

UNIVERSIDADE TIRADENTES  
ENGENHARIA DE PETRÓLEO

PABLO ALBERTO MATOS BARRETO DE SANTANA  
VAGNER CRUZ CAMPOS

**VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO  
PETRÓLEO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E EM ASFALTO DE  
BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Aracaju / SE

2018

PABLO ALBERTO MATOS BARRETO DE SANTANA  
VAGNER CRUZ CAMPOS

**VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO  
PETRÓLEO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E EM ASFALTO DE  
BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Petróleo apresentado a Universidade Tiradentes como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

**Orientador:** Prof. M.e Arinaldo Menezes

Aracaju / SE

2018

PABLO ALBERTO MATOS BARRETO DE SANTANA  
VAGNER CRUZ CAMPOS

**VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO  
PETRÓLEO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E EM ASFALTO DE  
BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado à Banca Examinadora na  
Universidade Tiradentes (UNIT), para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Petróleo, sob a orientação  
da Prof. M.e Arionaldo Menezes.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof. M.e Arionaldo Rodrigues Menezes  
Universidade Tiradentes

---

Prof. Dr. Denisson Salustiano dos Santos  
Universidade Tiradentes

---

Prof.<sup>a</sup> Msc. Marília Rafaela Oliveira Santos  
Universidade Tiradentes

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus pelo dom da vida, por nos sustentar e nos dar serenidade nos momentos mais difíceis na produção deste trabalho.

Aos nossos pais pelo apoio incondicional em todos os momentos, aos irmãos pelo carinho e incentivo.

Agradecemos as nossas namoradas, por nos ajudarem e nos apoiar neste importante momento de nossas vidas.

Aos amigos que fizemos durante esses anos que aqui passamos, espero encontrá-los sempre.

A Fernanda, que foi de suma importância para o andamento desse trabalho.

Aos professores e coordenação por todo o conhecimento compartilhado.

Ao Professor Arinaldo Menezes pela paciência de nos receber e tirar todas as dúvidas quando solicitado.

Enfim a todos que contribuíram de alguma forma na construção de todo o conhecimento adquirido no período da nossa formação acadêmica.

*"Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com*

*os nossos méritos."*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

O setor de exploração e produção do petróleo no mundo segue em desenvolvimento e busca por novas tecnologias. Tendo como principal origem energética os combustíveis fósseis, onde os mesmos produzem resíduos indesejados, os quais são considerados tóxicos e poluentes ao meio ambiente, dentre eles encontra-se a borra oleosa, composta pela mistura de óleo, sólidos e água, que por sua vez tem se buscado novas soluções tecnológicas, que visem a minimização dos seus custos, visando seu tratamento e destinação final. Com isso, esse trabalho teve como objetivo buscar em literaturas conceituadas, formas de demonstrar a viabilidade econômica do tratamento e reutilização da borra. A partir das bibliografias estudadas percebeu-se que existem diversos tipos de tratamentos, porém foi dada ênfase a três tipos: *Landfarming*, Pirólise e Termoliquefação. Constatou-se também a grande variedade de técnicas de reutilização da borra, como o uso em asfalto de baixo volume de tráfego, incorporação na fabricação de produtos cerâmicos e no co-processamento. O reuso desse resíduo devidamente tratado, e obedecendo a legislação ambiental, apresentou-se como sendo alternativas viáveis economicamente para uma destinação ecologicamente correta. Sendo a termoliquefação o método de tratamento mais adequado e o co-processamento como melhor aplicação para reutilização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Petróleo. Borra Oleosa. Reutilização.

## **ABSTRACT**

The oil exploration and production sector in the world continues to develop and seek new technologies. The main source of energy is fossil fuels, where they produce unwanted residues, which are considered toxic and polluting the environment, among them is the oily sludge, composed of the mixture of oil, solids and water, which in turn has sought new technological solutions, aimed at minimizing its costs, aiming at its treatment and final destination. With this, this work had as objective to search in conceptualized literatures, ways of demonstrating the economic viability of the treatment and reuse of the sludge. From the bibliographies studied it was noticed that there are several types of treatments, but emphasis was given to three types: Landfarming, Pyrolysis and Termoliquefaction. It was also verified, the great variety of techniques of reuse of the sludge, as the use in asphalt of low volume of traffic, incorporation in the manufacture of ceramic products and the co-processing. The reuse of this residue properly treated, and obeying the environmental legislation, presented itself as being economically viable alternatives for an ecologically correct destination. Thermololysis is the most appropriate treatment method and co-processing as the best application for reuse.

**KEYWORDS:** Petroleum. Oily wipe. Reuse.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Maiores reservas de petróleo no mundo. ....	16
<b>Figura 2</b> - Evolução do recorde mundial de produção na plataforma continental. ....	18
<b>Figura 3</b> - Mapa da localização a bacia Sergipe-Alagoas com indicação dos blocos em oferta na Décima Quinta Rodada de Licitações. ....	20
<b>Figura 4</b> - Borra Oleosa. ....	27
<b>Figura 5</b> - Processo de <i>Landfarming</i> . ....	30
<b>Figura 6</b> - Etapas do reator pirolítico. ....	32
<b>Figura 7</b> - Aparato experimental para termofixação de biomassa: Indicação de Temperatura(TI); Controle de Temperatura(TC); Indicação de Pressão(PI); Regulador de Pressão de Retorno(BPR). ....	34
<b>Figura 8</b> - Cimento asfáltico de baixo volume de tráfego. ....	36
<b>Figura 9</b> - Confeção de blocos cerâmicos. ....	38
<b>Figura 10</b> - Incorporação manual da borra oleosa à massa argilosa. ....	40
<b>Figura 11</b> - Indústria Cimenteira. ....	42
<b>Figura 12</b> - Emprego dos resíduos industriais. ....	43



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>O Petróleo.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>História .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1</b>	<b>No mundo .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.2</b>	<b>No Brasil .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Em Sergipe .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Derivados .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Resíduos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Armazenamento inadequado dos resíduos industriais.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Reutilização dos resíduos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>Borra Oleosa .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6</b>	<b>Técnicas de Tratamento da Borra Oleosa .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Landfarming .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Pirólise.....</b>	<b>31</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Termoliquefação .....</b>	<b>33</b>
<b>3.7</b>	<b>Reutilização da Borra Oleosa .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Uso como material para pavimentos de baixo volume de tráfego .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Utilização da borra nos produtos cerâmicos .....</b>	<b>36</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Na fabricação de cimento para construção civil.....</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera e de gás natural são áreas fundamentais para o desenvolvimento do país e assegurar sua autonomia energética. Segundo pesquisa realizada pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) em janeiro de 2018, a previsão da demanda mundial de petróleo para o ano de 2018 foi de 98,60 milhões de barris por dia (bpd), 90.000 barris a mais do que o cálculo realizado em dezembro de 2017, o que indica que o consumo de petróleo do planeta superará este ano em 1,59 mbd (1,64%) o de 2017 (de uma média de 97,01 mbd). No mesmo ano, no Brasil, essa demanda foi em média de 2,723 milhões de bpd. Essa intensificação na produção petrolífera ainda resulta da descoberta de novos poços de petróleo em toda costa brasileira e na camada pré-sal. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP) a produção de petróleo em julho 2018 foi de 2,575 milhões de barris por dia. A produção do pré-sal no mesmo período corresponde a 55% do total.

Arelado ao crescimento da produção petrolífera aumenta também a necessidade do tratamento desse óleo explorado. Em toda a cadeia de exploração e produção de petróleo, há geração de resíduos sólidos e semissólidos. Os resíduos gerados pelos equipamentos tais como: fundo dos tanques de armazenamento, equipamentos de processamento e nos separadores de óleo-água, devido a sua quantidade produzida e a sua toxicidade a borra oleosa é a que merece especial destaque. Ela contém água, sólidos grosseiros, óleos, gorduras, compostos orgânicos, elementos químicos (GAFAROV *et al.*, 2006).

As obrigações impostas pela Resolução CONAMA nº 313/02 serviriam como subsídio à elaboração de diretrizes nacionais, programas estaduais e o Plano Nacional para Gerenciamento de Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), uma vez que o inventário é um instrumento fundamental de política visando o controle e a gestão de resíduos industriais no país. De acordo com o Art. 4º da Resolução CONAMA nº 313/02 os seguintes setores industriais deveriam apresentar ao órgão estadual de meio ambiente, no máximo um ano após a publicação dessa Resolução, informações sobre geração, características, armazenamento, transporte e destinação de seus resíduos sólidos: fabricação de coque, refino de petróleo,

elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool; fabricação de produtos químicos.

Segundo o Art. 8º da Resolução CONAMA nº 313/02, as indústrias dois meses após a publicação dessa Resolução, estavam obrigadas a registrar mensalmente e manter na unidade industrial os dados de geração, características, armazenamento, tratamento, transporte e destinação dos resíduos gerados, para efeito de obtenção dos dados para o RSI. Essas informações deveriam ser repassadas pelos órgãos ambientais estaduais ao IBAMA em até dois anos após a publicação da Resolução, ocorrida em novembro de 2004, e atualizadas a cada dois anos (MELO, CORIOLANO, & ARAÚJO, 2018).

Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 10004, relata que os resíduos são classificados, quanto à origem de acordo com: domésticos, comerciais ou de fontes especiais. São classificados também quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, que podem ser classificados em Classe I (tóxicos ou perigosos) ou Classe II (não perigosos), podendo este último ser subdividido em Classe IIA (resíduos não inertes) ou IIB (resíduo inerte) (ABNT, 2004).

A borra oleosa apresenta capacidade abrasiva de aglomerar areia ou pó de pedra, podendo formar uma massa de resíduo final entre 10-20 vezes maior que o resíduo inicial. As borras oleosas de maneira geral se formam durante as operações de produção, transporte, estocagem e refino do petróleo (ZHANG *et al.*, 2012).

Nas últimas décadas, a indústria petrolífera vem buscando meios para realizar uma destinação ou disposição final adequada e economicamente sustentável da borra oleosa, para que ela não seja prejudicial ao meio ambiente, acarretando assim, males a saúde ambiental e humana. Com o aumento das fiscalizações dos órgãos ambientais e organizações, sejam elas nacionais ou internacionais, as empresas vêm, cada vez mais, buscando soluções ambientalmente corretas. Com o avanço da tecnologia, soluções referentes ao tratamento, reutilização e recuperação da borra oleosa têm se mostrado eficaz, possibilitando à mesma, junções a outros compostos e materiais, como na produção de cerâmica, no processo de fabricação de blocos cerâmicos, assim como na sinterização de massas argilosa

usadas na construção civil, e também como material componente das camadas de revestimento asfáltico para pavimentos de baixo custo.

Sendo assim meios de recuperação através do tratamento feito pelo método de *landfarming*, pirólise e termoliquefação, simultaneamente sendo formas de reciclagem de resíduos do setor petrolífero que foram estudados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Expor as formas mais utilizadas para tratamento e reutilização da borra oleosa provenientes dos processos de produção de óleo e gás.

### **2.2 Específicos**

- Origem e características da borra oleosa.
- Apresentar as diversas possibilidades de tratamento e reuso da borra oleosa;
- Discussão sobre a viabilidade da reutilização da borra oleosa;
- Aplicação da borra oleosa a indústria civil e de asfalto

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O Petróleo

Do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), uma das teorias mais aceitas hoje em dia é que ao decorrer de milhões de anos, camadas sedimentares compostas de matéria orgânica e também de demais sedimentos, depositadas e mantidas sobre determinados estados, livres da presença de oxigênio e outros compostos oxidantes e sofrendo a ação de altas pressões e temperaturas, deram origem ao petróleo (PEDERZOLLI, 2006).

Definido como um fluido viscoso, na sua maioria de coloração escura, o petróleo ocorre naturalmente no ambiente, e seu complexo químico varia de acordo com seu local de origem (MILLIOLI, 2009). O petróleo é um combustível fóssil, composto basicamente por hidrocarbonetos (97%) e elementos como nitrogênio, enxofre e oxigênio. Também é possível encontrar no petróleo alguns metais pesados, como vanádio, níquel, sódio, cálcio, cobre e urânio. Entretanto, a proporção da aparição destes metais, bem como, das demais parcelas do petróleo podem estar atreladas à formação geológica do local de origem, e o tempo de formação (CERQUEIRA, 2011; RAMOS, 2006).

Segundo BISOGNIN (2012), os hidrocarbonetos são compostos químicos formados apenas pela presença de átomos de carbono e de hidrogênio, podendo ser classificados em quatro partes: alifáticos, aromáticos, resinas e asfaltenos. Os compostos alifáticos e aromáticos possuem a características de serem leves, enquanto as resinas e asfaltenos são as frações mais pesadas. Os compostos alifáticos englobam os alcanos, alcenos e cicloalcanos. Já os aromáticos compreendem os hidrocarbonetos mono aromáticos voláteis tais como, benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xilenos (BTEX) e os policíclicos aromáticos (HPAs), como os naftaleno-aromáticos. As resinas e os asfaltenos, por sua vez, são formados de moléculas polares contendo nitrogênio, enxofre e oxigênio, embora, as resinas são definidas por serem sólidos amorfos dissolvidos no óleo, enquanto os asfaltenos são enormes moléculas coloidais dispersas no óleo.

## 3.2 História

### 3.2.1 No mundo

A participação do petróleo na história da humanidade é datada dos tempos bíblicos. Na antiga Babilônia, os tijolos eram assegurados com asfalto, fazendo o papel do cimento nos dias atuais, e o betume era amplamente utilizado na calafetação de embarcações, pelos Fenícios (THOMAS, 2004).

Nos primórdios da civilização, Nabucodonosor já utilizava o betume como material de liga na pavimentação de estradas e de famosos jardins suspensos. Os egípcios utilizaram para embalsamar os mortos, na construção das pirâmides e para pavimentação de estradas. Os gregos e romanos investiram em fins bélicos a partir do petróleo. Somente no século XVIII o petróleo passou a ser utilizado comercialmente na indústria farmacêutica e na iluminação pública. Os primeiros poços de petróleo foram perfurados nos Estados Unidos, sendo o primeiro sucesso de exploração registrado em 1859 pelo Cel. Drake, em Tittusville, Pensilvânia nos Estados Unidos. Esse poço perfurado tinha uma profundidade de 21 metros e produzia apenas 2 m<sup>3</sup>/dia de óleo (FARAH e ARAÚJO, 2012).

Descobriu-se que a destilação do petróleo resultava em derivados que substituíam, com enorme porcentagem de lucro, os produtos oriundos do carvão e o óleo de baleia, que era aplicado na iluminação pública, Estes acontecimentos marcaram o começo da era do petróleo no mundo. (THOMAS, 2004).

Posteriormente com o desenvolvimento de motores a combustão interna, veio à procura por gasolina e óleo diesel que seria outros produtos derivados do petróleo (FARAH e ARAÚJO, 2012, ROSA *et al.*, 2006).

Desde o século XIX o homem tem criado e aperfeiçoado diversas técnicas e atividades industriais, objetivando engrandecer o seu potencial na produção, se possível, com melhor qualidade. Dessa produção em grande escala, resultam quase sempre resíduos industriais, ou seja, descartes que, na maioria das vezes, são jogados incorretamente no meio ambiente sem tratamento prévio, acarretando em grandes degradações ambientais como: a contaminação do solo, do ar, da água e, conseqüentemente, da fauna, da flora, resultando em prejuízos econômicos e ambientais incomensuráveis (GUIMARÃES, 2007).

O petróleo tornou-se uma nova fonte de energia, conseqüentemente a busca pelo mesmo aumentou consideravelmente. Os poços se multiplicaram e sua perfuração pelo método de percussão viveu seus momentos mais importantes. Na época não existia muita tecnologia para esse tipo de processo e logo se tornou uma etapa muito importante na história do petróleo no mundo. Novas pesquisas foram sendo concebidas e aplicadas na indústria de petróleo. A perfuração pelo método de percussão foi gradativamente substituída pela perfuração rotativa, que foi considerada melhor e novos projetos foram sendo desenvolvidos. Com esses avanços, não demorou muito, e a perfuração foi capaz de alcançar até 10.000 metros de profundidades. Em 1900, no Texas, ocorreu um evento considerado marcante e revolucionário para a indústria do petróleo, quando o americano Anthony Lucas, encontrou óleo a uma profundidade de 354 metros, utilizando um processo rotativo, revolucionando a perfuração rotativa. (TRIGGIA *et al.*, 2004).

Em 1919, os estudos sobre a Engenharia Mecânica evoluíram, ocorreu melhoramento nos motores que operavam no ciclo Diesel, a viabilidade em transportes automotores fez com que o óleo diesel alavancasse sua valorização no mercado consumidor dos Estados Unidos. Nos anos de 1929 a 1939, o uso desse combustível derivado do petróleo já foi viabilizado para veículos automotores. Em paralelo a isso, plantas de refino de petróleo já estavam sendo elaboradas na Alemanha e logo surgiu a primeira turbina de avião que utilizava gasolina como combustível. Logo após a Segunda Guerra Mundial houve uma escassez de derivados de petróleo, com isso, surgiu o querosene específico para os aviões e foi denominado de querosene de aviação (QAV) (QUELHAS *et al.*, 2011).

Nos anos 1950, os Estados Unidos continuava detendo metade do petróleo produzido, mas o Oriente Médio já iniciava um novo complexo produtor nessa região e novos projetos de exploração offshore já eram iniciados com aplicação de novas tecnologias. A década de 1960 registrou a demasia do petróleo disponível no planeta, com a alta produção e conseqüente queda do preço do petróleo, o consumo recebeu um grande incentivo. Entravam nessa disputa de mercado com o EUA, o Oriente Médio e a União Soviética, garantindo a produção de petróleo e gás em larga escala (BORBA *et al.*, 2007).



Na década de 1970, problemas econômicos relacionados ao petróleo foram aparecendo principalmente com a elevação dos preços. Mesmo com a descoberta de diversas reservas no Mar do Norte e no México. As grandes reservas nos Estados Unidos estavam sendo esgotadas, com isso, precisavam de novos mecanismos de produção para a indústria de petróleo. Novos processos de recuperação de jazidas de petróleo estavam sendo aprimorados. Grandes avanços na área de geologia e geoquímica também foram concretizados nessa época devido à exploração de novas reservas de petróleo no mundo. Com o desenvolvimento de novas brocas, a perfuração teve uma reviravolta, em relação ao tempo de perfuração. A indústria petrolífera mergulha em novo ciclo e o aumento da produção se torna evidente (BORBA *et al.*, 2007).

Nos anos 1980 e 1990, a tecnologia avança, reduzindo gradativamente os custos de exploração e produção, originando um novo ciclo econômico para a indústria petrolífera. As reservas mundiais aprovadas em 1996 eram 60% maiores que em 1980, e os custos médios de prospecção e produção decaíram cerca de 60% no mesmo intervalo de tempo (THOMAS, 2004).

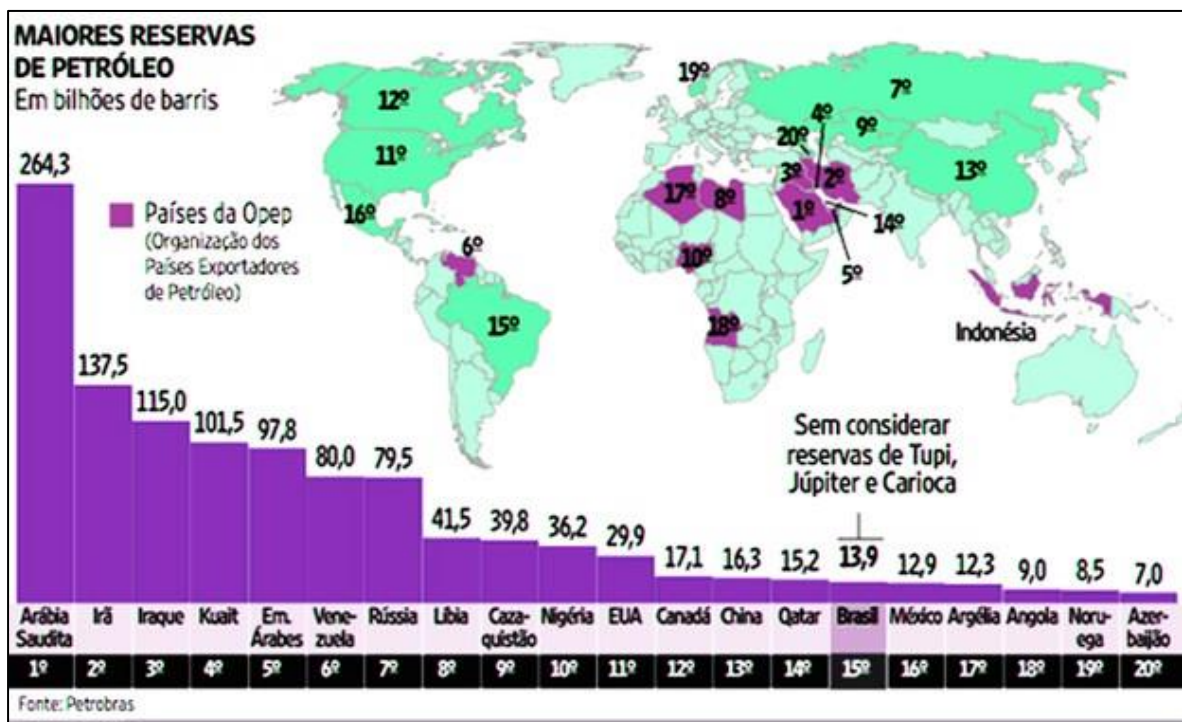


Figura 1 - Maiores reservas de petróleo no mundo.

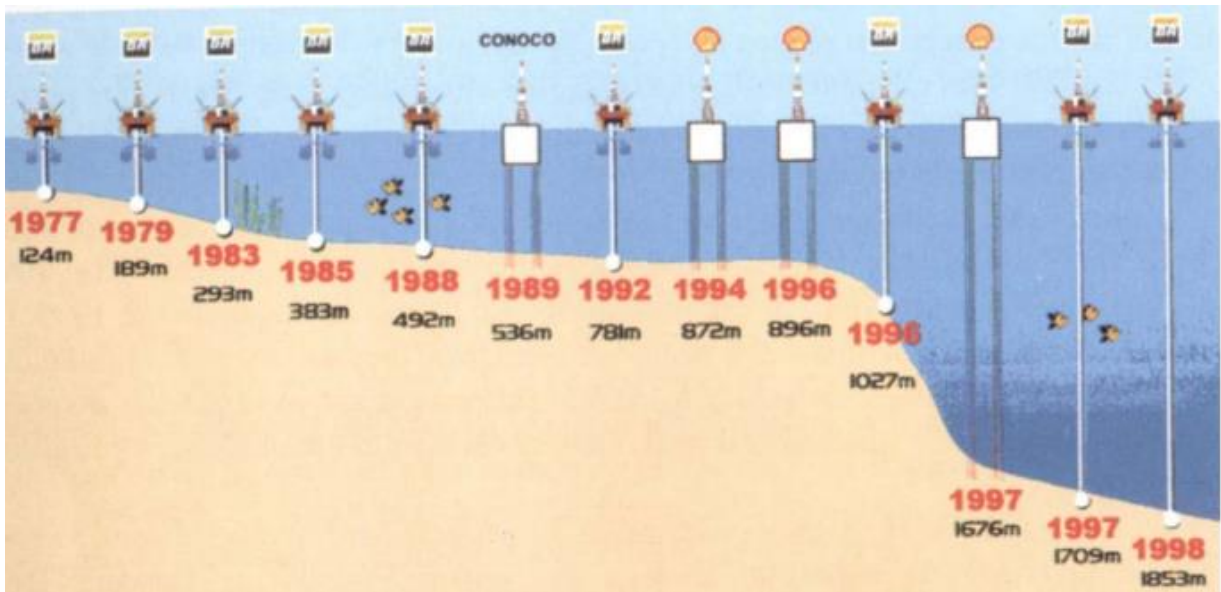
Fonte: PETROBRAS

O mercado mundial de petróleo foi ascendendo fortemente com a descoberta de novas reservas, como ilustra a Figura 01, e nos dias atuais, é uma das fontes de energia mais utilizadas no mundo. Segundo pesquisa realizada pela OPEP em janeiro de 2018, a previsão da demanda mundial de petróleo para o ano de 2018 foi de 98,60 milhões de barris por dia (bpd). Além de fonte energética, outras funções são destinadas para o petróleo com o advento da petroquímica. Diversos compostos são desenvolvidos e podem ter diferentes utilidades nas áreas de polímeros, tintas, farmacêuticos, adesivos, solventes e diversos outros produtos. (BORBA *et al.*, 2007).

### 3.2.2 No Brasil

Em 1858, o Marquês de Olinda assina o Decreto nº 2.266, concedendo a José Barros Pimentel o direito de extração do mineral betuminoso para fabricação de querosene, iniciando assim, às margens do rio Marau, então província da Bahia, a história do petróleo no Brasil. Entretanto, ocorreram em 1891, no estado de Alagoas as primeiras evidências sobre pesquisas relacionadas ao petróleo propriamente dito, em função da existência de sedimentos argilosos betuminosos no litoral (SILVA, *et al.* 2008). Já em 1938, com o auxílio do Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM), foi possível expandir as pesquisas na área de exploração e produção de petróleo no país, por consequência, foi iniciada a perfuração de um poço em Lobato - BA onde encontrou-se óleo em pequena vazão. Esse poço foi considerado o descobridor de petróleo no Brasil, mesmo sendo inviável economicamente, esse veio a ser um marco na história do petróleo Brasileiro (CEPETRO, 2006 *apud* GUIMARÃES, 2007).

A partir de 1953, na era Vargas, com a criação da Petrobras, o monopólio estatal do petróleo foi instaurado. Dessa forma, a produção brasileira de petróleo cresceu de 750 m<sup>3</sup>/dia para mais de 182000 m<sup>3</sup> dia no final dos anos 90, devido aos avanços tecnológicos, principalmente offshore, como mostra a Figura 2.



**Figura 2** - Evolução do recorde mundial de produção na plataforma continental.

**Fonte:** Thomas (2004).

No ano de 2007, as descobertas no pré-sal estão entre as mais importantes em todo o mundo na última década. Essa região é composta por grandes acumulações de óleo leve, de excelente qualidade e com alto valor comercial, ou seja, uma realidade que coloca o Brasil em uma posição estratégica frente à grande demanda de energia mundial. A produção de petróleo no Brasil foi intensificada após surgimento do pré-sal. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), em 2018, a produção do pré-sal bate recorde, correspondendo a 55% do total produzido no país, que foi de 2,575 milhões de barris por dia, no mês de junho.

### 3.2.3 Em Sergipe

O marco da história do petróleo Sergipano foi o descobrimento do Campo de Carmópolis, no ano de 1963. Em 1 de agosto de 1963 deu-se início a perfuração o poço 1-CP-1-SE. Após quinze dias, as expectativas foram atendidas, quando se confirmou a descoberta de um dos maiores campos petrolíferos da América Latina, com um volume total de 1 bilhão 300 milhões de barris no reservatório (PETROBRAS, 2006)

Em 43 anos de operação foram perfurados 1.617 poços no campo e extraídos 303,716 milhões de barris de petróleo, atrelado a isso, a urgência em

alavancar a produção nacional dava ares de aventura ao transporte do petróleo de Carmópolis até a Refinaria de Landulpho Alves, localizada na Bahia. O trajeto, num deficiente sistema de escoamento, era feito por ferrovia, depois por caminhão-tanque e via férrea, simultaneamente em 1965. (PETROBRAS, 2006).

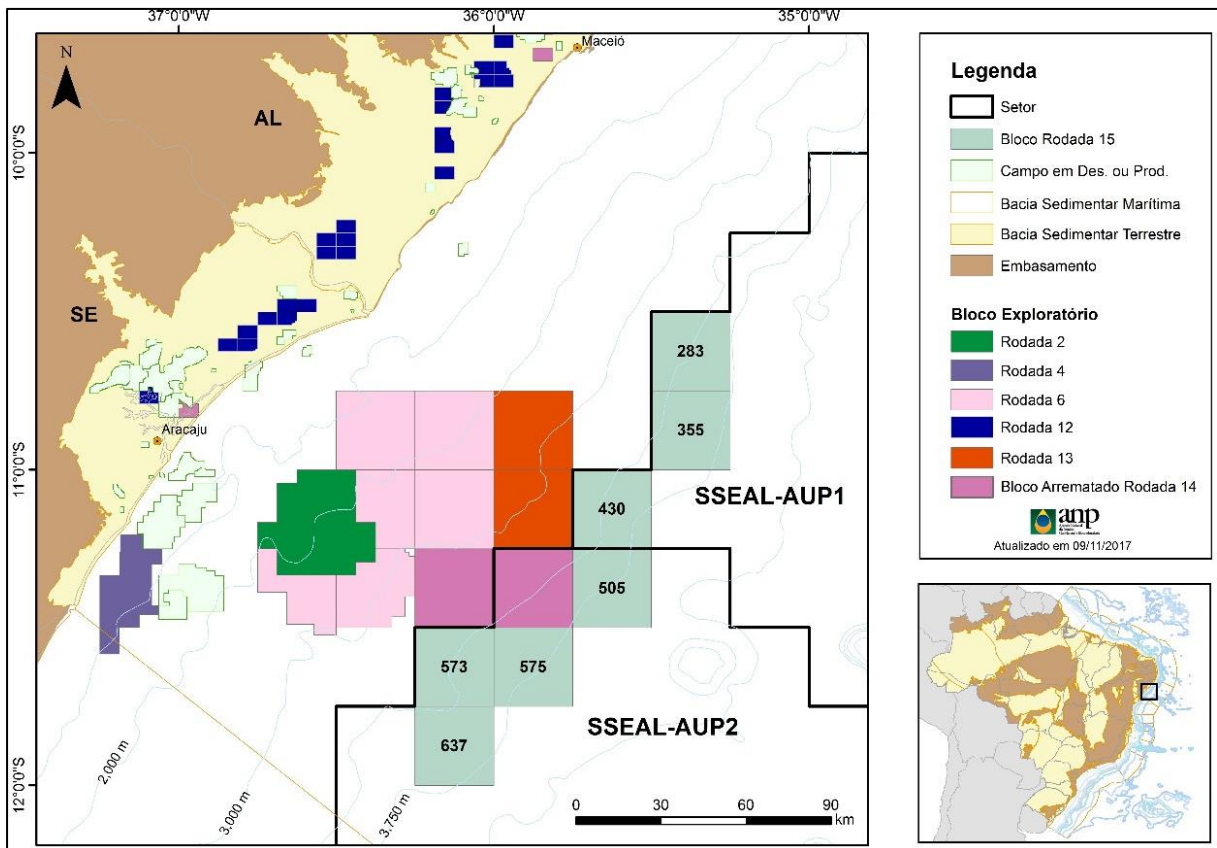
Foi inaugurado, em 1966, o terminal temporário próximo ao porto de Aracaju, possibilitando que o petróleo passasse a ser escoado também por caminhões-tanques, diretamente de Carmópolis até o porto Aracajuano. Curiosamente, esse terminal foi batizado pelos engenheiros e operários de Temarra, ou terminal feito na marra, um símbolo da necessidade de vencer rapidamente todos os obstáculos para aumentar a produção brasileira de petróleo. (OURO NEGRO, 2006).

Atualmente, Sergipe tem 1550 poços *onshore*, que produzem 33.174 bdp, onde cerca de 70% é proveniente do campo de Carmópolis, mantendo-se como um dos maiores campos terrestre do Brasil, com isso, o Município de Carmópolis, corresponde a 52% do volume, considerando a produção total do estado, em terra e no mar. Como o passar o tempo foi-se necessária à instalação de um sistema de recuperação secundária, com injeção de água, e um sistema de recuperação especial, compreendendo injeção de vapor e combustão *in situ*, por meio da qual é injetado ar para promover a combustão dentro da própria rocha-reservatório para manter a energia do reservatório, indispensável para continuação da produção (PETROBRAS, 2006).

Outro marco importante na história do petróleo em Sergipe foi o primeiro produtor offshore de petróleo – o campo de Guaricema, descoberto em 1968. O pioneirismo do estado de Sergipe é mantido com a instalação da primeira plataforma de casco redondo do país, nas águas profundas do campo de Piranema. A unidade foi afretada pela Petrobras, da Holanda, para produzir 30 mil barris diários de petróleo leve, de excelente qualidade.

Segundo a ANP, com base na Figura03 e com análise do Boletim Sergipe Econômico, parceria do Núcleo de Informações Econômicas (NIE) da Federação das Indústrias do Estado de Sergipe (FIES) e do Departamento de Economia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). A produção de petróleo no Estado de Sergipe ultrapassou a marca de 521,7 mil Barris Equivalente de Petróleo (BEP). Quando

comparado com setembro do ano passado, notou-se retração de 24,6% na produção (ANP, 2018).



**Figura 3** - Mapa da localização a bacia Sergipe-Alagoas com indicação dos blocos em oferta na Décima Quinta Rodada de Licitações.

Fonte: ANP 2018.

### 3.3 Derivados

O petróleo natural retirado do ambiente tem uma utilização muito pouca ou quase nenhuma, em virtude disso, faz-se necessário sua transformação em derivados que irão atender a demanda do mercado. Essas mudanças se dão por intermédio da aplicação de procedimentos físicos e químicos em refinarias, em que sucede a divisão dos diversos componentes do petróleo (REZENDE, 2013).

As refinarias atuam na separação do petróleo em diferentes subprodutos, tais como: gasolina, diesel e querosene. Para a realização desse processo, elas recebem o petróleo bruto das plataformas de extração, espalhadas pelo mundo, e o submetem a diversos processos químicos. Dentre todos os processos, o primeiro e mais primordial dentre eles é a destilação, que ocorre no interior de uma vasta torre,

na qual o petróleo é aquecido a altas temperaturas, evapora e, quando volta à sua forma líquida novamente, passa a apresentar grande parte de seus principais subprodutos separado. A partir desses subprodutos por destilação, decorre a produção de derivados do petróleo em indústrias petroquímicas (MARIANO, 2001).

Dentre os derivados formados a partir do processamento o qual o petróleo é sujeito, estão alguns que conhecemos, pois estão presentes no nosso cotidiano, são eles: gás liquefeito (GLP) ou gás de cozinha, gasolinas, naftas, óleo diesel, querosenes de aviação e de iluminação, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, solventes, parafinas (FELTRE, 2004).

Esse processo de refino gera não apenas produtos finais, mas também matérias-primas para outros produtos, como por exemplo, produção de tinta, borracha, pneus e plásticos. Isso proporciona a assimilação da indústria petroquímica aos mais numerosos segmentos contidos nas diversas cadeias produtivas em que o petróleo e seus derivados apresentam-se como insumos (OLIVEIRA, 2007).

### **3.4 Resíduos**

Nas refinarias e indústrias petroquímicas não são gerados somente matérias-primas para outros subprodutos, mas também resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Por definição, resíduos são substâncias ou produtos, que ficaram incapazes de utilização para os fins a que foram produzidos, ou são restos de um processo de produção, transformação ou utilização e, em ambos os casos, pressupõem que o detentor se tenha de desfazer deles. Qualquer que seja o tipo de classificação que se considere, há resíduos banais e outros que podem ser nocivos ou perigosos para o homem e outros seres vivos. Estes últimos designam-se genericamente por resíduos perigosos em função do seu carácter tóxico, corrosivo, explosivo, radioativo, etc., e do modo como são manipulados no meio ambiente durante o seu ciclo de vida como produto útil ou como resíduo (PIO *et al.*, 2000).

A Lei nº 12.305 que instituiu no país a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu princípios e objetivos respectivamente nos artigos 6º e 7º do capítulo II da seguinte forma:

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

- VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
- X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
- XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
  - a) produtos reciclados e recicláveis;
  - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
- XV - Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável (PNRS, 2010).

Dessa forma visualizando os princípios e objetivos da lei nº 12.305 fica constatado que a mesma pode compor decisivamente a gestão de uma forma exata e incorporada dos diversos tipos de resíduos gerados, proporcionando aos responsáveis envolvidos contribuir para o desenvolvimento sustentável, a preservação dos recursos naturais e a alegação da cidadania (HENDGES, 2011).

Conforme a Resolução CONAMA nº 313/2002, é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso,



cujas características tornem impraticável a sua projeção na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível. Ficam envolvidos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Em 1998 foi publicada a Resolução CONAMA nº 06, que submetia as empresas a constatarem todas as informações sobre os resíduos gerados e concedia responsabilidades aos órgãos estaduais de meio ambiente para estabelecer as informações recebidas das indústrias. Com base nessas informações seria produzido o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.

Em 2002, com a divulgação da Resolução CONAMA nº 313, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), a Resolução nº 06/1988 foi revogada. As obrigações impostas pela Resolução serviriam como subsídio à elaboração de diretrizes nacionais, programas estaduais e o Plano Nacional para Gerenciamento de RSI, uma vez que o inventário é um instrumento fundamental de política visando o controle e a gestão de resíduos industriais no país.

Segundo o Art. 8º da Resolução CONAMA nº 313/02, dois meses após a publicação dessa Resolução, as indústrias estavam obrigadas a registrar mensalmente e manter na unidade industrial os dados de geração, características, armazenamento, tratamento, transporte e destinação dos resíduos gerados, para efeito de obtenção dos dados para o Inventário Nacional dos Resíduos Industriais. Logo, para o registro da geração dos resíduos, as empresas costumam utilizar o Cadastro de Atividades Geradoras de Resíduos ou Inventário de Resíduos. Para que se permita obter informações técnicas sobre a quantidade gerada, a caracterização e os sistemas de destinação adotados pelas empresas. Entretanto, este instrumento é um documento confidencial e estratégico das empresas, restringindo-se ao corporativo e aos órgãos ambientais quando as fiscalizam para quantificação do volume de seus resíduos, como por exemplo, a borra oleosa, gerado nas refinarias e oleodutos no Brasil limitando-se ao público em geral (GUIMARÃES, 2007).

De uma forma geral os resíduos de origem industrial apresentam, em sua composição, um grau alto de resíduos denominado perigoso. Em função da

periculosidade oferecida pelos resíduos, a NBR 10.004 classifica os resíduos da seguinte maneira:

- Resíduos Classe I – Perigosos: aqueles que representam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Resíduos Classe II – Não Perigosos;
- Resíduos Classe II A – Não inertes: resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou Classe II B nos termos 25 da Norma. Estes resíduos podem apresentar propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos Classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa segundo a NBR 10.007, e submetidos ao contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água excetuando-se aspecto cor turbidez dureza e sabor (ABNT, 2004).

#### **3.4.1 Armazenamento inadequado dos resíduos industriais**

A degradação ambiental é geralmente resultada da atividade humana, sendo provocada pela inclusão de substâncias, que costumeiramente não estão no ambiente ou que nele existem em poucas quantidades (FEEMA, 1992).

O acelerado processo de industrialização resultou um aumento considerável na produção de resíduos sólidos de origem industrial. O mau uso dos resíduos sólidos industriais auxilia de forma pronunciada para o agravamento dos problemas ambientais, essencialmente quanto à sua destinação final, que concebe atividade fortemente poluidora do meio ambiente (ROCCA *et al.*, 1993).

As ações industriais concebem numerosos pontos de transmissão para as águas subterrâneas, essencialmente ligadas ao manuseio de resíduos, como as lagoas de efluentes, vazamentos de tanques, derrames acidentais, disposição de efluentes e resíduos sobre os solos ou nos rios, injeção de efluentes em poços e

através das partículas aéreas (CANTER, 2000). Os fundamentais modelos de contaminantes ambientais resultantes das atividades industriais são os metais pesados, os compostos orgânicos, a salinização e a acidificação.

Os metais mais fortes são formados por compostos inorgânicos que são disponíveis por muitos ramos industriais na forma de resíduos, sendo a predominante fonte de contaminação do solo e das águas. Os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem, não podem ser destruídos e são altamente reativos do ponto de vista químico, o que explica a dificuldade de encontrá-los em estado puro na natureza. Quando enviados na água como resíduos, podem ser absorvidos pelos tecidos animais e vegetais, proporcionando em todos os organismos que fazem parte da cadeia alimentar do homem, convertendo-os tóxicos e perigosos (GREENPEACE, 2003).

### **3.4.2 Reutilização dos resíduos**

A reutilização, ou reuso, é qualquer prática ou técnica que permite a reutilização do resíduo, sem que o mesmo seja submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas (CETESB, 1998). Reutilizar é voltar a usar um produto de várias maneiras. De acordo com Teixeira (2000), a reutilização consiste no aproveitamento do resíduo nas condições em que é descartado, submetendo-o a pouco ou nenhum tratamento. Portugal (2002) afirma que a reutilização de qualquer resíduo, transformando-o ou não, cria, pela nova utilização, um bem novo que provavelmente teria que ser fabricado às custas da exploração de mais recursos naturais virgens e energia. Temos como exemplo de reutilização o caso das embalagens tipo PET (Polietileno), que podem ser reutilizadas para detergentes, e os garrafões de água mineral.

Tanto no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, como em muitos outros processos produtivos, resíduos industriais com diferentes características são obtidos em função das etapas do processo na qual são geradas, da tecnologia utilizada e dos produtos fabricados. Deste modo, os principais resíduos obtidos são:

- Restos de matérias-primas, aditivos e peças cruas (resíduos crus);
- Resíduos da depuração de gases.

### 3.5 Borra Oleosa

Como foi abordada no item anterior a borra oleosa (Figura 04) é produzida basicamente no fundo dos tanques de armazenamento, equipamentos de processamento e nos separadores de óleo-água. A formação deste resíduo sólido varia devido a diferentes fatores, são eles: qualidade e características do óleo cru que passaram pelo processo até gera a borra; diferenciação de processos utilizados para a separação de óleo-água; vazamentos durante os processos industriais e mistura com borras oleosas já existentes. Entretanto, a borra oleosa contém água, sólidos grosseiros, óleos. Entre os compostos orgânicos presentes, os mais comuns são os saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (CERQUEIRA, 2011).



**Figura 4** - Borra Oleosa.

**Fonte:** GUIMARÃES (2007).

Com relação à poluição ambiental, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), são os compostos orgânicos presente na borra oleosa que apresentam mais riscos e precaução, pois contribuem consideravelmente para as propriedades toxicológicas dos resíduos do refino do petróleo, manifestando, muitos destes, potencial mutagênico e carcinogênico (CERQUEIRA, 2011).

Dentre os resíduos, o que tem recebido maior atenção é a borra oleosa. Para Santos (2002) A borra oleosa, tem como característica, apresentar capacidade abrasiva de acumular areia ou pó de pedra, sendo capaz de formar uma massa de resíduo final entre 10-20 vezes maior que o resíduo inicial.

As borras oleosas de maneira geral se formam durante as operações de produção, transporte, estocagem e refino do petróleo (ZHANG *et al.*, 2012). No

entanto, de acordo com sua origem, as composições encontradas podem ser bem variadas. Observando as etapas de processo de refino é possível localizar suas principais fontes e contribuições percentuais em termos de geração total de resíduos (CASTRO et al., 2011).

De acordo com GAFAROV (2006), estimativas indicam que uma indústria petroquímica que processa de 200-500 barris de petróleo por dia, gera cerca de 10.000 m<sup>3</sup> de borra oleosa. Segundo CERQUEIRA (2011), nas últimas décadas, a indústria do petróleo vem buscando alternativas para realizar uma destinação ou disposição final adequada e economicamente sustentável da borra oleosa, para que ela não agrida o meio ambiente comprometendo a saúde ambiental e humana.

**Tabela 1:** Composição típica da Borra Oleosa.

Amostra	1	2	3	4	5
Água (%)	55,35	50,32	49,40	45,73	38,69
Óleo (%)	36,02	42,88	43,60	47,84	55,40
Sedimento (%)	7,67	6,64	7,10	5,87	6,62

Fonte: (AIRES, 2002).

A borra oleosa apresenta em sua constituição água, sólidos grosseiros, óleos, gorduras, compostos orgânicos, elementos químicos e metais (CERQUEIRA, 2011). Entre os compostos orgânicos presentes, os mais comuns são os hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (LIU *et al.*, 2011). Um dos principais problemas ambientais da borra oleosa são os HPA, baseados na sua ecotoxicidade 16 deles foram classificados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*USEPA*) como poluentes prioritários para a remediação (CHAUHAN *et al.*, 2008).

Uma das preocupações em relação à gestão ambiental é o gerenciamento de resíduos, tanto pela normatização quanto pela legislação. Os resíduos são definidos como o resultado final do processo de produção. Quando se extrai o petróleo dos poços, ele vem à tona com grande quantidade de água, gás e sedimentos; Antes de seguir para o refino, precisa passar por processamentos primários nos quais o óleo e o gás são separados da água e das outras substâncias. O destino dos resíduos, denominado de Borra Oleosa, que são resultantes desse processo é um desafio para

a produção de petróleo, uma vez que contém metais, óleo pesado e outros poluentes (PAULINO, 2011).

Durante anos o material oleoso era descartado em diques sobre o solo, valas, trincheiras ou em tambores para posterior aterro. A acumulação deste resíduo pode vir a contaminar os corpos hídricos adjacentes, provocando o assoreamento dos rios, mortandade de peixes, contaminação pela presença de metais pesados, substâncias tóxicas, degradação do solo devido à alta salinidade presente na água produzida e comprometendo áreas de preservação ambiental (GUIMARÃES, 2007).

Estudos têm sido realizados buscando alternativas de tratamento capazes de minimizar o volume e a toxicidade deste resíduo, pelo aprimoramento de tecnologias existentes ou desenvolvimento de novas tecnologias. Entre as diversas opções de tratamento possíveis para resíduos sólidos, algumas possuem limitações que inviabilizam sua aplicação à borra oleosa, seja pelo alto custo, persistência de alguns compostos ou risco de contaminação do solo e aquíferos subterrâneos (VASUDEVAN *et al.*, 2001).

### **3.6 Técnicas de Tratamento da Borra Oleosa**

Segundo Pedroza *et al* (2011), a borra em uma planta de produção e refino do petróleo consome uma parcela elevada do orçamento. Atualmente tenta-se buscar inúmeras soluções com novas tecnologias, buscando tratamentos alternativos como: a incineração que é um processo utilizado para eliminar o conteúdo orgânico do resíduo oleoso oriundo de poluição, reduzindo-o a cinzas, que podem ser dispostas e misturadas ao solo; e já o coprocessamento que é um processo de combustão do resíduo oleoso, em fornos de indústrias de cimento, utilizado para eliminar o conteúdo orgânico do mesmo, incorporando as cinzas ao cimento produzido.

O *landfarming* é um processo utilizado para biodegradar o resíduo oleoso sobre o solo, em local previamente projetado para esse fim, biorremediação é um processo utilizado para acelerar o processo natural de biodegradação do resíduo oleoso e a disposição em aterro industrial, operação esta que confina no solo o resíduo oleoso ou a cinza resultante da incineração (PEDROZA *et al* 2011).

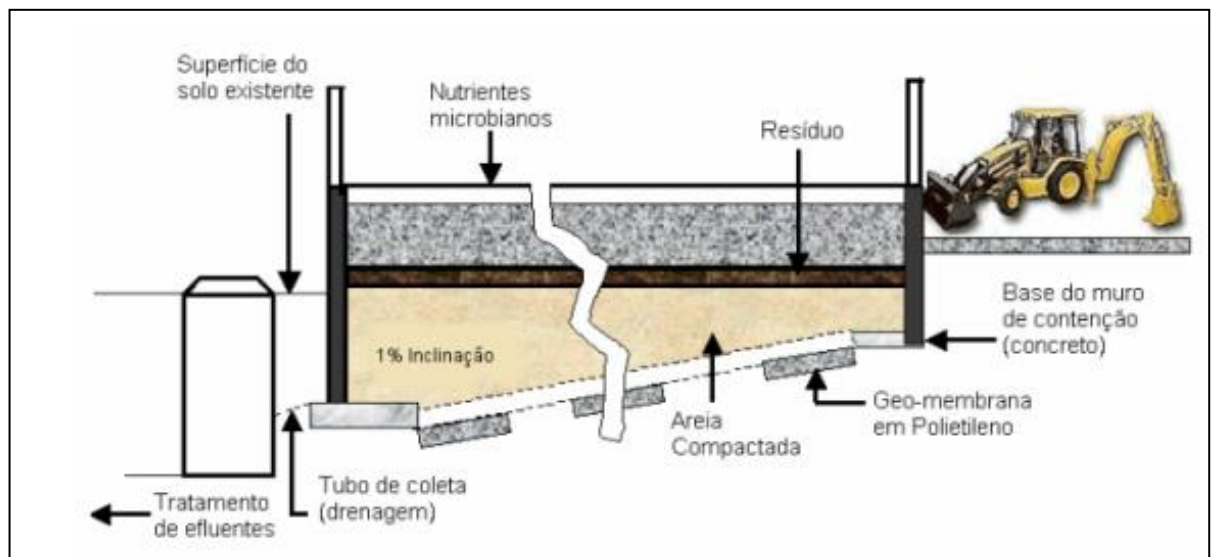
A Pirólise é o processo na qual a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas e ambiente desprovido de oxigênio.

Apesar de sua definição esclarecer a necessidade da inexistência de oxigênio, vários processos ocorrem com uma pequena quantidade dele. O processo é endotérmico, logo é necessário que exista bastante fornecimento externo de calor para acontecer o êxito da reação.

A termoliquefação é mais um método que vem sendo estudado para melhor reaproveitamento da borra oleosa, o mesmo é um processo novo que está em desenvolvimento no NUESC – Núcleo de Estudos em Sistemas Coloidais/ ITP – Instituto de Tecnologia e Pesquisa.

### 3.6.1 Landfarming

Uma das técnicas utilizadas é o *Landfarming*, na qual se introduz o contaminante na camada reativa do solo e através de operações de aragem e gradagem é estimulada a degradação do resíduo pelos microrganismos aeróbios ali presentes (SOUZA, 2010). A eficiência dessa técnica está relacionada a fatores climáticos e ambientais que afetam a microbiota do solo (URURAHY *et al.*, 1998). Por isso se fazem necessárias ações que visem estimular processos naturais de biodegradação para acelerar o tratamento.



**Figura 5** - Processo de *Landfarming*.

**Fonte:** (Kitzinger, 2014)

As técnicas de biorremediação para a recuperação de solos contaminados por petróleo são principalmente baseadas em processos aeróbicos, cujas etapas

iniciais de degradação dos hidrocarbonetos envolvem a oxidação de substratos por enzimas oxigenases (BOOPATHY, 2003). Segundo Díaz (2004), o processo de biorremediação aeróbia de compostos do petróleo é mais rápido se comparado ao anaeróbico e ecologicamente sustentável quando comparada a tratamentos químicos.

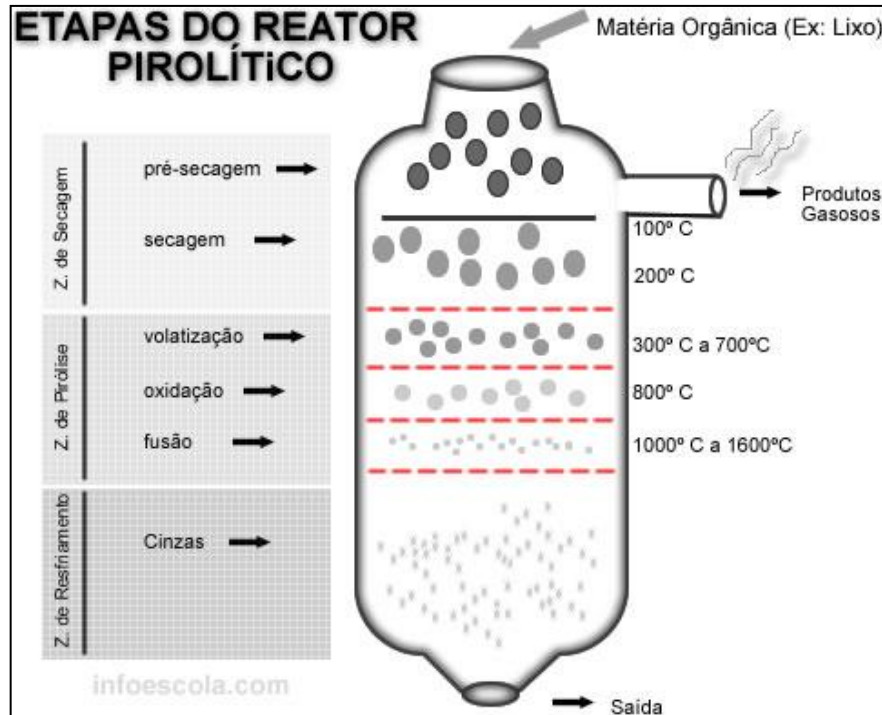
O teor de água no solo tem relação inversa com a disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, com a atividade dos microrganismos aeróbios, que são os principais responsáveis pela degradação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (JACQUES *et al.*, 2007). O *Landfarming* é um reator aberto, assim está sujeito as condições ambientais da região que está localizado. As variações de temperatura e pluviosidade durante as diferentes estações do ano no Brasil fazem com que a eficiência dessa técnica seja reduzida durante alguns períodos chuvosos (CERQUEIRA, 2011).

A adequada oxigenação do solo é de suma importância para o desenvolvimento e desempenho dos microrganismos aeróbios, o que pode ser melhorado utilizando materiais estruturantes para aumentar a aeração. Os materiais estruturantes mais comuns são a serragem, palhas e cascas de origem vegetal, resíduos agrícolas, dentre diversos outros (SANTOS, 2007).

### **3.6.2 Pirólise**

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica de qualquer material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou até mesmo, em um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise geralmente ocorre a uma temperatura que varia desde os 400 °C até o início do regime de gaseificação (PEDROZA *et al*, 2010).





**Figura 6** - Etapas do reator pirolítico.

Fonte : (infoescola, 2010)

O processo pirolítico apresenta muitas vantagens, como as elevadas temperaturas causam rápida e completa pirólise de substância orgânica, permitindo fundir e vitrificar certos resíduos inorgânicos e apresentam reduções de volume extremamente elevadas comparadas a alternativas. Já com relação as desvantagens, é uma técnica dedicada, exigindo em avultado investimento, até porque só pode ser rentabilizada quando acoplada a uma central termoelétrica. No processo pirolítico de borra de petróleo são gerados produtos, de valores agregados, que podem ser usados, tais como óleo, gases e carvão, como fonte de combustíveis ou em outros usos relacionados à própria indústria petroquímica (KARAYILDIRIM *et al*, 2006).

Diante dessa perspectiva, a pirólise tem sido estudada como a alternativa mais vantajosa para o aproveitamento dos resíduos da indústria de petróleo. Tsutya (2000) pirolisaram borra de petróleo usando gás nitrogênio e vapor de água como gases carreadores. As diferenças observadas, em termos de rendimento e da composição do óleo obtido, indicam que a pirólise realizada com o vapor de água apresentou um maior rendimento em óleo, este constituído de substâncias

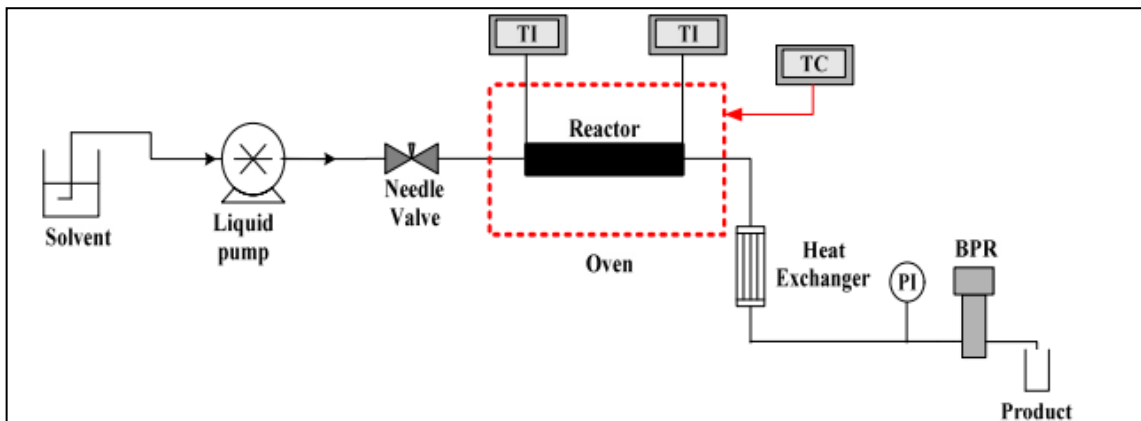
parafínicas. Segundo os autores, o vapor pode colaborar para uma maior evaporação do óleo presente na borra, evitando assim a formação de coque.

Observado que aumentando a taxa de fluxo de vapor d'água acontece um aumento no rendimento total e de substâncias tais como parafinas, aromáticas e asfaltenos, com redução de formação de compostos polares e de quantidade de enxofre no resíduo líquido. Outro parâmetro de processo estudado é a temperatura, nesse sentido, NAZZAI (2001) desenvolveu estudos em um reator de leito fixo com as temperaturas do processo oscilando entre 673 e 893 K e utilizando nitrogênio e a mistura de nitrogênio e vapor como gás carreador. Na fração gasosa, os seguintes gases foram analisados: H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos de C<sub>1</sub> a C<sub>4</sub>. Os resultados da pesquisa mostraram que para ambas as atmosferas em estudo, com o aumento da temperatura do leito de 673 a 793 K, houve um aumento no rendimento da fração oleosa e da razão alceno/alcano.

A determinação de metais pesados em borras de petróleo e no bio-óleo obtido a partir da aplicação da pirólise foi estudada por PICKLER *et al.*, (2003), nesse estudo, os autores identificaram uma redução na concentração de metais no bio-óleo, o que mostrou que o processo pode ser uma alternativa para se efetuar o tratamento do resíduo da borra de petróleo, obtendo no final uma fase líquida com considerável poder calorífico.

### **3.6.3 Termoliquefação**

É um processo inovador que está sendo desenvolvido no NUESC - Núcleo de Estudos em Sistemas Coloidais. Todos os experimentos de termoliquefação utilizando etanol supercrítico foram realizados de forma semi-contínua. O diagrama esquemático do aparato experimental é apresentado na Figura 07.



**Figura 7** - Aparato experimental para termofixação de biomassa: Indicação de Temperatura(TI); Controle de Temperatura(TC); Indicação de Pressão(PI); Regulador de Pressão de Retorno(BPR).

Fonte: Oliveira *et al* (2013)

O aparato experimental para a termoliquefação utilizando etanol como solvente consiste principalmente em forno com resistências elétricas (JUNG, Modelo 2310) equipado com um controlador de temperatura PID (NOVUS, Modelo N1100) que permitem o aquecimento no interior do forno a diferentes taxas de aquecimento. Um tubo de aço inoxidável será utilizado como reator. Uma bomba de líquido HPLC digital (Fishcer Scientific, Acuflo Série III) usada para o bombeamento de solvente. A unidade também dispõe de um trocador calor para resfriar o produto que sai do forno. Um regulador de pressão de retorno (BPR) (série Swagelok, KHB, modelo 1W0A4C6P60000) foi usado para controlar a pressão em todo o sistema. Um transdutor de pressão (NOVUS, O modelo TP-691 Huba Control) é colocado antes do BPR para monitoramento de pressão. Dois tipos de temperatura K sensores foram inseridos na entrada e saída do reator e conectados a indicadores universais de processo (NOVUS, modelo N1500). Uma válvula de agulha (HIP, modelo 1511AF1) foi colocada entre a bomba de HPLC e o forno, para isolar a unidade e a bomba conforme necessário.

Para reações de termoliquefação, será utilizado etanol como doador de hidrogênio e agente estéril com o objetivo de solubilizar e estabilizar os fragmentos gerados na fissuração das fibras. A pressão do sistema e da taxa de fluxo de etanol é mantida. No entanto, uma vez condições supercríticas para a liquefação são

alcançadas, a pressão tem pouca ou pequena influência sobre o rendimento de óleo líquido. Além disso, de acordo com Oliveira *et al* (2013), geralmente são preferidos pequenos tempos de residência porque eles produzem mais quantidade de óleo. O procedimento experimental inicia com a colocação do óleo para o reator, e então, o mesmo é inserido no forno e conectado ao sistema. Todo o sistema é então preenchido com solvente através a bomba de HPLC. O sistema foi pressurizado pela manipulação do BPR em vazão constante e a pressão monitorada pelo transdutor de pressão. Depois que a pressão atingiu valor constante, o sistema foi aquecido a uma taxa de aquecimento especificada até à temperatura desejada e mantido nessas condições por um tempo que é estabelecido. Após isso, a vazão é aumentada e o produto gerado durante o processo de liquefação, após resfriamento, foi coletado em frascos.

### **3.7 Reutilização da borra oleosa**

#### **3.7.1 Uso como material para pavimentos de baixo volume de tráfego**

Segundo Casagrande *et al* (2016), os cimentos asfálticos de petróleo (CAP) são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel e ferro) através de ligações covalentes. A composição química é bastante complexa, sendo dependente do cru e do processo de refino. O envelhecimento, como é denominado este fenômeno de comprometimento progressivo das propriedades físicas do CAP, é um processo de natureza complexa. É influenciado, basicamente, pelas características químicas do próprio cimento asfáltico (Figura 08), pela forma com que é manuseado e pelo nível de intemperização ao qual está submetido no pavimento. Ocorre durante a estocagem, a usinagem, o transporte, o manuseio, a aplicação e a vida de serviço do CAP, acarretando aumento da sua consistência (CORTIZO *et al.*, 2004).



**Figura 8** - Cimento asfáltico de baixo volume de tráfego.

**Fonte:** MIRANDA (2017).

Conhecer as características físico-químicas do CAP, antes da usinagem, não é suficiente para prever as alterações do seu comportamento físico, ao longo de sua vida de serviço. Para isto, é necessário realizar ensaios de caracterização química em cimentos asfálticos, submetidos a algum tipo de condicionamento, que simule o nível de agressividade ao qual estarão sujeitos. Com isso torna-se possível prever as alterações que os s sofrerão ao longo do tempo e, assim, selecionar o tipo adequado de material de forma mais racional (FAXINA *et al.*, 2004).

### **3.7.2 Utilização da borra nos produtos cerâmicos**

AMARAL E DOMINGUES (1990) conduziram pesquisas sobre incorporação de resíduos oleosos na fabricação de materiais cerâmicos no Brasil, numa parceria com a PETROBRAS e a Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região – ACERVIR. Os autores adicionaram 2% a 5% em peso de resíduo oleoso proveniente da Refinaria Henrique Lage na massa argilosa, com isso melhorar a

utilidade da argila, em alternativa ao óleo utilizado. Em função da melhoria da utilização, a velocidade de extrusão foi aumentada, e como a produção nas indústrias, um menor consumo de energia elétrica e a redução do consumo de lenha combustível. Extrusão é a passagem forçada da massa argilosa através de um orifício metálico da extrusora, chamado boquilha, visando formatar o bloco cerâmico. Os autores concluíram que os blocos produzidos com até 5% de resíduo são considerados inertes, não oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde humana de acordo com NBR 10004.

O emprego de resíduos com grande concentração de carbono e de materiais combustíveis, misturados à argila para a fabricação de alguns artefatos cerâmicos, principalmente de tijolos, é uma alternativa tecnológica de grande interesse para as indústrias, que já vem utilizando esta técnica há alguns anos (INT, 1993).

O Manual de Conservação de Energia na Indústria de Cerâmica Vermelha (INT, 1993) informa que pequenas quantidades de materiais como turfa, finos de carvão, resíduo de coque de siderurgia ou de petróleo, e outros que quando misturados à massa cerâmica podem trazer economias do consumo de energia durante a fase de queima. Com esse resultado ocorre a economia de energia quando estes materiais queimam no interior da peça cerâmica e pela substituição parcial de energia que estes produtos representam.

Zucchini *et al* (1993), utilizaram uma argila residual, proveniente de um processo de clarificação de óleos lubrificantes e hidráulicos, contendo cerca de 30% de óleo remanescente em massa, visto que o resíduo poderia ser incorporado em concentrações de até 20%, mantendo as alterações ocorridas após a incorporação do resíduo dentro da faixa recomendada para produtos cerâmicos.

A incorporação de resíduos na produção de materiais pode reduzir o consumo de energia, considerando que estes produtos frequentemente incorporam grandes quantidades de energia e porque podem reduzir as distâncias de transporte de matérias primas (John, 1995). A incorporação de resíduos no processo produtivo permite a redução da poluição gerada, e com isso a produção de materiais com melhores características técnicas.

Barreto (1995) estudou oito tipos de resíduos industriais oriundos do processo de tratamento de efluentes como o do catalisador, torta de hidróxido de alumínio, borra do catalisador, borra da bacia de equalização, borra do separador de água e óleo, borra oleosa do separador API, e borra do *landfarming*, mostrando que alguns resíduos poderão ser usados na produção desativada, lama de blocos cerâmicos, uma vez que promoveram economia de energia no processo e melhoraram a resistência mecânica dos blocos cerâmicos vazados. Percebendo que a queima dos blocos cerâmicos não gerou emissões gasosas tóxicas para o meio ambiente e as peças cerâmicas contendo resíduo não apresentaram nenhuma restrição quanto a seus usos.

Silva e Belo (1996) estudaram a fabricação de tijolos cerâmicos com incorporação de 10%, 15% e 20% de um resíduo sólido não tóxico proveniente da indústria petroquímica e concluíram que não houve nenhuma alteração significativa na diminuição nos tijolos incorporados com o resíduo após a secagem, constatando que a diminuição melhorou consideravelmente após a queima, principalmente em temperaturas elevadas. Todos os tijolos queimados em diferentes temperaturas apresentaram valores de absorção de água menores que 25%, limite máximo fixado pelas normas vigentes, concluindo que a amostra com 10% de resíduo em peso pode ser empregada na produção de tijolos e blocos por sua boa resistência mecânica e absorção.



**Figura 9** - Confeção de blocos cerâmicos.

**Fonte:** Alves (2003).



John (1997) afirma que a reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando reduções no preço e gerando benefícios sociais através da política habitacional. A reciclagem adota medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixa renda utilizando-se de produtos que foram reciclados.

Carvalho *et al* (1998) analisaram as consequências da incorporação dos resíduos em massas argilosas utilizadas na fabricação de tijolos, analisando a possibilidade de incorporação de um resíduo oleoso contendo 16,7% de óleo proveniente de processos de extração de petróleo, à massa argilosa para fabricação de tijolos à 8000 °C. Concluíram que o aumento da adição de resíduo diminuiu sensivelmente a resistência à compressão dos tijolos, as medidas da massa específica aparente diminuíram ligeiramente, enquanto a porosidade aparente e a absorção de água aumentaram um pouco.

Monteiro *et al* (1999) continuaram às pesquisas do trabalho anterior e apresentaram um estudo das alterações micro estruturais provocadas pela adição do resíduo oleoso na cerâmica argilosa. Eles observaram que, o melhor desempenho do material se deve à redistribuição das partículas em amostras com até 10% de incorporação.

Silva (2000) avaliou a incorporação de resíduo de borra oleosa em argilomineral, como mostra a Figura 10, utilizando corpos de prova confeccionados com incorporação de 10%, 15%, 20%, 30% e 100% de borra inertizada em argila através da conformação por prensagem. Silva concluiu que a incorporação de borra encapsulada de petróleo provoca alterações na composição química do material cerâmico mostrando a presença de bário e estrôncio; ocorrendo perda de resistência do material, e aumentando a porosidade do corpo cerâmico. A avaliação ambiental realizada através de ensaios de solubilização mostrou a fixação de metais pesados pela massa argilosa submetida à queima, não acarretando problemas ambientais.

Formosinho *et al* (2000) destaca o fato de estarmos seguindo a lógica da sociedade industrial, sem conseguirmos impor uma inversão do processo de dilapidação acelerada dos recursos do planeta, e, simultaneamente, equilibrar todo o frágil ecossistema. Amaral (2002) chama a atenção que o setor produtor de petróleo, apesar de trabalhar com matérias-primas e produtos de origem não renovável, que



são os combustíveis fósseis, poderia ter práticas e ações voltadas para o desenvolvimento sustentável, como a melhor utilização de recursos naturais, o uso de fontes alternativas de energia, a eficiência energética e uma melhor gestão de seus resíduos industriais.

Santos (2001) investigou a utilização da borra de petróleo na obtenção de produtos de cerâmica vermelha, com incorporação de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de borra encapsulada à argila, verificando que a incorporação de borra, em teores acima de 5%, afeta diretamente as propriedades das massas cerâmicas, diminuindo a retração linear e a resistência mecânica, sobretudo para os corpos de prova queimados a temperaturas mais altas.

Santos, Souza e Holanda (2002) trabalharam com incorporação de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de borra encapsulada à argila e relatam que as características das massas são alteradas em decorrência do aumento do teor de quartzo, diminuindo a plasticidade das massas. Os resultados mostram que a borra apresenta potencial para ser utilizada como constituinte de massas argilosas para fabricação de produtos de cerâmica estrutural.



**Figura 10** - Incorporação manual da borra oleosa à massa argilosa.

**Fonte:** GUIMARÃES (2007)

A indústria cerâmica é potencialmente um grande consumidor de resíduos provenientes de outras indústrias, sendo atualmente um grande reciclador de resíduos industriais (JOHN, 2002).

Deponti *et al* (2002) fala que a partir do desenvolvimento de indicadores, por parte de cada país, em função de sua realidade, permitir-se-á mensurar as modificações nas características de um sistema. Com isso, visando compreender a sustentabilidade ou não de várias práticas realizadas nas diversas etapas do processo produtivo no setor petrolífero, faz-se necessário a utilização de indicadores que venham traduzir a evolução de tais práticas, numa perspectiva de busca do desenvolvimento sustentável (ALMEIDA, 2002a).

### **3.7.3 Na fabricação de cimento para construção civil**

De acordo com Furlan e Mercanti (2004), na planta industrial de cimento, a borra é utilizada como fonte alternativa de energia nos fornos de clínquer substituindo parcialmente os combustíveis, ou misturada à matéria-prima. Um método bastante utilizado pela indústria petroquímica, desde então, como uma maneira de minimizar a sua degradação ambiental, haja vista que há incorporação de toda a borra de petróleo sem a necessidade de disposição.

Segundo Carmo (2003), a indústria de cimento é uma grandiosa consumidora de borras de petróleo e outros resíduos de alto poder calorífico. Com isso, estes remanescentes da produção petrolífera se convertem em material utilizável na mencionada indústria como matéria-prima ou combustível, onde é co-processada em fornos (Figura 11) a temperaturas superiores a 1000°C, fazendo com que uma parcela dos contaminantes sejam destruídos e agregados ao cimento (AIRES, 2002) sem prejudicar a qualidade do mesmo (KIHARA, 1999b *apud* CARMO, 2003) proporcionando a sustentabilidade da indústria cimenteira. Shaaban (2000) *apud* Aires (2002) frisa que em certos países as cinzas produzidas no decorrer da queima da borra oleosa podem ser reaproveitadas em coberturas de aterros ou material para a construção de recifes artificiais.

O co-processamento é uma tecnologia de destinação de resíduos industriais que corresponde inteiramente às atuais exigências de controle ambiental. Essa técnica consiste na destruição térmica a elevadas temperaturas em fornos de

fabricação de clínquer, principal matéria-prima do cimento, propriamente licenciados e preparados para este fim, com o aproveitamento de conteúdo energético e/ou aproveitamento da fração mineral como matéria-prima.

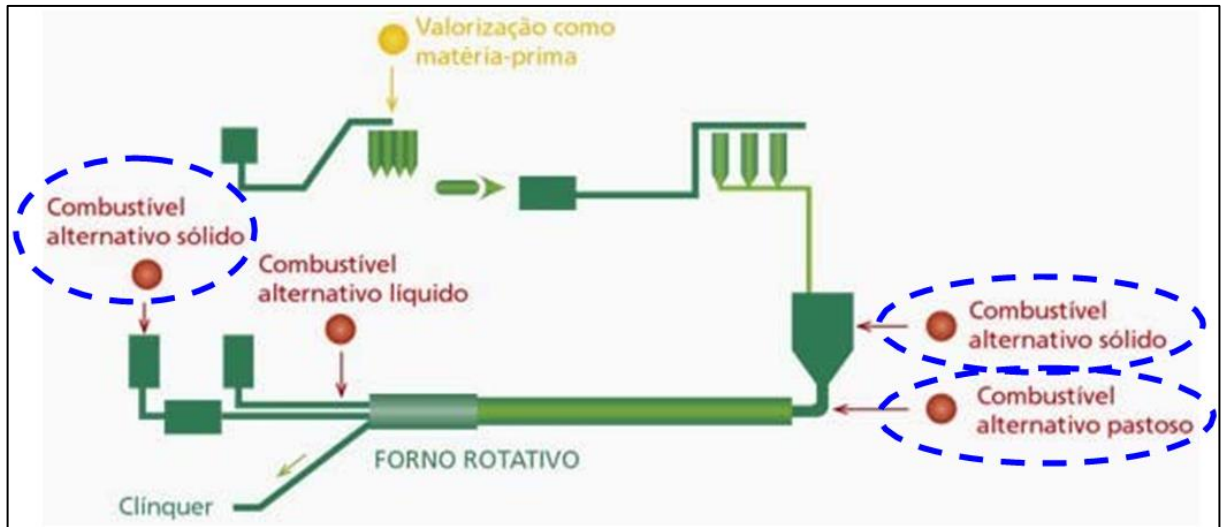


**Figura 11** - Indústria Cimenteira.

**Fonte:** Guimarães (2007).

Quando acoplada a um sistema de tratamento dos gases tóxicos e poeiras provenientes da queima, esta técnica é considerada limpa. Entretanto, a inexperiência do setor cimenteiro e a limitação de equipamentos de controle ambiental nas indústrias, atrelado a falta de profissionais qualificados no domínio de questões ambientais, tornaram-se fatores determinantes na resistência dos órgãos ambientais à implantação do co-processamento no Brasil. Dessa forma, em 1999, visando a regularização do meio, o CONAMA elabora uma norma técnica de co-processamento de resíduos em fornos de clínquer Portland, respaldadas nas normas e procedimentos nacionais e internacionais: Resolução 264, a qual destaca que somente as fábricas de cimento instaladas, licenciadas e ambientalmente regularizadas poderão realizar o co-processamento (MMA, 2000).

O esquema representado pela Figura 12 ilustra o emprego dos resíduos industriais, como a borra de petróleo, como combustível nas etapas de fabricação do cimento.



**Figura 12** - Emprego dos resíduos industriais.

**Fonte:** [http://www.essencis.com.br/serv\\_co.asp](http://www.essencis.com.br/serv_co.asp).

Santi (2003) aponta outras vantagens referentes à questão ambiental: minimização dos impactos resultantes da disposição final dos resíduos no solo, redução do consumo de recursos naturais não renováveis e redução da emissão de gases estufa mediante a substituição dos combustíveis fósseis por materiais que teriam que ser incinerados em outros equipamentos.

#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com MMA (2000), o co-processamento da borra oleosa na indústria cimenteira quando acoplada a um sistema de tratamento dos gases tóxicos e poeiras provenientes da queima, desde que siga a resolução 264 da CONAMA, é considerado limpo.

Contudo, Carmo (2003) estudou a viabilidade econômica do co-processamento de solos contaminados por borra oleosa em cimenteiras constatando que a decomposição da fração orgânica à temperatura de 350°C, acompanhada da perda de massa e a incorporação da fração inorgânica nos clínqueres experimentais, atuou fortemente na variação da composição do mesmo, sendo necessária uma adequação dos módulos químicos para substituições superiores a 5% e mudança no processo de fabricação com uso de adições corretivas, para manter a qualidade.

Ainda com base em Carmo (2003), o mesmo fez um estudo no qual mostra que se o pH da borra oleosa for muito ácido, o tratamento como o co-processamento torna-se inviável prejudicando os fornos, compromete a sua durabilidade, aumentando os custos da produção. Além de que, MMA (2000) afirma que se fossem reduzidos os custos o co-processamento se tornaria ainda mais atrativo.

Segundo Marcos Rogério Tótola (2012), atualmente não existe um método fácil e de baixo custo para tratar borras oleosas, principalmente que possa recuperar o valioso combustível contido nela. Várias opções de tecnologia de processo para tratar borras de petróleo surgiram durante os últimos anos, em resposta ao aumento das restrições impostas nas normas ambientais que fiscalizam estes resíduos. Atualmente as tecnologias para o tratamento de resíduos oriundos das refinarias são muito caras e inadequadas para satisfazer a legislação.

Entretanto, de acordo com Silva (2013), a tecnologia de *landfarming* pode ser inovadora no que diz respeito aos impactos de redução do risco de contaminação de aquíferos por meio de sistemas mais eficientes de impermeabilização, assim como prover a redução de geração de efluentes através de sistemas de coleta do lixiviado. Caso, esses dois impactos mencionados anteriormente forem classificados como baixos há um decréscimo do fator de impacto

ambiental em 76%, fazendo com que essa tecnologia se torna mais atraente do que o co-processamento, além de viabilizar a autorização do licenciamento ambiental.

Conforme Guimarães (2007), não conseguiram resolver integralmente o problema das borras oleosas tornando-se necessário encontrar uma alternativa de tratamento para cada situação. A importância do impacto ambiental causado pela acumulação da borra sobre o solo ou armazenamento em pátios de resíduos exige uma saída mais rápida, economicamente viável, ecologicamente e socialmente correta, à medida que condiz à política da gestão do desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, algumas tentativas na indústria cerâmica têm sido testadas e identificadas através da incorporação à argila como matéria-prima na massa argilosa para obtenção de material refratário, como a fabricação de blocos cerâmicos.

O emprego da borra oleosa na fabricação de materiais cerâmicos também favorece a redução do custo energético, pois produtos como tijolos furados, tijolos maciços, lajes, telhas, manilhas, blocos de vedação e estruturais, e pisos rústicos frequentemente congregam grandes quantidades de energia reduzindo ao mesmo tempo as distâncias de transporte de matérias primas, além de resultar um produto de melhor qualidade tecnicamente (GUIMARÃES, 2007).

Além disso, segundo CASAGRANDE (2007), a utilização da borra oleosa asfáltica pura não é adequada para vias de alto volume de tráfego, todavia, as misturas apresentaram valores compatíveis para serem empregadas como revestimentos de baixo custo, bem como em regularizações e reforço de pavimentos, se mostrando uma alternativa viável para vias de baixo volume de tráfego.

## 5. CONCLUSÃO

A reutilização da borra oleosa de petróleo através da sua introdução à massa argilosa para confecção de blocos cerâmicos utilizados na construção civil constitui-se numa opção ambientalmente sustentável, ao atender os três pilares da sustentabilidade: a perspectiva ambiental, econômica e social.

Concluiu-se que o reaproveitamento da borra oleosa através do co-processamento é próspero no tocante à redução dos resíduos sólidos gerados pela indústria petrolífera, haja vista que esse processo legalizado ambientalmente é considerado limpo e sustentável, além disso, consome uma grande quantidade de borra oleosa favorecendo a destinação correta da mesma.

Observou-se, ainda, que método de *landfarming* é uma alternativa acessível de gestão, por ser simples e funcional, possuindo resultado convincente com custo pequeno e sendo uma prática ecologicamente correta para tratar os resíduos, desde que se tenha cuidado na aplicação, já que existe o risco de se sobrecarregar os microorganismos do solo e, com isso, gerarem um passivo ambiental na área, originando a poluição do solo, ou seja, caso existam condições tecnológicas e econômicas, deve-se utilizar o *landfarming* como método alternativo.

Firmou-se, também, que pelo fato da imaturidade do processo de termoliquefação aplicado na borra oleosa, e por falta de recurso bibliográfico não se pode determinar a viabilidade em relação a reutilização do mesmo.

Diante do exposto, todos os autores citados no decorrer do trabalho deram soluções viáveis para a utilização da borra oleosa em diversas áreas. Contudo, a busca por novas aplicações deve ser constante, visto que se trata de um rejeito de grande volume que possui uma alta taxa de aproveitamento.

Esse trabalho auxilia também na obtenção de conhecimento sobre o assunto abordado e serve como registro bibliográfico para possíveis novos estudos da borra oleosa.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14001: **Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro, 1996.
- AIRES, J. R. **LTC no manejo de borra de petróleo**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2002.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Rio de Janeiro: ANP, 2015.
- ALMEIDA, R. O. A. **A Ecoeficiência e as Empresas do Terceiro Milênio**. Revista Tendência do Trabalho. Set. 1998.
- AMARAL, S. P.; DOMINGUES, G. H. **Aplicação de resíduos oleosos na fabricação de materiais cerâmicos**. In: Congresso Brasileiro de Petróleo, 4, 1990. São Paulo. Anais... São Paulo: IBP, 1990. pg. 1-13. ref. TT-345
- BARRETO, A. J. B. **Uso de resíduos industriais provenientes do tratamento de efluentes na produção de blocos cerâmicos vazados: aspectos técnicos, econômicos e ambientais**. Rio de Janeiro, RJ: UGF, 1995. Monografia do Curso de Pós Graduação Latu Sensu de Ciências Ambientais da Universidade Gama Filho.
- BISOGNIN, R.P. **Análise do potencial microbiano de uma biopilha na biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos**. 2012. 140f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012.
- BOOPATHY, R. **Use of anaerobic soil slurry reactors for the removal of petroleum hydrocarbons in soil**. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 52, p. 161-166, 2003.
- BORBA, R. C.; OLIVEIRA, V. M.; NETO, R, S.; **A influência do petróleo na dinâmica econômica das cidades: um estudo comparativo entre Macaé (Brasil) e Aberdeen (Reino Unido)**. II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica, São Luís – MA, 2007.
- BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais. Brasília: Diário Oficial da União, edição de 22 de novembro de 2002.
- CARVALHO, E. A.; OLIVEIRA, E. M. S.; MONTEIRO, S. N. **Utilização de resíduo oleoso em tijolos queimados**. In: Congresso anual da ABM, 53, Anais... Belo Horizonte: ABM, 1998.



CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; NASCIMENTO, Daniel Rodrigues do; LIMA, Cícero de Souza; SOARES, Jorge Barbosa. **Estudo da aplicabilidade de borra oleosa asfáltica pura como material para pavimentos de baixo volume de tráfego**. Fortaleza, Ceará, UFC, 2016.

CASTRO, K. K. V.; PAULINO, A. A. D. ; SILVA, E. F. B.; CHELLAPPA, T.; LAGO, CERQUEIRA, V.S. **Biorremediação de borra oleosa proveniente de indústria petroquímica em microcosmos**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

CERQUEIRA, V.S. **Biorremediação de borra oleosa proveniente de indústria petroquímica em microcosmos**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

CHAUHAN, A.; RAHMAN, F.; OAKESHOTT, J.G.; JAIN, R.K. **Bacterial Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: strategies for bioremediation**. Indian Journal of Microbiology, v. 48, n. 1, p. 95–113, 2008.

CORTIZO, M. S.; LARSEN, D. O.; BIANCHETTO, H.; ALESSANDRINI, J. L. (2004). **Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts**, *Polymer Degradation and Stability*, p. 275-272

COSTA, Marcio Macedo. **Princípios de ecologia industrial**. Rio de Janeiro: UFRJ: COPPE, 2002.

CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da. **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.

DEPONTI, C. M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J. L. B. **Estratégia para a construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas**. Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. v.3, n.4, Out/Dez 2002. Porto Alegre. pg. 44-52.

D'AVIGNON, A. **Normas Ambientais ISO 14.000: Como Podem Influenciar sua Empresa**. Rio de Janeiro: CNI, 1995.

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

ECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO LEIS AMBIENTAIS E O CÓDIGO FLORESTAL: **Algumas considerações acerca da trajetória das leis ambientais no Brasil e a proposta referente à reformulação do Código Florestal**. Revista Geografia: Editora Escala, 2012.

EDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, C. M.; RIOS, R. F. M.; PICKLER, A. C.; SOUSA, J. F.; **Características químicas e pirólise de borra de petróleo: Uma revisão**. EDUCTE Revista Científica do IFAL, n. 2, v. 1, 2011.

FAXINA, A. L.; SÓRIA, M. H. A.; LEITE, L. F. M.; TAHARA, C. S. (2004) **Efeito do Envelhecimento a curto prazo em asfaltos modificados com Borracha de Pneu e Óleo de Xisto**. Anais do 28º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis, Brasil, p. 53-64.

FARAH, M. A.; ARAÚJO, M. A. S. **Petróleo e seus Derivados**. 1 ed. Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos, 2012.

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Vocabulário básico de Meio Ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS, Serviço de Comunicação Social, 1992. 246p.

FELTRE, R. **Química: Química Orgânica Volume 3**. São Paulo: Moderna. 6ª Ed., 448p, 2004.

FORMOSINHO, S.J.; PIO, C. A.; BARROS, J. H.; CAVALHEIRO, J. R. **Parecer relativo ao tratamento de resíduos industriais perigosos**. Aveiro-Portugal: Comissão Científica independente de controlo e fiscalização ambiental de co-incineração, 2000.

GAFAROV, A.B., et al. **Change in the composition of a bacterial association degrading Aromatic Compounds during oil Sludge Detoxification in a Continuous-Flow Microbial Reactor**. Applied Biochemistry and Microbiology, 42, 2, 160 - 165, 2006.

GREENPEACE. **Metais pesados**. Disponível em <<http://greenpeace.org.br/toxicos/metais.asp>> Acesso em: 07 nov. 2018.

GUIMARÃES, A. K. V.; **Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

GUO, S.; LI, G.; QU, J.; LIU, X.; **Improvement of acidification on dewaterability of HENDGES**, Antônio Silvio. **Princípios e Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Revista Cidadania & Meio Ambiente, 19 jul. 2011.

Infoescola: **PIRÓLISE**. Disponível em <<https://www.infoescola.com/reacoes-quimicas/pirolise/>> Acesso em 19 de NOV. 2018.

INT – Instituto Nacional de Tecnologia. **Manual de conservação de energia na indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT, 1993. pág. 40.  
JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos**. Ciência Rural, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, 2007.

- JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. Disponível em <[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des\\_sustentavel.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm)>. Acesso em: 17 OUT 2018.
- JOHN, V. M. **Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para resíduos**. In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção**. Anais... São Paulo: ANTAC, 1997. pg 21 a 31. 170 pg.
- KAPANEN, A.; ITAVAARA, M. Ecotoxicity tests for compost applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 49, p. 1-16, 2001.
- KARAYILDIRIM, T.; YANIK, J.; YUKSEL, B. **Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges**. *Energy e Fuel*, v.85, p. 1498 - 1508, 2006.
- Kitzinger, C. E. (2014). **Dimensionamento de um landfarming para tratamento de borras oleosas**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria.
- LAITANO, K. S.; MATIAS, W. G. **Testes de toxicidade com *Daphnia magna*: uma ferramenta para avaliação de um reator experimental UASB**. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 1, n. 1, p. 43-47, 2006.
- LAPA, M. P. **Avaliação Ecotoxicológica de Solos Impactados com Borra Oleosa Submetidos a Diferentes Tratamentos de Biorremediação**. 2014.
- LEONE, George Guerra. **Custos um enfoque administrativo**. 12. ed. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 1998.
- LIU, P. W. G.; CHANG, T. C.; WHANG, L. M.; KAO, C. H.; PAN, P. T.; CHENG, S. S. **Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: Effects of strategies and microbial community shift**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 65, n. 8, p. 1119-1127, 2011.
- M. B. D. L.; FERNANDES JÚNIOR, V. J.; ARAUJO, A. S.; **Effect of the ALMCM-41 catalyst on the catalytic pyrolysis of atmospheric petroleum residue (ATR)**. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 106, p. 759 – 762, 2011.
- MARTINS. Eliseu. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 1992.
- Melo, P. G., Coriolano, A. F., & Araújo, A. S. (2018). **ANÁLISE E PROPOSTA DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS**. Revista EA.
- MILLIOLI, V.S. **Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo**. 2009. 200f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009.

MICHÉLE; DAL TOÉ; CASAGRANDE, D. R. **ESTUDO DA APLICABILIDADE DE BORRA OLEOSA ASFÁLTICA PURA COMO MATERIAL PARA PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO.** Tese de Mestrado, 2007.

MONTEIRO, S. N.; OLIVEIRA, E. M. S; SANTOS, R. S.; CARVALHO, E. A. **Alterações microestruturais provocada pela adição de resíduo oleoso em cerâmica argilosa.** In: Congresso da ABM, 54, 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 1999.

NEVES, Jane Silva. **Contabilidade ambiental do processo de coleta de embalagens de EPS para reciclagem utilizando análise energética.** Estudo de caso: Projeto Gaia. Monografia. Instituto Superior Tupy. Joinville, 2005.

NUNES, J.S. **Estudos, modelagem e simulação de instalações de produção de petróleo no simulador PIPESIM com ênfase na otimização de “gas-lift” contínuo.** 2008. Projeto de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

OLIVEIRA, A.C.S. et al,. **A indústria do petróleo na região nordeste: dificuldades e potencialidades.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2007.

OLIVEIRA, A. L. P. C.; SERPA, F. S.; NUNES, R. B. M.; DARIVA, CLÁUDIO.; FRANCESCHI, ELTON.; EGUES, SILVIA.; SANTOS, A. F.; HEREDIA, M. F.; **Liquefaction of Palm Oil Fiber (*elaeis* sp.) in Supercritical Ethanol. ///** Iberoamerican Conference on Supercritical Fluids Cartagena de Indias (Colombia), 2013.

OPEC – Organization of the Petroleum Exporting Countries. **Monthly Oil Market Price.** Vienna, 2015. Disponível em: <[http://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/338.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm)> Acesso em: 25 OUT. 2018.

ORTEGA, Henrique. **Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável: Exemplo de uso da metodologia energética-ecossistêmica.** Campinas, 5 de junho de 2003.

PAULINO, A. A. D.; **Degradação térmica e catalítica da borra de petróleo com materiais nanoestruturados AIMCM-41 e AISBA-15.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, C. M.; RIOS, R. F. M; PICKLER, A. C; SOUSA, J. F.; **Características químicas e pirólise de borra de petróleo: Uma revisão.** EDUCTE Revista Científica do IFAL, n. 2, v. 1, 2011.

PLUCÊNIO, A. **Automação da produção de poços de petróleo operando com elevação artificial por injeção contínua de gás.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

QUELHAS, A. D; PASSOS, C. N; LAGE, D. F. S.; ABADIE, E. **Processamento de petróleo e gás.** Rio de Janeiro. LTC, cap.8, p.118-121, 2011.

RAMOS, U. **Estudo da biodegradação de gasolina por bactérias presentes no solo da área de armazenamento e distribuição de combustíveis no município de ribeirão Preto.** 2006. 108f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2006.

REZENDE, I.E. **Gerenciamento de resíduos sólidos de petróleo na refinaria: borra oleosa e catalisadores.** 2013. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia do Petróleo) – Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, Escola de Ciência e Tecnologia, Duque de Caxias, 2013.

ROCCA, A. C. C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTTI, A. J.; CASARINI, D. C. P.; GLOEDEN, G. E.; STRAUS, E. L.; ROMANO, J. A.; RUIZ, L. R.; SILVA, L. M.; SAITO, L. M.; PIRES, M. C.; LEÃO, M. L. G.; CASTRO NETO, P. P.; COLUCCI, R.; CUNHA, R. C. A. **Resíduos sólidos industriais** – 2. ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 1993. 233p.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D.; **Engenharia de Reservatórios de Petróleo.** 1º ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2006.

SANTAREM, C. A. **Análises de sistemas de elevação artificial por injeção de nitrogênio para surgência de poços e produção.** 2009. Projeto de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, R. S.; SOUZA, G. P.; HOLANDA, J. N. F.; **Caracterização de massas argilosas contendo resíduo proveniente do setor petrolífero e sua utilização em cerâmica estrutural.** *Cerâmica*, v. 48, p. 115 – 120, 2002.

SANTOS, R. S. **Reaproveitamento do resíduo borra de petróleo da Bacia de Campos – RJ em cerâmica vermelha.** Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2001. Tese de mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais.

SILVA, C.R.R. **Água produzida na extração de petróleo.** 2000. Monografia (Especialista em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

SILVA, N. I. W.; BELO, P. **Avaliação de misturas de resíduo sólido com argila plástica para aplicação em cerâmica vermelha.** *Revista Cerâmica*. v. 42 n. 276 Jul/Ago, 1996. pg 335 a 338.

SILVA, J. M. C.; BOZELLI, R. L.; SANTOS, L. F.; LOPES, A. F.; **Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Campos, RJ**. IV Encontro Nacional da Anppas, 2008.

SILVA, L. J. **GERENCIAMENTO DE BORRAS OLEOSAS PROVENIENTES DE REFINARIA DE PETRÓLEO**. (2013).

SILVA, P.K.L. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem animal**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SOUZA, T. S. **Análise da toxicidade e da mutagenicidade de um solo de landfarming, proveniente de uma refinaria de petróleo, antes e depois de processos que visam estimular a biodegradação de hidrocarbonetos**. 2010, 237f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2010.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1986. 108p.

TRIGGIA, A. A.; CORREIA, C. A.; VEROTTI FILHO, C. V.; XAVIER, J. A. D.; MACHADO, J. C. V. M.; THOMAS, J. E.; SOUZA FILHO, J. E.; PAULA, J. L.; DE ROSSI, N. C. M.; PITOMBO, N. E. S.; GOUVEA, P. C. V. M.; CARVALHO, R. S.; BARRAGAN, R. V.; **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2004.

TSUTYA, M. T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos**. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Embrapa, 2000.

URURAHY, A. F. P.; MARINS, M. D. M.; VITAL, R. L.; GABARDO, I. T.; PERERIRA, N. **Effect of aeration on biodegradation of petroleum waste**. Revista de Microbiologia, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 254-258, 1998.

VASUDEVAN, N.; RAJARAM, P. **Bioremediation of oil sludge-contaminated soil**. Environment International, v. 26, p. 409-411, 2001.

WALISIEWICZ, M. **Energia alternativa**. Mais ciência, São Paulo: Publifolha, 2008.

WERNKE, Rodney. **Gestão de custos: uma abordagem prática**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

YAN, P.; LU, M.; GUAN, Y.; ZHANG, W.; ZHANG, Z.; **Remediation of oil-based drill cuttings through a biosurfactant-based washing followed by a biodegradation treatment**. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 10252–10259, 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. Ed. Porto alegre: Bookman, 2001.

ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro Donnini. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia.** São Carlos: EdUFSCCar, 2004.

ZIMBRES, E. **Guia avançado sobre águas subterrâneas.** Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>> Acesso em 07 nov. 2018.

ZUCCHINI, R. R.; ORTIZ, N.; SAKA, S.; ZANDONADI, A. R. **Melhoramento de propriedades de cerâmica vermelha utilizando resíduo industrial argiloso.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 37, Anais... 22-25 maio 1993. Curitiba, PR: 1993. pg 424-431.