

CADERNO DE DIAGNÓSTICO

Número 9

Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração Energética, Petróleo, Gás e Refino

Este material foi elaborado pelo Ministério de Minas e Energia como subsídio ao processo de discussão e elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, conduzido pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente. Sendo assim, pede-se que não se cite esse material, até versão definitiva.

Outubro 2011

SUMÁRIO

1. Apresentação.....	3
2. Caracterização geral.....	3
3. Metodologia.....	4
4. Setor de exploração e produção de petróleo e gás natural.....	5
4.1 Geração e destinação de resíduos.....	9
5. Setor de produção de energia a partir de hidrocarbonetos.....	12
5.1 Geração e destinação de resíduos.....	13
6. Setor de refino de petróleo.....	14
6.1 Geração e destinação de resíduos.....	18
7. Considerações Finais.....	21
8. Referências.....	22

1. Apresentação

Este relatório apresenta os resultados do diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos provenientes da mineração de substâncias energéticas. Foram levantadas informações sobre a geração e destinação dos resíduos sólidos provenientes das atividades de mineração energética, exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural no território brasileiro, assim como a situação dos segmentos de refino de petróleo e de produção de energia a partir de combustíveis fósseis. O documento está estruturado da seguinte forma:

- a) Considerações iniciais com a caracterização geral do setor;
- b) Metodologia empregada no trabalho;
- c) Indicadores de geração e destinação de resíduos sólidos provenientes de atividades de exploração e produção de petróleo em bacias sedimentares marinhas (off-shore);
- d) Indicadores de geração de resíduos sólidos de atividades de exploração e produção de petróleo em bacias sedimentares terrestres (on-shore);
- e) Indicadores de geração e destinação de resíduos sólidos provenientes de atividades de geração de energia a partir de hidrocarbonetos;
- f) Indicadores de geração e destinação de resíduos sólidos provenientes de atividades do refino de petróleo.

2. Considerações iniciais

Os setores de exploração e produção de petróleo e gás natural, somado aos setores de geração de energia a partir de combustíveis fósseis e do refino de petróleo têm grande importância social e econômica para o país, pois fornece uma das parcelas mais significativas da matriz energética do Brasil, induz o investimento na economia nacional e está na base de várias cadeias produtivas (OLIVEIRA et al., 2011).

Considerando as muitas operações que estão envolvidas nas etapas de exploração e produção de petróleo e gás on-shore e off-shore, além daquelas envolvidas no refino, pode-se inferir nas muitas substâncias envolvidas em tais atividades, dentro do contexto da matriz energética brasileira.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (2010), o petróleo e seus derivados, juntamente com o gás natural, correspondem a 46,6% da energia gerada no país, Figura 1. Neste contexto, torna-se fundamental avaliar a contribuição dessas substâncias na geração de resíduos sólidos do país como um todo.

De maneira geral, a indústria do petróleo pode ser dividida em dois segmentos: o primeiro

conhecido como *upstream*, onde estão incluídas as atividades de exploração e produção de petróleo e gás, chamadas de E&P (Exploração e Produção); e outro chamado *downstream* para as atividades de refino, distribuição e comercialização.

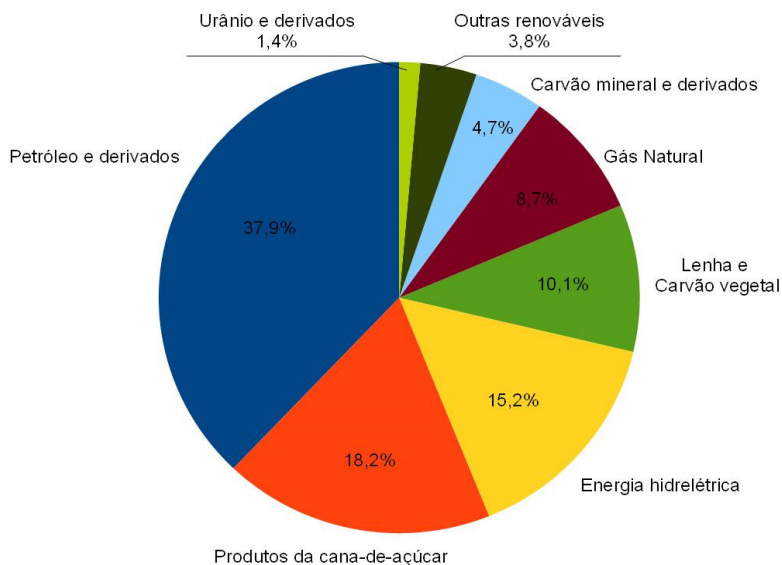


Figura 1 - Composição da matriz energética brasileira, em 2009. Fonte EPE (2010).

A diversidade desta matriz promove o aumento dos tipos de resíduos gerados, que somado à elevada dimensão geográfica, incrementam a complexidade da gestão dos resíduos deste Setor produtivo. Assim, justifica-se a execução de estudos para incrementar as estratégias de gestão dos materiais inservíveis dentro de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

3. Metodologia

Uma vez que as atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural - E&P, produção de energia a partir de combustíveis fósseis e de refino de petróleo são consideradas potencialmente poluidoras e/ou causadoras de degradação ambiental, as mesmas estão sujeitas ao licenciamento ambiental, fundamentado na esfera federal pela Lei nº 6.938/1981 e pelas Resoluções CONAMA nº 237/1997 e nº 24/1994. A competência para o licenciamento ambiental de tais atividades difere em função da localização dos empreendimentos. Para as atividades localizadas na plataforma continental, a competência para o licenciamento remete ao órgão IBAMA, enquanto que as atividades desenvolvidas em bacias sedimentares terrestres são licenciadas pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente - OEMAs.

Para a realização do diagnóstico dos resíduos gerados pelas atividades do Setor de exploração e produção de petróleo e gás natural, produção de energia a partir de combustíveis fósseis e refino de petróleo foram utilizados os dados referentes aos anos de 2008 a 2010, obtidos

das Empresas deste Setor, considerando que tais informações não estão consolidadas em uma única base de dados nos OEMAs ou IBAMA.

Os resíduos sólidos derivados das atividades deste Setor produtivo envolvem mais de uma classe de resíduos, conforme definidos no Art. 13 da Lei nº 12.305/2010. Quanto ao enquadramento relativo à periculosidade dos resíduos sólidos analisados, foi adotada a classificação estabelecida da pela Norma Brasileira ABNT NBR ISO 10.004 (ABNT, 2004), que define:

- Classe I - resíduos perigosos: aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade;
- Classe IIA - resíduos não inertes e não perigosos: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I - Perigosos ou de Classe IIB - Inertes, nos termos da norma. Resíduos desta classe podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Classe IIB - resíduos inertes e não perigosos: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

4- Setor de exploração e produção de petróleo e gás natural

O petróleo pode ser definido como uma mistura de compostos de ocorrência natural que consiste, predominantemente, de hidrocarbonetos e, em menor quantidade, de compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organo-metálicos. A alta proporção de carbono e hidrogênio existente no petróleo demonstra que os hidrocarbonetos são seus principais constituintes, podendo chegar a mais de 90% de sua composição (THOMAS 2004; ZÍLIO e PINTO, 2002).

De acordo com (ZÍLIO e PINTO, 2002) a composição global do petróleo pode ser definida pelo teor de:

- hidrocarbonetos saturados, que compreende alcanos de cadeia normal e ramificada, também denominados parafínicos, e compostos cicloalcanos, também denominados como naftênicos.
- hidrocarbonetos aromáticos, que incluem moléculas aromáticas simples, cicloalcano-aromáticos (naftenoaromáticos), e, usualmente, compostos cíclicos de nitrogênio ou enxofre.
- resinas e asfaltenos, que são componentes policíclicos, de alto peso molecular,

compreendendo átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio. Os asfaltenos são insolúveis em alcanos leves e, assim, precipitam com n-hexano. As resinas são mais solúveis, mas também são muito polares e fortemente retidas por sílica gel quando se realiza a cromatografia líquida com diluição de solventes apolares

As operações de E&P são bastante complexas e, para fins deste documento, tais operações foram sumarizadas da seguinte forma: exploração, perfuração, produção e decomissionamento.

A exploração de petróleo é a etapa em que são realizadas pesquisas geológicas e geofísicas para identificar estruturas capazes de acumular petróleo. Nesta etapa são usados equipamentos sísmicos.

A perfuração por sua vez ocorre depois da etapa de exploração e é o único método de investigação capaz de confirmar e quantificar diretamente o potencial da estrutura geológica portadora dos hidrocarbonetos. A perfuração é realizada com sondas que utilizam o método rotativo, através do qual as rochas são perfuradas.

Uma vez delimitada a extensão do campo, inicia-se a atividade de desenvolvimento, com a localização dos poços produtores e do sistema de elevação e escoamento da produção. Esta é a etapa mais longa deste processo produtivo. Alguns poços podem ter atividade em períodos de mais de 15 anos.

Findada a produção, dá-se lugar as operações de encerramento dos poços e descomissionamento da área, que envolve a execução de estudos ambientais para devolução da área à União.

O processamento do petróleo, oriundo dos campos de produção, se dá via etapas para a separação da fase gasosa absorvida na fase oleosa, o óleo cru e a água de produção. A corrente gasosa, por sua vez, é encaminhada às unidades de processamento de gás natural, já a água produzida é enviada para unidades de tratamento de efluentes.

A fase oleosa, ou óleo cru, segue por um processo que visa enquadramento em padrões de venda, com a dessalgação e secagem, para redução do teor de água emulsionada. Após estes processos, o óleo cru é armazenado ou enviado por dutos para a venda ou refino, Figura 2.

O gás natural, por sua vez, é composto majoritariamente por hidrocarbonetos de baixa massa molecular, que permanece no estado gasoso em condições normais de temperatura e pressão. Nos campos de produção, quando o gás natural ocorre juntamente com altas quantidades de petróleo ele é denominado como gás associado, e quando ocorre com baixas quantidades de petróleo, denomina-se gás não associado (NASCIMENTO, 2005).

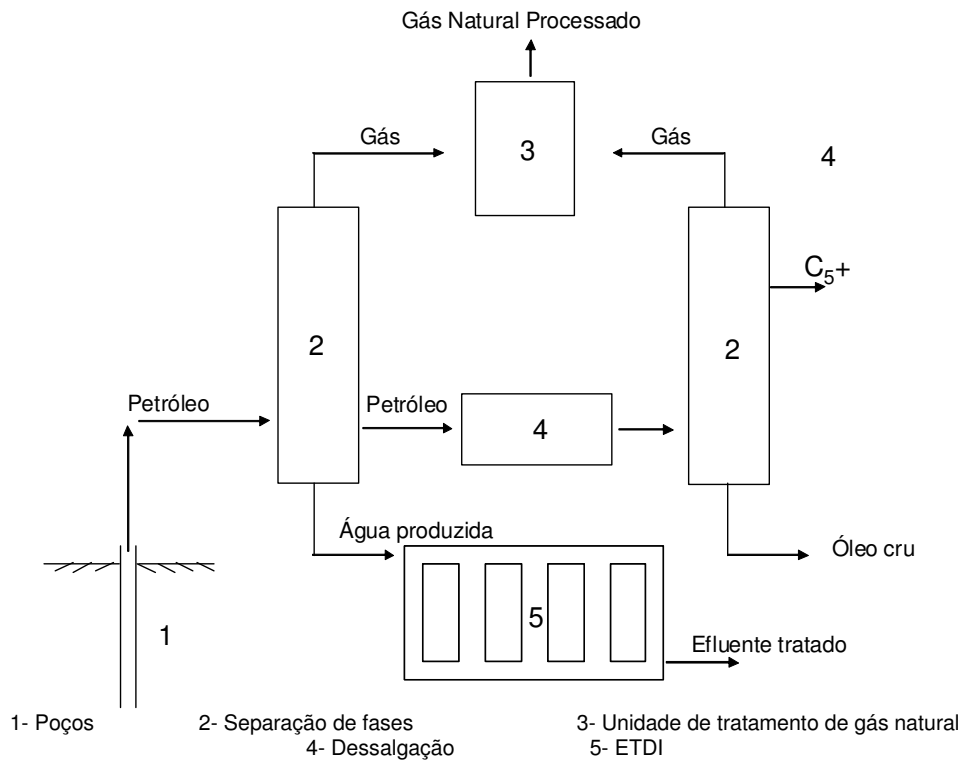


Figura 2: Esquema da produção de petróleo e gás natural

Água e dióxido de carbono aparecem como componentes do gás natural e são consideradas impurezas. São resultantes da decomposição do material orgânico e do contato com a rocha reservatório. A Figura 3 apresenta um diagrama simplificado da produção e processamento de gás natural.

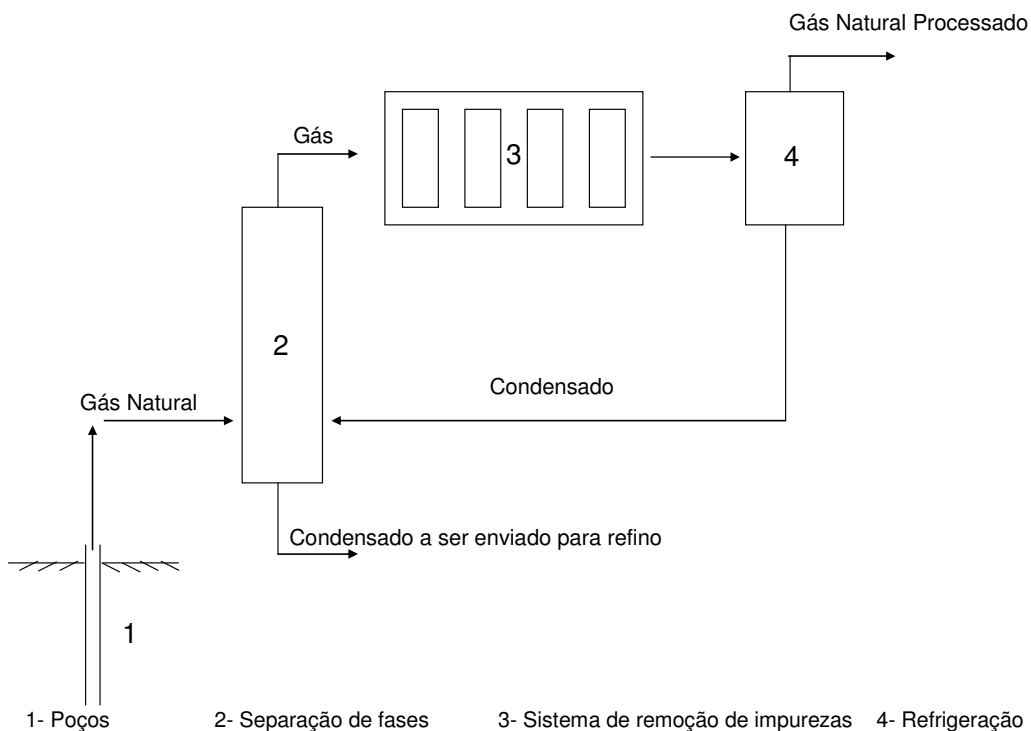


Figura 3: Esquema de produção e processamento de gás natural

O processamento do gás natural compreende etapas de separação de frações com hidrocarbonetos mais leves das frações contendo os compostos químicos mais pesados que são encaminhados para o refino. As frações leves são encaminhadas para um sistema de remoção das impurezas contidas no gás natural, como sólidos, água e dióxido de carbono. Estes compostos interferem no poder calorífico do gás, daí a necessidade desta etapa de tratamento. Em seguida, o gás passa por um novo processo para perturbação do equilíbrio termodinâmico para garantir a remoção de compostos de maior massa molecular ainda remanescente que são encaminhados para o refino. A fração leve tratada é encaminhada para os dutos ou sistemas de transporte para providências de comercialização.

A composição do gás natural é função da sua formação e das condições de aprisionamento na formação rochosa do campo. Nota-se, no entanto, presença acentuada de metano, etano e propano, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Composição de gás natural - Fonte: Nascimento (2005).

Substâncias químicas	Gás natural associado	Gás natural não associado
Metano	78,74	87,12
Etano	5,66	6,35
Propano	3,97	2,91
<i>iso</i> -butano	1,44	0,52
<i>n</i> -butano	3,06	0,87
<i>iso</i> -pentano	1,09	0,25
<i>n</i> -pentano	1,84	0,23
Hexano	1,80	0,18
Heptano e > C ₇	1,70	0,20
Nitrogênio	0,28	1,13
Dióxido de carbono	0,43	0,24

Desde 2008, a produção nacional de petróleo vem aumentando, tanto nos processos on-shore quanto naqueles off-shore, no entanto, a produção no mar é aproximadamente dez vezes maior que a produção em terra, Figura 4. Neste mesmo período, a produção de gás natural off-shore seguiu a mesma tendência da produção de petróleo, no entanto, os processos em terra apresentam uma produção aproximadamente constante, Figura 5.

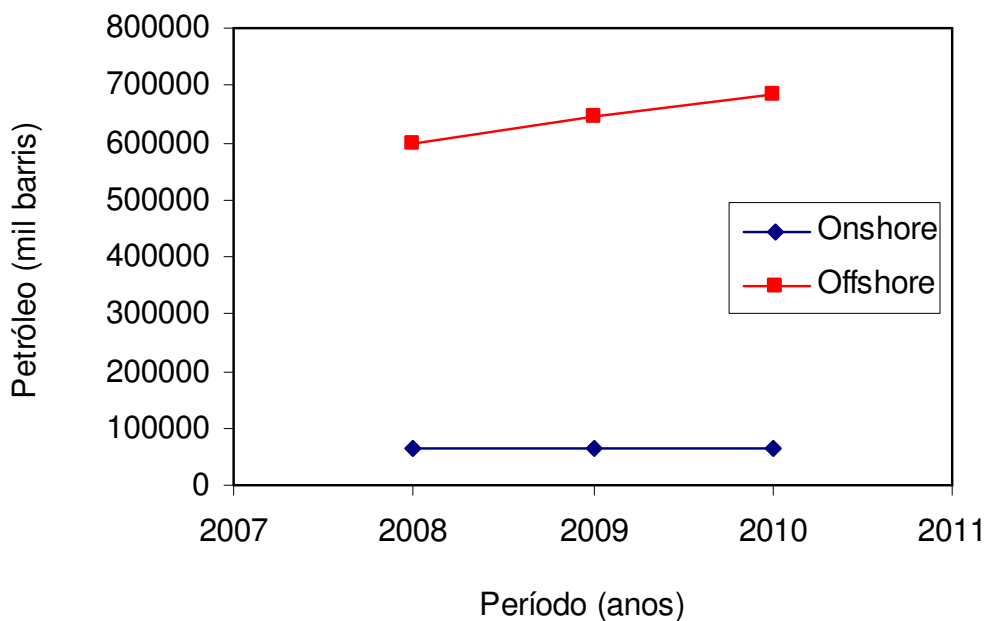


Figura 4: Produção de petróleo on-shore e off-shore. Fonte (ANP, 2008; ANP, 2009; ANP, 2010)

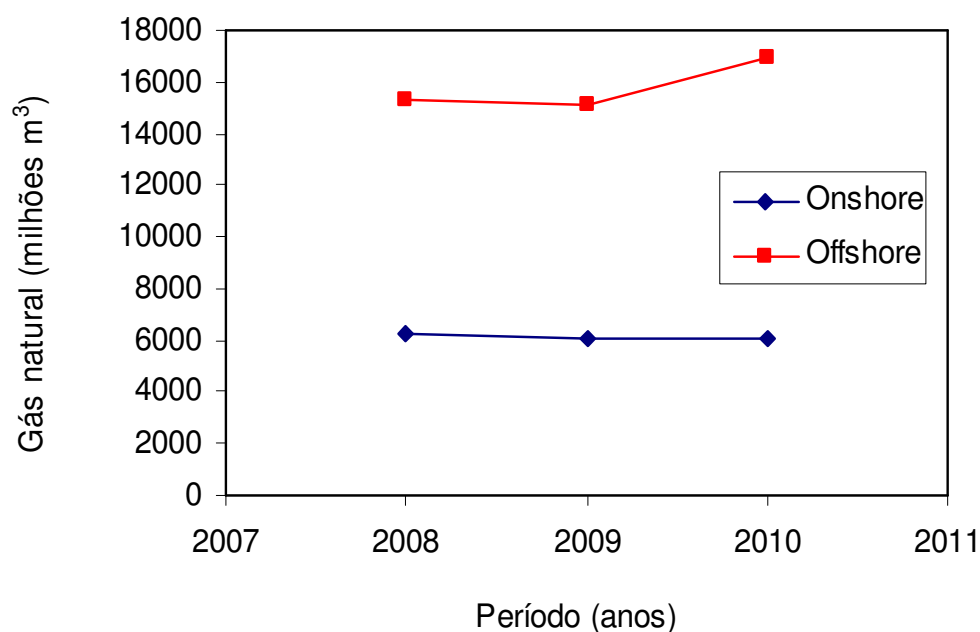


Figura 5: Produção de gás natural. Fonte (ANP, 2008; ANP, 2009; ANP, 2010)

4.1- Geração de resíduos

A evolução da geração de resíduos no setor de exploração e produção de petróleo e gás natural está apresentada na Figura 6 e, na Figura 7, está apresentado o abatimento no período de 2008 a 2010.

As operações on-shore correspondem a, aproximadamente, 2/3 da geração de resíduos perigosos do segmento analisado, o que demonstra que a quantidade de resíduos gerada no E&P está relacionada com a idade e o número de poços, e não com a produção. Em operações em terra,

um campo de produção pode ter entre 1000 a 3000 poços, já em campos no mar, o número de poços é cerca de vinte vezes menor, onde poucos poços maduros são encontrados, quando comparado às áreas on-shore.

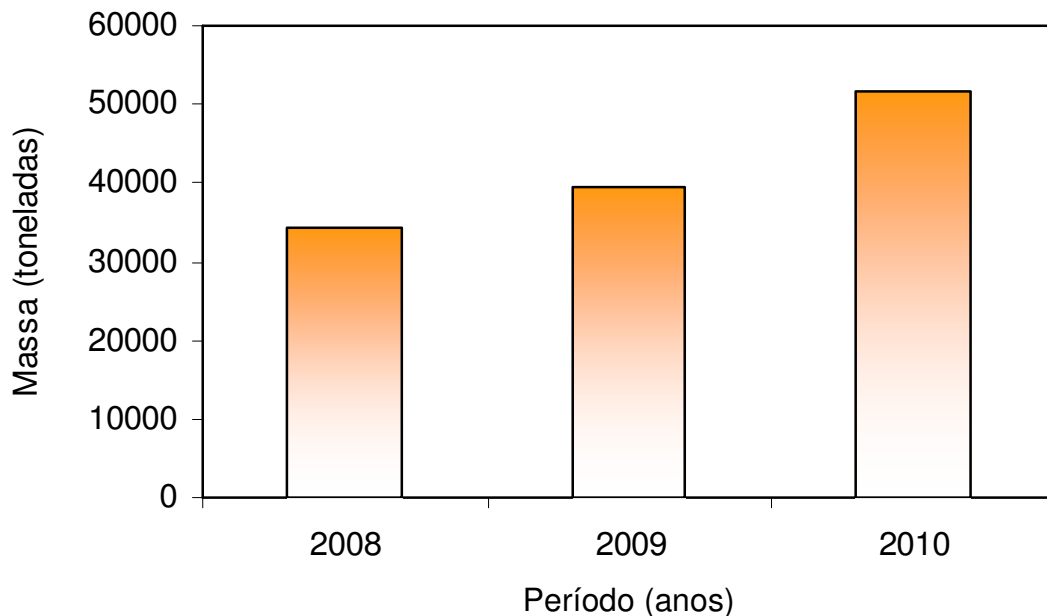


Figura 6: Geração de resíduos perigosos no setor de produção de petróleo e gás natural

As borras oleosas são resíduos típicos das operações de E&P on-shore ou off-shore e são resíduos sólidos perigosos, de consistência de líquida a pastosa e de composição química complexa, que apresentam em sua composição uma série de compostos químicos, com destaque para os alcatenos, resinas e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Além destes, há também presença de alguns metais pesados. Outros resíduos típicos são os produtos químicos e suas embalagens, que são demandados para emulsificação, controle da corrosão, entre outros.

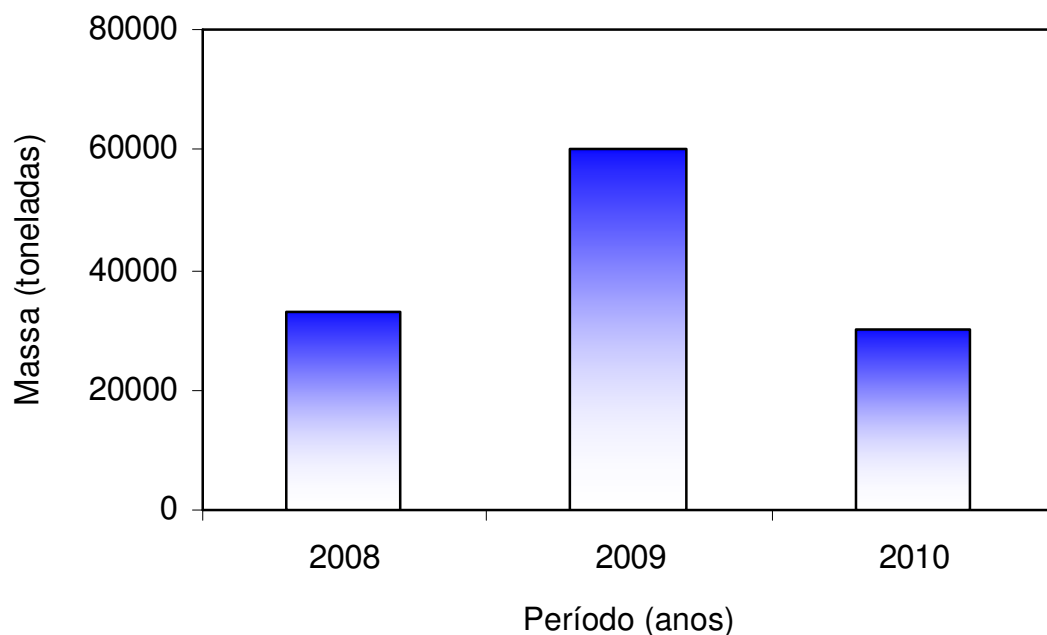
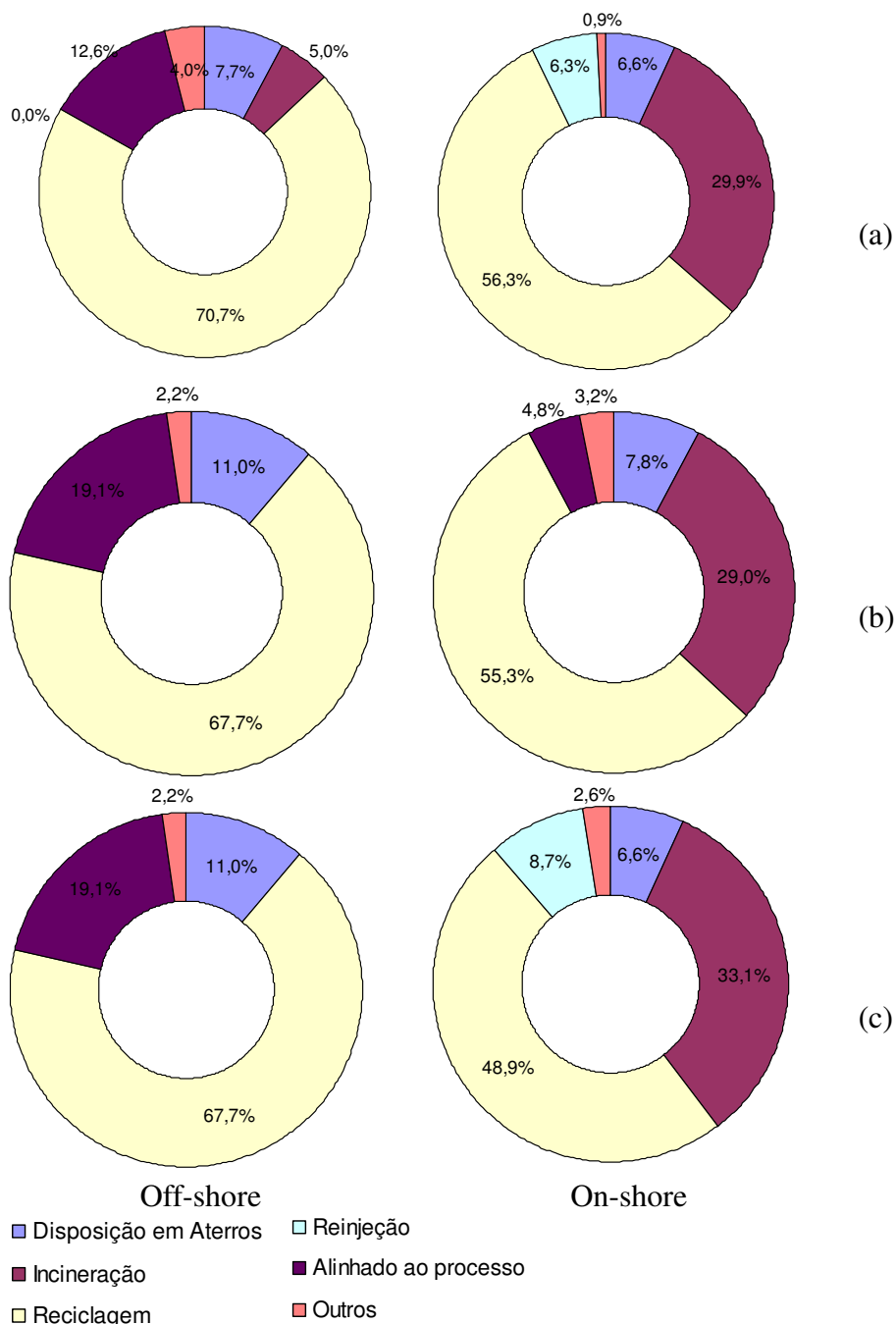


Figura 7: Abatimento de resíduos perigosos no setor de produção de petróleo e gás natural

Os processos de E&P se valem de várias tecnologias para abatimento dos seus resíduos perigosos gerados. Para facilitar o entendimento do leitor, tais tecnologias foram agrupadas em operações de: disposição em aterros, tratamento biológico, incineração, reciclagem (que inclui o reuso como combustível), alinhamento ao processo, reinjeção e outros. Na categoria outros, foram incluídas demais tecnologias, que não aquelas já citadas, e as operações que utilizam mais de uma tecnologia para o efetivo tratamento dos resíduos. O alinhamento ao processo refere ao conjunto de operações que visam incorporar os resíduos dentro das correntes de processo.



Nota: Dados de reciclagem incluem operações de rerrefino, reuso como combustível e outras rotas de reciclagem.

Figura 8: Rotas de abatimento de resíduos perigosos gerados nos processos de E&P. (a) 2010; (b) 2009 e (c) 2008

Independente das operações se darem em terra ou em mar, as rotas de reciclagem foram as

mais as mais utilizadas nas operações de exploração e produção, Figuras 8a a 8c, conforme estratégia de gestão de resíduos contemporânea.

Tantos nas unidades em terra quanto nas unidades que operam no mar, 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, corroborando os dados das Figura 8a a 8c.

5- Setor de produção de energia a partir de hidrocarbonetos

As unidades termelétricas clássicas funcionam através da queima de combustíveis fósseis em caldeiras para a geração de vapor d'água. O vapor movimenta pás de turbinas, cujo rotor gira juntamente com o eixo de um gerador que produz a energia elétrica, ou seja, a energia cinética é transformada em energia elétrica. No Brasil, a maioria das termelétricas funcionam a gás natural, diesel ou carvão, e independentemente, do combustível utilizado, o funcionamento é semelhante. Neste caso, temos descrito o funcionamento básico de uma usina termelétrica clássica. As Figuras 9a e 9b apresentam esquemas em blocos para sumarizar os processos em uma usina térmica clássica e uma usina térmica de ciclo combinado, respectivamente.

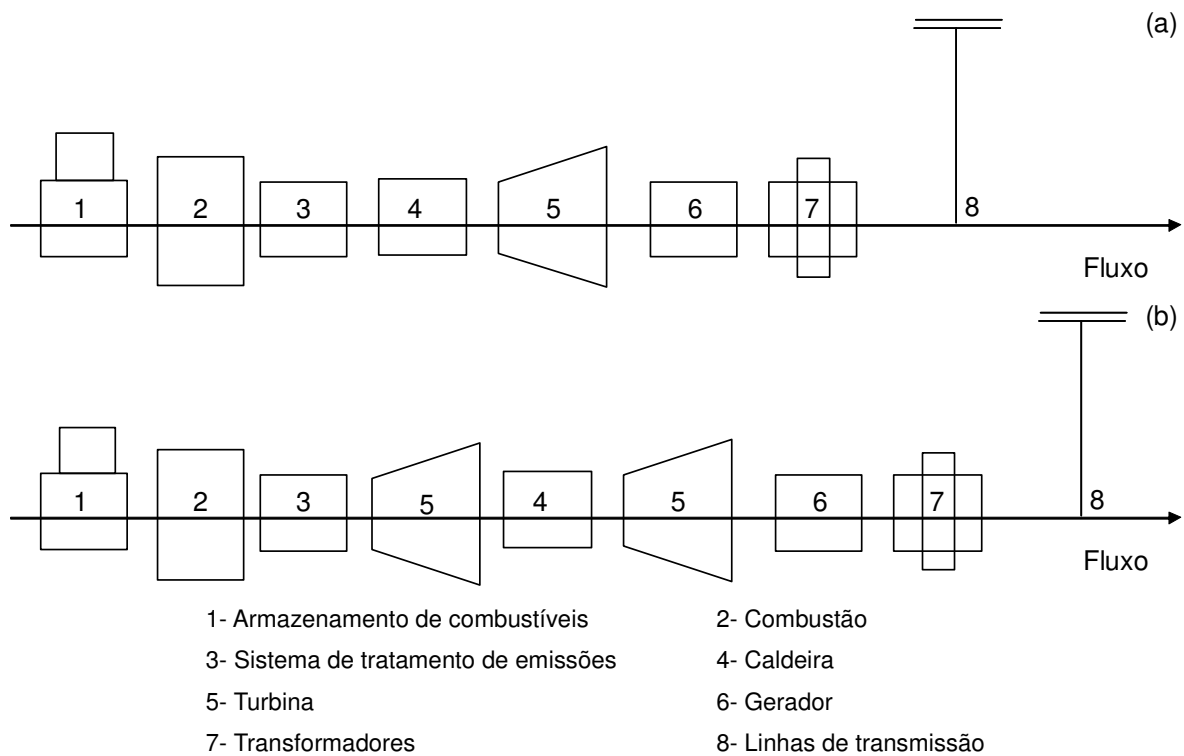


Figura 9: Esquema em blocos para usinas termelétricas (a) Convencional e, (b) Ciclo combinado.

Em ambos os tipos de usinas termelétricas apresentados, os combustíveis usados são

armazenados nas unidades ou em locais adjacentes a ela, de onde é enviado para a usina, onde será queimado. Nas usinas clássicas, que operam em ciclo Rankine, os combustíveis são queimados e o calor gerado nesta reação é encaminhado para a caldeira, proporcionando ao aquecimento da água com geração de vapor. O vapor d'água gerado é resfriado em sistemas de condensação e o condensado retorna para a caldeira, realimentando o novo ciclo de geração de energia.

A energia gerada é conduzida por meio de sistemas de cabos dos geradores até equipamentos de transformadores, onde sua tensão é adequada para a condução através de linhas de transmissão até os centros de consumo ou de distribuição.

As usinas termelétricas que operam em ciclo combinado, por sua vez, podem ser definidas como um conjunto de operações e processos cuja finalidade é a geração de energia elétrica através de um processo que combina a operação de uma turbina a gás, movida pela queima de gás natural ou óleo diesel, diretamente acoplada a um gerador. Neste caso, a expansão dos gases produzidos na queima dos combustíveis aciona a turbina a gás, que está acoplada ao gerador e, desta forma, a energia mecânica é transformada em energia elétrica

Os gases exudados da turbina a gás, por sua vez, promovem a evaporação da água que é usado para o acionamento de uma turbina a vapor. A turbina a vapor opera nas mesmas condições descritas no processo de uma termelétrica clássica. No processo de ciclo combinado, visa-se usar a energia térmica oriunda da queima dos combustíveis e também recuperar a energia térmica restante nos gases emanados, transformando-as em energia mecânica e, conseqüentemente, elétrica.

Considerando a queima de combustíveis fósseis, a fim de minimizar a poluição atmosférica, as unidades termelétricas contam com um sistema de controle de emissão de poluentes gasosos. Este sistema pode ser equipado com vários equipamentos, no entanto, a maioria possui precipitadores eletrostáticos, filtros e chaminés. Os filtros e precipitadores recolhem as cinzas oriundas da queima, sendo este um resíduo típico deste processo produtivo. O fato de possuírem várias partes móveis, requer que as termelétricas utilizem óleos lubrificantes, que ficam gastos após um dado período de processo, constituindo, assim, outro resíduo típico das termelétricas. Produtos químicos diversos, utilizados para controle de corrosão, tratamento das águas de serviço e outros são também requeridos. Desta forma, as embalagens contaminadas com os produtos químicos e os resíduos de produtos químicos são também resíduos deste setor.

5.1- Geração e destinação de resíduos

A evolução da geração de resíduos no setor de geração de energia a partir de combustíveis está apresentada na Figura 10.

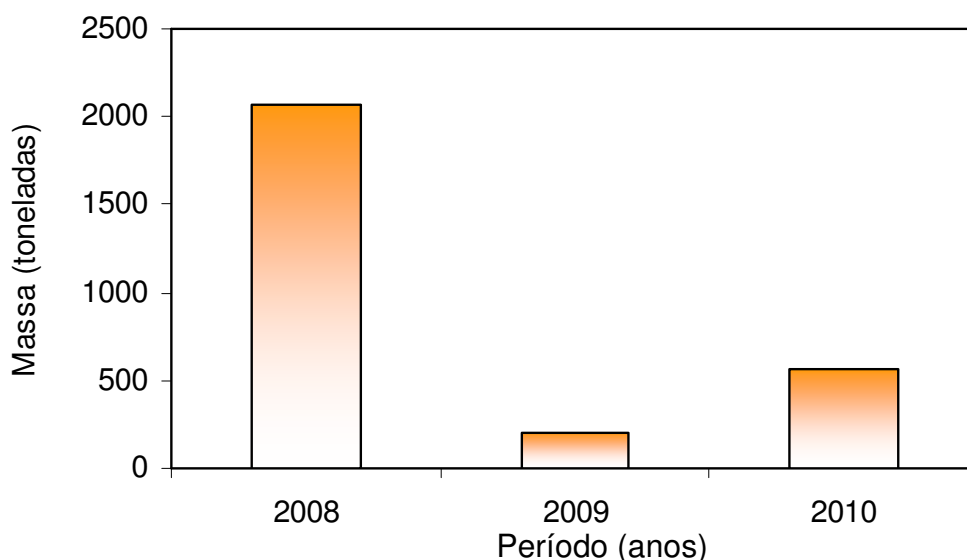


Figura 10: Geração de resíduos sólidos perigosos no setor de geração de energia a partir de combustíveis fósseis.

A grande variação da quantidade de resíduos durante o período apurado está relacionada com a entrada e saída de operação das unidades. Nos anos de 2009 e 2010, ocorreu o menor número de horas operadas nas unidades quando comparado ao ano de 2008 dado que a operação das termelétricas é em função da demanda do Operador Nacional do Sistema - ONS.

No nosso país, as usinas termelétricas desempenham relevante papel para a segurança e confiabilidade do parque de geração hidrotérmico, reduzindo o risco de déficit de energia, dada a sua maior disponibilidade para geração de energia elétrica, posto que independem de sazonalidades. Estas usinas são as únicas fontes de suprimento elétrico existentes em condições de atender às ordens de despacho pleno por parte do ONS, considerando a evolução da diversidade do Sistema, Figura 11.

O abatimento de resíduos, Figura 12, mostra que a quantidade abatida no período monitorado é um pouco diferente daquela gerada neste mesmo período, devido à necessidade de armazenamento e ganho de escala para redução de preços.

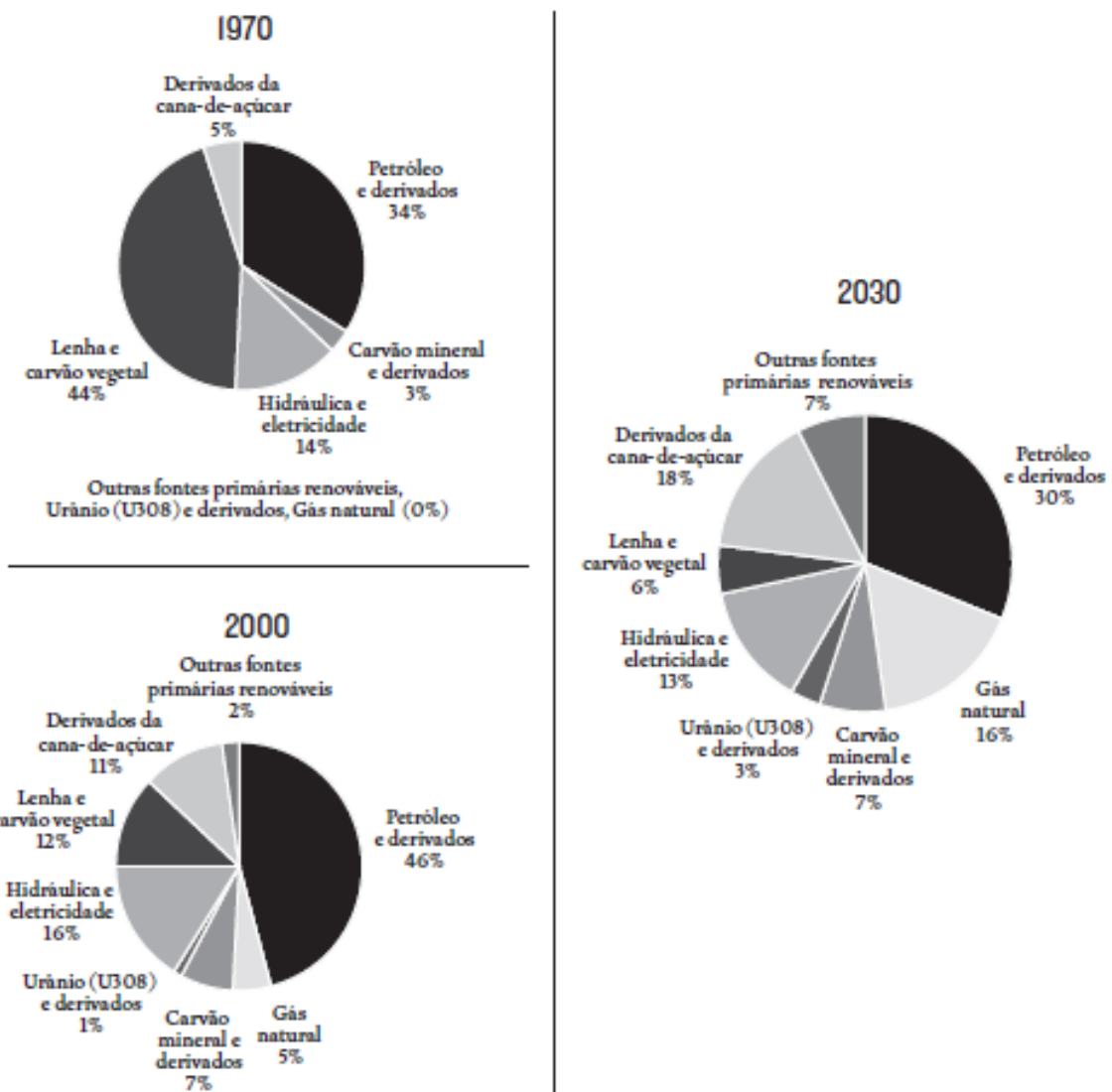


Figura11: Evolução da estrutura da oferta de energia no Brasil. Fonte: Tolmasquim et al.,(2007).

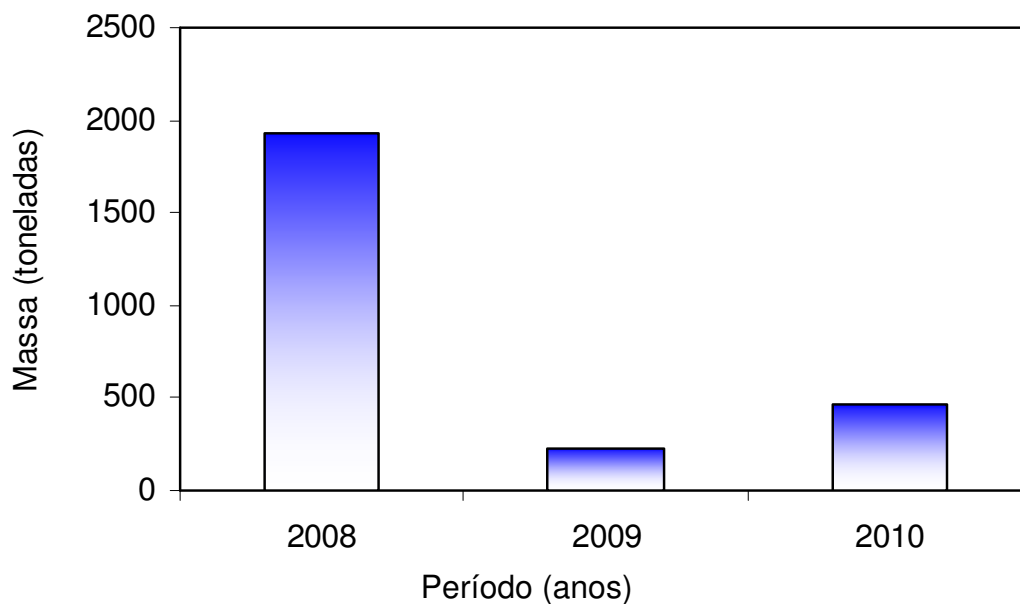


Figura 12: Abatimento de resíduos sólidos perigosos no setor de geração de energia a partir de combustíveis

Em 2010, Figuras 13a a 13c, a maior parte dos resíduos perigosos gerados foi encaminhados para incineração, devido às propriedades e características dos mesmos. Muitos produtos químicos são gerados, especialmente para tratamento das águas e anti-corrosão.

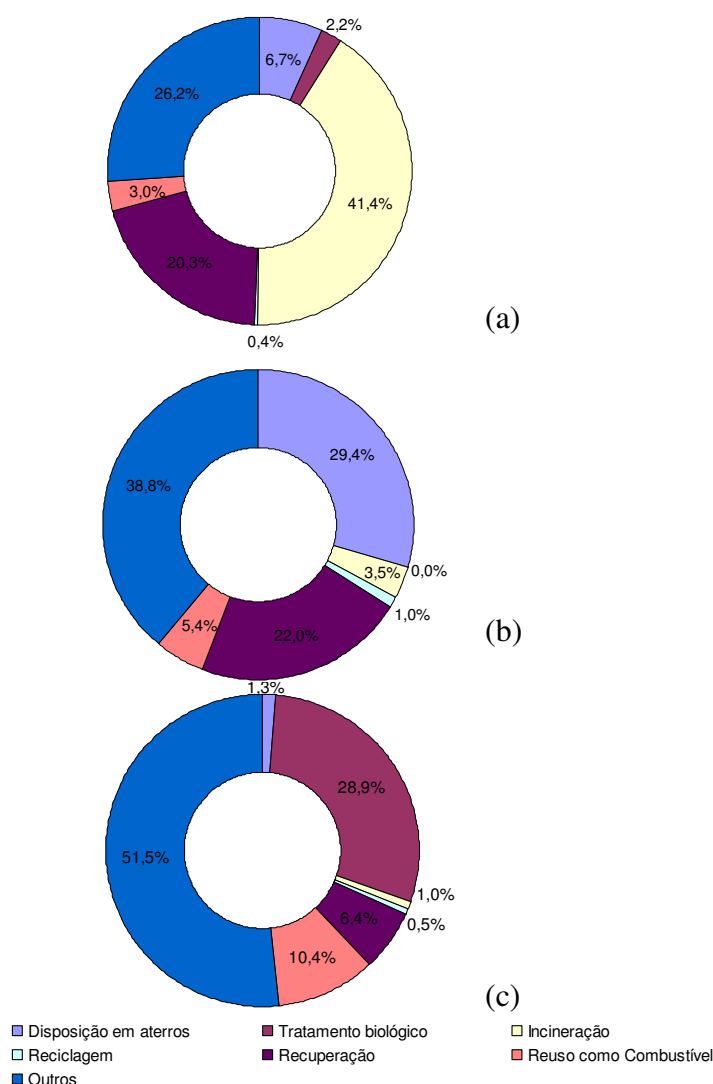


Figura 13: Abatimento de resíduos sólidos perigosos no setor de geração de energia a partir de combustíveis, por grupo de tecnologias: (a) 2010; (b) 2009 e (c) 2008.

6. Setor de refino de petróleo

O refino do petróleo compreende uma série de operações térmicas, físicas e químicas interligadas entre si que garantem o aproveitamento pleno de seu potencial energético através da geração dos cortes, ou produtos fracionados derivados, de composição e propriedades físico-químicas determinadas. Refinar petróleo é, portanto, separar suas frações e processá-las, transformando-o em produtos de grande utilidade. O Brasil desenvolveu tecnologia própria para processar o petróleo nacional, que tem como característica ser mais pesado. O resultado é a

obtenção de um percentual maior de produtos nobres saindo das refinarias brasileiras. Diminuímos a dependência de importação, aumentando a rentabilidade (DANTAS NETO e GURGEL, 2011).

Os esquemas de refino são estabelecidos em função dos tipos de processos necessários, os quais são classificados segundo quatro grupos principais:

- Processos de separação;
- Processos de conversão;
- Processos de tratamento;
- Processos auxiliares.

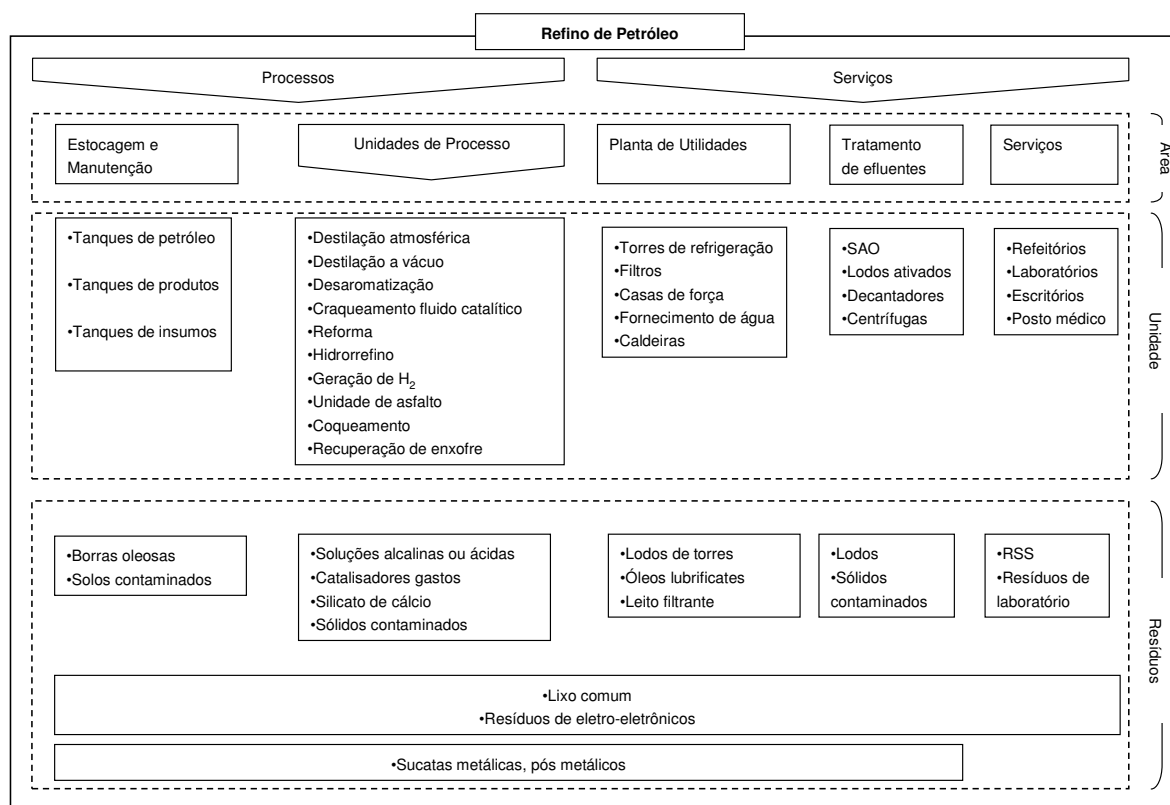
Processos de separação são aqueles de natureza físico-química e têm o objetivo de separar o óleo cru em frações básicas, ou processar uma fração previamente produzida, a fim de retirar desta um grupo específico de componentes. A destilação é um exemplo de processos de separação.

Os processos de natureza química que têm por objetivo modificar a composição molecular de uma fração com o intuito de valorizá-la são denominados processos de conversão. As modificações ocorrem através de reações de quebra, síntese ou reestruturação molecular, sempre buscando valorizar as cargas processadas. O craqueamento catalítico e o craqueamento térmico são exemplos desta classe de processos de refino.

Considerando que nenhum processo químico em escala industrial é 100% eficiente, operações de limpeza e purificação são requeridas para adequação dos produtos. Os processos de tratamento são as etapas empregadas com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos através da redução das impurezas, sem causar profundas modificações nas frações. O hidrotratamento é um exemplo clássico desta etapa do refino.

Os processos auxiliares são aqueles dedicados ao fornecimento de insumos para possibilitar a operação ou efetuar o tratamento das cargas de rejeitos dos outros tipos de processo já citados.

Dentre os vários setores da indústria do petróleo e gás natural, as operações de refino são reconhecidas na literatura como parte predominante na geração de resíduos perigosos, devido ao número elevado de operações envolvidas na manufatura da matéria-prima e da diversidade de produtos (LEEMAN, 1988). Um esquema geral de uma refinaria está apresentada na Figura 14.



RSS – Resíduos de Serviço de Saúde

SAO – Separador água óleo

Figura 14: Esquema geral do processo de refino de petróleo na refinaria

6.1 Geração e destinação de resíduos

A geração de resíduos se dá tanto nas unidades de processos quanto nas unidades auxiliares, ou de serviços. Os resíduos típicos deste setor produtivo, Figura 14, são as borras oleosas, os catalisadores gastos e os lodos oriundos das estações de tratamento de águas e efluentes. As borras de fundo de tanques são sólidos oleosos e complexos, que apresentam em sua composição uma série de contaminantes, com destaque para os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e alguns metais pesados (AL-FUTAISI et al, 2007). Por apresentarem componentes tóxicos, como metais pesados e inflamabilidade, este resíduo é classificado como perigoso, de acordo com a ABNT NBR ISO 10004 (ABNT, 2004).

Um dos processos que gera quantidades relevantes de borras oleosos são as operações de limpeza de tanque e estão relacionadas com a precipitação e sedimentação de frações pesadas do petróleo. O acúmulo de sólidos no fundo dos tanques promove a redução do volume útil dos tanques demandando a remoção e limpeza dos reservatórios. Além disso, a formação de depósitos cria regiões de aeração diferencial que promovem a corrosão das superfícies metálicas (BEECH e GAYLARDE, 1999).

Os catalisadores gastos são resíduos constituídos basicamente por sílica e alumina impregnados ou não com metais nobres como Níquel, Cobalto, Molibdênio e Platina. A presença de

metais pesados lixiviáveis confere toxicidade a boa parte destes resíduos e, por isso, são classificados como resíduos perigosos de acordo com a NBR ISO 10004 (ABNT, 2004)

O volume da carga processada, de origem nacional e importada, nas refinarias do Brasil, Figura 15, vem aumentando ao longo dos três anos monitorados, sendo o incremento mais significativo observado em 2009.

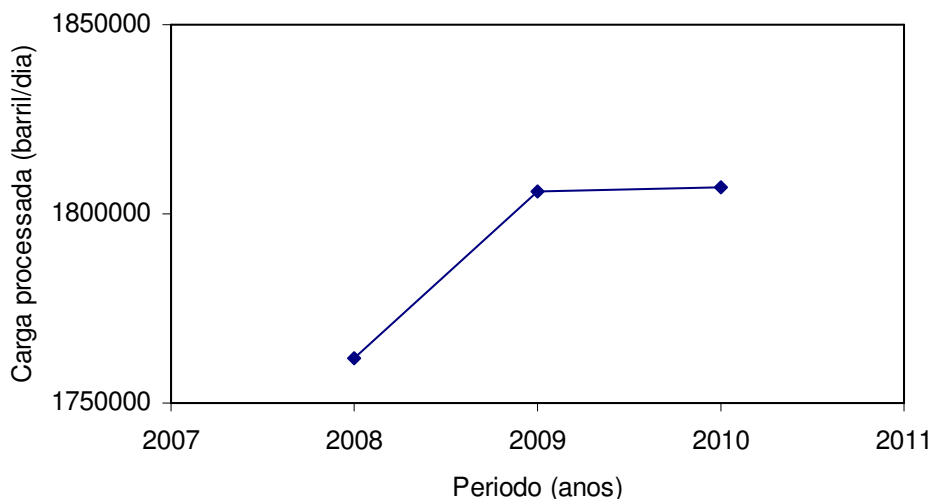


Figura 15: Volume da carga processada em refinarias do Brasil. Fonte (ANP, 2008; ANP, 2009; ANP, 2010).

A geração de resíduos sólidos perigosos no setor de refino está apresentada na Figura 16 e as quantidades de resíduos destinadas, na Figura 17.

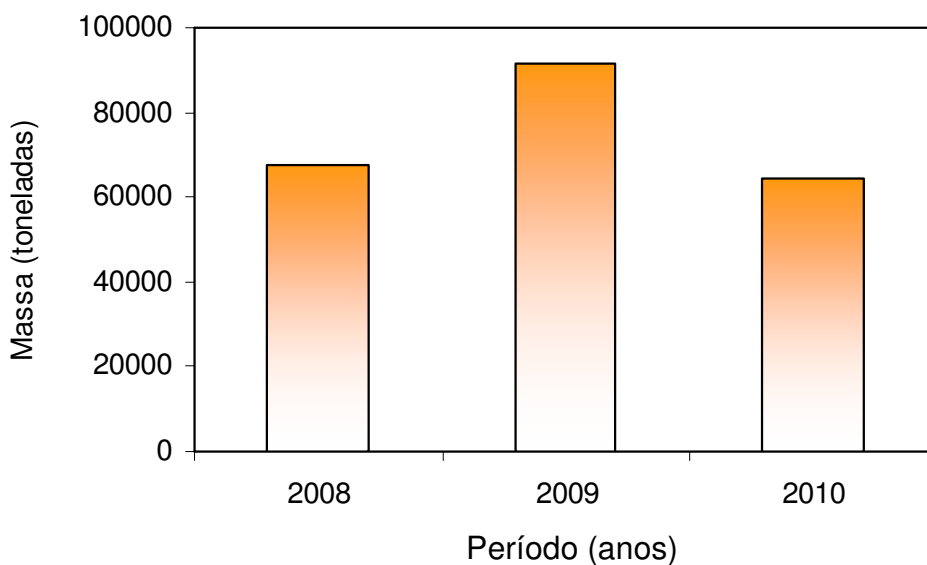


Figura 16: Geração de resíduos sólidos perigosos no setor de geração de energia a partir de combustíveis

A análise conjunta das Figuras 16 e 17 permite verificar que a variação das quantidades de resíduos gerados não é função do volume processado. Assim, pode-se inferir que a geração de resíduos perigosos é função das tecnologias de processo empregadas, características dos óleos a serem refinados, número de operações de limpeza e de manutenção, uma vez que a capacidade de refino do parque brasileiro não variou significativamente nos últimos anos e as unidades visam sempre usar a capacidade máxima de refino, por questões de produtividade e rentabilidade.

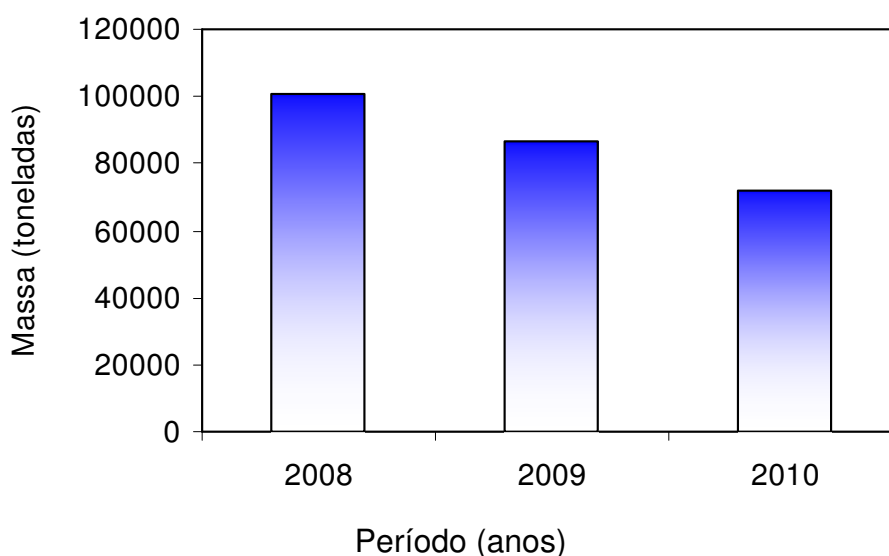


Figura 17: Abatimento de resíduos sólidos perigosos no setor de geração de energia a partir de combustíveis

A comparação das Figuras 16 e 17 permite ainda verificar que a quantidade de resíduos destinada ano a ano é diferente da quantidade gerada e isso se deve às operações de armazenamento, conforme práticas tradicionais de gerenciamento de resíduos e também, a necessidade de ganho de escala para melhoria de preços dos serviços de tratamento ou disposição final.

O refino de petróleo se vale de várias tecnologias para abatimento dos seus resíduos gerados. Para facilitar o entendimento do leitor, tais tecnologias foram agrupadas em operações de: disposição em aterros, tratamento biológico, incineração, reciclagem, recuperação, reuso como combustível e outros. Na categoria outros foram incluídas demais tecnologias, que não aquelas já citadas, e as operações que utilizam mais de uma tecnologia para o efetivo tratamento dos resíduos.

As Figuras 18a a 18c apresentam a evolução do uso das tecnologias de tratamento de resíduos no período de 2010 a 2008. Verifica-se que o setor de refino vem buscando diminuir a disposição de resíduos em aterro ao longo do tempo monitorado. Em 2008, aproximadamente, 26% dos resíduos foram destinados para aterros e, em 2010, este valor foi de aproximadamente, 17%, um terço menor. Verifica-se ainda aumento no uso de alternativas de reciclagem, recuperação e reuso e,

em 2010, quase metade dos resíduos foram destinados a estas rotas.

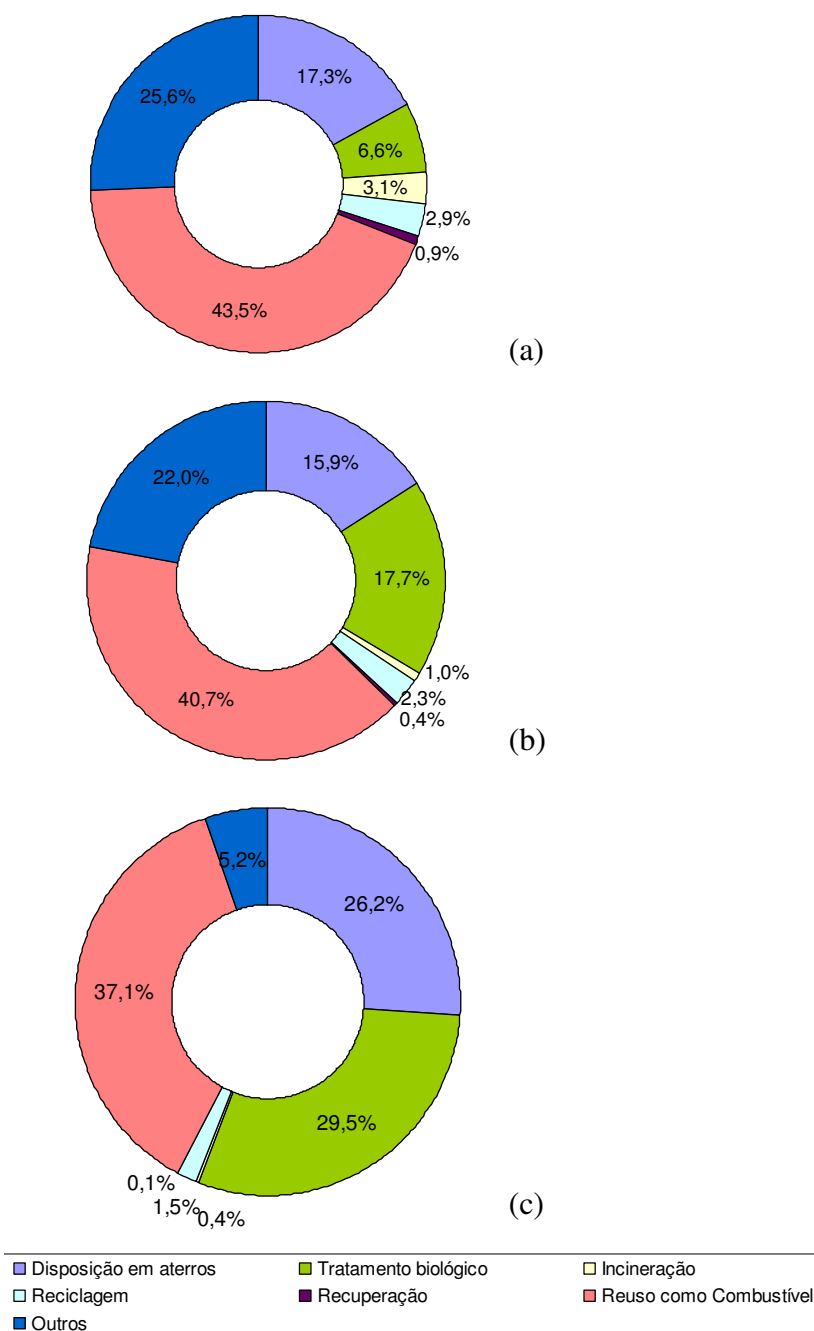


Figura 18: Tecnologias empregadas para abatimento de resíduos perigosos. (a) 2010 (b) 2009 e (c) 2008

7. Considerações Finais

A variação das quantidades de resíduos perigosos gerados no setor de exploração e produção de petróleo, refino e produção de energia a partir de combustíveis fósseis é função das tecnologias de processo empregadas, características físico-químicas das cargas processadas, do número de

operações de paradas para manutenção e limpeza, e não necessariamente, do volume produzido ou processado.

Durante o período de tempo analisado, os segmentos do setor de exploração e produção de petróleo, refino e produção de energia a partir de combustíveis fósseis gerou e tratou quantidades muito próximas, mesmo considerando a necessidade de armazenamento e de ganho de escala para melhoria dos preços de destinação.

Cabe ainda destacar que o conjunto dos dados apresentados permite verificar ações de minimização de resíduos, principalmente focadas na reciclagem, independente do segmento estudado. Assim, pode-se inferir que as questões de sustentabilidade ambiental têm sido grande motivador para o desenvolvimento de estratégias para melhoria contínua na gestão de resíduos do Setor analisado.

8. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2008. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <http://www.anp.gov.br> . Acesso em: 05 outubro de 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2009. Rio de Janeiro: 2009. Disponível em: <http://www.anp.gov.br> . Acesso em: 05 outubro de 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2010. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: <http://www.anp.gov.br> . Acesso em: 05 outubro de 2011.

AL-FUTAISI, A.; JAMRAH, A.; YAGHI, B.; TAHA, R. (2007). Assessment of alternative management techniques of tank bottom petroleum sludge in Oman. *Journal of Hazardous Materials*, 141, 557-564.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Norma Brasileira 10.004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro. 71p, 2004.

BEECH, I. B., GAYLARDE, C. C. (1999) Recent advances in the study of biocorrosion - an overview, *Revista de Microbiologia*. 30, 3, 177-190.

DANTAS NETO, A. A., GURGEL, A. Refino de petróleo e petroquímica. Natal, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético nacional 2010: Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010. 276p.

LEEMANN, J.E. Waste minimization in the petroleum industry. *The International Journal of Air Pollution, Control and Waste Management*, 38, 814-822.

NASCIMENTO, M. A. Gás Natural na Matriz Energética da Bahia: Utilização em Empreendimentos Residenciais. Dissertação de Mestrado, Salvador, 179p.

OLIVEIRA, C W A; COELHO, D S C; BAHIA, L D; FERREIRA FILHO, J B S (2011). Impactos macroeconômicos de investimentos na cadeia de petróleo brasileira – IPEA Agosto – Texto 1657.

THOMAS, J. E. (org). Fundamentos de engenharia de petróleo. 2. ed.. Rio de Janeiro: Interciência. PETROBRAS, 2004.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. (2007). Matriz energética Brasileira. *Novos Estudos*, 79, 47 – 69

ZÍLIO, E. L. & PINTO, U. B. Identificação e distribuição dos principais grupos de compostos presentes nos petróleos brasileiros. *Boletim Técnico PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 45 (1): 21-25, jan./mar. 2002.