

UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PETRÓLEO



JAÍNE LIMA DOS SANTOS
ORLEI MESQUITA DE JESUS

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS ORIUNDOS DO PRO-
CESSO DE PERFURAÇÃO *ONSHORE***

ARACAJU, SE
2018.2

JAÍNE LIMA DOS SANTOS
ORLEI MESQUITA DE JESUS

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS ORIUNDOS DO PRO-
CESSO DE PERFURAÇÃO *ONSHORE***

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Tiradentes – UNIT, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gustavo de Brito Cardoso.

ARACAJU, SE
2018.2

JAÍNE LIMA DOS SANTOS
ORLEI MESQUITA DE JESUS

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS ORIUNDOS DO PRO-
CESSO DE PERFURAÇÃO *ONSHORE***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Comissão Julgadora da Universidade Tiradentes - Unit, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

Data da Aprovação ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo de Brito Cardoso
Universidade Tiradentes

Esp. Miguel Moura Afonso da Silva
(Engenheiro Ambiental, Engenheiro de Petróleo e Engenheiro em Segurança do Trabalho)

MSc. Isabela Nascimento Souza
(Engenheira de Petróleo e Mestre em Engenharia de Processos)

À DEUS, por sempre me guiar. Sem Ti não teria conseguido.

À toda minha família, em especial, aos meus pais, Maria Francisca de Jesus e José Lino dos Santos pelas orações, pelo amor, dedicação e incentivo, as minhas irmãs Maria Josileide e Jozeide e a minha cunhada Michele pela força e por sempre acreditarem em mim e aos meus irmãos Josivaldo e Joanes por todo apoio e em especial, a Jozeilton e Josenaldo, pois sem vocês nada disso seria possível.

Jaíne Lima dos Santos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por sempre ter estado presente em minha vida, me conduzindo e me dando forças para eu sempre seguir em frente. Não foi fácil, muitas das vezes o pensamento de desistir da graduação me viam a cabeça e eu pensei por várias vezes em não mais continuar, mas DEUS, com sua infinita bondade e misericórdia me deu forças para estar aqui hoje fazendo esses agradecimentos pela conclusão de um ciclo em minha vida. Toda honra e toda glória a Ti Senhor.

À toda minha família por se empenharem na realização deste sonho. Aos meus pais, irmãos, irmãs, cunhados, cunhadas, sobrinhos e sobrinhas. Vocês foram essenciais, meu muito obrigado a todos vocês.

Aos meus amigos de infância, aos do colégio, aos amigos da faculdade, os quais partilhei minha vida ao longo desses cinco anos e aqueles que são mais que amigos, são irmãos de alma, meu muito obrigado por toda paciência em saberem lidar com a minha variação de humor e por todas as palavras de afeto e incentivo.

À todos os professores da Universidade Tiradentes e, em especial, a coordenadora Elayne Emília por toda paciência e carinho e por todo conhecimento transferido, com certeza, vocês foram peças fundamentais e tornaram esse sonho ainda mais especial. Vocês têm toda minha admiração e respeito. Meu muito obrigado.

Ao nosso orientador Gustavo de Brito Cardoso, por ter aceitado e embarcado conosco nesse desafio. Gratidão por toda disponibilidade, paciência, orientação e conhecimento transferido. Meu muito obrigado.

Aos examinadores da banca, que mesmo sem nos conhecer, dispuseram em compartilhar desta avaliação. Meu muito obrigado.

A minha dupla de trabalho, Orlei Mesquita, com qual compartilhei de alguns estresses nessa caminhada da graduação. Foram alguns anos de parceria de trabalhos, atividades, conversas e risadas e eu só tenho que agradecer. Meu muito obrigado.

Gratidão a todos vocês!

Jaíne Lima dos Santos

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me atendeu nos momentos que eu clamei por sua ajuda, a minha mãe Maria José Santos Mesquita, ao meu pai Antônio Tavares de Jesus, a minha esposa Stefany Coelho dos Santos e aos meus irmãos.

Orlei Mesquita de Jesus

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para superar todas as dificuldades ao longo desses anos e realizar meu sonho dessa graduação.

A minha guerreira mãe (Maria José Santos Mesquita) pelo bom exemplo de vida que me deu, tornando-me a pessoa que sou hoje. A ela agradeço por todos os conselhos, por sempre me motivar a não desistir e por todas as orações que sempre fez pedindo a Deus que me concedesse sabedoria e forças para continuar.

Ao meu incansável pai (Antônio Tavares de Jesus) por toda a preocupação ao longo dessa minha caminhada e fazendo sempre o possível para me ajudar, tanto financeiramente quanto emotivamente.

A minha companheira/esposa (Stefany Coelho dos Santos) por cada palavra de incentivo, impulsionando a minha luta para chegar até aqui, sempre ao meu lado, fosse em momentos alegres ou tristes.

A todos os meus irmãos, amigos e familiares que me ajudaram, alguns de forma direta, outros indiretamente, mas todos foram importantes durante esses anos, sempre torcendo pela realização dessa graduação.

Ao meu orientador Gustavo de Brito Cardoso pelo acompanhamento e informações passadas durante o processo de elaboração deste trabalho.

A Universidade Tiradentes (UNIT) e a todos os professores que me passou conhecimento ao longo desses 5 anos, muito obrigado.

A todos os meus colegas do curso de Engenharia de Petróleo, em especial a Jaíne Lima, minha dupla deste trabalho, a qual se empenhou bastante para produzir o presente trabalho, sem ela seria ainda mais difícil conseguir chegar até aqui.

Orlei Mesquita de Jesus

RESUMO

O desenvolvimento da atividade de exploração de petróleo traz consigo aspectos positivos e negativos, visto que positivamente esta matéria-prima tem se tornado a principal matriz energética e seus derivados geram produtos indispensáveis na atual sociedade. Porém, negativamente esse desenvolvimento têm resultado na geração de inúmeros resíduos, especialmente no que diz respeito aos cascalhos e aos fluidos de perfuração. Como reflexo deste fato, destaca-se que as autoridades públicas exijam cada vez mais das produtoras, ações de conservação ambiental no intuito de minimizar os impactos pelo setor petrolífero, pois a atividade de perfuração tem despertado preocupação com o gerenciamento dos resíduos gerados, nesse processo. A efetividade da gestão dos resíduos gerados na perfuração *onshore* depende, principalmente, da correta classificação dos mesmos. No Brasil a NBR 10.004/2004 é a norma utilizada para classificação destes resíduos. Portanto, esta monografia tem como objetivo apresentar uma gestão eficiente de resíduos perigosos, que reduz e mitigue os impactos indesejáveis ao meio ambiente causados pela atividade de perfuração *onshore* de petróleo, descrevendo as etapas de geração, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final de acordo com as normas.

Palavras chave: Exploração de Petróleo; Resíduos Perigosos; Perfuração *Onshore*; Gestão Ambiental;

ABSTRACT

The development of oil exploration activity brings with it positive and negative aspects, since positively this raw material has become the main energy matrix and its derivatives generate indispensable products at current society. However, negatively, this development has results in a generation of numerous waste, especially cuttings and drilling fluids. As a reflection of this fact, it is worth noting that public authorities demand more environmental conservation actions, from the producers in order to mitigate the impacts caused by the petroleum sector, since the drilling activity has aroused concern about the management of the waste generated at this process. The effectiveness of the management of the waste generated in onshore drilling depends, mainly, on the correct classification of it. In Brazil, NBR 10.004/2004 is the standard used to classify these wastes. Therefore, this monograph claims to present an efficient waste management, which reduces and mitigates the undesirable impacts to the environment caused by the onshore oil drilling activity, describing the stages of generation, storage, transportation, treatment and final disposal according to standards.

Key words: Petroleum Exploration; Dangerous Waste; Drilling Onshore; Environmental Management;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da cadeia produtiva do petróleo.....	15
Figura 2: Circulação do fluido de perfuração durante a perfuração.....	17
Figura 3: Brocas de perfuração.	18
Figura 4: Representação de uma sonda rotativa.....	19
Figura 5: Representação de uma sonda mecânica com cinco motores a diesel.	19
Figura 6: Mesa rotativa.	20
Figura 7: Cabeça de injeção (swivel).	20
Figura 8: <i>Kelly</i> com haste de seção quadrada e de seção hexagonal.....	20
Figura 9: Sistema de circulação de fluidos.	20
Figura 10: Blowout Preventer (BOP).....	14
Figura 11: Sistema de monitoramento (painel do sondador).	14
Figura 12: Fluidos de perfuração.	18
Figura 13: Amostra do cascalho de perfuração.....	21
Figura 14: Exemplo de armazenamento temporário inadequado.....	23
Figura 15: Código de cores conforme a Resolução CONAMA N° 275/01.	30
Figura 16: Resíduos armazenados corretamente de acordo com as normas.	31
Figura 17: Incineração de resíduos perigosos.	37
Figura 18: Esquema do co-processamento para resíduos da perfuração.....	39
Figura 19: Central de Resíduos do Alto Jericó – Sergipe.	43
Figura 20: Aterro Industrial Classe I.....	44
Figura 21: Aterro Sanitário localizado na Fazenda Rio Grande, na região de Curitiba.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resíduos gerados na etapa de perfuração <i>onshore</i> e sua classificação.	16
Tabela 2: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de água.	19
Tabela 3: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de óleo.	19
Tabela 4: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de sintéticos.	21
Tabela 5: Geração de cascalho e consumo de fluido de perfuração.	22
Tabela 6: Composição dos cascalhos de perfuração.	22
Tabela 7: Metais pesados em resíduos sólidos de perfuração.	24
Tabela 8: Principais obrigações legais para transporte de resíduos perigosos.	33
Tabela 9: Instrumentos legais referente ao transporte de resíduos perigosos.	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo do custo de tratamento por tonelada dos resíduos.....	52
Gráfico 2: Valor gasto anualmente para tratar os resíduos no Brasil.	53

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Breve Introdução Sobre a Indústria do Petróleo	14
2.2	Perfuração de Poços de Petróleo <i>Onshore</i>	16
2.3	Geração e Classificação dos Resíduos Oriundos da Perfuração <i>Onshore</i>	15
2.3.1	Fluidos de perfuração	17
2.3.2	Cascalhos de perfuração.....	21
2.3.3	Impactos Ambientais	26
2.4	Gestão de Resíduos Perigosos da Perfuração <i>Onshore</i>	27
2.4.1	Aspectos Gerais e Legais da Gestão Ambiental	27
2.4.2	Armazenamento dos Resíduos Perigosos	29
2.4.3	Transporte dos Resíduos Perigosos	32
2.4.4	Tratamento dos Resíduos Perigosos	36
2.4.4.1	Incineração	36
2.4.4.2	Co-processamento	38
2.4.4.3	Inertização, Blendagem e/ ou Encapsulamento.....	40
2.4.5	Destinação Final dos Resíduos Perigosos.....	42
2.4.5.1	Aterro Industrial Classe I.....	42
2.4.5.2	Aterro Sanitário	44
2.4.5.3	Reciclagem/Aproveitamento	46
3.	METODOLOGIA	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
	APÊNDICE A.....	64

1. INTRODUÇÃO

O petróleo encontra-se nos vazios de rochas porosas denominadas de rocha reservatório. Essa matéria-prima é considerada atualmente a maior fonte de energia do mundo e várias tecnologias foram desenvolvidas para aumentar, viabilizar e melhorar o processo de extração desse produto. Além da geração de energia, o petróleo produz derivados que na atualidade, são de uso indispensáveis para a sociedade.

No entanto, junto a todo desenvolvimento e benefício, as atividades de perfuração de petróleo podem trazer alguns impactos relacionados ao uso do solo, emissão de poluentes atmosféricos, lançamento de efluentes e disposição de resíduos. Segundo Martins *et al.* (2015), a utilização do petróleo não apresenta apenas aspectos positivos, visto que ele possui alto potencial de aspectos e impactos ambientais que são resultantes de sua exploração e produção industrial, sendo capaz de causar a morte de animais e plantas, além de comprometer a qualidade do solo, do ar e das águas.

A administração desses resíduos tem sido a grande problemática dessa atividade devido a quantidade que são gerados e seus contaminantes, que podem ser orgânicos e inorgânicos. Tendo em vista toda problemática da geração de resíduos, surge a necessidade de desenvolver pesquisas científicas para encontrar maneiras de enquadrar esses resíduos nas normas existentes, visto que, a indústria do petróleo é uma das atividades industriais que mais gera resíduos variados e agressivos ao meio ambiente.

No Brasil, com o advento da lei de crimes ambientais (Lei 9.605/1998), que responsabiliza o gerador do resíduo pela sua disposição final, as empresas e os órgãos ambientais têm desenvolvido técnicas de gerenciamento e disposição de resíduos de forma adequada, tendo como objetivo a redução dos impactos e a busca por soluções ambientalmente corretas.

Diante dos fatos e consequências, foi importante relatar sobre os resíduos provenientes na atividade de perfuração *onshore* de petróleo, em especial delinear aspectos referentes a geração, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final desses resíduos perigosos.

Como o Brasil não possui normatização própria para o gerenciamento dos resíduos perigosos provenientes da perfuração *onshore*, se fez necessário expor sobre a atividade de gestão ambiental, devido principalmente, por esse tipo de atividade gerar anualmente milhares de toneladas de resíduos, que possuem alto grau de periculosidade e assim necessitam serem

adequadamente gerenciados. Juntamente a esta descrição fez-se necessário identificar os principais elementos que geram esta problemática.

Portanto, nesse trabalho, pretendeu-se sintetizar alguns conceitos sobre a indústria petrolífera, bem como descrever a atividade de perfuração *onshore* de poços de petróleo e os resíduos característicos desse processo, classificados segundo a NBR 10.004/2004. Além disso, buscou-se descrever e organizar os principais referenciais teóricos acerca do gerenciamento dos resíduos perigosos oriundos da perfuração *onshore* e identificar quais os melhores métodos de tratamento e disposição para os resíduos perigosos e quais destes métodos são os mais utilizados no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve Introdução Sobre a Indústria do Petróleo

O petróleo no estado líquido é uma substância oleosa e, inflamável, constituído basicamente por uma mistura de compostos químicos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos, além de outros elementos como nitrogênio, enxofre e oxigênio, em menores porcentagens. (THOMAS, 2004).

Utilizado desde as Antigas Civilizações em calafetação de embarcações, pavimentação, impermeabilização e construções de pirâmides, o petróleo teve como marco exploratório comercial e de inserção na sociedade moderna, a descoberta de um poço rudimentar de 21 metros de profundidade, feita por Edwin L. Drake, nos Estados Unidos, em 1859 (THOMAS, 2004). Daí iniciava-se a indústria que seria, em poucos anos, a maior e mais relevante do mundo, tornando o petróleo o principal produto comercializado no mercado nacional e internacional.

Segundo Mello (2005), de forma célere a indústria do petróleo propagou-se no mundo, movimentando milhões de dólares e com significativas descobertas e produções de milhões de barris, nos Estados Unidos (1859), Rússia (1874), Índias Orientais Holandesas (1880), Romênia e Irã (1908), México (1917) e Iraque (1927).

De acordo com Fonseca (2003), o petróleo foi a principal fonte mundial de energia do século XX. A produção de cerca de 72 milhões de barris atendia a 40,6% da demanda mundial de energia. No Brasil, o petróleo consumido representa cerca de 34,2% da matriz energética.

Além dessas afirmativas acerca da indústria do petróleo, o autor Borsani (2001) ainda afirma que, essa indústria apresenta uma estrutura bem segmentada, voltada para uma eficiente e eficaz realização de toda a gama de atividades envolvidas entre as duas extremidades do *supply chain* (cadeia de suprimentos) da indústria do petróleo, abrangendo desde a localização e exploração da jazida de óleo até a colocação do produto junto ao consumidor final.

Já Braga (2004) salienta, entretanto, que essa indústria já vem passando por profundas transformações, dentre as quais podem ser destacadas a desverticalização e a terceirização de seus elos produtivos.

A cadeia produtiva do petróleo pode ser dividida em duas etapas: a extração, que inclui as atividades de exploração e produção, denominadas *upstream*; e a produção de insumos básicos, que inclui a atividade de refino e as atividades de transporte, armazenamento e distribuição (etapas auxiliares e essenciais à etapa de refino), denominada *downstream* (HAGUE-NAUER *et al.*, 2001). Ambas as etapas se iniciam nas jazidas petrolíferas e terminam nos consumidores, isto é, no início da cadeia produtiva, dá-se a extração e produção de petróleo, e no final do processo, a distribuição dos derivados do petróleo junto ao consumidor (SOUZA, 2006).

Porém, alguns autores como Borsani (2001), consideram o segmento *midstream* como sendo a etapa exclusiva para o refino, onde as matérias-primas (hidrocarbonetos) são modificadas em produtos específicos (gasolina, diesel, óleo lubrificante, entre outros), transformando assim a indústria em três subindústrias. A Figura 1 mostra o fluxograma dessa cadeia produtiva.

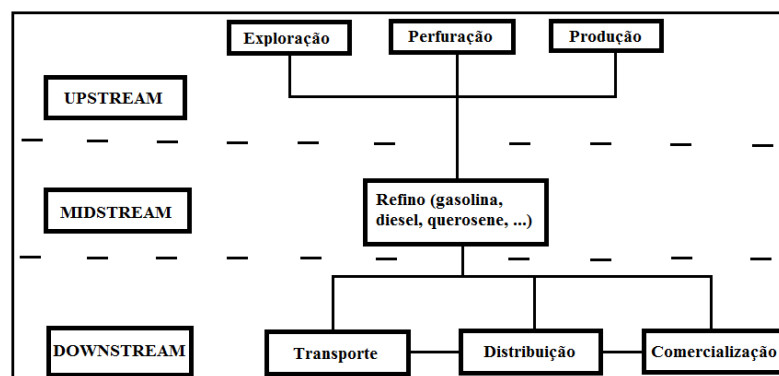


Figura 1: Fluxograma da cadeia produtiva do petróleo.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Thomas (2001), a indústria do petróleo é um dos setores que mais tem registrado avanços tecnológicos nos últimos tempos, sobretudo no segmento *upstream*. Este segmento, relativo às atividades de exploração e produção, consiste em uma série de atividades complexas, que prescindem de vultosos investimentos e profissionais altamente qualificados para pôr termo ao seu objetivo: descobrir e extrair petróleo.

Assim, a fase de descobrimento das jazidas é através da etapa de prospecção, onde são realizados estudos e análises de dados geofísicos e geológicos das bacias sedimentares, que consiste na primeira fase da busca por petróleo, que apontam as regiões de alta probabilidade de ocorrência de hidrocarbonetos através de métodos geológicos, potenciais ou sísmicos, visando pesquisar entre as formações do subsolo aquelas com potencial para armazenar petróleo. Em seguida ocorrem as etapas de perfuração e avaliação de formações que confirmam ou não a existência de petróleo (FIALHO, 2012).

2.2 Perfuração de Poços de Petróleo *Onshore*

Segundo Schaffel (2012) para extrair o petróleo do subsolo, é necessário que exista um caminho que conecte o reservatório à superfície. O objetivo da perfuração é justamente criar esse caminho, que é a construção de um poço com profundidade exigida para chegar até onde o petróleo está localizado, ou seja, é perfurado um poço partindo da superfície até a rocha reservatório, permitindo assim, que o óleo seja elevado até o exterior do poço. Essa perfuração pode ser no mar (*offshore*) ou em terra (*onshore*).

Os poços de petróleo *onshore* foram os primeiros a serem desenvolvidos, sendo estes dotados de uma tecnologia menos complexa e de custos inferiores se comparado a perfuração de poços *offshore*. Segundo Mello (2014) os primeiros poços perfurados em terra utilizavam o método de percussão, onde a coluna vai esmagando a rocha através de sucessíveis golpes originados da sustentação de um cabo, um movimento de suspensão pelo cabo que em seguida libera o peso para a coluna, causando o choque da coluna com a rocha. O método percussivo era válido apenas para perfuração de pequenas profundidades e em formações pouco consolidadas. Com a necessidade de perfurar poços mais profundos, surgiu a sonda de perfuração rotativa.

Atualmente, a perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda. As rochas são perfuradas pela ação rotativa de uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração (THOMAS, 2004). Os fragmentos de rocha são removidos pela ação de um fluido de perfuração ou lama injetados nesta coluna por bombeamento à pressões elevadas. O uso de fluidos de perfuração é essencial para o equilíbrio da pressão entre as formações e o interior do poço, além de impedir o refluxo do reservatório de petróleo ao poço. Como dito anteriormente, os fluidos são responsáveis pela elevação dos cascalhos de perfuração à superfície, entretanto, estes podem ser potenciais contaminantes do ambiente, uma vez que chegam à superfície impregnados de fluidos (CAMPOS *et al.*, 2015), como mostra a Figura 2.

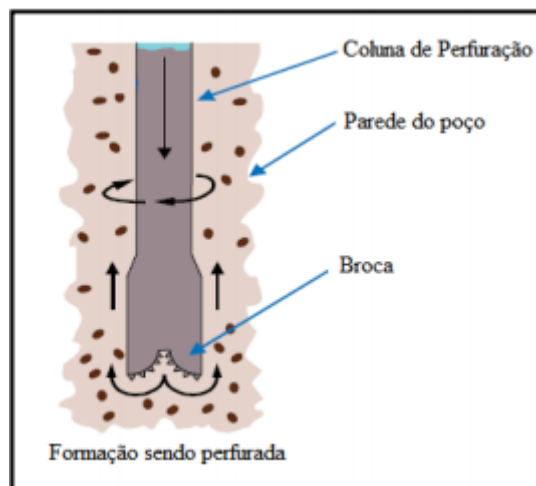


Figura 2: Circulação do fluido de perfuração durante a perfuração.
Fonte: Adaptado (OGP, 2003).

O poço é perfurado em diversas fases, assim, ao atingir determinada profundidade a coluna de perfuração é retirada e é colocada uma coluna de revestimento em aço de diâmetro inferior ao da broca e ainda é executada a cimentação entre os anulares (uniões) dos tubos de revestimento garantindo a segurança. Após isso, a coluna de perfuração é novamente descida ao poço com uma nova broca de menor diâmetro, assim sucessivamente até o final da perfuração (THOMAS, 2004).

A coluna de perfuração tem como principais funções transmitir rotação à broca, aplicar peso sobre a broca e permitir o fluxo do fluido de perfuração e por esses motivos é um dos principais componentes da sonda de perfuração (ANJOS, 2013). Além disso, segundo Mitchell & Miska (2011), a coluna de perfuração é um elemento que está sujeito a um número de cargas, incluindo vibrações, tração e colapso. Estas forças podem ser estáticas ou dinâmicas.

As cargas podem se repetir um número de vezes (cargas cíclicas) ou podem ser fortemente aplicadas em um período curto de tempo (cargas de impacto).

Já a broca, é a ferramenta de corte localizada no extremo inferior da coluna de perfuração, a qual é utilizada para cortar, raspar, desagregar ou triturar a rocha ou formação rochosa durante o processo de perfuração rotativa. Para realizar a perfuração, as brocas utilizam como base os princípios fundamentais para vencer os esforços da rocha, e a forma de ataque pode ser por: cisalhamento, esmerilhamento, esmagamento, e até mesmo erosão por ação de jatos de fluido. A forma do ataque depende do tipo da rocha, levando em conta sua dureza (TRIGGIA, 2001). As brocas de perfuração normalmente são classificadas de acordo com o seu design, em função do critério da mobilidade de suas partes em: brocas sem partes móveis (*drag bits*) e brocas com partes móveis (*rolling cutter bits*), como mostrado na Figura 3.



Figura 3: Brocas de perfuração.
Fonte: Adaptado (SANTANA, 2010).

Os equipamentos usados na atividade de perfuração *onshore* são montados na sonda de perfuração, e estes, podem ser reunidos nos chamados sistemas segundo a sua função na operação. Esses sistemas são: sistema de sustentação de cargas, de geração e transmissão de energia, de movimentação de cargas, de rotação, de circulação, de segurança do poço e de monitoração, todos descritos e detalhados abaixo.

O sistema de sustentação de cargas é constituído de um mastro ou torre, da subestrutura e da base ou fundação. A carga corresponde ao peso da coluna de perfuração ou revestimento que está no poço. Sua função é a de sustentar e distribuir o peso igualmente até a fundação ou base da estrutura (THOMAS, 2004). Ainda sobre o sistema de sustentação de cargas, Pires (2009), completa afirmando que a torre de perfuração, o guincho, o bloco de coroamento e a catarina (polia móvel) possuem a função de sustentar as cargas do sistema de perfuração. Já a torre possibilita a manobra das seções da sonda rotativa, com a inserção ou retirada dos tubos rígidos acoplados à sonda. Esses tubos rígidos de aço formam a coluna de perfuração.

A Figura 4 ilustra o esquema de uma sonda rotativa e alguns de seus equipamentos.

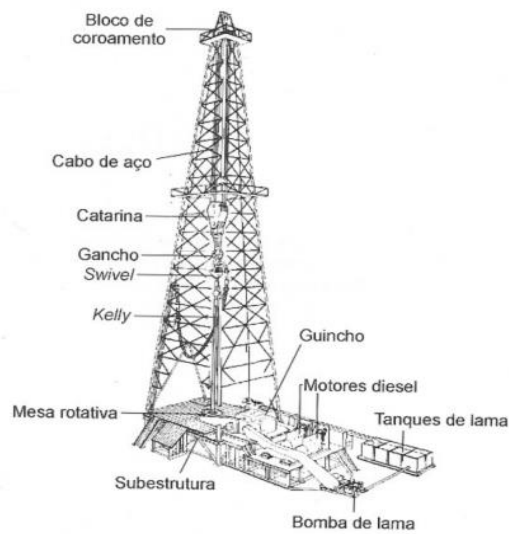


Figura 4: Representação de uma sonda rotativa.
Fonte: (MELLO, 2014).

De acordo com o modo de transmissão de energia, as sondas são classificadas em sondas mecânicas ou diesel-elétricas, sendo as sondas diesel-elétricas do tipo AC/DC o mais utilizado atualmente. A geração de energia é feita quando motores diesel acionam geradores de corrente alternada, que é convertida em corrente contínua por pontes de retificadores controladores de silício (SCR), para sua utilização (BESORE, 2010). O esquema de uma sonda mecânica com motores a diesel é ilustrado na Figura 5.

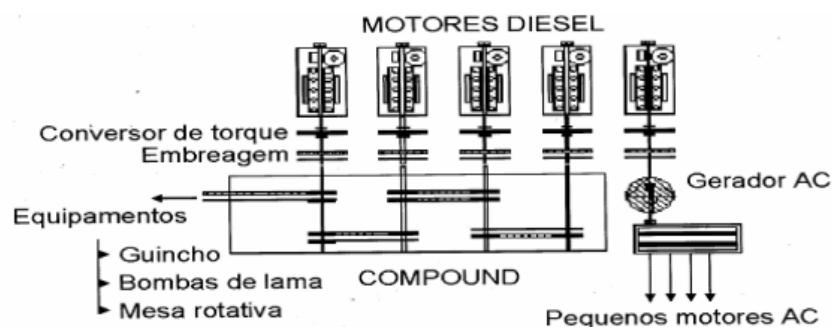


Figura 5: Representação de uma sonda mecânica com cinco motores a diesel.
Fonte: (THOMAS, 2004).

O sistema rotativo é responsável pelo torque aplicado na haste de perfuração. É composto pela mesa rotativa, cabeça de injeção (*swivel*) e a haste (*kelly*). A haste (*kelly*) é a parte da coluna de perfuração que fica permanentemente acima da superfície. A cabeça de in-

jeção serve de junção entre o sistema móvel e o fixo na haste rotativa (PIRES, 2009). Os equipamentos citados acima referentes ao sistema de rotação estão ilustrados nas Figuras 6, 7 e 8, de acordo com a ordem de citação.



Figura 6: Mesa rotativa.
Fonte: (COSENDEY, 2011).



Figura 7: Cabeça de injeção (swivel).
Fonte: (THOMAS, 2004).



Figura 8: Kelly com haste de seções quadrada e hexagonal.
Fonte: (THOMAS, 2004).

O sistema de circulação permite o fluxo e o tratamento do fluido de perfuração. A circulação normal do sistema acontece quando o fluido é bombeado na coluna de perfuração até a broca, retornando pelo espaço anular com os cascalhos até a superfície, permanecendo em tanques, e após o tratamento, o fluido pode ser reutilizado. (BOURGOYNE, 1991). A Figura 9 apresenta um sistema de circulação de fluido.

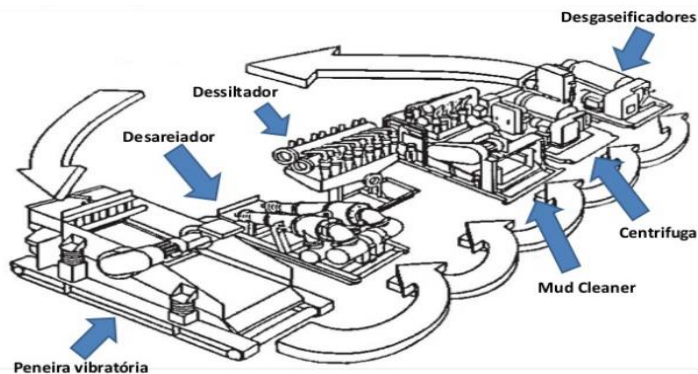


Figura 9: Sistema de circulação de fluidos.
Fonte: (THOMAS, 2004).

O sistema de segurança do poço tem a função de fechá-lo e controlá-lo em casos de *blowouts* ou *kicks*, e tem como elementos principais o *BOP* e a cabeça de poço. *Kick* é o fluxo inesperado e indesejado de fluido da formação para o poço e *blowout* é o fluxo descontrolado de fluidos da formação para a superfície, devido ao desequilíbrio entre a pressão hidrostática da lama e a pressão da formação. Sendo assim, o *BOP* é um conjunto de válvulas que permite

o fechamento do poço em casos de *kicks* e sua cabeça do poço é constituída por vários equipamentos que permitem a vedação das colunas de revestimento. (THOMAS, 2001). O equipamento de segurança do poço, o *BOP*, está ilustrado na Figura 10.



Figura 10: Blowout Preventer (BOP).
Fonte: (PEEK, 2013).

No sistema de monitoração, os equipamentos necessários são para o controle da perfuração, como manômetros, indicador de peso sobre broca, indicador de torque, tacômetro, entre outros. Com o progresso da perfuração observou-se que um máximo de eficiência e economia seria atingido quando houvesse uma perfeita combinação entre vários parâmetros da perfuração. Disto surgiu a necessidade de uso de equipamentos para o registro e controle destes parâmetros. Eles podem ser classificados em indicadores, que apenas indicam o valor do parâmetro em consideração, e registradores, que traçam curvas dos valores medidos (THOMAS, 2004).

A Figura 11 mostra um conjunto de elementos interligados que é controlado pelo sondador, esse conjunto é o sistema de monitoramento.

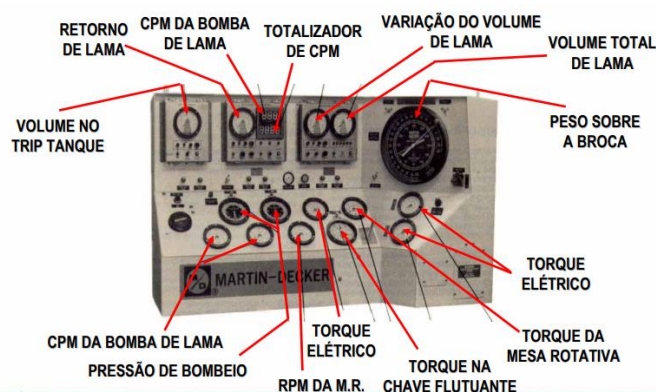


Figura 11: Sistema de monitoramento (painel do sondador).
Fonte: (MANSANO, 2004).

Todas as áreas da indústria do petróleo merecem atenção, porém a perfuração é uma área essencial, que contribui com a exploração do petróleo. A perfuração é uma etapa que necessita de um conhecimento detalhado das condições geológicas de uma determinada região, além de grandes investimentos, visto que para perfurar um poço, uma extensa programação e realização de estudos são necessários, juntamente com um conjunto de equipamentos. (MONTEIRO, 2012).

Mesmo diante de todo desenvolvimento do setor de perfuração e dos pontos positivos provenientes desse processo existe a problemática da geração dos resíduos oriundos da perfuração, principalmente, a geração dos resíduos perigosos, os quais são considerados de alto risco devido ao grau de periculosidade.

2.3 Geração e Classificação dos Resíduos Oriundos da Perfuração *Onshore*

Durante as atividades de exploração e produção de petróleo, tanto *onshore* quanto *offshore*, são gerados resíduos oriundos das operações, além dos provenientes de origem humana. Essas atividades podem poluir o ambiente, e o maior impacto vem da disposição dos resíduos em concentrações que não são normalmente encontradas na natureza. Estes resíduos incluem hidrocarbonetos, sólidos contaminados com hidrocarbonetos, água produzida com uma variedade de compostos dissolvidos e suspensos, e uma grande quantidade de substâncias químicas (CARVALHO, 2005).

Diante do exposto, faz-se necessário a classificação dos resíduos. Os resíduos normalmente são distribuídos em grupos para que seja realizado o seu gerenciamento. O processo de classificação de resíduos envolve, conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004), a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com a listagem de resíduos e substâncias, constantes nesta mesma norma, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Os resíduos, conforme a norma supracitada, são classificados da seguinte forma:

- Resíduos Classe I (Perigosos): são aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Resíduos Classe II (Não Perigosos), sendo este grupo subdividido em:
 - ✓ Resíduos Classe II A (Não Inertes): são aqueles que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, ou não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (Perigosos) ou de Resíduos Classe II B (Inertes).
 - ✓ Resíduos de Classe II B (Inertes): são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004), e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

Assim, surge a inevitável polêmica em volta da utilização e eliminação desses resíduos que tem colocado em posição de destaque no debate internacional a proteção ambiental na etapa da exploração de óleo e gás, principalmente devido a geração dos resíduos perigosos (AL-ANSARY & AL-TABBAA, 2007). Dentre todos resíduos gerados na etapa de perfuração terrestre, estão os listados na Tabela 1.

Tabela 1: Resíduos gerados na etapa de perfuração *onshore* e sua classificação.

Resíduos	Classificação (10.004/04)
Fluidos de perfuração	Classe I
Cascalhos contaminados	Classe I
Lubrificantes/produtos de motores e equipamentos	Classe I
Soldagens/reparos mecânicos	Classe I
Águas e areias oleosas	Classe I
Cimento e seus aditivos	Classe I
Embalagens de produtos químicos	Classe I
Combustíveis, lubrificantes e outros óleos	Classe I
Fluidos provenientes das formações	Classe I
Emissões atmosféricas	Classe I

Continuação

Resíduos alimentares	Classe II A
Lodo residual de esgoto tratado	Classe II A
Tambores não contaminados	Classe II A
Papel e papelão	Classe II B
Metal não contaminado	Classe II B
Lata de alumínio	Classe II B
Plástico não contaminado	Classe II B

Fonte: Adaptado (BROWNING; SEATON, 2005).

Para Pozebon *et al.* (2005), a formação do resíduo gerado vai ser em função do material perfurado, da composição do fluido e do equipamento utilizado para recuperação de fluido. Geralmente, o fluido é o constituinte dos resíduos de perfuração que ocasiona mais periculosidade. Dentre os componentes mais utilizados nos fluidos de perfuração encontra-se a baritina ($BaSO_4$), soda cáustica (NaOH), cloreto de sódio (NaCl) e outros componentes sintéticos (CAENN *et al.*, 2011). No entanto, apesar da composição dos fluidos serem em função das características de cada perfuração, os cascalhos produzidos, geralmente, possuem elevados teores de bário e sódio (MAGALHÃES, 2011).

2.3.1 Fluidos de perfuração

O fluido de perfuração é uma combinação de fluidos e sólidos usados em atividades de perfuração. O fluido atua como um componente de grande importância durante o desenvolvimento da atividade de perfuração. Entre as diversas funções do fluido, pode-se citar: transmitir energia hidráulica às ferramentas de perfuração; controlar a corrosão das ferramentas de perfuração; arrastar os fragmentos das formações para a superfície; manter os cascalhos em suspensão numa parada de circulação; exercer pressão hidrostática para equilibrar o poço; aliviar o peso da coluna de perfuração (flutuação) e minimizar o impacto ambiental (SANTOS, 2012).

A Figura 12 ilustra amostras de fluidos de perfuração.



Figura 12: Fluidos de perfuração.
Fonte: (JUNIOR, 2014).

As propriedades de controle do fluido de perfuração podem ser físicas (mais genéricas, medidas em qualquer tipo de fluido) ou químicas (mais específicas, usadas para distinguir certos tipos de fluido). O estudo dessas propriedades é de fundamental importância para que haja uma melhor interação entre o fluido de perfuração e o sistema a ser perfurado, bem como a melhora das funções específicas do fluido e a diminuição de riscos ambientais. As propriedades físicas mais importantes e frequentemente medidas nas sondas são a densidade, os parâmetros reológicos, as forças géis (inicial e final), os parâmetros de filtração e o teor de sólidos. As propriedades químicas determinadas com maior frequência nos laboratórios das sondas são o pH, os teores de cloreto e de bentonita e a alcalinidade (THOMAS, 2004).

Os fluidos de perfuração são comumente classificados de acordo com o componente principal que constitui a fase contínua. Esses componentes podem ser: água, óleo ou gás. Quando o componente principal da fase contínua é água, é dito que ele é à base de água, e quando é óleo, o fluido é à base de óleo. Os fluidos à base de gás incluem aqueles em que o gás é a fase contínua (gás seco), e aqueles em que o gás é a fase descontínua, como em espumas e espumas compactas (SERRA, 2003). Há ainda os fluidos a base de sintéticos. Segundo Caenn e Chillingar (1996), estes fluidos (sintéticos) são aplicados em situações mais severas de perfuração, onde são utilizados fluidos de base oleosa.

A classificação de um fluido de perfuração é feita em função de sua composição, sendo constituintes da fase contínua o principal critério de separação:

- Fluidos à base de água: A definição e classificação de um fluido à base de água consideram, principalmente, a natureza da água e os aditivos químicos empregados no preparo do fluido. A proporção entre os componentes básicos e as interações entre eles provoca sensíveis modificações nas propriedades físicas e químicas do fluido. Assim, a

composição é o principal fator a se considerar no controle das propriedades destes fluidos (MACHADO, 2002). Os aditivos químicos mais comuns usados em fluidos de base água são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de água.

Material/Produto Químico	Função	Concentração (Libras/Barril)
Cloreto de potássio	Inibição de argila	10 – 70
Bentonita	Viscosificante redutor de filtrado	2 – 10
Hidróxido de potássio	Ph	0,5 – 1,5
Carbonato de sódio	Controle de Ca ²⁺	0,5
Baritina	Densidade	-
Éster graxo de glicol etoxilado	Lubrificante	-

Fonte: Adaptado (BAIN & COMPANY, 2014).

- Fluidos à base de óleo: a fase contínua é constituída por uma fase de óleo, geralmente composta por hidrocarbonetos líquidos. Os fluidos de perfuração de base óleo foram feitos para superar alguns aspectos indesejáveis dos fluidos de base água. Os fluidos à base de óleo possuem características favoráveis, como estabilidade em folhelhos, bom controle de filtrado e lubricidade, porém são industrialmente mais caros e é mais danoso ao meio ambiente (ALMEIDA & SILVA, 2010).

Devido ao alto custo inicial e grau de poluição, os fluidos à base de óleo são empregados com menor frequência do que os fluidos à base de água. Porém, nos últimos anos, muitos progressos têm sido alcançados em relação à pesquisa de novos sistemas à base de óleo, como óleos minerais e sintéticos, menos poluentes do que o óleo diesel (THOMAS, 2001). Os aditivos químicos mais comuns usados nos fluidos à base óleo são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de óleo.

Material/Produto Químico	Função	Concentração (Libras/Barril)
Óleo mineral com baixo teor de aromáticos	Fase contínua	65% – 95% (m ³ /m ³)

Continuação

Água doce	Fase dispersa	5% – 35% (m ³ /m ³)
Cloreto de cálcio	Salinidade e atividade da água	100 – 250 kg/m ³
Poliamida hidrofobizada com óleo	Emulsificante primário	10 – 25 kg/m ³
Copolímero	Controle de filtrado	0 – 20 kg/m ³
Hectorita organofilizada	Viscosificante	20 – 30 kg/m ³
Dímero de ácido graxo	Modificador reológico	0 – 10 kg/m ³
Hidróxido de cálcio	Alcalinizante	0 – 25 kg/m ³
Baritina	Adensante	-

Fonte: Adaptado (BAIN & COMPANY, 2014).

- Fluidos à base de gás: os detritos provenientes na perfuração são deslocados por um fluxo de ar ou gás natural em alta velocidade. (CAENN *et al.* 2014). Embora o gás natural ou outros gases possam ser usados, o ar é mais comum nesses fluidos de perfuração. O objetivo principal em usar fluidos de base de gás é preservação da água, evitando sua perda pra formação e o dano resultante para zonas produtoras. Uma vantagem complementar que se tornou muito importante em áreas de rocha dura é a taxa mais rápida de perfuração. Silva (2003) ressalta ainda que a perfuração à base de gás é recomendada em situações especiais, onde se observa perdas de circulações severas e formações geológicas como o basalto ou o diabásio que tem características de rochas de maior dureza, em regiões com camadas espessas de gelo e escassez de água na formação.
- Fluidos à base sintética: seu dispersante é constituído de substâncias oleosas, embasados a partir de éteres, ésteres, olefinas e polialfaolefinas (MOREIRA, 2011). Foram formulados devido a limitações ambientais determinadas pelos fluidos de base óleo e as restrições de operação dos fluidos de base água. Os fluidos de base sintética têm características similares às dos fluidos de base óleo, porém, por emitir menores quantidades de elementos tóxicos sua aplicação em ambientes de trabalhos fechados torna este tipo de fluido mais importante. No entanto, este tipo de fluido demanda de um volume maior de aditivos para aumentar sua estabilidade, sem contar que são mais caros comparados aos outros tipos de fluidos. (BAIN & COMPANY, 2014).

Os aditivos químicos mais comuns usados em fluidos sintéticos são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Composição padrão de fluidos de perfuração à base de sintéticos.

Material/Produto Químico	Função	Concentração (Litros/Barril)
Óleo sintético a base de alfa olefina linear	Fase contínua	60 – 90% (m ³ /m ³)
Água doce	Fase dispersa	5 – 40% (m ³ /m ³)
Cloreto de cálcio	Salinidade e atividade da água	15 – 30 %
Argila organofílica	Viscosificante/Modificador reológico	10 – 25 kg/m ³
Sal de ácido graxo	Emulsificante primário/Controle de filtrado	6 – 20 kg/m ³
Agente de molhamento	Emulsificante secundário	0 – 20 kg/m ³
Dímero de ácido graxo	Modificador reológico	20 – 30 kg/m ³
Hidróxido de cálcio	Alcalinizante	0 – 25 kg/m ³
Baritina	Adensante	-

Fonte: Adaptado (BAIN & COMPANY, 2014).

2.3.2 Cascalhos de perfuração

Cascalhos de perfuração são combinações de pequenos fragmentos rochosos impregnados com o fluido usado para lubrificar e resfriar a broca durante a perfuração (LEONARD & STEGEMANN, 2010). A Figura 13 ilustra uma amostra de cascalho gerado durante a perfuração de um poço de petróleo.



Figura 13: Amostra do cascalho de perfuração.
Fonte: (SANTOS, 2010).

A maior parte dos resíduos gerados nas operações de perfuração é referente aos detritos que a broca produz ao abrir caminho pelas formações, cujo volume gerado varia de acordo com a profundidade do poço e seu diâmetro (SOUSA, 2013). Segundo Nicolli & Soares (2010) em média um poço gera entre 500 e 800 m³ de material resultante da trituração das rochas pela broca. É possível também estimar o volume de fluido consumido por tonelada de cascalho de perfuração, essa estimativa se dá através da vazão de fluido dividida pela taxa de produção de cascalho. A Tabela 5 ilustra um exemplo destes cálculos para três sondas terrestre da Petrobras.

Tabela 5: Geração de cascalho e consumo de fluido de perfuração.

Sonda	Fase	Profundidade do poço (m)	Vazão de fluido (m ³ /t)	Cascalho produzido (m ³ /t)	Fluido consumido (m ³ /t)
1	1	610	82	0,4	82,7
2	2	1619	98	0,3	143,1
3	3	2272	91	0,3	100,6

Fonte: (PEREIRA, 2010).

Estima-se que cerca de 10 a 15% do volume do fluido de perfuração ficam contidos nos cascalhos após o processo de separação (MORAES, 2010), o que, indubitavelmente, irá influenciar a composição do resíduo sólido a ser transportado e destinado a aterro, reaproveitamento ou mesmo a sua incineração. Dessa forma, tem-se a composição do cascalho determinada, fundamentalmente, pela composição da rocha cortada, que deixa o poço bombeado pelo fluido de perfuração, predominando, assim, a composição mineral da formação perfurada.

O volume de cascalho gerado na etapa de perfuração, teoricamente, corresponde ao volume do poço acrescido de 20%, em decorrência de eventuais desmoronamentos das formações para dentro do poço. (FIALHO, 2012).

A Tabela 6 mostra a composição dos cascalhos de perfuração de acordo com o estudo de cada autor descrito nesta mesma tabela.

Tabela 6: Composição dos cascalhos de perfuração.

Determinações (%)	ABBE (2009)	PIRES (2009)	MEDEIROS (2010)	LEONARD & STEGEMAN (2010)	Valores Médios
Dióxido de silício	47,60	43,96	36,50	60,40	47,12

Continuação

Óxido de alumínio	13,54	21,48	11,50	10,40	14,23
Óxido de ferro	6,34	5,40	4,50	4,90	5,29
Óxido de bário	11,39	2,38	N.D.*	N.D.*	3,44
Óxido de cálcio	2,78	18,12	35,30	2,50	14,68
Óxido de manganês	0,17	N.D.*	0,09	0,06	0,08
Óxido de magnésio	2,31	N.D.*	N.D.*	2,00	1,08
Óxido de potássio	2,33	4,51	2,70	1,70	2,81
Óxido de sódio	1,17	N.D.*	N.D.*	2,40	0,89
Dióxido de titânio	0,65	N.D.*	0,81	0,60	0,52
Pentóxido de fósforo	0,10	N.D.*	N.D.*	0,10	0,05

N.D.*: Não determinado*.

Fonte: (FIALHO, 2012).

Souza & Lima (2002) explicam que os fragmentos das rochas cortados pela broca são carregados pelo fluido de perfuração até as peneiras vibratórias na superfície, onde são separados e dispostos em um dique. Na maior parte dos casos, os diques são construídos nas adjacências dos campos petrolíferos e nem sempre sofrem o processo de impermeabilização de base, cobertura adequada e sistema de drenagem compatível.

A Figura 14 mostra um exemplo desta inadequada forma de armazenamento temporário.



Figura 14: Exemplo de armazenamento temporário inadequado.

Fonte: (SCHAFFEL, 2002).

Porém, as peneiras vibratórias não remove totalmente o fluido que fica impregnado nos cascalhos e este, por sua vez, ainda pode conter outros contaminantes, como: metais pesados; alta salinidade (os sais são adicionados com o objetivo de minimizar o inchamento das formações reativas perfuradas); óleos e graxas; elementos que causam Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); compostos que provocam Demanda Química de Oxigênio (DQO) e substâncias que geram alcalinidade.

Sendo assim, Reis (1996) relata que a presença e a concentração dos contaminantes do cascalho dependem do fluido utilizado, da formação geológica perfurada, da fase do poço e da água utilizada na preparação dos fluidos. Além disso, diz que dentre os contaminantes citados no parágrafo anterior, os principais são: hidrocarbonetos, sais solúveis em água e em alguns casos metais pesados, como detalhados abaixo.

- **Metais Pesados**

O principal risco para o meio ambiente associado a metais pesados está em suas formas solúveis em água ou trocáveis. Essas formas, entretanto, estão presentes em quantidades mínimas nos resíduos sólidos da perfuração.

Na Tabela 7 são mostrados os metais pesados presentes nos resíduos sólidos de perfuração.

Tabela 7: Metais pesados em resíduos sólidos de perfuração.

Concentrações de metais pesados	ABBE (2009) (ppm)	LEONARD & STEGEMANN (2010) (mg/kg)
Arsênio	11,8	5,0
Cádmio	0,3	21,0
Cromo	116,0	106,0
Cobre	32,9	44,0
Níquel	65,0	38,0
Chumbo	11,2	150,0
Zinco	125,0	82,0
Vanádio	N.D.*	108,0
Manganês	N.D.*	345,0

N.D.*: Não determinado*.

- **Sais Solúveis**

Sais solúveis, como cloreto de sódio e cloreto de potássio, fazem parte da composição básica dos fluidos de perfuração de poços de petróleo. E a disposição desses sais no solo, dissolvidos nos resíduos da perfuração, pode trazer consequências graves ao meio ambiente. A concentração excessiva de sal solúvel no solo aumenta o potencial osmótico, que é a causa principal do dano e morte das plantas. O potencial osmótico é a força com que os constituintes dissolvidos tentam reter as moléculas de água, ou seja, o sal no solo compete com as plantas pelas moléculas de água. Excesso de sal no solo faz com que as plantas tenham, prematuramente, stress por *secura*, mesmo que quantidades substanciais de água estejam disponíveis (GARCIA & VAQUEIRO, 2001). Além disso, a lixiviação desse sal (por exemplo, pela chuva) pode vir a transportá-lo até lençóis de água doce subterrâneos, alterando a qualidade dessas águas.

- **Hidrocarbonetos**

Hidrocarbonetos, quando derramados na superfície, penetram a diferentes profundidades, dependendo do tipo de solo. Devido à baixa permeabilidade dos solos argilosos, os hidrocarbonetos não penetram tão profundamente nestes solos, como o fazem em solos arenosos. O poder de percolação dos hidrocarbonetos no solo está direta e preponderantemente ligado à maior ou menor mobilidade destes em função do tamanho de suas moléculas, para o caso das argilas pouco reativas (ex.: caulinitas), e adicionalmente como função da constante dielétrica, ou seja, do grau de polaridade das moléculas, para o caso das argilas reativas (ex.: exmectitas). Hidrocarbonetos com moléculas constituídas por cadeias de mais de oito carbonos são mais viscosos, ou seja, menor mobilidade no solo. Já, os hidrocarbonetos com moléculas constituídas por cadeias com menos de oito carbonos são bem fluidos, penetrando mais profundamente no solo, com maior possibilidade de atingir aquíferos (EL-NAGA & EL-SAYED, 2001). Entre os compostos com baixo número de carbonos em suas moléculas estão a gasolina, benzeno, tolueno e xileno.

Conhecida toda a composição destes cascalhos oriundos da perfuração *onshore*, é possível obter uma estimativa de produção dos mesmos no Brasil, a qual é de cerca de 13m³ a cada 100 metros perfurados (MI SWACO, 2013).

Com isso, a produção de cascalhos gera impactos ambientais devido à grande quantidade que são gerados, principalmente quando estes estão impregnados de fluido de perfuração e por seus fragmentos de rochas perfuradas serem dispostos em diques de perfuração e/ou percolação de contaminantes para lençóis freáticos (AQUINO & COSTA, 2011).

2.3.3 Impactos Ambientais

Os impactos ambientais relacionados à exploração vão desde a poluição ambiental, impacto sobre ecossistemas marinhos e terrestres, alteração dos ecossistemas vizinhos, consumo e captação desordenada de água até ao lançamento de resíduos e aumento do esgoto. A poluição está quase sempre relacionada às atividades de exploração, principalmente associada a vazamentos de óleo com alteração nos ecossistemas, costeiros e terrestres. Estes impactos ambientais são gerados devido ao processo de industrialização e urbanização (SANTOS, 2012).

As perdas condicionadas ao meio ambiente pela utilização de derivados de petróleo, desde a extração até a distribuição, representam um problema de extensão mundial com potencial de contaminação ao meio ambiente. A necessidade crescente de preservação dos recursos naturais e dos espaços designados à ocupação humana requer a criação de soluções tecnológicas efetivas para a destinação final dos resíduos gerados nas diversas etapas de produção, minimizando, de forma eficaz, os impactos ambientais (GANGHIS *et al*, 2009).

Os impactos ambientais referentes ao processo de perfuração se estendem à fauna e flora devido à remoção da vegetação no local onde será perfurado o poço; erosão provocada pela destruição da vegetação; agressões ao meio ambiente causadas pelos resíduos dos fluidos de perfuração e contaminação dos lençóis freáticos e aquíferos subterrâneos, causada por perdas dos fluidos de perfuração para as formações geológicas durante a perfuração (AQUINO & COSTA, 2011).

De acordo com Pereira (2010), os principais resíduos que tipificam a perfuração de poços de petróleo e gás, são os cascalhos e o fluido de perfuração. A utilização e disposição desses resíduos causa uma grande polêmica, devido ao interesse e necessidade de preservar o ecossistema, exigindo uma legislação exclusiva que regulamente a matéria no Brasil. Nos Estados Unidos e na Europa, essa legislação já existe há alguns anos e é bastante exigente.

Quando se determina algo relativo à eliminação desses resíduos é preciso levar em conta não só os potenciais impactos ambientais, mas, também outros impactos que incluem o custo, emissões atmosféricas, riscos do transporte e manuseio e cada opção de disposição apresenta vantagens e desvantagens do ponto de vista econômico, operacional e ambiental (RANGEL, 2015).

Segundo Pereira (2010), na perfuração *onshore*, o descarte de cascalho contaminado sem tratamento é proibido, devendo então serem tratados e dispostos em aterros industriais

e a empresa petrolífera é responsável por garantir a não interferência nos lençóis freáticos dessas regiões.

Os custos de manutenção de fluidos e de tratamento de disposição dos resíduos, bem como todo o custo de perfuração, podem ser reduzidos drasticamente quando técnicas adequadas de controle de sólidos são utilizadas (PEREIRA, 2010). Segundo Miller (2011), podemos lidar com os resíduos que são produzidos de duas maneiras: por meio da redução dos resíduos e do seu correto gerenciamento.

2.4 Gestão de Resíduos Perigosos da Perfuração *Onshore*

O gerenciamento dos resíduos é um conjunto articulados de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração desenvolve para coletar, segregar, acondicionar, armazenar temporariamente, para a coleta e transporte, estações de transferências e disposição final. O conjunto de ações para o gerenciamento dos resíduos deve ir ao encontro das metas estabelecidas para atingir os objetivos traçados pelas empresas (ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Assim, os subtópicos a seguir descrevem de forma histórica e geral as legislações da gestão ambiental, além de descreverem de acordo com as normas vigentes as etapas de armazenamento, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos perigosos.

2.4.1 Aspectos Gerais e Legais da Gestão Ambiental

Em 1981 foi sancionada pelo Congresso Nacional a Lei nº 6.938, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, a qual previa a descentralização das ações, atribuindo aos Estados e Municípios a função de executores de medidas e providências para a proteção ambiental (OLIVEIRA, 2012).

Posteriormente, em 1988, a introdução da matéria ambiental na Constituição Federal (CF) foi um marco histórico de inegável valor por ter sido a primeira Constituição Brasileira a incorporar a proteção do meio ambiente de maneira específica e global (BRAGA, 2005).

Segundo Antunes (2013), outro aspecto de extrema importância para a questão ambiental é a política energética nacional. A produção e o consumo de energia são das questões ambientais mais relevantes e, qualquer que seja a matriz energética de um país, as suas repercussões sobre o meio ambiente serão sempre significativas.

No cenário nacional atual a matriz energética é dominada pela indústria de Óleo e Gás. Isto está refletido na Lei nº 9.478/1997, conhecida como “Lei do Petróleo”, sancionada como a principal norma jurídica nacional sobre política energética, e que é voltada fundamentalmente para o setor de Óleo e Gás. Esta Lei instituiu o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O CNPE, como órgão de assessoramento da Presidência da República, foi criado para a formulação de políticas e diretrizes de energia destinadas a promoção do desenvolvimento sustentável, proteção do meio ambiente, dentre outros. E a ANP de acordo o Decreto nº 2.455/1998, como órgão regulador da indústria e dentre suas competências tem clara responsabilidade de preservação do meio ambiente (ANTUNES, 2013).

Além disso, um grande passo para a política ambiental no Brasil foi dado com a aprovação do Decreto 7.404 de 23 de dezembro de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o qual cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa.

Este decreto estabelece ainda normas para execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010. Neste decreto, destaca-se o tratamento dado a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. É definida a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente amigável adequada dos rejeitos. Apesar deste decreto estabelecer normas para a execução da Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, ainda existem pontos a serem esclarecidos para que as empresas possam adaptar sua rotina à nova diretriz.

Assim, segundo Rohrich e Cunha (2004) gestão ambiental refere-se ao conjunto de práticas e políticas administrativas e operacionais que levam em conta a saúde e a segurança das pessoas e a proteção ao meio ambiente por meio de eliminação ou mitigação de impactos e danos ambientais oriundos do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de empreendimentos ou atividades, incluindo todas as fases do ciclo de vida do produto.

Dessa forma, as normas e legislações vigentes estabelecem medidas que promovem a redução de resíduos, principalmente perigosos, além de direcionar e enquadrar cada processo

da gestão desses resíduos, visto que não se tem uma lei específica para o gerenciamento de resíduos perigosos oriundos da perfuração *onshore* de petróleo.

2.4.2 Armazenamento dos Resíduos Perigosos

De acordo com a norma da ABNT, a NBR 12.235/1992, algumas exigências foram fixadas para que o armazenamento de resíduos sólidos perigosos pudesse acontecer de forma a assegurar a proteção à saúde pública e o meio ambiente.

Todo o processo de armazenamento foi dissertado seguindo a NBR 12.235/92, a qual, é aplicada ao armazenamento de todos e quaisquer resíduos Classe I (perigosos), conforme definido na NBR 10.004/04. Segundo a NBR 12.235/92, para que o armazenamento ocorra de forma segura é necessária a contenção temporária dos resíduos perigosos, em área autorizada pelo órgão do controle ambiental à espera de reciclagem, recuperação, tratamento ou disposição final adequada, desde que atenda às condições básicas de segurança. O armazenamento pode ser em contêiner, diques, a granel, tambores e/ou tanques com capacidades máximas de 250 L, devendo ter bacia de contenção.

Em caso de armazenamentos em diques, é necessário seguir o padrão de dimensionamento para que os diques disponibilizem espaço suficiente para os resíduos que serão gerados durante a perfuração do poço.

Souza & Lima (2002), dizem que os diques possuem uma dimensão que é compatível com a profundidade final a ser alcançada no poço, e que normalmente é entre 1,0 e 1,5 m³ por metro de poço perfurado. Esses diques recebem os cascalhos e efluentes líquidos gerados na operação (restos de lama e água contaminada) e devem ser impermeabilizados afim de evitar a percolação dos contaminantes que foram depositados durante a perfuração.

O armazenamento dos resíduos perigosos deve ser feito de modo a não alterar a quantidade/qualidade do resíduo e nenhum deles podem ser armazenados sem análise prévia de suas propriedades físicas e químicas, uma vez que disso depende a sua caracterização como resíduo perigoso ou não, e o seu armazenamento adequado.

De acordo com a norma NBR 12.235/92, para se armazenar os resíduos perigosos em um local, este, deve possuir um plano de resíduos contendo: os parâmetros que são analisados em cada resíduo, os métodos de amostragem utilizados, os métodos de análise e ensaios, a

frequência de análise, as características de reatividade, inflamabilidade e corrosividade dos resíduos, bem como as propriedades que os caracterizam como tais e a incompatibilidade com outros resíduos. Porém, em instalações que recebam resíduos de terceiros, este plano deve descrever os resíduos que devem ser analisados pelo gerador.

Nas unidades em terra os resíduos perigosos são armazenados de forma a evitar a contaminação cruzada, pois, sem isso, se restringe sobremaneira as possibilidades de reciclagem ou reutilização dos resíduos (MME, 2011).

Segundo Passos (2015), é necessário instalar coletores para facilitar a separação desses resíduos, posicionando-os em locais de fácil acesso, apresentando a cor que corresponde ao tipo de resíduo, de acordo com o código de cores preconizado na Resolução CONAMA no 275/2001, como mostra a Figura 15.



Figura 15: Código de cores conforme a Resolução CONAMA N° 275/01.
Fonte: Resolução CONAMA N° 275/01.

Assim, os efluentes líquidos e resíduos sólidos perigosos devem ser acondicionados em recipientes que resistam ao material poluente e fiquem posicionados de forma que o conteúdo não ofereça riscos aos funcionários nem ao solo. Além disso, é preciso ter cuidado para que os resíduos recicláveis não se contaminem com óleo ou produtos químicos (PASSOS, 2015).

A Figura 16 mostra alguns resíduos armazenados em um mesmo local, em áreas bem definidas, isoladas e sinalizadas pelo grau de risco, conforme explicado anteriormente na Figura 15. Estes resíduos estão posicionados de forma a evitar a contaminação do solo.



Figura 16: Resíduos armazenados corretamente de acordo com as normas.
Fonte: (BORGES, 2018).

Alguns resíduos contaminados podem ser utilizados em empresas fabricantes de cimento. Nesse caso, os resíduos não são destinados diretamente para a empresa fabricantes de cimento, pois é preciso aguardar a disponibilidade da empresa cimenteira para receber esse material.

Segundo Santos (2012), os resíduos são enviados para empresas que processam estes resíduos, onde serão uniformizados, compactados, encapsulados e posteriormente armazenados. Então os resíduos ficam armazenados nessa empresa até que a empresa cimenteira tenha disponibilidade de receber o material para utilizar nos fornos de clínquer.

No caso dos fluidos de perfuração, que são resíduos produzidos durante a perfuração dos poços de petróleo, existem as empresas de fluidos de perfuração que são responsáveis pela gestão desses resíduos, onde são capazes de armazenar tanto os fluidos produzidos que irão utilizar na perfuração, como os que já foram utilizados (ao término da perfuração).

Segundo Schaffel (2002) durante a perfuração, o fluido assume um processo de ciclo fechado, onde ele inicialmente está armazenado nos tanques de lama, sendo introduzido no poço através das bombas que impulsionam para que saia através dos jatos da broca e após sair do processo retorna aos tanques onde será introduzido no poço novamente. E assim esse ciclo se repete durante toda a perfuração.

Todo plano de gestão para o armazenamento dos resíduos em uma determinada instalação deve ser priorizado, visto que as normas e regras vigentes devem ser seguidas, pois, os resíduos serão operados e mantidos de forma a minimizar a possibilidade de fogo, explosão, derramamento ou vazamento destes resíduos perigosos para o ar, água superficial ou solo, os quais podem constituir ameaça à saúde humana ou ao meio ambiente.

2.4.3 Transporte dos Resíduos Perigosos

Os resíduos perigosos gerados no processo de perfuração *onshore* são transportados e dispostos em cumprimento as leis, regulamentos, decretos e resoluções vigentes, por se tratar de resíduos perigosos, com altas concentrações de poluentes, que representam riscos à saúde das pessoas e ao meio ambiente. Dentre os meios de transportes capazes de realizar tal operação, o mais utilizado é o transporte rodoviário.

No processo de perfuração *onshore* de petróleo os resíduos gerados precisam serem transportados para algum tipo de tratamento antes de terem a sua disposição final. Segundo Souza (2010) os tipos de transporte rodoviários variam de acordo com o tipo de resíduo que será transportado. Para resíduos oleosos como o fluido de perfuração são usados caminhões-tanque, já para resíduos como tambores contaminados, cimento, papel/papelão não contaminado, cascalhos contaminados, metais, pilha e bateria, por exemplo, são usados caminhões-caçamba.

Para cada produto perigoso a Organização das Nações Unidas (ONU) atribuiu um número, conhecido como número da ONU, composto de quatro algarismos e a identificação sobre a importância do risco é registrada da esquerda para a direita. A repetição de um número indica, em geral, aumento da intensidade daquele risco específico. Quando o risco associado a uma substância puder ser adequadamente indicado por um único número, isto é, na ausência de risco subsidiário, este será seguido por zero. Caso o número seja precedido pela letra X significará que a substância reage perigosamente com água (BATISTA, 2004).

No transporte desses materiais é verificado se o veículo transportador possui licença ambiental para transportar o devido resíduo. Essas licenças ambientais somente são exigidas para resíduos abrangidos pela Resolução ANTT nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016 da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT). Essa resolução é considerada uma das mais importantes em relação ao transporte de resíduos perigosos.

Segundo a Resolução ANTT 420/2004, os resíduos devem ser transportados de acordo com as exigências aplicáveis a classe de risco apropriada, considerando-se seus riscos e os critérios da regulamentação.

Resíduos, para efeitos de transporte, são substâncias, soluções, misturas ou artigos que contêm, ou estão contaminados por um ou mais produtos sujeitos às disposições deste Regulamento e suas Instruções Complementares, para os quais não seja prevista utilização direta, mas que são transportados para fins de despejo, incineração ou qualquer outro processo de disposição final.

Assim, são classificados como resíduos perigosos para transporte, segundo esta resolução, aqueles contaminados por um ou mais produtos considerados perigosos, devendo ser transportados segundo os critérios de sua respectiva classe de risco.

O Decreto nº 96.044/88, de 18 de maio de 1988, regulamenta as normas gerais e regras específicas para cada produto perigoso e o correto procedimento no transporte de cargas perigosas para a saúde humana e para meio ambiente.

O processo de fiscalização do transporte de produtos perigosos realizado pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal inicia-se pela conferência da documentação, tanto do veículo quanto do condutor (DRPF, 2005).

Na Tabela 8 estão listadas as principais obrigações legais de meio ambiente que as transportadoras de resíduos perigosos devem seguir.

Tabela 8: Principais obrigações legais para transporte de resíduos perigosos.

Obrigações a serem seguidas pelas transportadoras

Emissão da licença ambiental no órgão Estadual de Meio Ambiente para transporte dentro do Estado

Emissão de licença junto ao IBAMA para transporte interestadual (entre Estados)

Realização do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras – CTF-APP. Esse cadastro é realizado no IBAMA

Realização do Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos – CNORP no IBAMA

Emissão do Comprovante de Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC

Realização do pagamento da Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental – TFCA;

Além de toda regulamentação acerca do veículo, é obrigatório o condutor possuir tanto a Carteira de Identidade e Carteira Nacional de Habilitação na categoria adequada, quanto realizar treinamento para transporte de cargas perigosas – Comprovante do curso MOPP, conforme previsto na Resolução nº 91 do Contran.

Com o objetivo de assegurar que a legislação, os decretos, as normas e os regulamentos vigentes de transporte de produtos perigosos sejam atendidos, através de uma verificação ao atendimento às condições mínimas de segurança, a Comissão de Estudo ABNT/CB-16, elaborou a Norma ABNT NBR 15.481/17.

Esta Norma apresenta uma lista de verificação (*check-list*) para o transporte rodoviário de produtos perigosos – fracionado e a granel. É de extrema importância que o responsável pelo preenchimento do *check-list* receba treinamento, tomando como base esta Norma.

A Tabela 9 exemplifica os instrumentos legais relacionados ao transporte de resíduos perigosos, já que a legislação é muito extensa.

Tabela 9: Instrumentos legais referente ao transporte de resíduos perigosos.

Legislações	Providências
Resolução ANTT nº 5.232	Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos
Resolução ANTT 420	Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.
Resolução do Contran nº 91	Dispõe sobre os Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos.
Resolução ANTT nº 3.665	Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.
ABNT NBR 15.481	Estabelece a verificação dos requisitos operacionais mínimos para o transporte rodoviário de produtos perigosos.
ABNT NBR 7.500	Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.

Continuação

ABNT NBR 7.503	Transporte terrestre de produtos perigosos – Ficha de emergência e envelope – características, dimensões e preenchimento.
ABNT NBR 9.735	Conjunto de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos.
ABNT NBR 10.271	Conjunto de equipamentos para emergências no transporte rodoviário de ácido fluorídrico.
ABNT NBR 14.095	Área de estacionamento para veículos de transporte de produtos perigosos
ABNT NBR 14.619	Transporte terrestre de produtos perigosos – Incompatibilidade química.
ABNT NBR 15.481	Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos - Requisitos Mínimos de Segurança.
ABNT NBR 15.994	Transporte terrestre – Requisitos mínimos para locais de espera de motorista no carregamento e descarregamento de carga.
ABNT NBR 16.173	Transporte terrestre de produtos perigosos – Carregamento, descarregamento e transbordo a granel e embalados.
Decreto-Lei nº. 2.063 de 6/10/1983	Dispõe sobre multas a serem aplicadas por infrações à regulamentação para a execução dos serviços de transporte rodoviário de cargas ou produtos perigosos.
Regulamento do Transporte Rodoviário (Decreto nº. 96.044 de 18/05/1988)	Dispõe sobre o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

Fonte: Autoria própria.

O acompanhamento da legislação e suas atualizações deve ser uma prioridade das empresas que estão envolvidas com o transporte de resíduos perigosos, a fim de que os requisitos legais sejam sempre atendidos, evitando possíveis multas ou acidentes. Porém, mesmo diante das fiscalizações acerca do cumprimento das normas, ainda existem casos de negligência, o que conseqüentemente, em muitas situações tem sido a principal causa de acidentes. Exis-

tem leis ambientais que determinam responsabilidades e preveem penalidades para o seu cumprimento. O não cumprimento ao Regulamento do Transporte de Produtos Perigosos pode ser considerado crime ambiental, além de submeter multas altíssimas as empresas.

2.4.4 Tratamento dos Resíduos Perigosos

Estima-se que no Brasil, anualmente, 26 mil toneladas de resíduos classe I da perfuração passam por algum tipo de tratamento – 7 mil toneladas são tratadas em incineradores convencionais, 7 mil toneladas dispostos em aterros, 8 mil toneladas processadas em fornos de clínquer e 4 mil distribuídos a outros tratamentos e destinações (FREITAS, 2001).

O tratamento para resíduos de perfuração tem por finalidade remover os contaminantes presentes no mesmo ou reduzir o teor desses contaminantes perigosos, visando seu reuso ou disposição de forma a não agredir o meio ambiente. A escolha do tipo de tratamento a ser empregado é minuciosa e leva em consideração diversos fatores, tais como custos de implementação, tempo, espaço requerido e fatores técnicos, como equipamentos e logística (BALL *et al.*, 2011). Alguns desses métodos de tratamento estão descritos abaixo.

2.4.4.1 Incineração

Existe uma grande variedade de técnicas de tratamento baseadas na aplicação de calor aos resíduos, os chamados processos térmicos. Os produtos resultantes do emprego dessas técnicas dependem da quantidade de calor utilizada. Dentre os processos térmicos, o mais usual é a incineração. Este método de tratamento é recomendado para resíduos perigosos que não podem ser reciclados, reduzidos ou dispostos de maneira segura em um aterro (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Pinto (2011) o processo de incineração utiliza a combustão controlada para degradar termicamente materiais residuais. A combustão controlada na presença de oxigênio visa à redução do material a gases e materiais inertes (cinzas e escórias de metal) com

geração de calor. É a forma mais comum de destinação para resíduos com elevado poder calorífico. Esse processo permite a redução em volume e peso dos resíduos sólidos em cerca de 60% a 90%. Normalmente, o excesso de oxigênio empregado na incineração é de 10% a 25% acima das necessidades de queima dos resíduos.

A Figura 17 mostra alguns resíduos perigosos sendo incinerados a altas temperaturas.



Figura 17: Incineração de resíduos perigosos.
Fonte: (FRANCISCO & FRANÇA, 2007).

A incineração tem como objetivo tornar um resíduo menos volumoso e menos tóxico. Os remanescentes da incineração são constituídos de gases como dióxido de carbono, dióxido de enxofre, nitrogênio, oxigênio, água, cinza e escórias. Quando a combustão é incompleta podem aparecer monóxido de carbono e particulados, que são constituídos de carbono finamente dividido (LIMA, 1995).

Conseqüentemente se faz necessário que os incineradores contenham equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e agregados leves resultantes da combustão dos resíduos (BARROS, 2002).

As unidades de incineração variam desde instalações pequenas, projetadas e dimensionadas para um resíduo específico, até grandes instalações de propósitos múltiplos, para incinerar resíduos de diferentes fontes. No caso de materiais tóxicos e perigosos, estas instalações requerem equipamentos adicionais de controle de poluição do ar, com conseqüente demanda de maiores investimentos. Os incineradores trabalham na faixa de 1.200 a 1.400 °C e o tempo de detenção entre 0,2 a 0,5 segundos, podendo chegar em alguns casos até 2 segundos. As principais características dos resíduos que apresentam maior potencial para o processo de incineração são: resíduos orgânicos constituídos basicamente de carbono, hidrogênio e/ou oxigênio; resíduos que contêm carbono, hidrogênio, cloro com teor inferior a 30% em peso e/ou

oxigênio; e resíduos que apresentam seu poder calorífico inferior (PCI) maior que 4.700 Kcal/Kg (não necessitando de combustível auxiliar para queima) (MAZZER & CAVALCANTE, 2004).

Neste método de tratamento existem vantagens como a redução dos resíduos em até 5% do volume e 15% do peso original; bom funcionamento, independentemente das condições meteorológicas; possibilidade de recuperação da energia contida nos resíduos e redução do impacto ambiental e desvantagens como o investimento elevado; alto custo de operação e manutenção e exigência de mão de obra especializada na operação (LEITE, 1997).

Além das vantagens e desvantagens citadas anteriormente têm-se as citadas por Amim (2003), dentre elas, estão as vantagens de redução do impacto ambiental em relação ao aterro já que os resíduos são destruídos e não apenas dispostos, resultando numa minimização da preocupação em longo prazo com a monitorização do lençol freático; a desintoxicação, pois destrói bactérias, vírus e compostos orgânicos, além de poder ser utilizada também para a descontaminação de solos contendo resíduos tóxicos e recuperação de energia onde uma parte dela pode ser recuperada para geração de vapor ou eletricidade.

Já as desvantagens são a inexistência de um limite máximo de emissões de componentes da classe das dioxinas e furanos e a localização que é uma barreira social e técnica, uma vez que tem efeito sobre os moradores, tendo que ser considerado o custo do transporte e, em consequência, a proximidade da fonte de geração (AMIM, 2003).

Além disso, Cunha (2009) afirma que o método de incineração possui custo elevado, cerca de R\$ 750,00/tonelada, e que um ponto importante é a grande necessidade de disposição final para as cinzas geradas no processo de queima. No entanto, ele considera como vantagem deste método a aplicação em diversos tipos de resíduos.

2.4.4.2 Co-processamento

Co-processamento, por definição, é a técnica que permite a queima de resíduos em fornos de cimento mediante dois critérios básicos: reaproveitamento de energia, para que o material seja utilizado como substituto ao combustível, ou reaproveitamento como substituto da matéria-prima, de forma que os resíduos a ser eliminado apresentem características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer. No forno de produção de clínquer, local onde os resíduos são destruídos, a temperatura na entrada é da ordem de 1.200

°C, sendo que na chamada zona do maçarico a temperatura chega até 2.000 °C. As altas temperaturas nos fornos, aliados ao tempo de detenção e a alta turbulência do interior dos equipamentos, resultam na destruição de quase toda carga orgânica (MAZZER & CAVALCANTI, 2004).

O co-processamento tem se apresentado como uma das alternativas tecnológicas mais viáveis para o gerenciamento de resíduos, por ser um processo fechado, com poucas limitações técnicas, custo relativamente baixo, destruição de resíduos e retenção de cinzas na matriz do clínquer e por não apresentar impacto ambiental negativo. Além disso, essa alternativa contribui para a conservação de recursos não renováveis, entretanto, a prática mais difundida é a utilização em fornos de cimento, onde o reaproveitamento pode ser feito através da incorporação à massa reacional ou na sua queima para reduzir o consumo de combustível (KOEHLER, 2000).

A Figura 18 mostra um esquema do processo de co-processamento para resíduos perigosos oriundos da perfuração *onshore*.

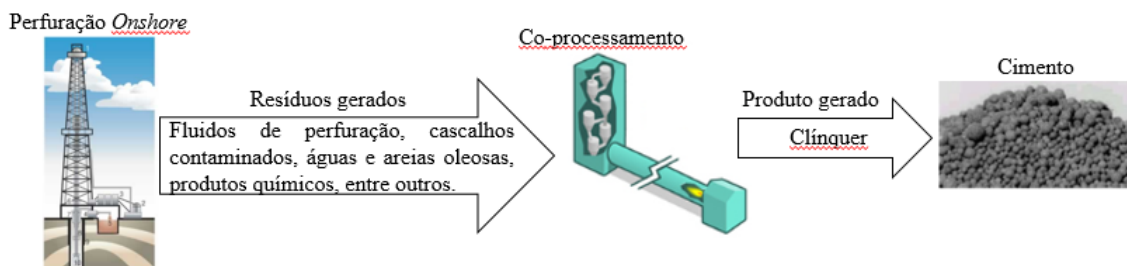


Figura 18: Esquema do co-processamento para resíduos da perfuração.
Fonte: Autoria própria.

Durante a combustão dos resíduos, os materiais mais voláteis seguem rotas de emissão prejudiciais tanto às propriedades do cimento, como à saúde ocupacional e à saúde ambiental. Muitos desses resíduos, classificados como perigosos, contêm metais pesados, compostos organoclorados com cadeias vinílicas ou aromáticas, como as dioxinas e os furanos. De acordo com Milanez (2007), durante o coprocessamento desses resíduos, os metais pesados são redistribuídos, sendo os mais voláteis (tais como Hg e Tl) emitidos juntamente com os gases pela chaminé principal do forno, os semivoláteis (Cd e Pb) e os não voláteis (As e Ni) normalmente são incorporados ao clínquer. Os níveis e as características das emissões dos poluentes atmosféricos dependem das características tecnológicas e operacionais do processo industrial, em especial, dos fornos rotativos de clínquer, da composição química e mineralógica dos insumos, e da composição química dos combustíveis. Nesse sentido, a queima de resíduos perigosos acarreta um passivo de emissões não desprezível com custos ambientais e sociais.

Apesar de ser considerado o processo mais adequado para o tratamento dos resíduos perigosos não passíveis de reutilização, uma vez que possibilita a recuperação da energia contida no resíduo, este processo é prejudicado em virtude da baixa quantidade de plantas industriais de fabricantes de cimento existentes no Brasil e licenciadas para essa atividade. Dessa forma, a desvantagem do método de co-processamento é pouca quantidade de fabricantes de cimento, já as vantagens são as altas temperaturas e longos tempos de residência, elevado índice de destruição, processo de autolavagem de gases, dupla valorização de produtos orgânicos e minerais, alta eficiência e recuperação e redução das emissões globais de CO₂ global (AMIM, 2003).

Para Cunha (2009), o método de co-processamento oferece como grandes vantagens o baixo custo, cerca de R\$ 380,00/tonelada e o reaproveitamento energético dos resíduos, sem a geração de cinzas, mas em contra partida, apresenta como desvantagens as restrições quanto ao tipo de resíduo, no caso de resíduos que possuem baixo poder de queima, e necessita de controle atmosférico.

Segundo Kihara (2008), o coprocessamento de resíduos é uma tecnologia regulamentada de disposição final de resíduos em fornos de cimento, que não gera novos resíduos e contribui para a preservação de recursos naturais.

2.4.4.3 Inertização, Blendagem e/ou Encapsulamento

Os métodos de inertização, blendagem e/ou encapsulamento são considerados como metodologias de pré-tratamento de resíduos, tendo como objetivos principais melhorar as características físicas e de manuseio desses resíduos; reduzir a área superficial por onde possa ocorrer migração dos poluentes; restringir a possibilidade dos elementos perigosos e retirar a toxicidade dos elementos perigosos (CUNHA, 2009).

A técnica de inertização consiste em modificar as características dos resíduos, de forma que possa transformar esses resíduos sólidos perigosos em resíduos com baixíssima concentração de contaminantes e assim permita a disposição final em aterros ou mesmo a utilização como matéria prima para fabricação de outros produtos, como o cimento por exemplo.

De acordo com Mendonça (2007), para conseguir eliminar ou reduzir a periculosidade ambiental de um resíduo, pode-se utilizar a inertização ou a estabilização, tornando as

substâncias problemáticas em inócuas ou mantendo imobilizadas dentro de uma matriz adequada. Termodinamicamente, a inertização consiste em retardar a velocidade que as substâncias procuram o equilíbrio nas condições ambientais em que estão sujeitas, enquanto que a estabilização forma novos compostos termodinamicamente estáveis em tais condições ambientais.

A técnica de solidificação e estabilização, chamada no Brasil de encapsulamento, é citada por diversos autores como alternativa para resíduos inorgânicos, não inertes e perigosos. Encapsulamento é o processo físico de converter resíduos em peças duráveis, densas e monolíticas com estrutura integral que é mais compatível para reuso, armazenamento ou aterro. Este processo químico é usado para minimizar o potencial de periculosidade e lixiviação do resíduo, convertendo-os em formas menos solúveis, móveis ou tóxicas (LEONARD & STEGEMANN, 2010). Essas técnicas possuem muitas vantagens desde o mínimo consumo de energia e resultados com mínimas emissões de gases.

Para Mendonça (2007), no processo de encapsulamento/blendagem não existe reação química, apenas há a incorporação de um sólido que possui área lixiviável reduzida e age como uma barreira física entre o resíduo e o ambiente. Sendo assim, o processo de encapsulamento/blendagem não altera as características do resíduo, apenas age como uma medida mitigadora, criando essa barreira ou camada protetora e evitando assim o contato do resíduo com o meio ambiente. É o que acontece na indústria petrolífera, os resíduos perigosos em seu estado líquido são misturados a um resíduo inerte podendo este ser, por exemplo, pó de serra ou areia. Essa mistura transforma o resíduo do estado líquido para um estado semi-sólido e, posteriormente, esse material formado são depositados em bombona forrada e coberta por concreto. Assim, os resíduos após serem encapsulados são destinados a aterros.

Segundo Pio *et al* (2000), existem vários processos para realizar a imobilização ou inertização de substâncias nocivas. O uso de cimento Portland, encapsulamento com silicatos, asfaltos, termoplásticos ou resinas, são meios que permitem criar uma barreira que estanca um possível contato entre as substâncias perigosas e o meio externo, sendo transformados em blocos ou microcápsulas, onde os resíduos deixam de ser facilmente solubilizados e transportados pelos agentes ambientais, e assim podem ser dispostos em aterros.

Na inertização/estabilização e solidificação de resíduos os mecanismos químicos e físicos envolvidos podem abranger: (i) macroencapsulação; (ii) microencapsulação; (iii) adsorção; (iv) absorção; (v) precipitação e (vi) redução da toxicidade do resíduo (EVANS *et al*, 1994).

De acordo com Mendonça (2007), os mecanismos (i) e (ii) são mais comuns nos processos de ceramização ou vitrificação, que são processos de solidificação que ocorrem em

alta temperatura, enquanto que os processos de encapsulamento, cimento tipo Portland e resinas termoplásticas, acontecem em baixa temperatura. Na macroencapsulação, os resíduos são imobilizados na matriz através do aprisionamento físico nos poros do material, já na microencapsulação ocorre a incorporação de componentes do resíduo em estruturas cristalinas, sendo esse último mecanismo o mais eficaz.

No caso de metais pesados, Vogel (2002) diz que geralmente, para inertizar resíduos contendo esses metais, utiliza-se o método de precipitação através da formação de sais insolúveis, normalmente hidróxidos, sulfetos ou cloretos.

De acordo com Cunha (2009), essas técnicas têm como vantagens a redução da área superficial, a melhora das características físicas e a restrição a solubilidade. A desvantagem é que esses procedimentos não “tratam” os resíduos, apenas melhoram suas características para que sejam dispostos.

2.4.5 Destinação Final dos Resíduos Perigosos

Tendo em vista a preocupação dos órgãos governamentais e da sociedade com o risco de poluição ambiental causado pelos resíduos da atividade de perfuração de poços, passou-se a pesquisar alternativas, ambientalmente, adequadas para a solução do problema. Assim, os resíduos gerados na perfuração de poços de petróleo vêm sendo dispostos em aterros ou reciclados como matéria prima na pavimentação asfáltica. (FIALHO, 2012).

2.4.5.1 Aterro Industrial Classe I

Chen *et al.* (2007) menciona que a prática de disposição final mais utilizada para cascalhos produzidos *onshore* em quase todos os países produtores de petróleo, é a sua disposição em diques ou em aterros para resíduos sólidos perigosos.

Atualmente em atividades de perfuração *onshore* no Brasil, adota-se como solução principal a destinação do resíduo de perfuração em aterro industrial classe I. A Figura 19 apresenta a central de resíduos de Alto Jericó, onde são lançados resíduos oriundos de poços escavados pela Petrobrás no Campo de Carmópolis - SE.



Figura 19: Central de Resíduos do Alto Jericó – Sergipe.
Fonte: (PIRES, 2009).

O aterro industrial classe I é uma alternativa de destinação de resíduos industriais perigosos, que se utiliza de rigorosas técnicas nacionais e internacionais que permitem a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais, visando garantir proteção total ao meio ambiente. Estas técnicas consistem em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis (através de geomembranas, drenagem, tratamento de efluentes, e poços de monitoramento do lençol freático), cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário (PINTO, 2011).

Segundo Loureiro (2005), os aterros não podem ser vistos como simples local de armazenamento de resíduos, mas devem ser avaliados também como obras geotécnicas no comportamento das distintas etapas de operação e degradação.

Para Rodrigues (2003), as condicionantes técnicas para os aterros industriais se dividem em três grupos: projeto; operação e finalização. Para o grupo projeto devem ser estudadas as condições para os sistemas de impermeabilização; para os limites operacionais (condições físicas, químicas, entre outras) e as condições geotécnicas relativas à qualidade do solo. Nas condicionantes relativas à operação, são propostos o monitoramento do lençol freático, o gerenciamento dos percolados e o do maciço de solo.

A Figura 20 ilustra um aterro industrial classe I, local para disposição final de resíduos perigosos.



Figura 20: Aterro Industrial Classe I.

Fonte: (PINTO, 2011).

Os resíduos classe I após passarem por um pré-tratamento, ou seja, após serem misturados a outros resíduos de diversas procedências para formar o chamado *blend* são dispostos em aterros industriais classe I, os quais, recebe esses materiais encapsulados (MENDONÇA, 2007).

2.4.5.2 Aterro Sanitário

Os aterros para resíduos são, no Brasil, as obras de disposição de tecnologia mais conhecida. Entretanto, deve-se sempre ter em mente que esses aterros não servem para a disposição de todos os tipos de resíduos. Portanto, os resíduos a serem dispostos devem ter seus aspectos físico-químicos e infectocontagiosos muito bem definidas. Esse conhecimento condicionará a escolha de forma do aterro, dos materiais (que devem ser compatíveis com os resíduos), o projeto dos sistemas de impermeabilização, de coleta e tratamento do percolato, de monitoramento, os planos de segurança e a própria operação do aterro (MATTEI, 2007).

Segundo Fiorillo (2011) “aterros sanitários são os locais especialmente concebidos para receber lixo e projetados de forma a que se reduza o perigo para a saúde pública e para a segurança”.

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que minimiza os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma

camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário (CASTRO, 1995).

Conforme se verifica a definição acima, o aterro, entre outros requisitos, deve ser construído de acordo com os critérios e as normas de engenharia. Os critérios de engenharia materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférico e superficial para afastamento de águas de chuva, e drenagem de fundo para coleta do lixiviado, de tratamento para o lixiviado drenado e de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica. Esta técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, dispondo-os em camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, formando células de modo a se ter uma alternância entre os resíduos e o material de cobertura (BIDONE, 2001).

Para o processo de implantação do aterro sanitário é indispensável conhecer de forma abrangente a situação do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos, desde as características da produção dos resíduos, as formas de transporte (tipo de veículos, percurso percorrido, condições das vias de acesso), entre outros aspectos (CASTILHOS, 2003).

Para os estudos preliminares é importante ainda um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos. Todas as etapas, da geração ao destino final, também devem ser levantadas. O levantamento de dados qualitativo e quantitativo sobre as atividades de gestão em voga é fundamental para adequado planejamento de melhorias no sistema (CASTILHOS, 2003).

Dessa forma, tem-se que a grande dificuldade reside nos custos de operação de um aterro sanitário, que pressupõe tratamento adequado de líquidos e gases efluentes, além de todos os demais cuidados previstos nas normas técnicas.

Vale ressaltar que as normas técnicas brasileiras sobre aterros de resíduos sólidos foram elaboradas, em sua maioria, há duas décadas e praticamente não incorporaram os conceitos mais recentes de geotécnica ambiental ou mesmo de biotecnologia (JUCÁ, 2003).

A Figura 21 ilustra um aterro sanitário que durante o processo de implantação seguiu os procedimentos dissertados nos parágrafos anteriores.



Figura 21: Aterro sanitário em construção.
Fonte: (BIDONE, 1999).

Assim, foram expostos métodos de disposição final em diferentes aterros, sendo o industrial classe I para resíduos perigosos que foram pré-tratados e o sanitário para resíduos não perigosos, ou seja, resíduos tratados que tiveram a eliminação dos contaminantes que possuíam alto grau de periculosidade.

Porém, nessas disposições os resíduos são apenas descartados sem ter nenhum tipo de reaproveitamento. Já o método de disposição visando a reciclagem para pavimentação asfáltica ou produção de cimento tem o resíduo como uma matéria que antes era indesejável, porém depois de pré-tratada/tratada passou a ser reaproveitada nesses tipos de atividade.

2.4.5.3 Reciclagem/Aproveitamento

A prática de reciclar tem como forma a garantia do reaproveitamento dos resíduos como matéria-prima para outros processos. Depois de esgotadas as possibilidades de utilização, é possível, a partir de um processo de transformação, converter o que era lixo em matéria-prima útil. É preciso, no entanto, avaliar a aplicabilidade destas propostas, pois em alguns casos o processo de reciclagem é caro, e depende desta avaliação a decisão de realizá-lo. Estes resíduos podem minimizar o uso dos recursos naturais, que precisam ser utilizados pelas indústrias (OLIVEIRA, 2012).

Ferreira (2009), cita a prática da reciclagem, como sendo todas as ações cujo objetivo seja o de permitir a reutilização de materiais e/ou produtos, de modo a estender seu ciclo de vida e diminuir os problemas com o depósito de dejetos ou de emissão de poluentes.

Dentre as formas de reaproveitamento dos resíduos encontram-se a reinjeção dos fluidos no poço, utilização de cascalhos em pavimentação asfáltica e na fabricação de materiais cerâmicos.

Algumas sondas de perfuração de poços de petróleo utilizam um sistema de controle de sólidos, que têm a finalidade principal de reduzir o custo da perfuração pelo reaproveitamento do fluido de perfuração. Um sistema típico de controle de sólidos é composto inicialmente de uma peneira vibratória onde são separados do fluido os sólidos mais grosseiros. Em seguida o fluido passa por hidrociclones que irão realizar uma melhor separação deixando o fluido pronto para ser reinjetado novamente no poço. Já os cascalhos que saem desse processo são depositados em caçambas para posterior transporte e tratamento para ser então reaproveitado (SCHAFFEL, 2002).

O desenvolvimento sustentável é algo que vem sendo discutido e analisado em todo o mundo, em vista do custo elevado dos recursos naturais e da degradação rápida dos mesmos. Com base nisso, estabelecer algum fim para alguns materiais que com o tempo acabam se tornando refugo, pode ajudar. Um exemplo disso é o uso de resíduos na pavimentação. Alguns estudos já foram e continuam sendo feitos para analisar a viabilidade do uso de resíduos industriais na estrutura de um pavimento, sejam estes usados no reforço do subleito, sub-base, base ou no próprio revestimento asfáltico (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Dhir *et al.* (2010) propuseram o uso de cascalhos de perfuração impregnados com fluidos base óleo em concretos asfálticos com a função de fíler. Impulsionados pela legislação do Reino Unido que não permite o descarte dos cascalhos contaminados com óleo ao mar, alto volume de geração e urgência em identificar alternativas para a atual destinação dos cascalhos, os pesquisadores propuseram a lavagem dos cascalhos e sua caracterização completa. As características avaliadas nas quatro diferentes amostras de cascalhos foram comparadas com o calcário utilizado em pavimentação da região do estudo.

Já Cavalcante *et al.* (2011) realizaram um estudo incorporando cascalho de perfuração oriundos de um poço de perfuração no estado da Bahia na fabricação de materiais cerâmicos. Segundo estes autores, a engenharia civil ainda não dispõe de um processo pré-estabelecido para o reaproveitamento de resíduos petrolíferos, porém são citados diversos trabalhos desenvolvidos com uso de cascalho em materiais cerâmicos, como os trabalhos de Silva (2003),

que mostram um exemplo de reaproveitamento de resíduos de borra oleosa de petróleo na indústria cerâmica.

O reaproveitamento se deu com a incorporação do resíduo petrolífero à massa argilosa, convencionalmente utilizada na confecção de cerâmicas vermelhas estruturais. Para ser utilizada, a borra oleosa foi previamente tratada para efeitos de encapsulamento (evitar fuga do material para o meio ambiente), através da adição de 20% de argila ativada (TOLEDO, 2014).

Assim, esses modelos de destinação do cascalho apresentam, conjuntamente, dupla vantagem: a reciclagem do próprio cascalho com a eliminação de seu potencial de poluição e a fabricação de material de construção a baixo custo (MEDEIROS, 2010).

Portanto, o reaproveitamento do cascalho mediante sua reciclagem como material de construção vem trazendo benefícios econômicos para a indústria civil, além de atenuar o volume dispostos em aterros, contribuindo para atenuar a poluição ambiental, uma vez que faz desaparecer o resíduo indesejado, ao contrário do que ocorre com a sua disposição em aterro sanitário.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado seguindo um plano de desenvolvimento estruturado da seguinte forma: inicialmente foi realizada uma revisão da literatura, onde foram consultados artigos, monografias, livros, dissertações de mestrados, teses de doutorado, apostilas de cursos e páginas da internet. Posterior ao acervo bibliográfico adquirido, foi feita uma análise de todo material documental e selecionado os temas específicos e de interesse para o desenvolvimento deste trabalho.

A estruturação do trabalho iniciou-se com informações acerca da indústria do petróleo e com a definição do processo de extração desta matéria-prima. Através do conceito proposto por Thomas (2004) foi apresentado o significado do termo petróleo e abordada sua origem, enquanto que o autor Mello (2005) discutiu a importância socioeconômica desta matéria-prima.

Porém, após as pesquisas bibliográficas e documentais foi concluído que a perfuração de petróleo apresenta, em suas etapas, diversos aspectos ambientais, os quais são, de fato, causadores de impactos. Além dos referenciais acerca dos impactos que essa atividade acarreta

com a implementação dos empreendimentos existe a problemática da produção dos resíduos gerados por essa atividade.

Dentre os conceitos abordados por Carvalho (2005) estão os impactos ambientais causados pela atividade de exploração. Esses impactos oriundos do desenvolvimento do processo de exploração *onshore* podem ser reduzidos e alguns até podem serem eliminados com uma gestão consciente e segura, com o auxílio da alta tecnologia existente.

Além disso, nesta revisão bibliográfica foram levantados assuntos relativos à gestão de resíduos perigosos oriundos da perfuração terrestre, bem como demonstrações da utilização de normas e teorias sobre gestão desses resíduos, e particularmente sobre seu uso no âmbito industrial.

Os autores Rohrich e Cunha (2004) dissertaram os assuntos pertinentes a gestão ambiental, já o autor Antunes (2013) dissertou sobre a Lei do Petróleo, a qual, é considerada a principal norma jurídica nacional referente a política energética.

Como o objetivo do trabalho é o gerenciamento dos resíduos perigosos oriundos da atividade de perfuração terrestre, partiu-se da premissa de que era indispensável o conhecimento sobre o processo de perfuração *onshore*, sobre a matéria-prima que estaria sendo extraída e o produto final produzido, para assim, melhor identificar os resíduos gerados.

Dessa forma, a operação de perfuração foi descrita tendo como base o autor Thomas (2004), o qual descreveu a atividade de perfuração *onshore*, bem como, os principais equipamentos utilizados nesse processo.

Portanto, foi feita a descrição do processo, identificando a geração desses resíduos, bem como, o armazenamento e transporte destes de acordo com as leis vigentes, além da avaliação das melhores técnicas de tratamento e disposição final para estes resíduos perigosos.

Logo após a organização dos referenciais teóricos, foi realizada uma entrevista com um engenheiro ambiental, a qual consta no Apêndice A, para avaliar a percepção do mesmo sobre as práticas de gestão de resíduos perigosos provenientes da perfuração *onshore*, bem como, sobre a descrição do processo de gestão destes resíduos de forma correta de acordo com as normas técnicas.

Com a obtenção dos dados da entrevista e do acervo bibliográfico foi possível realizar o confronto de informações e concluir quais os melhores métodos para se obter um gerenciamento adequado dos resíduos perigosos oriundos da perfuração *onshore*, bem como, quais os métodos de tratamento e disposição final mais utilizados no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo como base as legislações, foi possível observar que o Brasil vem desenvolvendo suas leis ambientais de forma gradativa seguindo a tendência mundial de ampliar a fiscalização, regulamentação e o controle das atividades das empresas, impedindo práticas que agredem ao meio ambiente.

Com a aprovação do Decreto 7.404 de 23 de dezembro de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a política ambiental brasileira deu um grande passo, pois veem mostrando a importância da conscientização ambiental para o desenvolvimento da indústria no Brasil. Este fato demonstra clara preocupação do governo federal em exercer seu papel de regulador, assumindo uma postura afirmativa em relação ao desenvolvimento ambiental.

Porém, mesmo com a constante evolução no segmento da legislação ambiental brasileira, ainda existem pontos a serem melhorados, como a implementação de procedimentos para orientar as ações das empresas em diversos aspectos, entre eles, foi destacado o gerenciamento de resíduos perigosos. Sem um detalhamento definido das atividades a serem desenvolvidas pelas empresas, torna-se difícil até mesmo a adequação efetiva e posterior controle por parte das autoridades.

Mesmo tendo normas e legislações vigentes que estabelecem medidas que promovam a redução de resíduos, principalmente perigosos, e que direcionem as empresas geradoras sobre processo da gestão desses resíduos, não se têm leis específicas para a gestão de resíduos perigosos oriundos da atividade de perfuração *onshore*.

Na elaboração do presente trabalho foi realizado uma entrevista com um engenheiro ambiental para um possível esclarecimento sobre o processo de gestão de resíduos abordado na Petrobras. Com a entrevista que consta no Apêndice A foi feito um confronto de informações com o acervo adquirido na literatura. O gerenciamento de resíduos é feito seguindo as etapas de geração, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, todo este ciclo é realizado seguindo as leis e normas ambientais vigentes e estas etapas estão discutidas separadamente nos parágrafos abaixo.

Sobre o conceito de geração de resíduos que descreve a atividade poluidora responsável por produzir resíduos enquadra-se neste trabalho o processo de perfuração *onshore* de poços de petróleo. Essa atividade gera inúmeros resíduos perigosos e não perigosos, sendo exclusivamente discutidos no presente trabalho, os resíduos perigosos.

A operação de armazenamento é descrita segundo a NBR 12.235/92, armazenamento de resíduos perigosos, a qual diz que estes resíduos podem ser armazenados em contêiner, diques, a granel, tambores e/ou tanques com capacidades máximas de 250 L, devendo ter bacia de contenção. Como descrito pelo engenheiro ambiental, na entrevista que consta no Apêndice A, a empresa Petrobras durante suas atividades realiza essa etapa de gestão de forma legal, pois o engenheiro disserta que a maioria dos resíduos são armazenados em tambores de acordo com as Normas Técnicas e isso acontece com a maioria das empresas exploradoras de petróleo.

No procedimento de transporte foi possível verificar conformidade entre o que é exigido em lei com as ações desenvolvidas pelas empresas, no entanto, através de pesquisas bibliográficas constatou-se que algumas transportadoras não segue à risca as exigências técnicas e em muitos casos, os acidentes são ocasionados por este motivo, pois para transportar resíduos perigosos todos os motoristas devem estar treinados e certificados para essa atividade, o que não acontece em 100% das empresas. Como dito pelo engenheiro ambiental, os transportes geralmente são feitos em caminhões e de acordo com a literatura, isso pôde ser confirmado.

Como a gestão de resíduos é feito de acordo com as leis para que sejam evitados ou amenizados a geração desses resíduos, a parte de tratamento e disposição final são etapas fundamentais na realização de uma gestão ambiental adequada, pois esses dois procedimentos citados, diz respeito a eliminação do potencial poluidor dos resíduos perigosos e a destinação a um ambiente apto a recebê-los sem que o meio ambiente seja agredido.

De acordo com o acervo bibliográfico foi possível fazer uma comparação entre os métodos de tratamento abordados neste trabalho, são eles, incineração, co-processamento e inertização, blendagem e/ou encapsulamento. A escolha do tipo de tratamento a ser empregado é minuciosa e leva em consideração diversos fatores, tais como custos de implementação, tempo, espaço requerido e fatores técnicos, como equipamentos e logística.

A técnica de incineração possui investimento elevado, alto custo de operação e manutenção, exigência de mão de obra especializada na operação, localização adequada visto que é uma barreira social e técnica, tanto por parte do efeito sobre os moradores, quanto sobre a proximidade da fonte de geração.

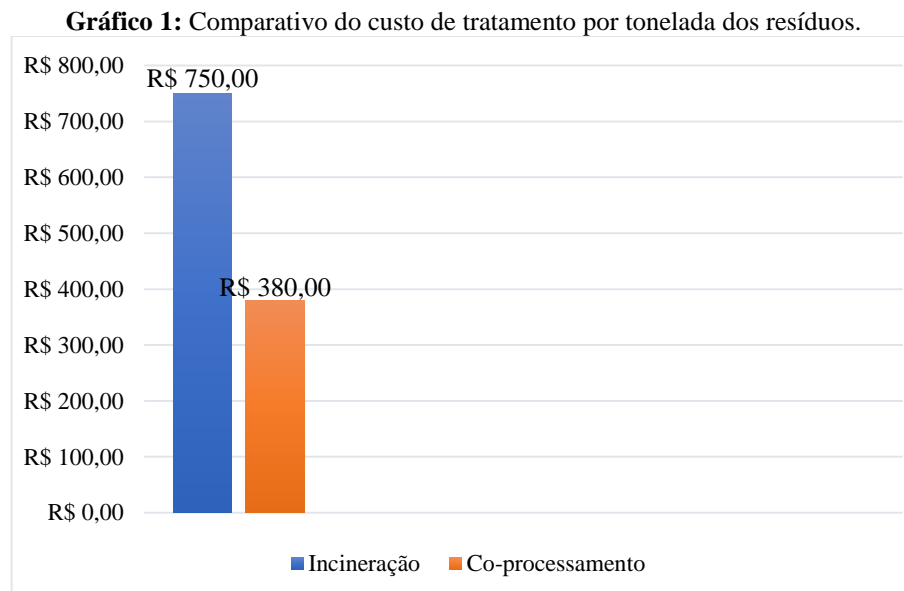
Já o co-processamento possui altas temperaturas e longos tempos de residência, elevado índice de destruição, processo de autolavagem de gases, baixo custo de implementação, alta eficiência e recuperação e redução das emissões globais de CO₂ global, além de ser um método que faz o reaproveitamento de energia, para que o material seja utilizado como substituto ao combustível e reaproveitamento como substituto da matéria-prima, de forma que os

resíduos a ser eliminado apresentem características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer.

Os dois métodos citados são referentes a processos térmicos, já o encapsulamento, blendagem e/ou inertização que também foram abordados neste trabalho é referente a um método físico e químico, esta técnica estabiliza os contaminantes presentes nos resíduos para posterior conversão dos resíduos em peças duráveis.

A técnica de encapsulamento, blendagem e/ou inertização é muito usada pelas empresas, porém como são consideradas técnicas de pré-tratamento, os resíduos quando não são destinados as cimenteiras necessitam serem dispostos em aterros.

O Gráfico 1, representa de forma numérica o comparativo entre os métodos de incineração e co-processamento do ponto de vista econômico.



Os métodos de tratamento térmicos representam uma das melhores alternativas para destruição de resíduos que vem sendo estocados por falta de tecnologia adequada e o co-processamento vem se destacando como sendo amplamente compatível com a atual política mundial de preservação dos recursos ambientais e energéticos, apresentando-se como uma das alternativas mais seguras, eficientes e econômicas para a destruição térmica de resíduos.

No entanto, a técnica de co-processamento possui limitações tanto devido aos grandes problemas de controle das emissões dos fornos de cimento, quanto em decorrência da manutenção das características técnicas do cimento produzido. Assim, muitos resíduos não podem ser tratados por este processo, dentre eles: dioxinas, organoclorados, bifenilos policlorados, explosivos, resíduos com altos teores de cloro, enxofre e metais pesados. Mesmo com limitações

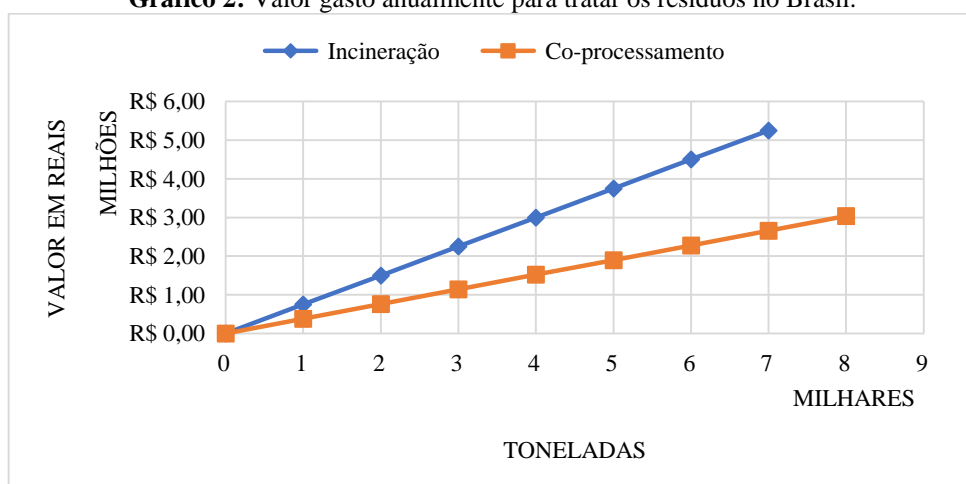
dos resíduos que não podem ser co-processados essa técnica é mais usada e a mais indicada no Brasil pelos motivos e resultados já expostos.

Por fim, a etapa de disposição final discutidas neste trabalho foram disposição em aterro industrial classe I, aterro sanitário e reaproveitamento dos fluidos, dos cascalhos em pavimentação asfáltica e fabricação de cerâmicos. Todos estes procedimentos são aceitáveis legalmente e do ponto de vista ambiental o mais recomendado seria o reaproveitamento tanto dos fluidos como dos cascalhos, devido a disposição em aterros demandar de extensas áreas para o recebimento dos resíduos, sem contar que esse tipo de destinação é um método de disposição que não destrói os resíduos, estes são apenas guardados e isso resulta em uma preocupação a longo prazo no que diz respeito a monitorização do lençol freático, porém mesmo com essas desvantagens, atualmente no Brasil o método mais utilizado ainda é a disposição em aterros dos mais variados tipos, desde aterro classe I à aterro sanitário.

Segundo Freitas (2001), anualmente, 26 mil toneladas de resíduos classe I da perfuração passam por algum tipo de tratamento – 7 mil toneladas são tratadas em incineradores convencionais, 7 mil toneladas dispostos em aterros, 8 mil toneladas processadas em fornos de clínquer e 4 mil distribuídos a outros tratamentos e destinações. Essa afirmativa comprova o que acabou de ser discutido, onde o procedimento mais utilizado é o co-processamento e a destinação final mais usada entre reaproveitamento dos resíduos e aterro, é liderada pela disposição em aterros.

Através dos dados acima do quantitativo aproximado da produção de resíduos por ano no Brasil e dos valores destinados para as técnicas de incineração e co-processamento, foi possível fazer um comparativo de quanto as empresas gastam anualmente para tratar esses resíduos perigosos, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2: Valor gasto anualmente para tratar os resíduos no Brasil.



Analisando o Gráfico 2, nota-se a grande diferença na questão econômica comparando os métodos de tratamento de incineração e co-processamento, e fica mais fácil de entender o porquê de o co-processamento ser hoje no Brasil o método mais utilizado. Percebe-se que apesar do co-processamento tratar 8 mil toneladas, enquanto o de incineração tratar 7 mil toneladas, a diferença de valor gasto pelas empresas é muito menor, tornando o co-processamento um método muito mais viável economicamente.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se então, através do presente trabalho, que a indústria do petróleo é uma grande geradora de resíduos, e que com o avanço da tecnologia, as indústrias petrolíferas passaram a conseguir explorar e produzir cada vez mais petróleo, conseqüentemente, aumentando a geração desses resíduos na superfície, o que exigiu por parte dessas empresas geradoras um rígido controle ambiental, com uma gestão positiva, evitando a contaminação ao meio ambiente.

Dessa forma, pode-se afirmar que as normas e legislações vigentes estabelecem medidas que promovem a redução de resíduos, principalmente perigosos, mesmo sendo uma tarefa muito difícil de se conseguir êxito nas atividades de perfuração, pois durante a fase de perfuração do poço, é irredutível a quantidade de alguns resíduos gerados, como é o caso dos cascalhos e fluidos. Então se faz muito importante o papel dessas normas em direcionar e enquadrar cada processo da gestão desses resíduos, visto que não se tem uma lei específica para o gerenciamento de resíduos perigosos oriundos da perfuração.

Após a geração dos resíduos, os mesmos precisam ser armazenados até que sejam transportados para os devidos locais de tratamento ou disposição final. Verificou-se então, a grande importância do cumprimento das exigências estabelecidas pela NBR 12.235/92, onde estabelece que os resíduos sejam armazenados em área autorizada pelo órgão do controle ambiental, atendendo às condições básicas de segurança. Ao confrontar os resultados obtidos, com dados do engenheiro entrevistado, pode-se assumir que as empresas realizam as etapas de armazenamento dos resíduos em cumprimento com as normas.

Já na etapa do transporte dos resíduos, conclui-se que a Resolução de transportes de produtos perigosos é extensa e trazem muitas obrigações que devem ser observadas e atendidas pelas empresas. Além das Resoluções da ANTT, as empresas envolvidas no transporte de produtos perigosos devem ter amplo conhecimento sobre as Normas Brasileiras (NBR). E, além das Normas citadas na Regulamentação, a Comissão de Estudo de Transporte de Produtos Perigosos, mantém um acervo com diversas Normas. Constatou-se através das pesquisas feitas, que algumas empresas nem sempre seguem a todo o requerimento, gerando acidentes em alguns casos, talvez por desconhecerem todas as exigências ou mesmo por negligência, visto que o processo legal é bem extenso.

Após comparar as técnicas de tratamento apresentadas no presente trabalho, comprovou-se que o co-processamento é o processo mais utilizado atualmente, e foi possível verificar também que é o mais viável economicamente, se comparado com a técnica de incineração. Nem sempre o mais viável economicamente será o mais viável ambientalmente, porém no caso do co-processamento, onde os resíduos são aproveitados pelas empresas cimenteiras para alimentar os fornos de clínquer, o volume de emissões da cimenteira será o mesmo, independente de utilizar ou não esses resíduos. No caso das técnicas de inertização, blendagem e/ou encapsulamento, não foi encontrado valores, porém não foi necessário fazer o comparativo, visto que são consideradas técnicas de pré-tratamento, necessitando ainda de um reaproveitamento ou de uma deposição em aterros.

Por fim, conclui-se que são utilizados todos os métodos de disposição final citados nesse trabalho, os quais oferecem possibilidades de dispor os resíduos de forma legal. Assume-se que o mais viável seria o reaproveitamento de todos os resíduos, sem a necessidade de dispor em aterros, visto que esses resíduos estarão expostos a riscos ambientais, mas apesar de toda a tecnologia já disponível na atualidade, a utilização de aterros para disposição dos resíduos ainda é indispensável e é ainda o método de disposição final mais utilizado no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBE, O. E. Novel sintered glass-ceramics from vitrified oil well drill cuttings. **Journal Material Science**. v. 44. p. 4296–4302, 2009.

AL-ANSARY, M. S.; AL-TABBAA, A. C. **Comparison of Stabilised/Solidified Mixed of Model Drill Cuttings Based on the North Sea and Red Sea Areas**. SPE Publication 106799. SPE E&P Environmental and Safety Conference held in Galveston, Texas. U.S.A. 5-7 March 2007.

ALMEIDA, R. D. F.; SILVA, W. G. A. L. **Avaliação de Fluidos de Perfuração de Base Aquosa Contendo Poliglicóis Modificados**. 62 f. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

ALMEIDA, M. L. O. de; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

AMIM, P. R. P. **O co-processamento e a incineração como tecnologias de tratamento de resíduos sólidos**. Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2003.

ANJOS, J. L. R. **Análise de vibrações torcionais em perfuração de poços de petróleo**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**, 15ª ed. São Paulo: Atlas, p. 1433. 2013.

AQUINO, F. N. P. M.; COSTA, L. F. L. G. **Riscos Ambientais em uma Sonda de Perfuração de Petróleo onshore na Unidade de Negócios-RN/CE- Mossoró/RN**. - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Currais Novos. HOLOS, Ano 27, Vol 3. 2011.

BAIN & COMPANY. **Potencial de diversificação da indústria química Brasileira – Relatório N°3 - Químicos para E&P**. Rio de Janeiro, 2014.

BALL, A. S.; STEWART, R. J.; SCHLIEPHAKE, K.; **A review of the current options for the treatment and safe disposal of drilling cuttings**. Journal Waste Management & Research, v.30, p.457-473, 2011.

BARROS, C.J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá – Um modelo de gestão**. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2002.

BATISTA, E.A. **A utilização de tecnologias limpas na logística com produtos perigosos e sua fiscalização nas rodovias federais**. 2004. 58f. Monografia (Graduação em Administração), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004

BESORE, S. **Fuel consumption, overload capacity among critical criteria in selection of generator sets**. The Drilling Contractor Website, 2010. Disponível em: <http://www.drilling-contractor.org/fuel-consumption-overload-capacity-among-critical-criteria-inse>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC-USP, 1999.

BIDONE, F.R.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final**. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Rima, p. 240. 2001.

BORGES, T. M. **Proposta de um Protocolo de Referência para o Armazenamento de Resíduos Industriais de Empreendimento no Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Pós-graduação - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

BORSANI, Â. J. **Uma Contribuição à Logística da Indústria do Petróleo: Modelo de Regressão Dinâmica para Previsão dos Preços dos Óleos WTI e BRENT**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, p. 1-50. 2001.

BOURGOYNE, J.R., MILLHEEIM, K. K., CHENEVERT, M. E. **Applied Drilling Engineering**. Journal of Petroleum Science and Engineering, Textbook Series, Richardson, EUA. 1991.

BRAGA, V. M. **A logística como diferencial na Indústria do Petróleo: O caso do Downstream Brasileiro**, 2004.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**, 2ª ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2455.htm. Acesso em: 23 de outubro 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 12 de outubro 2018.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 12 de outubro 2018.

BROWNING, K.; SEATON, S. **Drilling Waste Management Case Histories Demonstrate that Effective Drilling Waste Management Can Reduce Overall Well-Constructions Costs**. SPE 96775. SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas, Texas, U.S.A., 9-12 October, 2005.

CAENN, R. **Fluidos de Perfuração e Completação**. Tradução da 6ª edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CAENN, R. & CHILLINGAR, G. V. Drilling Fluids: State of the Art, Journal of Petroleum Science and Engineering 14, 221-230. 1996.

CAENN, R., DARLEY, H. C. H., GRAY, G. R. **Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids**. 6 th ed. Elsevier: Oxford, p.701. 2011.

CAMPOS, L. F., LUGON JR, J., TELLES, W. R., RODRIGUES, P. P. G. W. Estudo da geração de resíduos nas operações de perfuração e cimentação durante a construção de poços marítimos de óleo e gás. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**. Essentia. Editora, in press. 2015.

CARVALHO, A. L. **Estudo dos fluidos de perfuração e seus impactos relacionados às atividades da indústria de petróleo**. 74p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Itajubá, 2005.

CASTILHOS, J. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte - Florianópolis – SC**. Editora Rima Artes e Textos – 2003.

CASTRO, A. P. **Origem e composição do lixo**. In: PRANDINI, Luiz Fernando et al. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995.

CAVALCANTE, E. H.; MOTTA, L. M. G.; UBALDO, M. O.; NASCIMENTO, L. A. H.; VEIGA, I. L.; COSTA, J. H. **Construção do Trecho Monitorado com Utilização do Resíduo Cascalho de Perfuração**. In: CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DO ASFALTO, XVI, 2011, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBP, 2011.

CHEN, T.; KUNG, U. N. C.; LIN, S. **An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials**. SPE E&P Environmental and Safety Conference held in Galvesion, Texas. U. S. A., 5-7 March, 2007.

COSENDEY, T. F. **Análise da técnica de perfuração underbalanced e suas vantagens em relação à perfuração convencional**. 2011.

CUNHA, C. E. S. C. P. **Gestão de Resíduos Perigosos em Refinarias de Petróleo**. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DHIR, R. K.; CSETENYL, L. J.; DYER, T. D.; SMITH, G. W. **Cleaned oil-drill cuttings for use as filler in bituminous mixtures**. Construction and Building Materials. V. 24. p. 322-325.2010.

EL-NAGA, K. H. A.; EL-SAYED, A. **Treatment of drill cuttings**. In: SPE/EPA EXPLORATION AND PRODUCTION ENVIRONMENTAL CONFERENCE, SPE 66530, 2001, San Antonio: p. 2-7. 2001.

EVANS, J. C.; LAGREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P. L. **Hazardous Waste Management**. McGraw-Hill, 1994.

FERREIRA, A. C. S. **Contabilidade Ambiental: uma informação para o desenvolvimento sustentável – Inclui os certificados de carbono**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

FIALHO, P. F., **Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo e Gás: Estudo do Potencial de Aplicação em Concreto**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Programas de Pós-Graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2011.

FONSECA, M. H. G. P., **Estudo do resíduo oleoso das atividades de exploração e produção de petróleo na manutenção de estradas de terra – Enfoque Ambiental**, Dissertação de Mestrado. UFES, 2003.

FRANCISCO, J. L.; FRANÇA, K. C. **Métodos de Tratamento de Resíduos de Petróleo**. Dossiê Técnico, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC, 2007.

FREITAS, E. **Resíduos Industriais: Co-processamento avança como solução alternativa**. Revista Saneamento Ambiental. n°78, p.22-23, jul. 2001.

GANGHIS, D.; ALARSA, M.; TRENTINI, S. **Alternativa para destinação final de cascalho de perfuração de poços de petróleo on shore gerados no Nordeste do Brasil**. Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 1, 2009. Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21961/14330>>. Acesso em 23 out 2018.

GARCIA, R. L. P.; VAQUEIRO, R. L. C. **Viabilidade da aplicação das tecnologias land treatment, dilution burial e roadspreading para disposição/remediação de cascalho de perfuração na UN-BA**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, 2001. Comunicação técnica CT BIO 88/2001.

HAGUENAUER, L.; BAHIA, L. D.; CASTRO, P. F.; BRASÍLIA, M. B. R. **Evolução das Cadeias Produtivas Brasileiras na Década de 90**. Brasília: IPEA, 2001.

JUCÁ, J. F. T. **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**. In: V Congresso Brasileiro De Geotecnia Ambiental. Anais... Porto Alegre: REGEO, p. 443-470. 2003.

JUNIOR, I. P. **Secagem por micro-ondas na descontaminação de cascalhos de perfuração**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. 131 f. 2014.

KIHARA, Y. **Coprocessamento de resíduos em fornos de cimento: tendências**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: IBRACON, 2008.

KOEHLER, A. **Consciência do Consumidor faz Cimento ficar mais Verde**. In: GAZETA, 2000.

LEITE, W.C.A. **Estudo da Gestão de Resíduos Sólidos: uma Proposta de Modelo Tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) como Referência**, Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, 253p., 1997

LEONARD, S.A.; STEGEMANN, J.A. **Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings**. Journal of Hazardous Materials. v. 174. p. 463-472. 2010.

- LIMA, L.M.Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3a ed. Hemus. São Paulo. 1995.
- LOUREIRO, S. M. **Índice de Qualidade no Sistema da Gestão**. Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos. Urbanos - IQS [Rio de Janeiro] 2005.
- MACHADO, J. C. Fundamentos e Classificação de Fluidos Viscosos. **Reologia e Escoamento de Fluidos-Ênfase na indústria do petróleo**. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2002.
- MAGALHÃES, M.; **Dinâmica do Bário em Solos Contaminados Por Resíduos Oriundos da Perfuração de Poços de Petróleo**. (Tese de Doutorado) Agronomia-Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011.
- MANSANO, R. B. **Engenharia de Perfuração e Completação em Poços de Petróleo**. 2004. 48 slides. Disponível em: < http://www.petroleo.ufsc.br/palestras/2004_08_05.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.
- MARTINS, S. S. S.; SILVA, M. P.; AZEVEDO, M. O.; SILVA, V. P. **Produção de Petróleo e Impactos Ambientais: Algumas Considerações**. HOLOS, Ano 31, Vol. 6. 2015.
- MATTEI, G. E. **Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados**. Eng. Sanit. Ambient., v.1, n.2, 2007.
- MAZZER C.; CAVALCANTE, M. D. L. 2004. **Introdução à Gestão Ambiental de Resíduos**. Infarma. v. 16, n. 11-12, 2004. Disponível em <<http://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/77/i04-aintroducao.pdf>>. Acesso em 20 de setembro de 2018.
- MEDEIROS, L. C. **Adição de cascalho de perfuração da Bacia Potiguar em argilas para uso em materiais cerâmicos: influência da concentração e temperatura de queima**. Dissertação (Mestrado em graduação em Ciências e Engenharia da Materiais) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, 2010.
- MELLO, L. F. S. **Uma Proposta de Indicadores de Desempenho na Área Internacional da PETROBRAS: Uma abordagem sob o ponto de vista logístico**. 2005.
- MELLO, Eduardo Varela. **Top drive: aplicações e experiências em sistemas de perfuração**. 2014.
- MENDONÇA, C. M. D. **Ativação Alcalina e Inertização de Resíduos Industriais**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) – Universidade de Aveiro, Portugal, 2007.
- MILANEZ, B. **Cocincineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios**. In: 9º Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Anais... Curitiba: ENGEMA, 2007.
- MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo, Cengage Learning, 2011.
- MI SWACO. 2013. Disponível em <<http://www.miswaco.com>>. Acesso em setembro de 2018.

MITCHELL, R. F.; MISKA, Z. S. **Fundamentals of drilling engineering**. Society of Petroleum Engineers, 2011.

MME - Ministério de Minas e Energia. Caderno de Diagnóstico número 9: **Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração Energética, Petróleo, Gás e Refino**. Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. Out/2011.

MONTEIRO, H. L. S. **Análise de desempenho de diferentes leis de controle de vibrações torcionais em colunas de perfuração de poços de petróleo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012.

MORAES, M. A. **Estudo Geoquímico, Ecotoxicológico do sedimento nas proximidades de um poço de perfuração na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil**. Rio de Janeiro, 2010.

MOREIRA, C. B. **Um Estudo relacionado à utilização de fluidos de perfuração em áreas Offshore**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Química e Petróleo, Universidade Federal Fluminense, 2011.

_____. NR 9 – **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. 1994.

_____. NBR 10.004 – **Resíduos Sólidos** - Classificação. 2004.

_____. NBR 12.235 - **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro, 1992.

NICOLLI, D.; SOARES, C. B. P. **Avaliação da Dispersão do Cascalho de Perfuração Lançado em Águas Profundas**. T&N Petróleo, n. 15, p. 64-67, 2010.

OLIVEIRA, A. I. A. **Legislação**. In: CEBDS. Centro Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, 2012.

OGP, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS. **Environmental aspects of the use and disposal of non-aqueous drilling fluids associated with Offshore Oil & Gas Operations**. London, 2003.

PASSOS, R. C. S. **Gerenciamento de Resíduos das Atividades Offshore de Exploração e Produção de Petróleo**: Uma análise da Conformidade Legal Aplicada em Projetos Licenciados. 2015. 67 f. Monografia (Especialização de Engenharia de Campo – SMS) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2015.

PEEK, K. [www.flickr.com. Flickr](https://www.flickr.com/photos/kurtpeek/17041097235), 2013. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/kurtpeek/17041097235>>. Acesso em: 10 out. 2018.

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. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

PETROBRAS. **Disposição do Cascalho de Perfuração Onshore**. 2010.

PINTO, D. P. S. **Contribuição à Avaliação de Aterros de Resíduos Industriais.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Rio de Janeiro. Fevereiro de 2011.

PIO, C. A.; BARROS, H. B.; CARVALHEIRO, J. R.; FORMOSINHO, S. J. **Parecer Relativo Ao Tratamento De Resíduos Industriais Perigosos.** Comissão Científica Independente de Controlo e Fiscalização Ambiental da Co-Incineração - criada pelo Decreto-Lei 120/99 de 16 de Abril. 2000.

PIRES, P. J. M. **Utilização de Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo para a Produção de Cerâmica Vermelha.** Tese de Doutorado Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, 2009.

POZEBON, D.; LIMA, E.C.; MAIA, S.M.; FACHEL, J.M.G. **Heavy metals contribution of non-aqueous fluids used in offshore oil drilling.** 2005.

RANGEL, N. S. **Gerenciamento de Resíduos da Perfuração de Poços de Petróleo e Gás Offshore: Fluidos e Cascalhos de Perfuração.** 2015. 62 f. Monografia (Engenharia de Campo SMS) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2015.

REIS, J. **Environmental Control in Petroleum Engineering.** 1st Ed, Houston, Texas, Gulf Publishing. 1996.

_____. Resolução ANTT N°5.232, de dezembro de 2016 – **Transporte Terrestre de Produtos Perigosos.**

RODRIGUES JR., J.J. **Proposta Metodológica para Gerenciamento de Áreas Contaminadas: uma Aplicação no Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de M.Sc.. Programa de Planejamento Energético, COPPE, UFRJ, RJ. 2003

ROHRICH, S. S.; CUNHA, J. C. **A proposição de uma taxonomia para a análise da gestão ambiental no Brasil.** Revista de Administração Contemporânea, v. 8, n. 4, p. 86-95, 2004.

SANTANA, H. Trabalho Prático – **Brocas de Perfuração E&P,** Universidade Santa Cecília. 2010.

SANTOS, C. B. dos. **Utilização de Resíduos Oleosos Provenientes das Atividades de Petróleo para Uso em Pavimentos Rodoviários.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campinas Grande, 2010.

SANTOS, M. B. **Perfuração de Poços de Petróleo: Fluidos de Perfuração.** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n. 1, p. 121-127, 2012.

SCHAFFEL, S. B. **A Questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2002.

SCHAFFEL, S. B. **Environmental risk analysis (ERA) for offshore activities: challenges and opportunities.** In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2012, 2012, Rio de Janeiro. Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2012. Rio de Janeiro: IBP, 2012

SERRA, A.C.S. **A influência de aditivos de lama de perfuração sobre as propriedades geoquímicas de óleos.** Rio de Janeiro: Tese (Doutorado) - UFRJ, p. 163. 2003.

SILVA, C. T. **Desenvolvimento de fluidos de perfuração a base de óleos vegetais.** 2003. 43 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

SOUSA, C. A. de; MENDES, F. S. **Coprocessamento em fornos de clínquer: uma alternativa sustentável para destinação do resíduo cascalho de perfuração de poços de petróleo em Mossoró-RN.** Revista Eletrônica de Petróleo e Gás - UnPetro, Rio Grande do Norte, Universidade Potiguar – Laureate International Universities, Natal. Abr.2013.

SOUZA, P. J. B., LIMA, V. L., **Avaliação das técnicas de disposição de rejeitos da perfuração terrestre de poços de petróleo.** Monografia de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria, UFBA, 2002.

SOUZA, F. R. **Impacto do preço do petróleo na política energética mundial.** 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, C. O.; LEITE, L. S. B. S.; FILHO, V. J. M. F.; CARVALHO, P. R. S. **Gerenciamento de Resíduos de Sondas de Perfuração Offshore: Uma Abordagem Via Programação Inteira Mista.** ISSN 2175-6295 Rio de Janeiro- Brasil, 2010.

TEIXEIRA, G. B.; BEZERRA, H. B.; BORGES, P. A. B. **Utilização de Misturas de Cascalho Laterítico, Asfalto Fresado e Resíduo de Pó de Granito na Pavimentação.** Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

THOMAS, J. E., **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 1ª ed., Rio de Janeiro, Interciência, 2001.

THOMAS, J. E.; **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2ª ed. Interciência, 2004.

TOLEDO, A. L. L. **Comportamento Geotécnico de Misturas de Solo e Resíduos de Perfuração Onshore.** Dissertação de Pós-graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

TRIGGIA, A. A. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2001.

VOGEL, A. I.; **Análise Química Quantitativa,** 6ª ed., Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 2002.

WORLD Bank Group. **Environmental, Health, and Safety Guidelines for Onshore Oil and Gas Development.** Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development / World Bank. 2007.

APÊNDICE A - Questionário respondido por um Engenheiro Ambiental da Petrobras

1) Quais são os resíduos gerados na perfuração?

Óleo queimado na lavagem de peças, trapos de EPI contaminados com óleo, pilhas e baterias comuns e alcalinas, esgoto sanitário, curativos e resíduos de serviços de saúde, cartuchos de tinta para impressora, embalagens metálicas vazias como óleo de tinta e solventes, ácido de faturamento, elementos filtrantes usados contendo substâncias tóxicas, máscara de proteção, parafina contaminada com óleo, produtos químicos vencidos líquidos ou sólidos, água de formação, fluido de completação sem óleo, cordas, náilon, seda sem contaminantes, elementos filtrantes de água ou ar, gel de faturamento, lixo comum reciclado, lixo comum não reciclado como pontas de cigarro, varrição, resíduos sanitários, cascalho e fluido de perfuração, resíduos de cimentação e entulhos de obras.

2) Descrição do processo de armazenamento. O armazenamento dos resíduos perigosos é feito de acordo com as normas? Caso não seja, qual etapa do armazenamento não está de acordo com a legislação?

Grande parte desses resíduos da perfuração são armazenados em tambores, como óleo queimado, EPI's, pilhas e baterias, restos de curativos de serviço de saúde, entre outros. Já os resíduos de esgoto sanitário vão para reservatórios específicos e alguns resíduos como fluido de completação sem óleo e água de formação vão para caçambas. O processo de armazenamento de todos os resíduos é acondicionado as Normas Técnicas.

3) Como é realizado o transporte desses resíduos e quais normas e leis são seguidas?

Geralmente o transporte é feito através de caminhões, e esses veículos devem ser licenciados pelo órgão federal (IBAMA) se for transporte interestadual, ou pelo órgão estadual (ADEMA) se for transporte estadual. Esses caminhões devem possuir uma placa de identificação que consta o tipo de resíduo identificado pelo número da ONU e com o tipo de substância perigosa que está sendo transportada, pois a grande parte dos resíduos são Classe I. Além disso, é de fundamental importância o preenchimento de um documento chamado de manifesto de resíduos para todas as classes, ou seja, classe I, classe II A e classe II B, o qual identifica o gerador, a descrição do resíduo, se é sólido

pastoso ou líquido, quais são os principais constituintes, quem é o transportador, qual a data do carregamento, a hora, a placa do veículo, o preenchimento pelo destinatário, a data de recebimento, o horário, o número da licença ambiental que é muito importante e assinado em 3 vias ou em 4 vias, uma via para o gerador, uma para o transportador e uma para o destinatário, e que no caso da empresa contratante, esta deve ficar com uma cópia da via do gerador, bem como receber uma cópia autenticada do certificado de destinação dos resíduos gerados, ou seja, precisa o empreendedor ter uma cópia desse documento para comprovar que fez a gestão ambiental do resíduo.

4) Quais os tratamentos são utilizados na empresa para cada tipo de rejeito?

Atualmente, em geral, o que é recomendável é o aterro industrial classe I, que recebe este tipo de resíduos, porém existe também uma prática muito discutida atualmente, que é o co-processamento desses resíduos em fornos de cimenteiras, ou seja, é feito um *blend*, uma mistura desses resíduos e encaminhados para uma baía de resíduos malha, onde receba esse material que ele possa ser segregado, selecionado e que a mistura esteja ideal para que os fornos recebam esses resíduos e seja feito a incineração, ou seja, a indústria vai aproveitar o poder calorífico do resíduo e isso é uma vantagem ambiental por conta da diminuição de contaminantes relativamente disposta no meio ambiente e devido ao ganho energético. Após o resíduo ser tratado e destinado, o empreendedor recebe o certificado de destinação final mostrando que certa quantidade de toneladas foram co-processados na indústria cimenteira. Isso é uma prática que está avançando muito, mas em alguns casos se não for co-processado vai para o aterro sanitário.

5) Qual o tratamento mais utilizado, o mais viável economicamente e o mais seguro ambientalmente?

É o co-processamento dos resíduos, onde as indústrias cimenteiras recebem todo esse tipo de resíduo para serem incinerados nos fornos, lembrando que a mistura tem que está perfeitamente ideal, dentro das condições técnicas operacionais dos fornos para que isso seja feito, se não for possível fazer o co-processamento, a melhor forma é aterro sanitário.

6) Quais as técnicas de deposição final utilizadas? Qual a mais utilizada na empresa, mais viável economicamente e a mais segura ambientalmente?

Reciclagem, principalmente na parte de matérias da classe II A (lixo comum e lixo comum não reciclável), existe também a questão de aterros sanitários, onde são colocados os rejeitos, tanto na classe II A, quanto na classe I, aterro industrial para classe I, onde é possível colocar todos os resíduos perigosos, que vão ser tratados pela estação de tratamento de efluentes (ETE).

Obs.: A água de formação é a que vai em poli caçambas e é destinada para a estação de tratamento de efluentes, porém, os demais vão para aterro sanitário.

7) Quais normas e leis são seguidas nas etapas de tratamento e disposição final?

Os requisitos legais são 9.605/98, decreto 79.437/77, decreto 83.540/79, decreto 2.870/98, normas regulamentadoras NR17, NR19, NR21, NR24, a ABNT 10004 e a portaria da Minter 53/79.

8) É possível reaproveitar resíduos perigosos?

Sim. Uma das formas de reciclar resíduo perigoso é fazer pavimentação a partir do cascalho de perfuração quando contaminados com óleo, além de ser possível fazer o reaproveitamento do fluido utilizado no processo de perfuração. Quando não for possível reaproveitar os resíduos, estes, são tratados em uma estação de tratamento de efluentes ou em processos como incineração, encapsulamento, co-processamento e destinados em aterro industrial classe I e aterro sanitário.