação aos praticados anteriormente.

Os teores máximos de 5% de FPBNA são amplamente adotados na indústria *offshore*. São os limites adotados em áreas sensíveis como o Golfo do México e em diversas outras áreas pelo mundo (IOGP, 2016).

Também é relevante destacar que os fluidos de perfuração de base não aquosa empregados atualmente são bastante mais sofisticados – e menos agressivos ao meio ambiente – do que os empregados no passado (IOGP, 2016). O seu alto desempenho e custo em parte justificam os esforços adicionais para aumentar a sua taxa de recuperação, tanto para reuso quanto para preservar seus componentes para reciclagem.

Em algumas áreas, notadamente em áreas mais sensíveis do Mar do Norte e em Angola, foi estabelecido um limite mais restritivo, de 1% de FPBNA aderido ao cascalho (IOGP, 2016). Para atender a essas exigências, duas rotas tecnológicas foram consideradas viáveis: o transporte de todo o cascalho para tratamento em terra e a adoção da dessorção térmica do cascalho em instalações a bordo das sondas e/ou embarcações satélite nas bacias de perfuração.

Ambas as abordagens implicam desafios adicionais para as operações, como será detalhado mais adiante. O tratamento do cascalho *onshore* envolve a necessidade de uma extensa logística para o desembarque seguro, transporte marítimo, recebimento do cascalho nos portos e posterior disposição em terra, sujeitos às normas locais de armazenamento, transporte, tratamento e destinação final desses materiais. A dessorção térmica embarcada, por sua vez, é limitada pela capacidade de tratamento do cascalho que é substancialmente inferior à dos secadores de cascalho, o que pode induzir mudanças nas taxas de perfuração, acúmulo de cascalho a bordo para tratamento ou o aumento da demanda por unidades de tratamento além da capacidade física das embarcações.

Outra preocupação dos legisladores diz respeito ao cascalho oriundo das fases ditas “de reservatório”, que pode apresentar contaminação com óleo de formação – o que inviabilizaria o seu descarte no mar nos termos da lei. Alguns atores do setor identificam a existência de um risco regulatório que envolveria a proibição do descarte de qualquer cascalho oriundo da fase reservatório dos poços, mesmo que os fluidos de perfuração sejam de base aquosa (IBP, comunicação pessoal).

Esta série temática visa transpor o relatório de um estudo comparativo entre diferentes alternativas para a destinação final dos citados resíduos, sob a ótica de um processo de gestão plena, onde foram contemplados os requisitos ambientais e os aspectos relevantes à saúde do trabalhador, à segurança operacional e à integridade de poços. Espera-se que sirva de base para uma estrutura regulatória multidisciplinar, pautada na adoção de soluções tecnicamente viáveis, ambientalmente justificáveis, economicamente sustentáveis e, por fim, alinhadas à atual política de desenvolvimento nacional.

Nos itens a seguir, estão indicadas as principais técnicas que compuseram o estudo comparativo, bem como os cenários que foram estabelecidos para modelagem quantitativa dos indicadores, objeto do último fascículo.

3.1.1 Técnicas selecionadas

A seleção de técnicas aplicáveis ao cenário brasileiro teve como premissa a redução das alternativas apresentadas no capítulo 2 e que serão avaliadas no fascículo 2. Esse recorte irá possibilitar um melhor detalhamento nas fases subsequentes do estudo. Além do descarte no mar, serão avaliadas alternativas de destinação final para implementação do descarte de cascalho em terra nos diversos cenários.

Na primeira categoria serão contempladas técnicas de tratamento e destinação final de resíduos já existentes no país e aplicadas pela indústria de O&G como:

- a) disposição em aterros industriais;
- b) coprocessamento dos resíduos em cimenteiras;
- c) agregação em artefatos de cerâmica vermelha;
- d) agregação em artefatos de cimento e
- e) sub-base para pavimentação de vias.

Considera-se que as duas primeiras opções já são práticas consolidadas pela indústria de O&G nacional e, portanto, estão disponíveis a curto prazo. Como será discutido mais adiante, o aproveitamento do cascalho de perfuração em cimenteiras, diferentemente de outros resíduos da indústria de O&G, encontra algumas restrições e deve ser encarado de forma a refletir a sua peculiaridade. Já as opções de agregação do cascalho em produtos de cerâmica vermelha e de cimento e na pavimentação de vias, embora já testadas em menor escala, ainda não têm penetração suficiente entre as técnicas de destinação final e serão consideradas neste estudo apenas para adoção a médio e longo prazo.

Além destas, estão sendo consideradas a médio e longo prazo ainda:

- a) blendagem;
- b) dessorção térmica por micro-ondas;
- c) dessorção térmica por tambores rotativos ou
- d) incineração.

Considera-se que, em função do histórico presente da aplicação dessas tecnologias de tratamento secundário do cascalho, a blendagem para posterior coprocessamento é uma tecnologia consolidada. As dessorções térmicas *onshore*, tanto por micro-ondas quanto por tambores rotativos, são suficientemente maduras, mas não possuem, no momento, escala para atender à demanda, especialmente em um cenário de descarte zero. Cabe destacar que, a técnica de incineração está sendo considerada como opção para pré-tratamento de cascalho nas simulações para a região Norte do Brasil, onde não há no momento, disponibilidade das demais tecnologias (exceto blendagem) e os custos de transporte são proibitivos para os centros onde os tratamentos mais sofisticados são disponíveis.

3.2 Cenários selecionados para o estudo quantitativo

O estudo quantitativo simula cenários nos quais são aplicadas de forma crescente restrições ao descarte do cascalho de perfuração de poços de petróleo no mar, levando em conta os desafios mencionados anteriormente (*vide* item 3.1, Desafios).

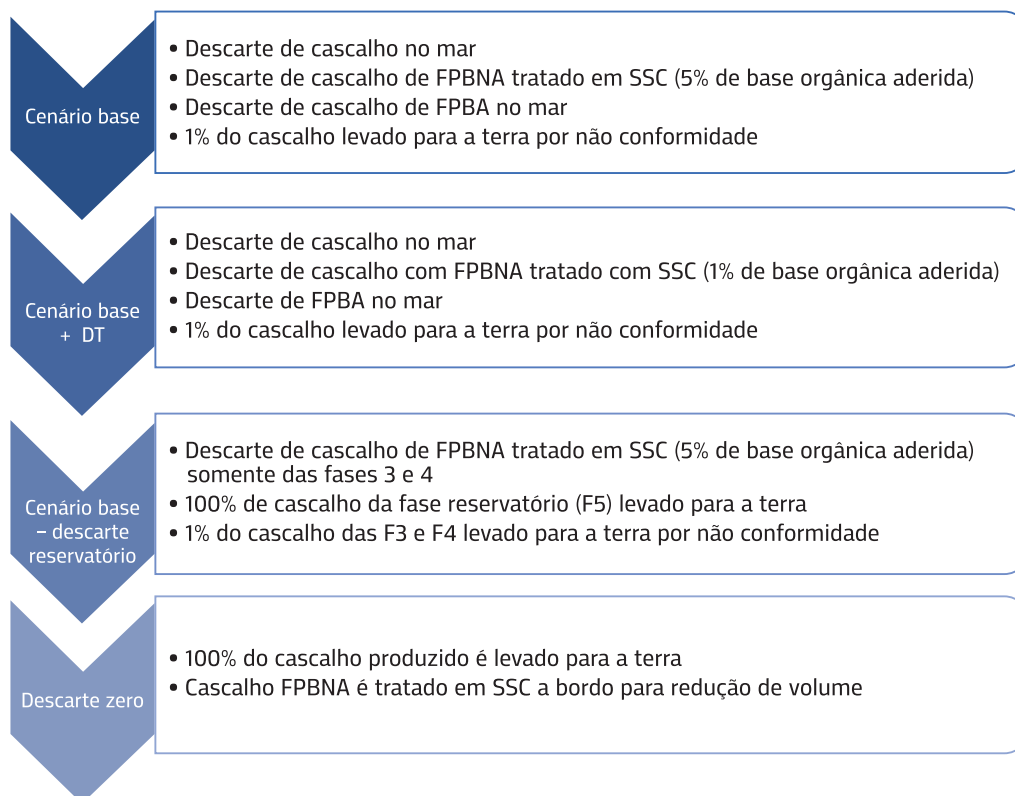
Para efeitos de cálculos comparativos, outros cenários alternativos foram preparados, mas não farão parte do estudo por não corresponderem a nenhum dos cenários viáveis de legislação discutidas neste estudo.

São eles o cenário "zero", no qual todo o cascalho é tratado somente em peneiras etc. para retirada de fluido de perfuração com fins de reúso e é subsequentemente descartado no mar sem tratamento adicional. Esse cenário, hoje contrafactual, correspondia à prática corrente na indústria até alguns anos atrás em diversas áreas. Com o advento dos fluidos sintéticos e as crescentes restrições ambientais, a prática de descartar cascalho contaminado no mar de forma indiscriminada tem sido substituída por sistemas cada vez mais capazes de aumentar a recuperação dos fluidos e também reduzir a quantidade de fluido descartado no mar junto do cascalho.

O outro cenário extremo, também contrafactual, é a adoção do descarte zero sem redução no teor de fluidos aderidos. Essa prática não é feita em função dos maiores volumes a serem transportados e tratados em terra, o que aumentaria substancialmente os custos da operação – simplesmente, é mais barato tratar previamente o cascalho a bordo até um certo ponto, gerando menos resíduos, menos transportes etc. Esse cenário hipotético será discutido em detalhes mais adiante.

A seguir serão descritas as principais premissas de cada cenário, resumidas na figura 4.

Figura 4 – Cenários para o estudo quantitativo



3.2.1 Cenário base

O cenário base reflete a prática mínima corrente pelas operadoras no Brasil. Nesse cenário simula-se o descarte no mar de praticamente todo (99%) o cascalho oriundo da perfuração. Considera-se, de forma conservadora, que no máximo 1% do cascalho não se enquadra nos requisitos para descarte no mar e é segregado e transportado para a terra. Essa premissa foi assumida para construção do cenário e visa representar a fração do cascalho que venha a ser desembarcado por evento de desenquadramento para descarte no mar. Apesar do valor empregado exceder a estimativa baseada em dados operacionais obtidos entre os anos de 2016-2018 (Petrobras, comunicação pessoal), para fins de adoção no modelo, é consistente.

Todo o cascalho perfurado com fluidos de base não aquosa (FPBNA) é tratado na plataforma em secadores de cascalho (SSC) após a passagem pelos separadores de cascalho. Os SSC garantem um nível residual de base orgânica aderida de, no máximo, 5% m/m do cascalho descartado. O cascalho com base orgânica aderida que atende às condições especificadas na legislação é totalmente descartado no mar.

3.2.2 Descarte no mar com dessorção térmica embarcada

Nesse cenário, da mesma forma que o cenário base, simula-se que 99% do cascalho oriundo da perfuração é descartado no mar e o 1% restante é transportado para a terra. A diferença reside no tratamento do cascalho com FPBNA a bordo que, após as peneiras, é tratado em plantas de dessorção termomecânica embarcada (DTE). Essas plantas reduzem o teor de base orgânica aderida a menos de 1% m/m. O cascalho com FPBA que atende às condições especificadas na legislação é descartado diretamente no mar.

3.2.3 Caso base + descarte zero no mar da fase reservatório

Esse cenário simula a restrição ao descarte no mar de cascalho da perfuração de reservatórios. Na simulação arbitra-se que a última fase de perfuração (fase 5) corresponde à fase reservatório.

Neste cenário, o cascalho com FPBNA das demais fases com retorno (F3 e F4) é tratado em secadores de cascalho e 99% dele é descartado no mar; 1% desse cascalho é considerado não conforme à legislação e é transportado para a terra. Todo o cascalho produzido na fase reservatório (F5) é transportado para a terra, independentemente da sua natureza (FPBNA ou FPBA), bem como todo FPBA empregado na perfuração da fase reservatório.

3.2.4 Descarte zero no mar de todo o cascalho

Nesse cenário, que representa a situação simulada de maior restrição, todo o cascalho produzido nas fases com retorno e FPBA é trazido para a terra para posterior aproveitamento ou descarte. Como será mostrado mais adiante, a redução de volume de cascalho a ser transportado para a terra e maior aproveitamento do fluido de perfuração justificam a passagem de todo o cascalho com FPBNA pelos SSC.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. Manual da Marca. 2020.

Introdução

ALMEIDA, P. C. de. *Análise técnico ambiental de alternativas de processamento de cascalho de perfuração offshore*. Rio de Janeiro. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BORGES-CAMPOS et al. *Análise quantitativa de cascalhos com FPBNA descartados ao mar e destinados em terra conforme padrões anteriores e novos requisitos do órgão ambiental brasileiro – Ibama*. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP. 2016.

CAPP - Canadian Association of Petroleum Producers. *Offshore drilling waste management review*. Calgary. CAAP. 2001.

Capítulo 1

ALMEIDA, P. C. de. *Análise técnico-ambiental de alternativas de processamento de cascalho de perfuração offshore*. Rio de Janeiro. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ANGOLA. Decreto Executivo n. 97, de 8 de abril de 2014. *Diário da República*, 8 abr. 2014. Disponível em: <<https://www.lexlink.eu/conteudo/geral/legislacao/93639/decreto-executivo-no-9714/14491/por-tema>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

BORGES-CAMPOS et al. *Análise quantitativa de cascalhos com FPBNA descartados ao mar e destinados em terra conforme padrões anteriores e novos requisitos do órgão ambiental brasileiro – IBAMA*. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP. 2016.

DECC REACH WORKING GROUP. *REACH guidance document for the offshore industry*. [S.l]: Crown Copyright, mar. 2016. versão 17.

ESTADOS UNIDOS. Title 40 - *protection of the environment*: Part 435 - oil and gas extraction point source category, 1 jul. 1999. Electronic Code of Federal Regulations (annual edition).

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Understanding oil spill and oil spill response*. Office of remedy and remedial response, 1999.

FIALHO, P. F. *Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás: estudo do potencial de aplicação em concreto*. 2012. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

GEEHAN, T. et al. The cutting edge in drilling-waste management. *Oilfield Review*, [S.l], v. 18, n. 4, p. 54-67, 12 jan. 2006.

IBAMA. Minuta de Nota Técnica n. xxx/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA. Novas diretrizes para o uso e descarte de fluidos perfuração e cascalho, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás natural. 2014.

_____. Instrução Normativa n. 01/2018/CGPEG/DILIC/IBAMA. Define diretrizes que regulamentam as condições ambientais de uso e descarte de fluidos, cascalho e pastas de cimento nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de petróleo e gás, estabelece o Projeto de Monitoramento de Fluidos e Cascalho, e dá outras providências. 2018.

_____. Diretrizes para uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalho, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos de perfuração marítima de poços de exploração e produção de petróleo e gás nas atividades de perfuração marítima de poços e produção de petróleo e gás. 2019a.

_____. – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. [Site institucional]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

IOGP – International Association of Oil and Gas Producers. *Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations*. Report n. 543. 144 p. March, 2016.

MINISTRAL MEETING OF THE OSLO AND PARIS COMMISSIONS, 1992, Paris. *OSPAR Convention*. Disponível em: <<https://www.ospar.org/convention>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

OIL & GAS UK. *Environmental legislation: Chemicals - Drilling*. Disponível em: <https://oilandgasukenvironmentallegislation.co.uk/contents/topic_files/offshore/drilling_chemicals.htm>. Acesso em: 8 fev. 2019.

OSPAR CONVENTION. *OSPAR Decision 2000/3 on the use of organic-phase drilling fluids (OPF) and the discharge of OPF-contaminated cuttings*. Copenhagen, jun. 2000.

REIS, C. J. *Environmental control in petroleum engineering*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, p. 19-20, 1996.

UNITED KINGDOM. *The Offshore Chemicals Regulations 2002*, de 14 de maio de 2002. Disponível em: <<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2002/1355/introduction/made>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

_____. *The Offshore Chemicals (Amendment) Regulations 2011*, de 29 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2011/982/contents/made>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Profile of the Oil and Gas Extraction Industry*. 40 CFR Part 435. Sector Notebook Project, EPA/310-R-99-006, October 2000.

_____. *Analytic Methods for the Oil and Gas Extraction Point Source Category*. Washington: U.S. EPA, dez. 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/2U039kf>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

_____. [Site institucional]. Disponível em: <<https://www.epa.gov/>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

VEIGA, L. F. *Avaliação de risco ecológico dos descartes da atividade de perfuração de poços de óleo e gás em ambientes marinhos*. Rio de Janeiro: UFRJ/Coppe, 2010, 253 p.

WESTERN AUSTRALIA. Petroleum and geothermal energy resources (resource management and administration). *Regulations 2015*, p. 2405-531, 2015. Disponível em: <https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_13656_homepage.html>. Acesso em: 8 fev. 2019.

_____. *Petroleum guidelines: Drilling fluids management*. Perth WA: Department of Mines and Petroleum, s.d.

Capítulo 2

ALMEIDA, P. C. de. *Análise técnico-ambiental de alternativas de processamento de cascalho de perfuração offshore*. Rio de Janeiro. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BORGES-CAMPOS et al. *Análise quantitativa de cascalhos com FPBNA descartados ao mar e destinados em terra conforme padrões anteriores e novos requisitos do órgão ambiental brasileiro – Ibama*. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP. 2016.

CAPP - Canadian Association of Petroleum Producers. *Offshore drilling waste management review*. Calgary. CAAP. 2001.

IOGP – International Association of Oil and Gas Producers. *Drilling waste management technology review*. England and Wales. IOGP. 2016

M-I SWACO. *Solids control, cuttings management & fluids processing*. Drilling environmental solutions. 2014.

NETO, J. B. A. *Aproveitamento do cascalho de perfuração de poços para elaboração de pasta de cimentação primária*. 2017. 139f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. Sergipe. 2017.

PEREIRA, M. S. *Caracterização de cascalho e lama de perfuração ao longo do processo de controle de sólidos em sondas de petróleo e gás*. 2010. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

SCHLUMBERGER. *Centrífuga vertical*. 2019. Disponível em: <<https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/solids-control/cuttings-dryers>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

THOMAS, J. E. (Org.). *Fundamentos de engenharia de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência/Petrobras, 2001.

Capítulo 3

ALMEIDA, P. C. de. *Análise técnico-ambiental de alternativas de processamento de cascalho de perfuração offshore*. Rio de Janeiro. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ARAUJO, O. Q., MEDEIROS, J. L., YOKOYAMA, L., MORGADO, C. R. Metrics for sustainability analysis of post-combustion abatement of CO₂ emissions: Microalgae mediated routes and CCS (carbon capture and storage). *Energy*, p.1-13, 2015

HAMMOND, A. et al. Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington, D.C.: *World Resources Institute*, 1995.

IOGP - International Association of Oil and Gas Producers. *Drilling waste management technology review*. England and Wales. IOGP. 2016

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: método e aplicações. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM*, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Indicadores ambientais*. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais>> Acesso em: 15 maio 2019

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás

Presidente

Eberaldo de Almeida Neto

Diretora Executiva Corporativa

Cristina Pinho

Diretor Executivo de E&P

Flávio Vianna

Gerência Executiva de SMS e Operações

Anderson Cantarino

Carolina Coimbra

Daniel Aquino

Grupo de Trabalho de Flúidos e Cascalhos

Coordenador: Leonardo Marinho

Expediente:

**Gerente de Comunicação e Relacionamento
com Associados**

Adriana Barbedo

Coordenação Editorial

Priscila Zamponi

Demy Gonçalves

Projeto Gráfico

Trama Criações de Arte

Banco de Imagens

IBP

Foto da capa

Anderson Cantarino



IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás

Av. Almirante Barroso, 52 – 21º e 26º andares – RJ – Tel.: (21) 2112-9000