

---

## TRATAMENTO DOS RESÍDUOS OLEOSOS PROVENIENTES DA EXPLORAÇÃO OFFSHORE DE PETRÓLEO: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA AMBIENTAL

Talyta N. Albino<sup>1</sup>, Alessandra Argolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC, E-mail: talyta\_albino46@hotmail.com;

<sup>2</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC, E-mail: aleargolo@gmail.com;

**Resumo:** *O petróleo é utilizado desde a antiguidade em diversos seguimentos da indústria. A sua produção e extração acarreta na geração de uma quantidade significativa de resíduos, com destaque para o resíduo oleoso; classificado, segundo a legislação brasileira, como perigoso. No Brasil intensificou-se o debate acerca dos métodos mais apropriados para tratamento e destinação final desses resíduos com a regulamentação do pré-sal. O presente trabalho, teve como objetivo realizar análise qualitativa, por meio de pesquisa bibliográfica, da eficiência ambiental dos métodos mais comumente empregados no tratamento desses resíduos. Sugeriu-se o método de micro encapsulamento mais eficiente ambientalmente, a partir da definição dos indicadores ambientais.*

**Palavras-Chaves:** *Resíduos oleosos; Destinação; Tratamento; Petróleo;*

**Abstract:** *Oil has been used since ancient times in various industry segments. Its production and extraction leads to the generation of a significant amount of residues, especially the oily residue; classified under Brazilian law as dangerous. In Brazil the debate about the most appropriate methods for treatment and final destination of these wastes with the pre-salt regulation intensified. The objective of this work was to conduct a qualitative analysis, through bibliographical research, of the environmental efficiency of the most commonly used methods in the treatment of these residues. The most environmentally efficient micro-encapsulation method was suggested, based on the definition of environmental indicators.*

**Keywords:** *Oily waste; Destination; Treatment; Petroleum*

---

## 1. INTRODUÇÃO

Existem registros da utilização do petróleo desde da antiguidade por diversas civilizações, sendo este, aplicado na sua forma bruta, em processos de impermeabilização de potes cerâmicos, calefação, pavimentação de estradas, embalsamento de mortos, construção arquitetônicas e até para fins bélicos (THOMAS, 2004).

O petróleo continua sendo usado em larga escala na sociedade contemporânea, porém, devido aos avanços tecnológicos, foi possível aplicar seus derivados em diversos segmentos industriais e energéticos. Esta alta aplicabilidade em diversas esferas o coloca como principal componente da matriz energética mundial (IEA, 2018).

Embora exista uma grande produção de petróleo e gás no Brasil, o panorama energético se difere dos demais países, já que utiliza mais fontes renováveis. Contudo, o petróleo e seus derivados continuam se destacando em comparação com as demais fontes, representando 36,4% da matriz energética brasileira (BEN, 2018).

No Brasil, o primeiro poço perfurado com objetivo de encontrar petróleo foi em 1897, no município de Bofete, em São Paulo, tendo a produção de 0,5m<sup>3</sup> por dia. Após esse período, existiram diversos avanços políticos e científicos para a prospecção do hidrocarboneto em todo país (THOMAS, 2004).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo - ANP (ANP 2018, p.78), estava em produção no ano de 2017, 7.989 poços, com uma produção total de 2,734 milhões de barris/dia. As áreas de produção terrestres (*onshore*) correspondem a 4,8% do volume nacional, enquanto a produção marítima (*offshore*) corresponde a 95,2%, sendo que dentro da produção marítima, o pré-sal corresponde a 49,1% do volume de petróleo extraído. Ainda segundo a ANP, dentre os estados brasileiros que produzem o hidrocarboneto, destaca-se o estado do Rio de Janeiro, representando 68% da produção, seguido do Espírito Santo com 14% e São Paulo com a produção de 13%. A Bahia ocupa a 5<sup>o</sup> posição, com a produção de 11.837 barris, correspondendo a 1,22% da produção total.

A indústria petrolífera pode ser dividida em duas etapas: a primeira é *upstream*, que corresponde a fase de exploração e produção do hidrocarboneto; e a fase *downstream*, que corresponde ao refino, transporte e comercialização. Ambas as fases da indústria petrolífera são responsáveis por uma geração considerável de resíduo.

Na fase *upstream* (exploração e produção), segundo IPEA (2012), os resíduos classe I correspondem a 54,27% dos rejeitos gerados totais, dentro desse grupo destaca-se, com 66% os resíduos oleosos. Já na fase *downstream*,

existe uma complexidade de reações químicas para o refinamento, a qual apresenta um alto grau de toxicidade, além da necessidade de estocagem dos derivados e o transporte até os locais de distribuições. O processo acaba gerando uma elevada produção de poluentes, sendo que, na etapa de comercialização dos derivados não se tem a análise e controle total. Por isso, os resíduos mais significativos que são controlados dentro dessa cadeia, é borra oleosa, que corresponde a 90% da resíduos gerados. Os outros 10% são representados por lodo de estações de tratamento, os recipientes de armazenagem e os materiais resultantes de alguma atividade de limpeza (ARAUJO, 2003).

Existe a expectativa de aumento significativo dessa geração com a regulamentação do polígono do pré-sal, pela Lei nº 12.351, de 22 de Dezembro de 2010. Essa regulamentação implica diretamente no aumento da indústria petrolífera no Brasil. A exploração e produção dessas reservas é uma das responsáveis pelo crescimento da indústria, como também é considerada uma das maiores fontes poluidoras e geradora de resíduos. Apesar disso, não é simples nem rápido realizar uma mudança da matriz energética nacional, o que torna inevitável a não exploração das reservas existentes no território brasileiro.

Por consequência, o elevado consumo dessa fonte de energia não renovável, acarreta na preocupação quanto aos impactos ambientais decorrentes dessa atividade, visto que todas as etapas (*upstream* e *downstream*) geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos que podem ser nocivos ao meio ambiente e a saúde pública.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo o levantamento e análise de algumas técnicas existentes para o tratamento e a destinação final dos resíduos oleosos provenientes da extração de poços *offshore*, realizando comparações qualitativas, do ponto de vista de ganho ambiental.

Os métodos abordados para o tratamento e/ou disposição do resíduo oleoso foram escolhidos a partir de informações técnicas e operacionais disponíveis em bibliografias acadêmicas. Considerou-se dois métodos atuais que já são utilizados em larga escala (coprocessamento e aterro industrial) e dois métodos ainda não utilizados, porém com expectativas promissoras de acordo com os estudos realizados (leito de secagem com filtro geotêxtil e micro encapsulamento). Comparando esses métodos, tornou-se possível a análise da eficiência ambiental de cada um e sugestão do mais adequado.

## **2. A INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS**

Os atuais avanços no setor de exploração e produção de petróleo, juntamente com a regulamentação do polígono do pré-sal, chama em debate os impactos ambientais gerados com o aumento expressivo nas atividades petrolíferas. Os resíduos continuam sendo um desafio na atualidade em todos os setores, inclusive nas indústrias, como a do petróleo.

A cadeia petrolífera inicia-se na prospecção de jazidas de petróleo, onde são realizados estudos geológicos, geofísicos e de engenharia do local com maior probabilidade de se encontrar o hidrocarboneto. Após a análise, se o local indicar volume significativo de óleo e a possibilidade de recuperação, é iniciado o processo de perfuração. Nessa etapa do processo a jazida é nomeada de reserva provada. Com esse estudo é possível estimar a quantidade de petróleo existente e qual o volume que poderá ser extraído.

Atualmente, no mundo, estima-se a existência de 1,7 trilhão de barris, mantendo-se no patamar de 2016, com um pequeno decréscimo de 0,03%. O Brasil estima a existência de 12,8 bilhões de barris, apresentando um crescimento de 1,27% entre os anos de 2016 e 2017 (ANP, 2018).

Segundo o relatório da ANP (2018), o volume de petróleo produzido no mundo em 2017 foi de 92,6 milhões de barris/dia, um aumento de 0,7% em relação a 2016. No Brasil a produção de 2017 foi de 2,734 milhões de barris/dia, o que representa um crescimento de 4,84% em relação a produção de 2016, sendo o décimo colocado no ranking mundial de produtores de petróleo.

O aumento mundial na produção de petróleo reflete a demanda energética e de componentes químicos produzidos a partir do óleo cru. Em 2017, o consumo mundial de petróleo totalizou 98,2 milhões de barris/dia, um aumento de 1,8% em comparação a 2016. Os países que mais consumiram petróleo em 2017, foram os Estados Unidos com 20,2% do total mundial, a China com 13% e na terceira colocação ficou a Índia, com 4,8%. O Brasil se encontra no sétimo lugar com o consumo de 3 milhões de barris por dia, representando 3,1% do consumo mundial (ANP, 2018).

Tais dados apresentados pela Agência Nacional de Petróleo, demonstram o grande volume de óleo produzido e quanto ainda temos disponíveis para extrair. Essa necessidade é fomentada pela crescente demanda de consumo. Contudo, está atrelado, inevitavelmente, o aumento da geração de resíduos provenientes dos processos de exploração, produção e refino do petróleo.

Conforme já citado, essa indústria gera quantidade expressiva de rejeitos, os quais apresentam características de periculosidade e toxicidade. Por isso que devem ser destinados e dispostos de maneira adequada, a fim de garantir a segurança ambiental e social, visando a minimização dos impactos ambientais.

Existem algumas definições para o conceito de impacto ambiental. Segundo a Norma Técnica Brasileira - NBR ISO 14.001, impacto ambiental consiste em qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização (ABNT, 2004). Já para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na resolução nº 001/86, define impacto ambiental como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que,

direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e; a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

O processo de identificação dos impactos ambientais é auxiliado com a avaliação ambiental. Ela é de maneira geral, aplicada em qualquer indústria, sendo feita a partir do diagnóstico ambiental da área de influência. Assim é possível conhecer detalhadamente as características físicas, biológicas e da comunidade local. Segundo a NBR ISO 14.001, os aspectos ambientais consistem em reconhecer e analisar os elementos das atividades, produtos e serviços de um empreendimento que podem interagir com o meio ambiente.

A vista disso, os principais impactos ambientais no meio físico, causados pela produção de petróleo, levando em consideração os aspectos ambientais são citados na tabela 01. Considerados potencialmente causadores de impactos negativos são: a variação da qualidade das águas, variação da qualidade do ar e variação da qualidade do solo.

**Tabela 1.** Principais aspectos ambientais potenciais causadores de impactos negativos.

Item	Aspecto
1	Geração de cascalho e deposição ao redor da cabeça dos poços;
2	Geração de efluente doméstico e despejo no mar;
3	Má disposição dos resíduos sólidos contaminados;
4	Emissão de gases;
5	Geração de ruído e vibração;
6	Vazamento de dutos e/ou tanques de armazenamento no solo e/ou no mar;
7	Colisões entre navios e despejo de óleo bruto no mar;
8	Despejo de resíduos oleosos no solo e/ou no mar;
9	Vazamento ou derramamento de resíduos de lavagem dos tanques de navios petrolíferos;
10	Despejo de rejeitos do processamento industrial.

Fonte: Adaptado de Martins, 2015.

Visto que exista, atualmente, uma dependência da sociedade contemporânea pelos derivados do petróleo, deve-se analisar e definir quais são as melhores técnicas para o tratamento e disposição dos resíduos provenientes

dessa indústria. Por isso, a escolha inadequada de tais métodos acarreta em impactos ambientais negativos e problemas com a segurança e saúde da comunidade local.

### **3. A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E OS MÉTODOS DE DESTINAÇÃO PARA RESÍDUOS OLEOSOS**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regida pela Lei nº 12.305/2010, teve seu primeiro projeto votado na Câmara dos Deputados em 1 de abril de 1991, ou seja, quase vinte anos antes da sua aprovação, o que já demonstra o atraso do Brasil nos quesitos que regem essa questão. Apesar disso foi considerada um avanço, pois a PNRS apresenta um conjunto de princípios, objetivos, definições, instrumentos, diretrizes, metas e ações relativas à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos.

A lei nº 12.305/2010 traz o estabelecimento de diretrizes nacionais centradas nos princípios da prevenção e precaução, ou seja, de padrões sustentáveis de produção e consumo segundo a lógica da não geração, redução, reutilização e reciclagem, além do tratamento dos resíduos sólidos e da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Sendo essa ordem de prioridade estabelecido no art.9º da PNRS e reafirmado no art. 35 do decreto.

Tais diretrizes são de extrema importância para a manutenção e preservação do meio ambiente e da segurança social do país. Logo, as indústrias devem seguir e realizar estudos nesse sentido para tornar seus processos de gestão ambiental mais eficientes. Dentre os requisitos para essa gestão, necessita-se conhecer o processo identificando os resíduos produzidos e sua classificação.

Os resíduos sólidos são classificados e definidos segundo a NBR 10.004 (2004), como sendo resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Esses resíduos são divididos em dois grupos, de acordo com sua periculosidade, podendo ser classificado com Classe I (Perigoso) e Classe II (Não Perigoso), existindo ainda um subgrupo dessa classe, IIA (Não Inertes) e IIB (Inertes).

Os resíduos oleosos, são classificados segundo a essa norma como Classe I (Perigosos), eles são compostos basicamente de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, água e sólidos, em proporções que variam conforme suas origens, possuindo pequenas quantidades de metais pesados (FRANCISCO, 2007).

Segundo a Norma Técnica do IBAMA, divulgada 2011, que aborda os resíduos sólidos das atividades de Exploração e Produção de petróleo e gás em bacias sedimentares marítimas do Brasil no ano de 2009, verificou-se a geração aproximada de 16 mil toneladas de resíduos oleosos. Do rejeito em discussão, ainda segundo o órgão ambiental, 46,58% são destinados a estações de

tratamento, 38,55% para re-refino, 10,57% são coprocessados e 2,12% são destinados a aterros sanitários.

O tipo de resíduo analisado neste trabalho apresenta risco tanto a saúde pública quanto ao meio ambiente. Portanto, se reforça a necessidade de um planejamento adequado para a destinação dos resíduos oleosos produzidos na indústria petrolífera, a fim de assegurar a manutenção e segurança tanto do meio ambiente quanto da comunidade local.

A seguir serão detalhados alguns métodos de tratamento dos resíduos oleosos provenientes das atividades petrolíferas.

### 3.1 Coprocessamento

O coprocessamento é a técnica que consiste na obtenção da energia térmica, proveniente da queima de resíduos, para sua utilização em alguma etapa do processo de fabricação e/ou de operação, que necessite de altas temperaturas. Em alguns casos, esse tratamento é nomeado coincineração, devido a aplicação da queima somente para a produção de energia, não acrescentando o resíduo no produto final.

Dessa forma, algumas indústrias começaram a utilizar a técnica visando a diminuição dos gastos com matéria prima e/ou energia, além de gerarem receita com a recepção dos materiais a serem tratados. O coprocessamento vem sendo difundido nas cimenteiras, visto que as fábricas necessitam de altas temperaturas para a obtenção do cimento.

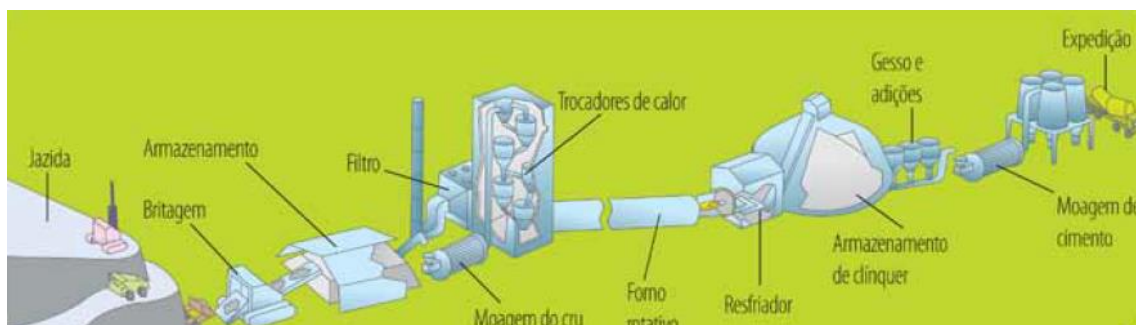
A fabricação desse produto, é basicamente, a calcinação e a fusão de um material constituído de aproximadamente 94% de calcário, 4% de argilas e 2% (p/p) de óxidos de ferro e alumínio, que são colocados em um forno rotativo com temperaturas de 1.450°C para sólidos, onde a temperatura da chama oscila em torno de 2.000°C (ROCHA, 2011). Portanto, a operação de fornos de clínquer demanda uma quantidade significativa de combustível. Logo, a necessidade de insumo energético para as cimenteiras gera uma problemática tanto ambiental quanto econômica, já que o principal combustível utilizado são hidrocarbonetos fósseis.

Segundo Rocha (2011), entre 1960 e 1970 a indústria utilizava apenas petróleo cru, depois parte carvão mineral e parte óleo vegetal, e somente em 1990 introduziu resíduos industriais e renováveis como combustível complementar aos convencionais. Essa substituição colocou as cimenteiras em uma posição inovadora, pois utilizou resíduos considerados perigosos pela legislação em seu processo, passando a cobrar pela recepção dos mesmos ao invés de pagar pela compra de combustíveis convencionais.

Os resíduos oleosos podem ser utilizados como combustível secundário em fornos de clínquer, onde eles são processados nos fornos rotativos, em altas temperaturas e um ambiente químico específico, atendendo ao um tempo de residência determinado. Esse processo é geralmente suficiente para a

destruição dos resíduos adicionados ao processo. Contudo, existem limitações operacionais, do ponto de vista ambiental, a utilização de resíduos perigosos como combustível em uma estrutura não controlada ou mal projetada acaba gerando um passivo maior. Segue o esquema operacional da técnica de coprocessamento em fornos de clínquer, que podem utilizar o resíduo como matéria prima, como também pode ser utilizado como combustível secundário.

**Imagem 1.** Esquema de processo de fabricação do cimento.



**Fonte: Panorama do coprocessamento no Brasil, ABCP (2017).**

Devido ao risco que o método de tratamento de resíduos oleosos por coprocessamento pode apresentar, existe algumas resoluções que regulamentam o uso desse método. Destaca-se a resolução CONAMA n° 264/1999 que estabelece os aspectos relevantes para o licenciamento ambiental e técnico. Os parâmetros mínimos de emissão de gases, temperatura de operação, pressão e metais, que devem ser seguidos, correspondem a resolução do CONAMA n° 316/2002. Abaixo serão apresentadas as principais legislações brasileiras que abordam o método de coprocessamento.

**Tabela 2.** Legislação brasileira que são relacionadas com a operação de coprocessamento no Brasil

Legislação Federais	Aplicabilidade
<b>CONAMA 269/1999</b>	Diretrizes gerais sobre coprocessamento
<b>CONAMA 316/2002</b>	Procedimentos e critérios para tratamento térmico de resíduos
<b>Lei 12.305/2010</b>	Política Nacional de resíduos sólidos
<b>IN 01 IBAMA/2013</b>	Instrução Normativa IBAMA caracterizando coprocessamento como forma de reciclagem

**Fonte: CONAMA, 1999; CONAMA 316, 2002; BRASIL, 2013; INEMA,2010.**

Vale salientar que não são todos os tipos de resíduos perigosos que podem ser destinados como matéria prima ou combustível secundário em cimenteiras. A Associação Brasileira de Cimento Portland, disponibilizou o panorama do coprocessamento no Brasil referente ao ano 2017, o qual informa,



segundo a legislação, os dados discriminados na tabela 03 dos resíduos que podem ser aproveitados, seja como combustível ou como matéria prima, além de informar quais são os resíduos que não podem ser coprocessados.

**Tabela 3.** Resíduos que podem ser coprocessados no Brasil.

Combustíveis	Matérias Primas	Resíduos Não Permitidos
Solventes, resíduos oleosos e resíduos têxteis	Lama com alumina (alumínio)	Radioativos
Óleos usados (de carro e fábricas)	Lamas siderúrgicas (ferro)	Explosivos
Pneus usados e resíduos de picagem de veículos	Areia de fundição (sílica)	Hospitalares
Graxas, lamas de processos químicos e de destilação	Terras de filtragem (sílica)	Resíduos Domésticos Bruto - Lixo Comum
Resíduos de empacotamento e de borracha	Refratários usados (alumínio)	Pesticidas
Resíduos plásticos, de serragem e de papel	Resíduos da fabricação de vidros (flúor)	Resíduos com alto teor de cloro
Lama de esgoto, ossos de animais e grãos vencidos	Gesso, Cinzas e Escórias	Ascarel
Resíduos do agronegócio	Resíduos da perfuração de poços de petróleo	
Combustíveis derivados de resíduos urbanos	Solos contaminados dos postos de combustíveis	

Fonte: Adaptado de ABCP, 2017 e CONAMA, 1999.

Embora bastante difundido, existem estudos que argumentam sobre os riscos da utilização do coprocessamento, e desconsideram o método como uma alternativa capaz de solucionar o problema de destinação final dos resíduos oleosos.

Segundo Milanez (2007), a queima de resíduos perigosos gera um passivo de emissões não desprezíveis, com custos ambientais e sociais. Ele ainda complementa afirmando que o coprocessamento não destrói todos os poluentes presentes nos resíduos, portanto ele aumenta significativamente a concentração desses materiais nos cimentos ou no pó do eletrofiltro, sendo que as emissões atmosféricas desse processo incluem  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , compostos voláteis, metais pesados, amônia e cloro.

De acordo com o estudo realizado, existem muitas incertezas quanto ao controle ambiental em relação às emissões atmosféricas do processo, o qual

não garante a eficácia da retenção de materiais mais tóxicos, como dioxinas, furanos e sais de metais pesados, bem como material particulado.

Conforme já mencionado, o CONAMA 264 (1999), determina os limites máximos de emissões de poluentes provenientes da queima de resíduos em fornos de clínquer. Porém, segundo o estudo realizado por Milanez (2007), existe diferenças significativas dos parâmetros permitidos pela legislação no Brasil e os na Europa, conforme tabela 04.

**Tabela 4.** Limites de emissão atmosférica para coprocessamento na Europa e no Brasil

Parâmetros	Europa	Brasil
<b>Material Particulado</b>	30 mg/Nm <sup>3</sup>	70 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Carbono orgânico total</b>	10 mg/Nm <sup>3</sup>	-
<b>CO</b>	Definido pelas autoridades competentes	100 ppmv corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
<b>Carbono Orgânico Total</b>	10 mg/Nm <sup>3</sup>	-
<b>SO<sub>x</sub></b>	50 mg/Nm <sup>3</sup> (medido com SO <sub>2</sub> )	Definido por órgãos estaduais
<b>NO<sub>x</sub></b>	800 mg/Nm <sup>3</sup> (plantas existentes) 500 mg/Nm <sup>3</sup> (plantas novas)	Definido por órgãos estaduais
<b>HCL</b>	10 mg/Nm <sup>3</sup>	1,8 kg/h ou 99% de redução
<b>HF</b>	1 mg/Nm <sup>3</sup>	5 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
<b>As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn</b>	-	7,0 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
<b>As+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+V</b>	0,5 mg/Nm <sup>3</sup>	-
<b>(As+Be+Co+Ni+Se+Te)</b>	-	1,4 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
<b>Cd</b>	-	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
<b>Cd + TI</b>	0,05 mg/Nm <sup>3</sup>	-
<b>Pb</b>	-	0,35 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)

Hg	0,05 mg/Nm <sup>3</sup>	0,05 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
TI	-	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)

Fonte: Adaptado de Milanez (2007).

Os dados apresentados demonstram que a legislação brasileira apresenta uma flexibilidade maior em relação a legislação europeia. Pois os limites máximos de emissões de alguns poluentes são superiores aos da legislação da Europa. Esse fluxo permitido de emissões pode, a longo prazo, trazer altos riscos ambientais e sociais.

O autor Milanez (2007), apresenta um estudo da aplicabilidade do coprocessamento em países periféricos e industrializados que demonstram que o processo é ineficaz na destruição do material, visto que a primeira parte dos poluentes é destruída pelas altas temperaturas, mas a segunda parte é incorporada ao clínquer, ocasionando um aumento significativo das concentrações desses materiais no cimento ou no pó de eletrofiltro. E uma terceira parte é dispersa com as emissões atmosféricas, que devido a inexistência de equipamentos de controle de vapores e sais metálicos, acabam sendo direcionados sem tratamento para a atmosfera.

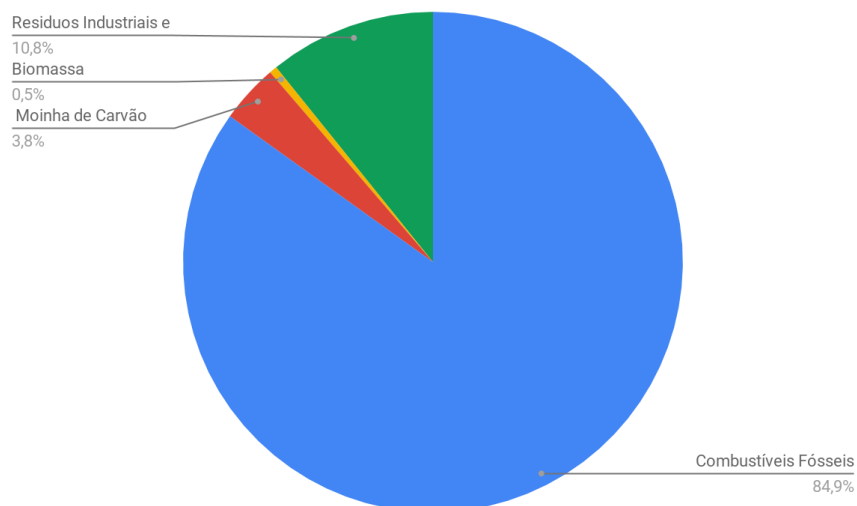
Para autorização de emissões atmosféricas, é necessário fazer licenciamento de funcionamento das cimenteiras. Os resíduos autorizados a esse processo são misturados, formando um *blend* de materiais perigosos, que quimicamente, durante o processo de queima podem ter suas moléculas agrupadas, formando um novo composto. Contudo, a análise dos parâmetros de emissões é estipulada e fiscalizada de maneira individual, de acordo com a legislação brasileira (CONAMA 264, 1999).

Considerando o estudo em questão, verifica-se que a legislação ambiental brasileira para a queima de resíduos perigosos, apresenta brechas para critérios de emissões atmosféricas, bem como não existe capacidade técnica para o controle e fiscalização das empresas que praticam o coprocessamento. Em contrapartida a Associação Brasileira de Cimento Portland, em sua publicação do panorama 2017, disponibiliza dados importantes sobre a utilização dessa técnica.

No Brasil houve um aumento de 500% da destruição de resíduos em fornos de clínquer, entre os anos de 2000 e 2016, sendo que neste ano foram tratadas 940 mil toneladas de resíduos. No gráfico 01 identifica-se os tipos de combustíveis que são utilizados nas cimenteiras brasileiras, tendo como ano de referência 2016, onde 10,8% são resíduos industriais e outros, que se enquadram com o rejeito estudado. Dentre os resíduos industriais e outros, 40% são pneus, 39% *blend*, 16% serragem, contaminados com óleo, solo contaminados e solventes, 5% óleo usados (ABCP, 2017), conforme gráfico 2.

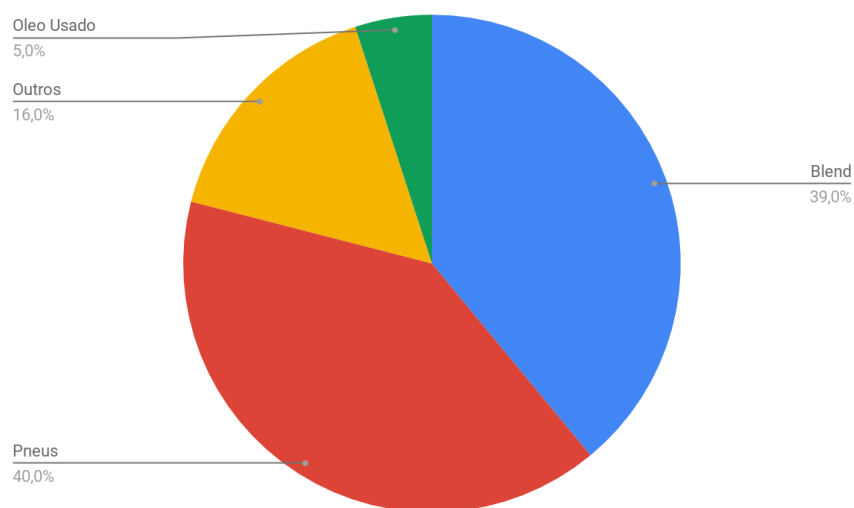
Logo, observa-se que os resíduos oleosos são utilizados como combustível secundário.

**Gráfico 1.** Combustíveis utilizados em cimenteiras.



Fonte: Adaptado de ABCP, 2017.

**Gráfico 2.** Combustíveis utilizados em cimenteiras resíduos industriais e outros.



Fonte: Adaptado de ABCP, 2017.

Enquanto no Brasil existe um aumento significativo da utilização do método, os países industrializados, onde subentende-se que exista tecnologia mais avançada, sistemas de controles ambientais mais eficazes, legislação mais rígida, escolaridade e técnicos capacitados, o coprocessamento não é considerado uma solução eficiente. Essa constatação deve-se ao fato de que o

método de coprocessamento apresentou redução de controle e problema operacional, embora o sistema tenha atendido a todos os requisitos de operação e segurança exigidos (MILANEZ, 2007).

Diferente do processo adotado nos países industrializados, o Brasil aumenta a aplicação da utilização deste método, tendo em 2016 a existência de trinta e seis cimenteiras, com um ou mais fornos, em funcionamento no país, sendo que conforme a imagem 02, no período em questão, existia apenas uma cimenteira licenciada para realizar o coprocessamento na Bahia.

**Imagem 2.** Cimenteiras licenciadas para realizar o coprocessamento no Brasil.



**Fonte:** Panorama do coprocessamento no Brasil, ABCP (2017).

O aumento do método para tratamento dos resíduos oleosos no Brasil, poderá gerar consequências ambientais e sociais críticas, visto que provavelmente ocorrerá um aumento das emissões atmosféricas nas cimenteiras, emitindo mais compostos poluentes e material particulado, sem controle devido ou fiscalização atuante das operações desses centros, pelos órgãos estaduais e federais, ocasionando problemas de saúde da população e poluição ambiental.

---

### 3.2 Aterro Industrial

Aterro industrial consiste em dispor resíduos sólidos perigosos e não perigosos, utilizando o princípio específico para o confinamento seguro, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a segurança, e que evita a contaminação de águas superficiais, pluviais e subterrâneas, minimizando os impactos ambientais (ABRELPE, 2007). Vale salientar que essa técnica não elimina ou reduz o resíduo, apenas o restringe a uma área e o controla. Portanto para aumento da vida útil de um aterro industrial, deve-se criar soluções para minimizar a produção de rejeitos (SINIR, 2012).

As normas que são utilizadas para regulamentar esse método são a NBR 8418 de 1983, que define esse tipo de aterro como uma forma de disposição de resíduos industriais perigosos, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, visando minimizar os impactos ambientais. E a NBR 10157 de 1987 define critérios para o projeto, construção e operação do mesmo.

No relatório sobre o perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais, publicado pela associação brasileira de empresa de tratamento de resíduos e efluentes (ABETRE), publicado no ano de 2006, contabilizou a existência de dezesseis unidades de aterros industriais, com capacidade de disposição de 4 milhões de toneladas.

O aterro com diluição, é uma vertente do aterro industrial, que consiste em disposição de rejeitos sólidos contaminados em solo sem contaminação, reduzindo dessa forma a concentração desses contaminantes a níveis aceitáveis. A mistura então é enterrada em trincheiras e sendo coberta por solo não contaminado (SOUZA, 2002). Vale ressaltar que não prevalece a biodegradação, pois o ambiente criado apresenta níveis de oxigênio insuficiente para esse processo.

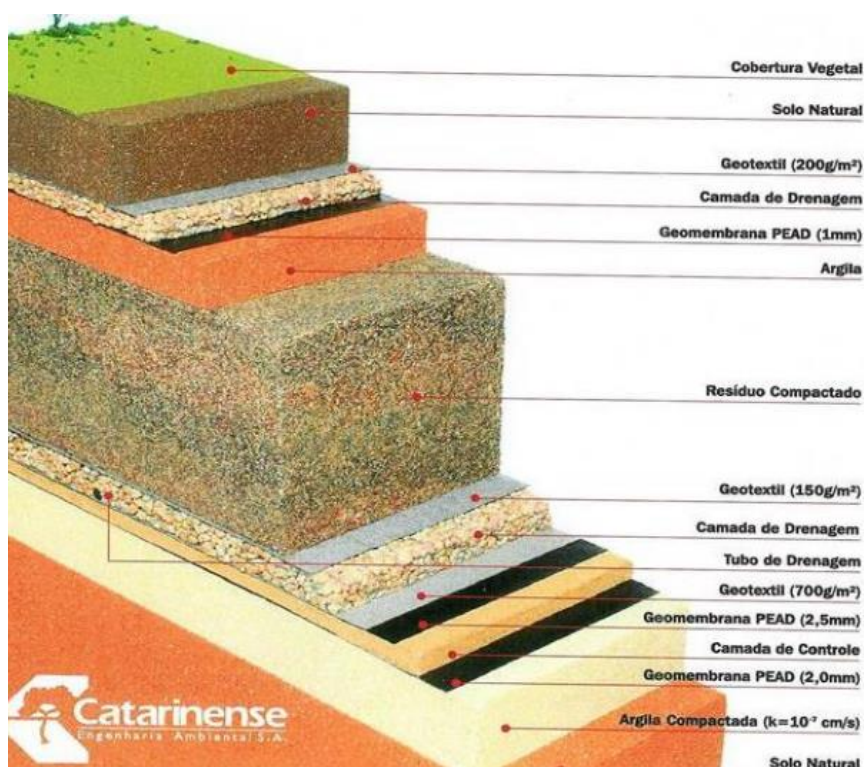
Apesar da simplicidade, esse método deve seguir normas e exigências ambientais a fim de evitar o aumento do passivo ambiental. É fundamental a manutenção e monitoramento da cobertura da célula do aterro com uma camada de material impermeável (redução de infiltração da água da chuva); drenagem de águas superficiais; impermeabilização do fundo do aterro (isolamento do contato dos resíduos com as águas subterrâneas); coleta e tratamento do percolado (FRANCISCO E FRANÇA, 2007).

Garcias e Vaqueiro (2001) realizaram um estudo dessa técnica nos cascalhos gerados na perfuração de poços na Bahia, onde comprovou que o aterro com diluição é aplicado de forma eficaz, seguindo dados de resíduos tratados e solo disposto específico. Para essa técnica, os limites para carga de sal são mais flexíveis e a área necessária para tratamento menor. Ele pode ser utilizado em terras agricultáveis, visto que as raízes não penetram nas áreas remediadas. A profundidade do lençol freático deve ser pelo menos 6 metros abaixo da superfície do solo. O fundo da trincheira deve estar 1,5 metros acima da água subterrânea e o topo da mistura do resíduo pelo menos 1,5 metros

abaixo da superfície do solo. Nestes termos a trincheira deve ter uma espessura mínima de cerca de 3 metros (SOUZA, 2002).

Conforme a imagem 3 abaixo, é possível visualizar a composição geral do aterro industrial, onde verifica-se a existência de camadas de controle, geomembrana, geotêxtil e filtros de drenagens. Esses sistemas de contenção, que segue as normas brasileiras, são necessários para a contenção do material perigoso em um sistema isolado, garantindo que o mesmo fique confinado, evitando a contaminação de corpos hídricos, lençõs freáticos e o solo.

**Imagem 3.** Composição geral do aterro industrial.



Fonte: Visão geral sobre a tecnologia aterro industrial, Essencis (2017),

Segundo Garcia e Vaqueiro (2001), após um estudo efetuado do uso desta técnica nos cascalhos gerados na perfuração de um poço de petróleo na Bahia, ficou constatado que o aterro com diluição se aplica de forma eficaz, desde que o solo receptor não tenha umidade superior a 50%. Neste estudo, o volume de cascalho contaminado gerado foi de 63 m<sup>3</sup>.

Analisando a Lei nº 12.305 de 02/08/2010, artigo 9º, estabelece que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve-se seguir a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2016). Portanto, torna-se ineficiente a simples disposição de um resíduo em solo, sem aplicar nenhum tratamento ou reaproveitamento do rejeito.

Conjuntamente, a Petrobras, empresa reconhecida no Brasil e no mundo no ramo de exploração e produção de petróleo, colocou em operação o Programa de excelência em Gestão Ambiental e Segurança Operacional (PEGASO), onde recomendou que os resíduos oleosos gerados não fossem mais destinados para aterros industriais.

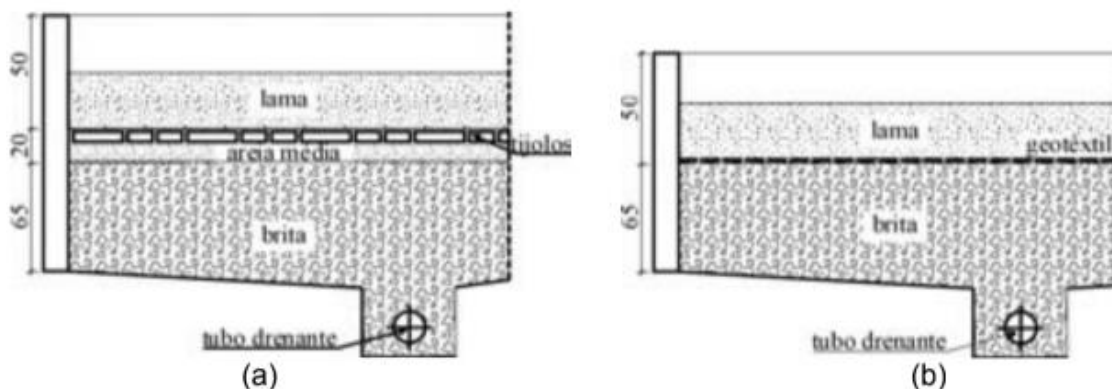
### 3.3 Leito de Secagem com Filtro Geotêxtil

A técnica de leito de secagem com filtro geotêxtil foi proposta, através de um estudo realizado por Mendonça et al, em 2004. Ela consiste no tratamento da lama oleosa com a remoção da água existente na lama utilizando um sistema similar ao de um leito de secagem para desidratação de lodo sanitário.

O objetivo com a aplicação do leito de secagem seguido do filtro geotêxtil é obter uma água com nível de contaminação aceitável pela legislação ambiental, e com possibilidade de tratamento; além de uma lama desidratada que possa ser reaproveitada no coprocessamento. O estudo considera que mesmo que a lama não consiga ser aproveitada em fornos de clínquer, a aplicação do método causa uma redução no volume de resíduo a ser descartado, reduzindo, dessa forma, os custos para descarte e os danos ambientais.

A estrutura utilizada é basicamente uma unidade retangular na qual ocorre a redução da umidade do lodo oleoso, pela evaporação e percolação. Essa parte do processo ocorre de forma igual ao leito de secagem convencional. A parte inovadora do método proposto é a substituição da camada de filtro de areia, camada de proteção de tijolos, pelo filtro geotêxtil. O geotêxtil é um produto bidimensional, permeável, que funciona como um elemento de filtração (Mendonça et al, 2004). Segue imagem 4, comparando o leito convencional e o leito com filtro geotêxtil.

**Imagem 4.** Comparação de leito de secagem tradicional (a) e leito de secagem com filtro geotêxtil (b).



Fonte: Mendonças et al (2004).



Mendonça et al (2004) realizou um experimento utilizando a variação de três tipos de filtros geotêxteis detalhados na tabela 5 (A, B e C). Esses filtros possuem combinações de características específicas, variando os polímeros, tecedura, espessura e abertura aparente de filtração diferentes (AOS). Ainda que os filtros estudados apresentem diferentes características não foram identificadas diferenças significativas na redução de umidade e volume da lama filtrada.

**Tabela 5.** Características dos filtros geotêxteis utilizados no experimento.

Geotêxtil	Polímero	Tecedura	Espessura mm	AOS mm
A	Poliéster	Nao-tecido agulhado	2,6	0,12 - 0,17
B	Polipropileno	Nao-tecido agulhado	2,8	0,11
C	Polipropileno	Tecido Laminentes	0,4	0,80

Fonte: Adaptado de Mendonça, 2004.

A tabela 6 demonstra a característica da lama oleosa utilizada no experimento. Vale salientar que, caso fosse aplicado um rejeito com diferentes especificações, o experimento poderia ter resultados diferentes. A lama escolhida foi baseada de acordo com as características encontradas com mais frequência em estações de tratamento de resíduos oleosos.

**Tabela 6.** Características da lama oleosa.

Análise	Valor
Densidade (g/ml a 20 C)	1,036
pH	6,9
Óleos e Graxas (% - massa)	8
Água (% - massa)	82
Sólidos (% - massa)	10

Fonte: Adaptado de Mendonça, 2004.

O experimento realizado pelo autor em questão obteve um resultado de redução da umidade em 49% da lama oleosa e redução de 46% do seu volume. Ou seja, o método apresenta valores satisfatórios para a redução do volume do passivo, retendo de forma satisfatória os óleos e as graxas. Apesar de gerar um efluente, ele apresenta características possíveis de tratamento e reutilização.

Contudo esse método necessita de uma outra etapa, visto que a torta oleosa retida nos filtros geotêxteis necessita de tratamento. No estudo em questão, o autor indica que devido ao alto poder calorífico, seria ideal a utilização

como combustível secundário em fornos de clínquer. Outro ponto importante é a vida útil dos filtros, sendo que, depois de um determinado tempo de uso necessitam ser trocados e devem ser tratados e destinados adequadamente.

### 3.4 Micro Encapsulamento, Encapsulamento ou solidificação.

De acordo com Souza (2002), a técnica de micro encapsulamento de sílica é aplicada em cascalhos impregnados com fluidos de base óleo ou sintéticos. O processo acontece em dois estágios, onde o primeiro corresponde a aplicação de um emulsificante, que separa o hidrocarboneto em gotículas menores que 10 microns. Já no segundo estágio, é feita a aplicação de um silicato alcalino ao óleo emulsificante, que resultará em uma reação ácido-base, criando uma cápsula de sílica inerte ao redor das micro gotas de óleo. Conforme imagem 5 abaixo, segue o detalhamento da técnica.

**Imagem 5.** Processo de micro encapsulamento de sílica.



Fonte: Quintero et al, 2000.

Os testes laboratoriais, da tecnologia micro encapsulamento de sílica (SME), segundo o estudo realizado por Quintero et al, mostrou que, usando emulsificantes ambientalmente aceitáveis, a lama à base de óleo presente nas aparas de perfuração, são removidas e formam uma emulsão estável. Esses resultados que foram obtidos levaram o desenvolvimento de um processo para tratamento de pequenas estacas de perfuração. Essa técnica demonstra aplicabilidade em plataformas marítimas.

O teste piloto do método analisado, foi realizado pelo estudo em questão, no ano de 2000, onde os resultados foram satisfatórios após a realização dos dois estágios, sendo que a porcentagem de óleo livre após o tratamento se encontrava menores de 0,01% e o teste de lixiviação passo de 7% para 0,01%.

Segundo Rojas (2007), a técnica de encapsulamento pode ser aplicada de outras formas, modificando o composto químico que age como agente de isolamento. Um exemplo é a utilização de cimento Portland, como agente isolador, para tratamento dos resíduos oleoso.

Esse processo pode ser realizado com cimento Portland ou qualquer outro agente cimentante hidráulico (ROJAS et al, 2007). Segundo o estudo realizado por Rojas em 2007, ele chegou à conclusão que para manter os limites exigidos pela legislação é necessário manter 10% a 20% de agente encapsulante para 6% de borra oleosa.

Devido aos bons resultados obtidos, o autor Rojas (2007), ressalta que essa tecnologia é considerada uma forma segura de tratamento para uma variedade de contaminantes, neles incluídos os resíduos oriundos da indústria petrolífera.

#### 4. METODOLOGIA

Para realização deste estudo optou-se pela metodologia qualitativa de investigação, com a análise bibliográfica e documental, buscando estudos de caso publicados, livros teóricos sobre a história do petróleo no Brasil, publicações de universidades e dados estatísticos governamentais, realizados pela Agência Nacional de Petróleo, Instinto Brasileiro de Geografia e Estatística, Associação Brasileira de Cimentos Portland e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

A seleção do material para análise foi baseada em publicações feitas por congressos brasileiro de ciências e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, Scielo, *Society of Petroleum Engineers* (SPE), congresso *Rio Oil e Gás*, com enfoque nas palavras chaves: métodos de destinação final de resíduos perigosos provenientes da indústria petrolífera, suas problemáticas e estudos de casos realizados no Brasil e em países industrializados, também foi realizado a combinação de booleanos da seguinte forma: “resíduos perigosos”; “destinações de resíduos perigosos”; “métodos de destinação”; “tratamento de resíduos”; “resíduos da indústria petrolífera”; “panorama dos resíduos indústrias”; “tratamento de resíduos perigosos”; “tratamento”; “resíduos oleosos”, “indústria do petróleo”, “petróleo”.

Devido à baixa disponibilidade de artigos que tratam dos métodos de destinação de resíduos perigosos, se adotou o período temporal de Janeiro de 2003 até o Março de 2019. Já para a análise dados estatísticos sobre a produção de resíduos brasileira, produção de petróleo, locais de descarte, optou-se pela utilização das últimas publicações realizadas pelos órgãos governamentais, do ano de 2014 até o ano de 2019.

#### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao estudar os métodos escolhidos foi possível observar pontos positivos e pontos negativos no âmbito ambiental. Para analisar a eficiência ambiental de cada método, optou-se por estabelecer indicadores ambientais qualitativos, e assim verificar qual seria o método que gera menos impactos ambientais negativos.

Os indicadores ambientais são instrumentos para avaliar o desempenho das atividades industriais, auxiliando no processo de tomada de decisões, ambientais, políticas e administrativas de qualquer empreendimento, tornando-se um diferencial, visto que aumenta a competitividade entre as indústrias, e agrega valor ao produto final (JERONIMO, 2014).

Além disso, o estabelecimento e monitoramento dos indicadores é de extrema importância para o conhecimento e controle dos processos produtivos. A gestão adequada permite o aumento da eficiência energética, otimização do uso dos insumos, matérias primas e recursos hídricos e redução da geração de resíduos (ABTG, 2008).

Segundo a NBR ISO 14.031 de 2004, existem duas categorias de indicadores ambientais que devem ser considerados, sendo elas: Indicadores de Condições Ambientais (ICA) e os Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA). O IDA ainda é dividido em dois grupos: Indicadores de Desempenho de Gestão (IDG) e Indicadores de Desempenho Operacional (IDO). Segue abaixo a tabela 07 com a classificação e exemplificação dos indicadores de desempenho ambiental segundo essa norma.

**Tabela 7.** Classificação dos indicadores ambientais

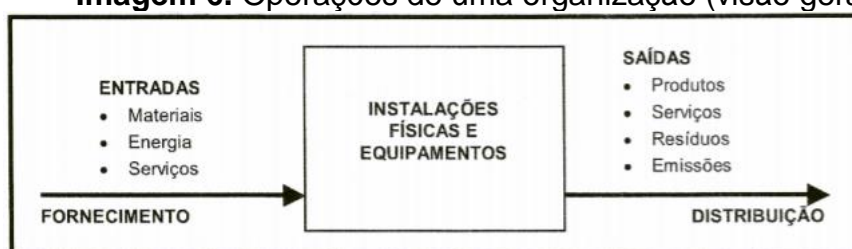
Categoria	Tipo	Exemplos de Indicadores
<b>Indicador de Desenvolvimento Ambiental (IDA)</b>	Indicador de Desempenho Operacional (IDO)	Consumo relativo à energia;
		Consumo relativo à água;
		Geração relativa de resíduos sólidos;
	Consumo relativo de matéria-prima.	
Indicador de Desempenho de Gestão (IDG)	Qualidade de ocorrências ambientais;	
	Percentual de metas atingidas.	
<b>Indicador de Condição Ambiental (ICA)</b>	Concentração de um contaminante específico na água, ar ou solo;	
	Número total de espécies de fauna em uma área local definida	

Fonte: ABNT NBR ISO 14.031, 2004.

Segundo a ISO 14.031 (2004), o indicador de desempenho operacional (IDO), fornece informações sobre a atuação ambiental das operações da organização e está relacionado com as entradas (fornecimentos de insumos, instalações físicas e equipamentos) e as saídas (produto final, serviços, geração e emissão de resíduos) do processo de um empreendimento. Portanto, será

possível avaliar quais dos métodos são mais eficientes ambientalmente, analisando o seu processo operacional, com base na imagem 6 do modelo de operação de uma organização.

**Imagem 6.** Operações de uma organização (visão geral).



Fonte: ABNT NBR 14.031, 2004.

O presente trabalho estabelece os indicadores qualitativos dos métodos de coprocessamento, aterro sanitário, leito de secagem com filtro geotêxtil e micro encapsulamento. Para isso foram escolhidos os indicadores ambientais de desempenho operacional perceptíveis durante a análise de cada processo e que estavam disponíveis nas bibliografias estudadas. Tais estudos discorrem sobre as operações das formas de tratamento citadas. Eles foram representados na tabela 8. Vale ressaltar que existem mais indicadores que podem ser relacionados para essa análise, todavia buscou-se aqueles que melhor refletiam os impactos ambientais presentes nos processos trabalhados.

**Tabela 7.** IDO relacionados para a análise da eficiência ambiental.

Indicadores de Desempenho Operacional	Nomenclatura Adotada
Contaminação de corpos hídricos por falha no sistema de contenção	CCH
Contaminação de solo por falha no sistema de contenção	CS
Eficiência do sistema de filtros de chaminé	EFC
Emissões atmosféricas geradas pela queima	EAQ
Emissões atmosféricas por decomposição	EAD
Emissões atribuídas a combustíveis fosseis	ECF
Saída de resíduos não perigosos	SRNP
Saída de resíduos perigosos	SRP

Fonte: Elaboração própria.

Os impactos mais perceptíveis no estudo são os causados no meio físico, com a contaminação do solo, da água e do ar. Não foram inclusos no estudo consumo de matéria prima, energia, água e geração de resíduo de modo quantitativo, pois o acervo bibliográfico desses dados é restrito.

Logo, os indicadores de desempenho operacional relacionados, foram determinados realizando a análise das entradas, operação e saídas parciais de

cada métodos. Foram levados em consideração os impactos ambientais negativos e positivos que cada tratamento poderá causar em funcionamento normal e em situações adversas que podem vim a acontecer durante a operação.

No método de coprocessamento, destacou-se no estudo as emissões atmosféricas a partir da queima do resíduo oleosos, visto que durante o processo em fornos de clínquer esses resíduos são misturados com outros antes de serem postos em combustão. Essa operação pode gerar novos compostos nocivos. Esses compostos são emitidos pela chaminé, que pela legislação deve possuir filtros, mas que em uma situação adversa pode não funcionar de maneira adequada.

O aterro industrial, apresenta uma dinâmica de restringir o resíduo a uma área, evitando a contaminação do meio. Contudo essa restrição deve ser feita de forma correta e deve ser monitorada periodicamente, pois, caso ocorra uma fissura nas mantas de isolamento, existe o risco eminente de contaminação do solo, de mananciais próximos e de lenções freáticos.

O método de leito de secagem com filtro geotêxtil, é um forma inovadora de tratamento para o resíduo oleoso, contudo ela não realiza o tratamento completo, já que conforme mencionado no trabalho, a sua aplicação reduz o volume do resíduo de forma significativa, mas gera, no final do processo, a torta oleosa que possui alto poder calorífico. Essa torta pode ser destinada a fornos de clínquer e o efluente líquido é possível de tratamento. Esse método pode ocasionar contaminação do solo, se o leito de secagem não apresentar mantas impermeáveis, também pode gerar emissões causadas pela decomposição do material antes de entrar nos filtros. Outro ponto importante, que causa um impacto ambiental negativo é a vida útil dos filtros, que após sua utilização deve ser destinado de forma adequada.

O micro encapsulamento é uma nova técnica para tratar o resíduo trabalhado nesse estudo e apresenta em sua fase experimental bons resultados de eficiência ambiental. Ele pode gerar em seu processo riscos de contaminação do solo e da água, caso seu sistema de contenção não seja impermeável e eficiente. Vale ressaltar que, como o método está na fase experimental, deve-se aprimorar sua real aplicabilidade, já que entende-se que as partículas de óleo ficam aprisionadas por membranas de sílica, tornando o resíduo perigosos estabilizado; porém não é possível afirmar que esse efluente líquido realmente não entra em reação com nenhum outro composto químico que poderá romper essa membrana, e qual o tratamento deve ser realizado nele antes de ser disposto.

Após definir os indicadores de desempenho operacional, foram delimitadas as entradas e as saídas. Assim foi possível verificar qual método apresenta melhor eficiência ambiental. Essas informações são discriminadas na tabela 8.

**Tabela 8.** Identificação dos processos operacionais x indicadores.

Processo	Entrada	Saída	Índice de Desempenho Operacional
----------	---------	-------	----------------------------------

<b>Coprocessamento</b>	Resíduos Perigosos Combustíveis Fósseis Matéria Prima	Emissões atmosférica Cinzas Produto	EAQ ECF EFC SRNP SRP
<b>Aterro Industrial</b>	Resíduos Perigoso Energia Solo não contaminado	Emissões atmosféricas Efluentes Líquidos	EAD CCH CS
<b>Leito de Secagem com Filtro Geotêxtil</b>	Resíduos Perigoso Efluente Energia	Efluente Líquido Resíduo Sólido Perigoso	EAD CCH CS SRP SRNP
<b>Microencapsulamento</b>	Resíduos perigosos Materiais encapsulastes Energia	Resíduo não-perigoso	CCH CS SRNP

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se considerar que todos os processos realizados pelos seres humanos acabam gerando alguma forma de impacto ao meio ambiente. Atrélado a isso, todos os métodos trabalhados geram, inevitavelmente, como em qualquer processo, subprodutos e rejeitos, que devem também ser dispostos de maneira adequada.

Contudo, conforme demonstrado na tabela 8, os métodos de coprocessamento e leito de secagem geotêxtil apresentam mais indicadores de impactos ambientais que os demais, já os métodos de aterro industrial e micro encapsulamento apresentam uma quantidade menor de indicadores.

O coprocessamento, apesar de apresentar a redução da utilização de combustíveis fósseis, gera também alguns efeitos nocivos ao meio ambiente e a sociedade, conforme já mencionado. O resíduo oleoso, após ser submetido a esse tipo de tratamento, afeta o ambiente por meio dos seguintes IDO's: eficiência do sistema de filtros de chaminé; emissões atmosféricas geradas pela queima; emissões atribuídas a combustíveis fósseis; saída de resíduos não perigosos e saída de resíduos perigosos.

A atribuição dos IDO's para esse método se deve a forma operacional que ocorre a queima dos resíduos perigosos, onde são misturados, formando um *blend* de resíduos, sendo utilizados como combustível secundário, porém essa queima pode gerar outras substâncias tóxicas que em ambientes não controlados, causam emissões atmosféricas de poluentes. Como já mencionado, o resíduo oleoso é utilizado como combustível secundário, sendo necessário a utilização de combustíveis fósseis, essa utilização também gera emissões atmosféricas. Ao final do processo, são subprodutos as emissões, consideradas resíduos perigosos e as cinzas, que por sua vez são classificadas como Classe II e devem ser dispostas de maneira adequada.

Os aterros industriais, apresentam poucos indicadores, sendo eles: emissões atmosféricas por decomposição; contaminação de corpos hídricos por falha no sistema de contenção e contaminação de solo por falha no sistema de

contenção. A atribuição dos indicadores para esse método se deve as possíveis falhas no processo de contenção. Essas falhas, causadas por alguma fissura nas mantas impermeabilizantes ou por projeto de construção e manutenção ineficientes, podem causar a percolação do resíduo oleoso no solo, contaminando o mesmo, podendo chegar aos lençóis freáticos ou mananciais próximos das instalações. Como o processo operacional ocorre em espaços abertos, existe a emissão por decomposição do rejeito antes da colocação da cobertura.

Vale ressaltar que esse método não deve ser considerados uma alternativa eficiente, visto que não existe o tratamento, somente a disposição. Portanto, é necessária uma outra técnica de tratamento, com o intuito de aumentar a vida útil dos aterros. Outro ponto é que, segundo as diretrizes do PNRS, deve-se seguir a lógica da não geração, redução, reutilização e reciclagem. Portanto, a simples disposição não se enquadra nos padrões estabelecido pelo plano.

Já os leitos de secagem com filtro geotêxtil, apresentam os seguintes IDO's: emissões atmosféricas por decomposição; contaminação de corpos hídricos por falha no sistema de contenção; contaminação de solo por falha no sistema de contenção; saída de resíduos não perigosos e saída de resíduos perigosos. Tais indicadores, estão relacionados a sua forma operacional, visto que o lodo oleoso fica contido em barragens, gerando emissões atmosféricas por decomposição. O local de tratamento deve ser bem projetado, para que não ocorra a contaminação do solo por algum vazamento por ruptura.

Apesar de reduzir o volume de lodo oleoso drasticamente, o método gera um efluente sem contaminação (resíduo não perigoso), torta oleosa (resíduo perigoso) e o filtro geotêxtil (resíduo perigoso), que devem ser tratados e destinados de forma adequada, a fim de minimizar os efeitos do passivo ambiental.

A técnica de micro encapsulamento, apresenta os seguintes IDO's: contaminação de corpos hídricos por falha no sistema de contenção; contaminação de solo por falha no sistema de contenção e saída de resíduos não perigosos. Seu processo de tratamento consiste em encapsular as gotículas de óleo, tornando-a estável. Porém, se o projeto for concebido de forma equivocada, pode ocasionar a contaminação do solo e de corpos hídricos. No final do processo resta apenas resíduos não perigosos, já que o resíduo oleoso está envolto na membrana, impossibilitado de interagir com o meio ambiente

Essa seria uma alternativa mais viável e eficiente para o tratamento dos resíduos oleosos. Deve-se considerar que o poluente é encapsulado, tornando-se estável, podendo ser utilizado em construção de estradas, moradias e obras civis benéficas para a própria população. Contudo, deve-se aprimorar o método que está em estudo, para a sua aplicação de forma segura e padronizada.

#### **4. CONCLUSÃO**



A sensibilização da sociedade por indústrias mais sustentáveis vem se difundindo e ganhando espaço no cenário econômico e ambiental. Práticas de otimização de processos, redução de matérias primas, reutilização de subprodutos, reciclagem e destinação adequada dos rejeitos, são instrumentos para agregar valor ao produto, melhorar a imagem da organização perante a população e minimizar os impactos ambientais causados por sua atividade.

Considerada uma das maiores fontes de poluição, a indústria petrolífera também deve-se enquadrar na mudança do contexto industrial. A dependência da humanidade pelo petróleo, seja utilizando como fonte energética ou para a obtenção de compostos químicos, tornou essa indústria com grande relevância pela sua dimensão

O Brasil, encontra-se entre os cinco países que mais produzem petróleo no mundo, podendo torna-se mais competitivo devido a regulamentação do polígono do pré-sal. Contudo, associado ao aumento da produtividade, está o aumento da geração de resíduos. Logo, é de extrema necessidade o estudo por alternativas para a redução dos passivos gerados pela indústria petrolífera

Conforme analisado por esse trabalho, a etapa *upstream* da cadeia produtiva dessa indústria, gera uma quantidade significativa de resíduos oleosos, os quais devem ser tratados de forma adequada, evitando a contaminação do ambiente e efeitos nocivos na comunidade.

Dentre os métodos, foram abordados dois convencionais adotados no Brasil e dois métodos inovadores que estão em estudo. Para isso, foi feita uma análise de artigos que realizaram estudos de caso, possibilitando o conhecimento dos dados operacionais. Desta forma, constatou-se o processo que possui a melhor eficiência ambiental.

Após a criação e verificação dos indicadores ambientais para cada método de tratamento de resíduos oleosos, conclui-se que o coprocessamento não deve ser considerado a solução para o tratamento dos resíduos perigosos. Pois, em países industrializados ele não é empregado para o tratamento desse rejeito, sendo considerado uma fonte nociva de emissões de poluentes. Esse tratamento pode, ainda, aumentar os efeitos nocivos ao meio ambiente e a saúde pública.

Os aterros indústrias para resíduos perigosos, apesar de não apresentar riscos em sua operação quando dimensionado corretamente, não é um método de tratamento e sim de disposição; portanto, não deve ser aplicado para a destinação de resíduos oleosos. Vale ressaltar que além das informações apresentadas, a Petrobras e o PNRS visam a redução e extinção de aterros em todo país. Por isso, o presente trabalho também desconsidera o método como o ideal do ponto de vista ambiental.

A aplicação de leito de secagem com filtros geotêxteis, apresenta uma nova abordagem para o tratamento de resíduos oleosos, porém ele apenas reduz o volume e não ocorre o tratamento total do passivo, sendo ainda empregado com

ele outro tipo de tratamento para a torta oleosa gerada após o processo. Apesar de apresentar uma ideia inovadora e trazer ganhos ambientais, já que reduz o volume do passivo, ele sempre deve ser empregado juntamente com outra técnica.

O micro encapsulamento, devido aos indicadores observados em sua operação, deve ser considerado uma fonte inovadora de tratamento de resíduos oleosos. O rejeito gerado após o tratamento do resíduo oleoso através do método em questão pode ser reaproveitado em outras áreas industriais, principalmente na construção civil, como já foi citado. Vale ressaltar que ainda falta para a aplicação desse processo são estudos aprofundados e a aplicação efetiva para a comprovação da sua eficiência ambiental.

O presente trabalho conclui que para o tratamento dos resíduos oleosos provenientes da indústria petrolífera, na etapa *upstream*, deve-se aprimorar e testar a técnica de micro encapsulamento, visto que ela apresenta menores indicadores operacionais e alta eficiência ambiental, tratando os resíduos de forma eficiente, causando a estabilização do resíduo, podendo reciclar o produto final em projetos de retorno para a comunidade local.

## 5. REFERÊNCIAS

ABATRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos. Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/ABETRE%20-%20Perfil%20do%20Setor%20de%20Trat.%20de%20Residuos%20e%20Servicos%20Ambientais%202006.pdf>>. Acesso em: 14 de Mai. 2019.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Panorama do Coprocessamento Brasil 2017. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/>>. Acesso em 01 de Abr. 2018.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. São Paulo. 2017.

ABREU, Monica C. S.; MAGALHÃES, Liciane Carneiro; GURGEL, Carlos J. H. **Gerenciamento de resíduos sólidos perigosos: uma avaliação da gestão ambiental da borra oleosa na Petrobras/Lubnor**. Produto e Produção, vol. 13, n. 3, p. 75-93. Out. 2012.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2018. Disponível em: <<https://www.anp.org.br/>>. Acesso em: 20 Mar. 2019.

---

ARAÚJO, Lizabela Souza; NICOLAIEWSKY, Eliôni; FREIRE, Denize D. C. **Estudo de caso do gerenciamento de resíduos sólidos em uma refinaria de petróleo.** 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS. Rio de Janeiro. 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, dezembro 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10157: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, dezembro 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8418: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, maio 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em 23 de Abr. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.351, de 22 de Dezembro de 2010. Dispõe sobre a exploração e a produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, sob o regime de partilha de produção, em áreas do pré-sal e em áreas estratégicas. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12351.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12351.htm)>. Acesso em 23 de Abr. 2019.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 001/86. Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 23 de Abr. 2019.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 264/1999. Dispõe sobre Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de cominuição de resíduos. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>>. Acesso em: 01 de Abr. 2019.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 316/2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: < [http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis\\_12.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis_12.pdf)>. Acesso em: 01 de Abr. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. BEN – Balanço Energético Nacional 2018 – ano base 2017: Resultados. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes>>

---

dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 21 de Fev. 2019.

FRANCISCO, J. L.; FRANÇA, K. C. **DOSSIÊ TÉCNICO: Métodos de Tratamento de Resíduos Perigoso**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, RJ, 2007.

FRANCISCO, Jéferson Luiz; FRANÇA, Karime Cruz. **Metodos de tratamento de resíduos de petróleo**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – Sbrt, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – Redetec, Dez. 2007.

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

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Norma Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/ 08. Resíduos sólidos das atividades de Exploração e Produção de petróleo e gás em bacias sedimentares marítimas do Brasil no ano de 2009.

IEA – Agência Internacional de Energia. Matriz Energética Mundial. 2016. Disponível em:<<https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>>. Acesso em: 21 de Fev. 2019.

IPEA – Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada. Diagnostico dos Resíduos Sólidos Industriais. 2012. Disponível em:< <http://www.ipea.gov.br/portal/>>. Acesso em: 21 de Mar. 2019.

MARTINS, S. S. S.; SILVA, M. P.; OZEVEDO, M. O.; SILVA, V. P. **Produção de Petróleo e impactos ambientais: Algumas considerações**. 2015.

MENDONÇA, Marcos Barreto; CAMMAROTA, Magali Chiste; FREIRE, Denize D. C.; EHRLICH, Mauricio. **Desidratação de resíduos oleosos através de leito de secagem com filtro geotêxtil**. ICRT 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Santa Catarina. 2004.

MILANEZ, Bruno. **Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: Problemas e Desafios**. IX ENGEMA – ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESÁRIAL E MEIO AMBIENTE. 2007.

QUITERO, L et al. Silica micro-encapsulation technology for treatment of oil and/or hydrocarbon contaminated drill cuttings. In: IADC/ SPE DRILLING CONFERENCE, IADC/SPE 59117, 2000, New Orleans: 200. P. 1-7.

ROCHA, Sônia Denise Ferreira; LINS, Vanessa de Freitas; SANTO, Belinazir Costa do Espírito. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Belo Horizonte. 2011.

ROJAS, José W. J.; CONSOLI, Nilo C.; HEINECK, Karla S. **Aplicação da técnica de encapsulamento em um solo contaminado com borra oleosa ácida**. REA – Revista de estudos ambientais, v.9, n.2, p. 6-15. Jun./Dez. 2007.

SOUZA, Paulo Juvêncio Berta; LIMA, Valdir Luiz. **Avaliação das técnicas de disposição de rejeitos da perfuração terrestre de poços de petróleo**. Bahia. 2002.

THOMAS, José Eduardo et al. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.