



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

Emanoel da Silva Carvalho

**REUSO DO MESOCARPO DE COCO NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES
DERIVADOS DE PETRÓLEO PRESENTES EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO
SISTEMA DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL**

Campina Grande – PB
2014

Emanoel da Silva Carvalho

**REUSO DO MESOCARPO DE COCO NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES
DERIVADOS DE PETRÓLEO PRESENTES EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO
SISTEMA DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL**

*Monografia apresentada como
Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) como exigência para obtenção
do Título de graduado em Química
Industrial da Universidade Estadual da
Paraíba – UEPB.*

Orientadora: Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima

Campina Grande – PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C331r Carvalho, Emanuel da Silva.

Reuso do mesocarpo de coco na remoção de contaminantes derivados de petróleo presentes em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial [manuscrito] / Emanuel da Silva Carvalho. - 2014.

45 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental".

1. Bioadsorção. 2. Adsorção. 3. Leito diferencial. 4. Contaminantes orgânicos. I. Título.

21. ed. CDD 628.4

Emanoel da Silva Carvalho

REUSO DO MESOCARPO DE COCO NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES
DERIVADOS DE PETRÓLEO PRESENTES EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO
SISTEMA DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL

APRESENTADO EM: 17 / 07 / 2014

NOTA: 10,0 (Dez int. zero)

BANCA EXAMINADORA

Lima

Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
(Orientadora – DESA/ UEPB)

Marcia Ramos Luiz

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz
(Examinadora – DESA/ UEPB)

Silva

Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva
(Examinadora - DQ/ UEPB)

Lima

Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima
(Examinadora - CDSA/ UFCG)

DEDICATÓRIA

A meus pais que sempre me educaram de modo ímpar e ensinaram-me a seguir sempre retamente meus sonhos e desejos, sem nenhuma vez criticar minhas escolhas, pelo contrário, dando-me apoio e maestria na arte de nunca baixar a cabeça. Aos meus professores e professoras, desde o ensino médio até o término da graduação que sempre pude contar com os melhores e mais pacientes mestres que alguém poderia ter. Aos meus melhores amigos, aqueles que nunca se afastaram mesmo com a falta de convívio e, deram-me todo o apoio e conselhos que eu pude, graças a Deus, absorver. E a Deus, pois ele está acima de tudo. **DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que possibilitou que tudo acontecesse e me reergueu nas quedas, me deu forças, discernimento, paciência e acima de tudo sabedoria que sempre foi o meu maior pedido em orações.

A todas as minhas mães, desde Maria, mãe de Jesus, que me deu forças além das que eu possuía. A minha carinhosa e sempre companheira mãe, Miriam Batista da Silva, que sempre me apoiou em todas as minhas escolhas, foi otimista, forte e sempre um porto seguro, ao qual posso contar nas mais difíceis situações e também nas melhores. Às minhas “mães acadêmicas”, Lúcia Ribeiro e Vera Moraes, essas que acompanharam toda a minha evolução como aluno, pesquisador e pessoa dentro e muitas vezes fora da Universidade. Elas que sempre acreditaram no meu potencial, que foram grandes conselheiras, grandes amigas e souberam lidar com todos os meus defeitos e ajudaram-me até o último e atual instante. Em especial à Professora - Mãe Lúcia, que me ajudou demasiadamente nessa etapa final com toda sua paciência, bom humor e perfeccionismo.

Ao meu Pai, Marcelo Carvalho, que mesmo com sua postura forte e muitas vezes fechada, pôde me ensinar tanto quanto os que mais falaram em minha vida. Com ele pude entender o real sentido do ditado: “para um bom entendedor, meia palavra basta”. Às vezes até seu silêncio foi a melhor das respostas que eu pude receber. Aprendi e continuo a aprender.

Aos meus irmãos e irmãs que muitas vezes na distância se esforçaram para me ajudar nas mais diversas situações. Quero agradecer em especial ao meu irmãozinho Marcelo Junior, por sempre tentar se espelhar em mim e nos meus passos. Fazendo isto, Junior, você fez com que eu sempre tentasse ser o melhor que possível, pois ser um exemplo nunca foi fácil. Quero agradecer também ao meu irmão Marcelo filho, por sempre depositar confiança e força sobre meus ombros, por sempre estar por perto apesar de não morarmos juntos, obrigado pelos conselhos e oportunidades; do mesmo modo à minha irmã Nayara que esteve disponível sempre que a contatei. Também não poderia deixar de agradecer à minha irmã Marcela que mesmo com toda a distância e eventualidades pôde me ajudar sem precisar que eu pedisse e, talvez esta seja verdadeiramente uma prova do que é ser irmão/ irmã mais velho/ velha.

Aos meus amigos mais próximos por toda a força, confiança e conselhos que puderam me dar, deixando minha autoestima nas alturas. Obrigado por todos os dias que me fizeram rir e permitirem que eu fizesse o mesmo.

Aos meus parceiros no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) da UEPB, que também se tornaram grandes amigos. Obrigado pelos momentos de descontração, momentos de aprendizagem, parceria e pela continuidade dessa amizade.

A todos que acreditaram no meu potencial, pois depositaram força no meu coração e a todos que duvidaram, pois me motivaram a provar o contrário.

“Os homens devem moldar seu caminho. A partir do momento que você ver o caminho em tudo o que fizer, você se tornará o caminho.”

(Miyamoto Musashi)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Fruto coco; (b) Partes internas do coco	36
Figura 2 – Imagens do mesocarpo de coco	36
Figura 3 - (a) Sistema de adsorção em leito diferencial, constituído por um reservatório de vidro; (b) Tela de alumínio.	38
Figura 4 – (a) Mesocarpo do coco após ser moído na forrageira; (b) Peneiramento do mesocarpo moído; (c) Mesocarpo de coco na forma particulada	39
Figura 5 - (a) Reservatório com água e mistura de gasolina e diesel (1:1); (b) Tela com biomassa adsorvente de mesocarpo de coco com espessura pré-determinada	40
Figura 6 – (a) Conjunto preparado para o contato entre o adsorvente e contaminante sobrenadante; (b) Momento do contato entre o contaminante e o adsorvente	41
Figura 7 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 3%	43
Figura 8 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 3%.	43
Figura 9 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 5%	44
Figura 10 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 5%.	44
Figura 11 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 10%.....	45
Figura 12 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm e C = 10%. .	45
Figura 13 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso da biomassa mesocarpo de coco <i>in natura</i> (ciclo 1): E = 3 mm e C = 3, 5 e 10%	46
Figura 14 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o reuso da biomassa mesocarpo de coco (ciclo 2): E = 3 mm e C = 3, 5 e 10%.....	46

RESUMO

O uso de biomassas adsorventes tem crescido consideravelmente como alternativa aos métodos convencionais de adsorção para purificação de corpos d'água contaminados por óleos combustíveis. Assim sendo, a proposta deste trabalho foi o estudo comparativo do uso e reuso do mesocarpo de coco como biomassa adsorvente em um sistema de adsorção em leito diferencial. Foram realizadas análises bromatológicas para conhecimento das características físicas e químicas do adsorvente utilizado. Pode-se observar que o mesocarpo de coco apresentou valores maiores para os teores de celulose e lignina comparativamente as biomassas já estudadas, como mandacaru e banana. Para os experimentos de adsorção em leito diferencial, foi utilizado um sistema formado por um reservatório para a dispersão água/ contaminantes orgânicos e uma tela em forma de cesta para contato entre a dispersão água/ gasolina/ óleo diesel e o bioadsorvente. Os experimentos relacionados à adsorção mostraram um excelente desempenho do mesocarpo de coco, tanto *in natura* (ciclo 1) quanto no reuso (ciclo 2), apresentando 100% de adsorção para concentração do contaminante igual a 3%, logo nos primeiros minutos, em ambos os casos. Quando a concentração usada foi de 5% de contaminantes, houve total remoção desses contaminantes, sendo necessário um tempo de contato maior, aproximadamente 40 minutos. Para concentração do contaminante igual a 10% não foi possível a completa remoção. No entanto, houve até 80% de remoção para o mesocarpo "in natura" e até 70% para o reuso. Todos os experimentos foram realizados a uma espessura do leito diferencial igual a 3 mm e variando o tempo de contato da dispersão água/ gasolina/ óleo diesel com a biomassa, a partir de 1 minuto. Os resultados comprovaram que o mesocarpo de coco pode ser utilizado como bioadsorvente de óleos combustíveis, fornecendo excelentes resultados para as condições estudadas.

Palavras-chave: Adsorção; Leito diferencial; Mesocarpo de coco; Contaminantes orgânicos.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.1 CONSTITUIÇÃO DA ÁGUA.....	14
1.2 CONTAMINAÇÃO EM CORPOS D'ÁGUA.....	16
1.3 CONTAMINANTES DERIVADOS DO PETRÓLEO.....	17
1.3.1 Petróleo	17
1.3.2 Óleos e Graxas	19
1.4 FONTES GERADORAS DE POLUIÇÕES DE ÓLEOS E GRAXAS.....	21
1.5 IMPACTO AMBIENTAL.....	22
1.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	24
1.7 DERIVADOS DO PETRÓLEO.....	26
1.7.1 Gasolina	26
1.7.2 Óleo Diesel	27
1.8 REMOÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS.....	29
1.9 PROCESSO DE ADSORÇÃO.....	30
1.10 BIOADSORÇÃO.....	33
1.11 ADSORVENTES.....	34
1.12 BIOMASSA ADSORVENTE.....	35
1.12.1 Coco (Cocos nucifera L.)	35
1.13 PROCESSO DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL.....	37
2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	38
2.1 MATÉRIA PRIMA.....	38
2.2 EQUIPAMENTOS.....	38
2.2.1 Sistema de Adsorção em Leito Diferencial	38
2.3 METODOLOGIA.....	39
2.3.1 Análises Bromatológicas	39
2.3.2 Preparação da Biomassa	39
2.3.3 Adsorção em Sistema de Leito Diferencial (ciclo 1)	40
2.3.4 Reuso do Mesocarpo de Coco como Biomassa Adsorvente (ciclo 2)	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS.....	42
3.2 ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL.....	43
CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental pode, sem dúvida nenhuma, ser hoje em dia apontada como um dos grandes problemas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Esse fato é decorrente, não apenas de um, mas de uma série de fatores, como o mau uso dos recursos naturais e a falta de consciência ambiental (LIMA, 2010).

Nos últimos anos tem ocorrido um grande número de incidentes que contaminam o meio ambiente tendo como causa a exploração do petróleo, o seu refinamento, transporte e operações de armazenamento de seus derivados. Para se ter uma ideia da magnitude do problema, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA) estimou na década de 1990 que existiam aproximadamente 2 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina nos Estados Unidos, destes, 600.000 mil ou 30%, vazaram ou apresentavam vazamentos (CORSEUIL *et al.*, 1999).

Segundo Costa *et al.* (2010) nos últimos anos tem aumentado bastante a preocupação da sociedade quanto à preservação do meio ambiente. A poluição das águas, ocasionadas pela negligência no tratamento de seus rejeitos ou por acidentes cada vez mais frequentes, que acabam por lançar muitos poluentes nos ambientes aquáticos é um fato preocupante, sendo essencial o levantamento das condições de qualidade e o tratamento dos efluentes industriais, que representa um potencial de risco para os seres vivos de uma forma geral.

Muitas dessas águas residuárias apresentam hidrocarbonetos originados dos processos de produção nas indústrias de plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos e produtos farmacêuticos, que derivam do petróleo. Os hidrocarbonetos leves, contendo de um a nove carbonos, estão presentes na maior parte das frações de petróleo. Além disso, pode-se citar a contaminação causada pelo petróleo, ocasionada pelo derramamento de petróleo bruto ou de seus produtos refinados, decorrentes de problemas nos tanques de armazenamento ou plataformas, vazamentos em navios ou explosões de poços. A toxicidade de hidrocarbonetos é amplamente estudada, podendo-se destacar que esta característica para alguns hidrocarbonetos é fortemente relacionada à sua estrutura química e sua hidrofobicidade, ou seja, os hidrocarbonetos mais solúveis em água são menos tóxicos (SOUZA *et al.*, 2011).

Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido pesquisadas para a degradação ou imobilização destes compostos. Desta forma, o desenvolvimento de métodos alternativos de tratamento de efluentes que combinem índices cada vez menores de substâncias tóxicas e baixo custo, tem sido estudado com mais frequência.

O processo de adsorção usando biomassas como adsorvente vem sendo uma alternativa potencialmente atrativa e econômica para o tratamento de diversos tipos de efluentes. O efeito de diversas biomassas vem sendo estudado para a remoção de metais pesados de efluentes industriais (COSSICH *et al.*, 2002) e também no tratamento de efluentes contendo compostos orgânicos, como é o caso dos efluentes de petróleo (RIBEIRO, 2003; SANTOS *et al.*, 2004; MORAIS, 2005; LIMA, 2010). Sendo assim, há uma constante busca por novos materiais que possam ser usados como adsorvente, que tenham baixo custo operacional e que mostrem resultados satisfatórios. Neste sentido, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), vem sendo desenvolvidos estudos com bagaço de cana-de-açúcar, mesocarpo de coco, mandacaru, sisal, materiais abundantes na Região Nordeste do Brasil. As biomassas em estudo têm fornecido resultados promissores como adsorventes (SANTOS, 2005; MORAIS, 2005; LIMA, 2011; LIMA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014).

Assim sendo, o presente trabalho tem a finalidade de comparar a capacidade de adsorção da biomassa mesocarpo de coco “in natura” (ciclo 1) com o mesocarpo de coco já utilizado em processo adsorvente, ou seja o reuso (ciclo 2). Será utilizado o sistema de adsorção em leito diferencial de biomassa adsorvente em contato com a dispersão água/ gasolina/ óleo diesel, simulando a contaminação de corpos d’água por derivados de petróleo, em diferentes concentrações e tempos de contato predeterminados.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 CONSTITUIÇÃO DA ÁGUA

Visivelmente pode-se perceber que a terra é constituída de uma vasta extensão de água. A água preenche 71% da superfície terrestre, no estado líquido e também no sólido, esse último sendo o gelo. O vapor de água entra na composição do ar. A quantidade de 97,5% das águas do planeta é salgada e apenas 2,5% é água doce. O total de água doce está distribuído da seguinte maneira: 68,9% pertencem às calotas polares e geleiras, 29,9% é de água doce subterrânea, 0,3% estão presentes nos rios e lagos, e 0,9% englobam outros tipos de reservatórios (TUNDISI, 2003). A água condensada na atmosfera pode ser encontrada como nuvens, contribuindo para o albedo da Terra, ou seja, refletindo parte da energia solar de volta para o espaço, contribuindo para manter a temperatura do planeta.

O volume aproximado de água do planeta é de 1.460.000.000 km³. Embora a quantidade de água do planeta seja grande a água própria e disponível ao consumo humano é muito pequena, em torno de 0,3% compreendendo as águas de rios, lagos e subsolo até 750 metros de profundidade (PRESS *et al.*, 2006).

A água é um constituinte muito abundante nos seres vivos; certos animais aquáticos chegam a ser formados por 98% de água. Os organismos vivos que possuem menos água chegam a ter 50% de seu peso corporal constituído de água. A água faz parte da seiva, do sangue e do líquido existente no interior das células dos seres vivos. O homem apresenta cerca de 70% de água da sua composição entre todas biomoléculas responsáveis pela sua vida. Nos vegetais, também, a água constitui cerca de 70% da sua composição, porém, essa composição varia dependendo do órgão considerado. As folhas possuem 80%, o lenho cerca de 60% (BRANCO, 1993). Ela é fundamental para a vida humana, pois na corrente sanguínea, funciona como solvente e transportadora de substâncias orgânicas essenciais. Além disso, participa de reações biológicas e regula a temperatura corpórea do ser humano, através da respiração e transpiração.

As necessidades humanas da água são complexas e representam, em primeiro lugar, uma demanda fisiológica. A ingestão média diária de água por uma pessoa de aproximadamente 90 kg é de 3 litros, obtidos na forma de água pura, outras bebidas ou na alimentação. Em uma pessoa sadia há um equilíbrio entre

água ingerida e a água eliminada. Cerca de 53% é eliminada na forma de urina, 42% pela evaporação da pele e pulmões e 5% pelas fezes (TUNDISI, 2003).

A água também exerce um papel importante na regulação do clima do planeta por meio da mudança de fase. Através da evaporação retira calor dos ambientes quentes e pela condensação devolve o calor amenizando a temperatura dos ambientes frios.

Deve-se salientar que o planeta necessita de água limpa para a manutenção da vida na forma como a conhecemos. Na história da humanidade observa-se que as civilizações se desenvolveram próximas a rios. As cidades modernas, as habitações na zona rural, todas são construídas próximas a rios ou córregos. O ser humano não consegue viver longe da água que bebe e dos resíduos que produz. Com a revolução industrial e o aumento da população na face da terra, aumentou a demanda de água e em demasia a poluição dos rios, ou seja, água de qualidade boa para o consumo humano está ficando cada vez mais escassa. Os métodos utilizados para purificação da água foram se tornando mais complexos, mas, mesmo as estações de tratamento têm suas limitações. Elas retiram com facilidade os produtos de uma floresta, de uma condição natural. Mas, esgotos domésticos e a presença de substâncias tóxicas vão tornando esse tratamento cada vez mais caro. Com o grande número de substâncias sintéticas lançadas nos corpos d'água nos dias atuais, o tratamento convencional não é eficaz, porque existe uma limitação para a capacidade depuradora de uma estação de tratamento. Desta forma a qualidade da água é comprometida para o uso (PASTRE e MARQUES, 2012).

O Brasil possui grande disponibilidade hídrica, 17% do total mundial, ou seja, de cada 100 litros de água disponível no mundo 17 litros estão no Brasil, distribuída de forma desigual em relação à densidade populacional. A água disponível no Brasil apresenta-se distribuída da seguinte forma: 64% na Amazônia e 36% no restante do país, onde se encontram 95% da população (ROCHA *et al.*, 2009). Além de servir como bebida, a água é utilizada pelo homem para múltiplas finalidades. O percentual de consumo mundial da água distribuídos por setores de atividades apresenta-se assim distribuído: 10% para consumo residencial, 20% para consumo industrial e 70% usado na agricultura em irrigações (PASTRE e MARQUES, 2012).

Deve-se repensar com responsabilidade em cada litro de água que se utiliza, pois é reconhecido que a cada dia seu acesso se torna mais difícil e a água de qualidade mais escassa. O problema da contaminação das águas aliado ao aumento

de consumo contribuem para a falta de água potável para a população. Atualmente a população mundial consome cerca de 50% dos recursos hídricos acessíveis, estima-se que em 2025 este consumo será por volta de 75%. A última avaliação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) identifica 80 países com sérias dificuldades para manter a disponibilidade de água (quantidade e/ ou qualidade). Esses 80 países representam 40% da população mundial (TUNDISI, 2003).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece 300 L de água potável/dia como a quantidade mínima de água necessária para a vida de um ser humano. Considerando o consumo diário de 6 bilhões de pessoas existentes no planeta atualmente, precisamos de aproximadamente 1,8 trilhões de litros por dia para atender a população mundial. Com o aumento populacional e a escassez mundial da água a OMS passa a estabelecer a quantidade de 50 L de água potável/ dia como aquela necessária para atender as necessidades de uma pessoa considerando os seguintes usos: 5 L para a ingestão diária direta; 20 L para higiene e saneamento, 15 L para banho e 10 L para a preparação de alimentos (ROCHA *et al.*, 2009).

1.2 CONTAMINAÇÃO EM CORPOS D'ÁGUA

Em um derramamento de gasolina, uma das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três xilenos orto, meta e para, chamados compostos BTEX, por estarem presentes em significativas concentrações na gasolina, e possuírem uma razoável solubilidade em água, são os contaminantes que primeiro irão atingir o lençol freático. Estes contaminantes são considerados substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central, e por causarem leucemia em exposições crônicas. Dentre os BTEX, o benzeno é considerado o mais tóxico e o composto com o mais baixo padrão de qualidade de água, $10 \mu\text{g L}^{-1}$, segundo as normas apresentadas na Portaria nº 36 (19/01/1990) do Ministério da Saúde (CORSEUIL *et al.*, 1999).

Um vazamento de gasolina ou óleo diesel se assemelha ao comportamento de um contaminante não miscível a água, também chamado de Non Aqueous Phase

Liquids (NAPL) – Fase Líquida Não Aquosa. Por serem menos densos que a água (*light*), ambos seguem o comportamento do LNAPL, geralmente caracterizada por duas regiões na subsuperfície, a área da fonte (LNAPL puro) e uma pluma de contaminação, na qual os contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COH's) vão se espalhar na franja capilar da zona saturada, enquanto a fração dissolvida é transportada com o fluxo da água subterrânea.

Após o derramamento de um NAPL na superfície do terreno, o líquido migra para baixo através da zona não saturada do subsolo. Há então, a formação de gânglios do líquido, que ficam retidos nos poros do solo criando uma fase denominada residual. No caso dos LNAPL's, o líquido se deposita no topo da franja capilar. Em presença dos NAPL's com densidade maior que a da água (Dense Non Aqueous Phase Liquids - DNAPLs), o líquido continua a migrar para baixo através da zona saturada, até toda a sua massa ser distribuída como fase residual ou até encontrar uma camada impermeável, formando uma fase livre.

A concentração dos contaminantes orgânicos na subsuperfície pode ser afetada por vários processos. Normalmente esses processos incluem: a infiltração do NAPL na zona insaturada da subsuperfície pelas forças gravitacionais e de capilaridade, migração no topo da franja capilar e expansão do NAPL no lençol freático (pluma de contaminação), dissolução do NAPL na água, transporte com a água subterrânea em direção à jusante, bem como perdas por vaporização, sorção e biodegradação (KAIPPER, 2003).

1.3 CONTAMINANTES DERIVADOS DE PETRÓLEO

1.3.1 Petróleo

O Petróleo é um produto natural oriundo da decomposição da matéria orgânica submetida à ação de bactérias, em processos aeróbios e anaeróbios, em contato com altas pressões e baixas temperaturas. As reações de transformação acontecem nas superfícies das rochas em presença de água e outros compostos inorgânicos. Durante esses processos, o petróleo, que está disperso, acumula-se por migração em reservatórios que formam os poços petrolíferos (BAPTISTA *et al.*, 2008).

O petróleo é composto por uma mistura de vários compostos orgânicos que apresentam diferentes taxas de biodegradabilidade e toxicidade para muitos organismos. A poluição por petróleo afeta principalmente os oceanos nas etapas de extração e transporte do mesmo. Sabe-se que 600 mil toneladas são derramadas em acidentes ou descargas ilegais e nas plataformas de exploração.

Este composto é conhecido desde épocas remotas sendo utilizado por algumas civilizações para diversos fins. A palavra petróleo é originada do latim *Petra* (pedra) e *Oleum* (óleo). Outros nomes eram dados ao petróleo como: betume, asfalto, alcatrão, azeite, nafta, lama, resina, óleo de rocha, bálsamo da terra, múmia, piche de trindade (NEIVA, 1986).

De forma geral, o petróleo é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e de cor variando entre o negro e o castanho escuro (CEPETRO, 2012). É uma mistura complexa de hidrocarbonetos com quantidades relativamente pequenas de compostos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e metálicos (THOMAS, 2001). No óleo cru, encontram-se desde os mais simples hidrocarbonetos, como o metano, até os mais complexos, onde os átomos de carbono podem estar conectados por simples, duplas ou triplas ligações e apresentarem estrutura linear ou ramificada, cíclica, alifática ou aromática.

Entre os principais impactos causados, por derivados do petróleo, ao ambiente estão: a formação de uma película de petróleo na superfície da água que dificulta a troca gasosa entre o ar e a água, a vedação dos estômatos das plantas e órgãos respiratórios dos animais e a ação de substâncias tóxicas nele contidas para muitos organismos. Os oceanos são importantes na manutenção das condições favoráveis para a vida do planeta. Respondem por 16% da oferta de proteína animal do planeta. A fotossíntese realizada por fitoplânctons e por outras plantas marinhas produz oxigênio, $O_{2(g)}$, que é liberado para a atmosfera, consome dióxido de carbono, $CO_{2(g)}$, que é retirado da atmosfera. O $CO_{2(g)}$ é arrastado por correntes profundas demorando séculos para retornar à atmosfera. Os oceanos são importantes fixadores de gás carbônico, contêm 20 vezes mais $CO_{2(g)}$ do que a quantidade que há em todas as florestas do mundo e em outras biomassas terrestres (PASTRE e MARQUES, 2012).

Silva *et al.* (2002) destacaram que a contaminação de águas subterrâneas por combustível derivado de petróleo tem sido objeto de crescente pesquisa no Brasil, e que os compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX),

presentes nesses combustíveis, são extremamente tóxicos à saúde humana e podem inviabilizar a exploração de aquíferos por eles contaminados. Esses autores fizeram uma avaliação da qualidade da água de poço de algumas residências, quanto à presença dos micropoluentes BTEX, após dois anos da ocorrência de um vazamento de gasolina do tanque de armazenamento de combustível. Os resultados mostraram que dos dez poços avaliados, apenas dois encontravam-se com valores de BTEX acima do recomendado pela Portaria 1.469/2000 do Ministério da Saúde, em que o teor máximo permitido para o benzeno é de $5 \mu\text{g L}^{-1}$. Em quatro poços havia contaminação por nitrato, que é responsável pela indução da metemoglobinemia. A disponibilidade tanto de oxigênio dissolvido quanto de nitrato (aceptores de elétron) provavelmente contribuiu para a ocorrência da atenuação natural dos BTEX (biodegradação) no sítio de estudo. A concentração de benzeno, cem vezes maior que a permitida pela Legislação Federal, indicou que este hidrocarboneto aromático, tóxico, resiste à biodegradação nesse sítio. Nos poços onde foram coletadas amostras de águas subterrâneas, as águas foram consideradas inadequadas para consumo, já que propiciam risco ao desenvolvimento de doenças como, especialmente, metemoglobinemia e câncer.

Quando o petróleo entra em contato com água do mar, vários processos físico-químicos e biológicos são passíveis de ocorrer e a intensidade de cada um deles varia ao longo do tempo.

De acordo com Bento (2005) existem alguns processos que ocorrem com o petróleo, tais como: espalhamento, evaporação, dissolução, dispersão, emulsificação, fotoxidação, sedimentação e biodegradação. Todos os processos de intemperização dependem das condições climáticas e do tipo de petróleo. Em geral, quanto maior for o número de átomos de carbono do composto presente no petróleo, maior será sua persistência no ambiente, mais lenta será sua evaporação e a sua solubilidade, e menor será a sua susceptibilidade à biodegradação.

1.3.2 óleos e Graxas

De acordo com a NBR 14063 (ABNT, 1998) óleos e graxas é o termo utilizado para caracterizar grupos de substâncias de origem mineral, que incluem gorduras, graxas, ácidos, graxas livres, óleos minerais e outros materiais graxos, determinados em ensaios padronizados. Já a Lei 9.966, que dispõe sobre a

contaminação causada por componentes oleosos (BRASIL, 2000), caracteriza o termo óleo como sendo qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borra, resíduos de petróleo e produtos refinados. Uma definição mais simplificada é apresentada pelo *Standard Methods* (APHA *et al.*, 1995), onde óleos e graxas são definidos como qualquer material recuperado como uma substância solúvel em um solvente, composto principalmente por material graxo a partir de fontes animais e vegetais e de hidrocarbonetos provindos do petróleo.

O óleo livre é aquele que não está misturado com a água apresentando uma camada visível na superfície desta. Segundo a NBR 14063 (ABNT, 1998) é o óleo com tamanho de gotículas na faixa de 10 a 2000 μm , que ascende rapidamente à superfície da água passado um pequeno tempo de repouso.

O óleo emulsionado é a mistura de óleo e água com tamanhos de gotículas menores ou iguais a 10 μm , cuja separação não se faz facilmente (ABNT, 1998).

Em condições de equilíbrio, o óleo puro é imiscível na água pura, e não ocorre a formação de emulsões, ficando apenas óleo livre em suspensão na água. Para que exista uma emulsão são necessárias duas condições: deve haver uma dispersão mecânica do óleo na água, com a introdução de minúsculas gotículas de uma fase no interior da outra ou o meio deve conter algum agente químico que seja capaz de estabilizar essas gotículas de uma fase no interior da outra fase, impedindo a sua coalescência (união e crescimento das gotículas de óleo voltando a formar fases distintas).

A dispersão mecânica da mistura óleo-água pode ocorrer de diferentes maneiras como, por exemplo, pela turbulência causada pela passagem da água oleosa através de bombas e tubulações, pelo atrito da mistura junto a peças mecânicas, pela presença de agitadores mecânicos e por borbulhamento de ar.

Na prática, a presença de óleo emulsionado é muito comum, e pode-se dizer que uma água oleosa contém sempre óleo emulsionado, sendo o óleo livre a parcela de óleo que se encontra em excesso (ENGENHO NOVO, 2012).

De forma a impedir a formação de emulsões, a NBR 14063 (ABNT, 1998) recomenda evitar o movimento turbulento do efluente industrial tal como os causados por bombas e desniveis, garantindo o movimento laminar da água residual.

Nos mares e rios a emulsão do óleo na água pode acontecer devido à agitação constante do corpo hídrico ocasionada pelas ondas, nas regiões de encontro entre duas ou mais correntes naturais.

1.4 FONTES GERADORAS DE POLUIÇÕES DE ÓLEOS E GRAXAS

O petróleo faz parte de diversos produtos do nosso dia-a-dia. Além dos combustíveis, ele também está presente em fertilizantes, plásticos, tintas, borracha e muitos outros produtos (PETROBRAS, 2012), apresentando-se como matéria prima indispensável para o desenvolvimento de muitos processos da vida contemporânea.

Uma das consequências da descoberta e intensificação do uso do petróleo foi a contaminação do ambiente por hidrocarbonetos. Porém, a sociedade atual é extremamente dependente deste óleo para seu desenvolvimento e, apesar dos sérios impactos causados, sua alta viabilidade econômica faz com que continue sendo explorado (BAPTISTA *et al.*, 2008).

Existem diversas fontes de contaminação do ecossistema por hidrocarbonetos provenientes do petróleo, podendo ser naturais ou decorrentes das atividades humanas.

As várias operações que englobam o petróleo, desde a exploração, exploração, transporte, refino e distribuição, geram grandes volumes de efluentes e envolvem riscos de acidentes e vazamentos que, em contato com o meio ambiente, causam passivos em larga escala (PASTRE e MARQUES, 2012).

As atividades de exploração e exploração geram efluentes variados, sendo que a maior parte do volume a ser tratado corresponde à água produzida (água extraída juntamente com o petróleo).

Os processos de transporte do óleo cru contribuem com uma quantidade significativa de hidrocarbonetos liberados para o ambiente. Pelo fato dos campos petrolíferos não serem localizados, necessariamente, próximos dos terminais e refinarias de óleo e gás, é necessário o transporte da produção através de embarcações ou tubulações, conhecidas por oleodutos e gasodutos (CEPETRO, 2012). Muitos acidentes já aconteceram nesta etapa do processo, como se pode destacar o Exxon Valdez em 1989, Prestige em 2002 (BAPTISTA *et al.*, 2008) e Rena em 2011.

Após a retirada e transporte, o petróleo segue para refino. No refino do óleo cru, os hidrocarbonetos podem entrar em contato com o meio ambiente a partir de vazamentos ou descargas dos equipamentos de refrigeração, em águas residuárias devido à manipulação da matéria prima, no tratamento de subprodutos do petróleo, nas perdas durante a abertura ou fechamento de equipamentos e válvulas, em esgotamentos ou pontos de transbordamento de tanques de armazenagem e reatores, em “paradas” da planta industrial e inclusive, na água da chuva e nas águas resultantes da lavagem de áreas e equipamentos do processo.

Ainda, os produtos derivados do petróleo podem contaminar o ambiente na distribuição destes para outras refinarias de segunda ou terceira geração ou então, no transporte até os postos de vendas aos consumidores finais.

O não monitoramento e controle destas contaminações causam impactos financeiros e ambientais que denigrem a imagem da exploração do petróleo perante a sociedade. Por isso o compromisso com o ambiente é um fator limitante para a sobrevivência das organizações na economia, sendo que a imagem negativa associada às empresas que degradam o meio ambiente é capaz de influenciar a opinião de boa parcela dos consumidores (MARIANO, 2001).

1.5 IMPACTO AMBIENTAL

Impacto ambiental é definido através da Resolução nº 001 do CONAMA de 1986 como 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.

Os prejuízos que as águas residuárias causam ao meio ambiente dependem muito da sua composição química, da quantidade e da velocidade com que estas são lançadas ao meio e da capacidade deste em neutralizar os efeitos adversos causados pelos poluentes através das próprias características ambientais específicas (CASAS, 2004).

O destino do óleo nos meios aquáticos depende de fatores como ventos, temperatura, correntes marinhas, geologia e local (se são águas abertas ou baías).

Geralmente, uma sequência previsível de eventos ocorre após o despejo ou derrame.

O filme de óleo após o contato com a água é disperso pelos ventos e correntes e os componentes com pontos de ebulição abaixo de 200°C se evaporam. Alguns dos componentes remanescentes são oxidados pela luz solar ou degradados por microrganismos. Os que são muito estáveis a estes fatores podem permanecer no ambiente aquático por muitos anos. Cerca de 24 horas após o evento, a água e o óleo formam uma emulsão (MARIANO, 2001).

Várias consequências podem surgir devido aos eventos supracitados e, de acordo com Mariano (2001), o impacto ambiental causado pelo contato dos componentes oleosos com o ambiente podem ser de caráter sanitário, ecológico, social ou econômico e englobam:

- Prejuízos ao abastecimento humano, tornando-se veículo de doenças.
- Prejuízos a outros usos da água, tais como: industrial, irrigação, pesca, recreação.
- Agravamento dos problemas de escassez de água de boa qualidade (poucos volumes de óleo inutilizam centenas de volumes de água).
- Elevação do custo do tratamento da água, refletindo-se no preço a ser pago pela população.
- Influência nas atividades econômicas e turísticas das regiões onde estão sendo destinados, com a desvalorização de propriedades marginais e degradação da paisagem.
- Prejuízos aos peixes e a outros organismos aquáticos ocasionando desequilíbrios ecológicos.
- Impactos sobre a qualidade de vida da população.
- Redução da quantidade de luz solar disponível, devido à formação de um filme de óleo, prejudicando a fotossíntese.
- A toxicidade de certas frações do petróleo pode provocar a morte de certos organismos, dependendo do tipo de óleo e da quantidade presente no meio aquático.
- Aderência do óleo sobre os corpos dos animais, causando prejuízos à sua saúde ou, até mesmo, a morte.

- Prejuízos à saúde humana, uma vez que os hidrocarbonetos são considerados tóxicos e, além do olfato, podem entrar em contato com as pessoas devido à ingestão dos frutos do mar contaminados.

Como se pode perceber o impacto ambiental causado pela contaminação de óleos e graxas nos recursos hídricos é imensurável. Estes prejuízos podem ser minimizados com uma boa gestão operacional e a utilização das boas práticas de fabricação dos processos de geração, produção e distribuição do petróleo.

Além disso, a adoção de medidas adequadas para contenção de vazamentos e para o tratamento de efluentes faz com que os teores de óleos presentes na água sejam absorvidos pelo próprio ambiente, mantendo o equilíbrio entre todo o ecossistema (MARIANO, 2001).

1.6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O órgão que estabelece a Legislação Brasileira relacionada com o meio ambiente é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Várias Resoluções, Leis e Normas existem para equilibrar a atividade humana e o ecossistema, buscando sempre um crescimento sustentável e, portanto, ponderando o desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Quando se refere aos efluentes industriais, a Legislação Nacional segue a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

Essa resolução estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, com o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (CONAMA, 2005).

Ao relacionar o teor de óleos e graxas, o CONAMA (2005) estabelece, para o efluente ser liberado nos corpos hídricos, um limite de concentração máxima correspondente a 20 mg L^{-1} quando o óleo é de origem mineral e de 50 mg L^{-1} , quando de origem vegetal ou animal.

Vigora ainda, uma Lei Federal conhecida como Lei do Óleo, nº 9.966 (BRASIL, 2000), que dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da

poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.

Essa Lei define e classifica as águas que estão sob alcance nacional, assim como os termos utilizados na indústria do óleo. Também define os sistemas de prevenção, controle e combate à poluição gerada pelas descargas de óleo, englobando desde as plataformas, transporte e refino do petróleo. Ainda estabelece as infrações, sanções e multas pelo descumprimento da legislação.

Além da legislação existente para os corpos hídricos, efluentes e descargas de compostos tóxicos, existem leis que regulamentam a disposição dos resíduos sólidos gerados pelos processos industriais, as quais estão cada vez mais rigorosas e exigentes.

Um exemplo é o Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010), que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabelece a Logística Reversa e a Responsabilidade Compartilhada.

A Logística Reversa é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Já a responsabilidade compartilhada, estabelece, segundo o Decreto 7.404 (BRASIL, 2010), que os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos, observando, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

De forma geral, a indústria do petróleo está em crescente preocupação com o ambiente, não só pela legislação regente, mas pelos grandes prejuízos causados a todo o ecossistema. Atualmente, mais atenções estão voltadas ao desenvolvimento sustentável e entende-se que a melhoria na relação da indústria com o meio ambiente é capaz de otimizar a produtividade, implicando benefícios diretos para a empresa, o processo industrial e o produto (FIESP, 2012).

1.7 DERIVADOS DO PETRÓLEO

Os derivados do petróleo são obtidos em processos básicos de refinação: destilação atmosférica e a vácuo. Tanto são originados produtos acabados quanto componentes que entrarão na transformação e acabamento de outros. Os produtos derivados do petróleo podem ser reunidos nos seguintes grupos: combustíveis (gasolinas, gás natural e GLP, óleo diesel, óleo combustível, querosene de aviação, *bunker* - combustíveis marítimos); lubrificantes (óleos lubrificantes minerais, óleos lubrificantes graxos, óleos lubrificantes sintéticos, composição betuminosa); insumos para a petroquímica (nafta, gasóleo) e especiais (solventes, parafinas, asfalto, coque) (PROJETO PETROBRAS, 2009). Derivados do petróleo, tais como óleos lubrificantes e seus compostos orgânicos constituintes de hidrocarbonetos são poluentes de difícil degradação, constantemente liberados nas bacias hidrográficas, como resultado de diferentes atividades industriais, provocando sérios problemas de poluição à vida aquática (BRANDÃO, 2006).

1.7.1 Gasolina

A gasolina é um dos numerosos produtos derivados do petróleo bruto. As características e especificações dos componentes da gasolina são regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). É composta por mais de 500 hidrocarbonetos que podem variar de 3 a 12 carbonos, e pontos de ebulição na faixa de 30 a 220°C a pressão atmosférica (Tabela 1). Além dos hidrocarbonetos, a gasolina pode conter também compostos oxigenados, compostos de enxofre, compostos de nitrogênio e compostos metálicos, todos eles em baixas concentrações. A gasolina foi obtida depois da descoberta do petróleo, por volta de 1850, quando diversos processos de refino foram desenvolvidos para fazer o petróleo mais aproveitado. Os primeiros tipos de gasolinas foram produzidos como subprodutos do processo de obtenção de querosene, que era utilizado como combustível para iluminação. Como não tinham sido desenvolvidos os motores de combustão interna, a gasolina não tinha mercado e era descartada (ALVES, 2006).

A gasolina básica (sem oxigenados) possui uma composição complexa. A sua formulação pode demandar a utilização de diversas correntes nobres oriundas do processamento do petróleo como nafta leve (produto obtido a partir da destilação

direta do petróleo), nafta craqueada que é obtida a partir da quebra de moléculas de hidrocarbonetos mais pesados (gasóleos), nafta reformada (obtida de um processo que aumenta a quantidade de substâncias aromáticas), nafta alquilada (de um processo que produz isoparafinas de alta octanagem a partir de isobutanos e olefinas) (ALVES, 2006).

Tabela 1 - Principais constituintes, propriedades e processo de obtenção da gasolina.

CONSTITUINTES	PROCESSO DE OBTENÇÃO	FAIXA DE EBULIÇÃO (°C)	ÍNDICE DE OCTANO MOTOR (CLEAR)
Butano	Destilação e processos de transformação	zero	101
Isopentano	Destilação, processos de transformação, isomerização	27	75
Alcoilada	Alcoilação	40 - 150	90 – 100
Nafta leve de destilação	Destilação	30 - 120	50 – 65
Nafta pesada de destilação	Destilação	90 - 220	40 – 50
Hidrocraqueada	Hidrocraqueamento	40 - 220	80 – 85
Craqueada cataliticamente	Craqueamento catalítico	40 - 220	78 – 80
Polímera	Polimerização de olefinas	60 - 220	80 – 100
Craqueada termicamente	Coqueamento retardado	30 - 150	70 – 76
Reformada	Reforma catalítica	40 - 220	80 – 85

Fonte: Adaptada de <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/gasolina>.

1.7.2 Óleo Diesel

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos, é um composto formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio, e em baixas concentrações, por enxofre, nitrogênio e oxigênio.

É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. É utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel), empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões.

São conhecidos os seguintes tipos de óleo diesel comercializados nos Postos Petrobras: Diesel Podium Petrobras S-10; D Extra Aditivado; D Extra Aditivado S-10; D Comum e D Comum S-10. A Resolução ANP nº 65 foi revogada pela Resolução ANP nº 50 de 23 de dezembro de 2013 que define apenas duas versões de diesel, conforme o teor máximo de enxofre (S10 e S500). O Diesel Podium, exclusivo dos Postos Petrobras, possui 10ppm de enxofre (<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/gasolina>).

Atualmente, são definidos e especificados, pelo Departamento Nacional de Combustíveis (DNC), quatro tipos básicos de óleo diesel:

- Tipo A: É o óleo diesel utilizado em motores de ciclo diesel (ônibus, caminhões, carretas, veículos utilitários) e em instalações de aquecimento de pequeno porte. Este óleo encontra-se disponível em todas as regiões do Brasil e caracteriza-se por possuir um teor de enxofre de, no máximo, 1,0%.
- Tipo B: É o óleo diesel conhecido como “metropolitano”. Tem a mesma aplicação do diesel tipo A diferindo dele por possuir, no máximo, 0,5% de enxofre e por somente ser comercializado, atualmente, para uso nas regiões metropolitanas das seguintes capitais: Porto Alegre, Curitiba, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife e Fortaleza.
- Tipo C: Este tipo de óleo diesel caracteriza-se, principalmente, por possuir, no máximo, 0,3% de enxofre. Outro item que diferencia este tipo de diesel dos demais é a temperatura necessária para destilação, de 85% do seu volume: 360°C contra 370°C dos demais tipos. Este óleo está disponível desde primeiro de outubro de 1996, pela Petrobras, para uso nas regiões metropolitanas de Salvador, São Paulo, Aracaju, Santos e Cubatão. A partir de outubro de 1997, este tipo de diesel foi disponibilizado para uso nas regiões metropolitanas de Fortaleza, Recife, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, Belo Horizonte, Belém, Campinas e São José dos Campos.
- Tipo D: É o óleo diesel marítimo. É produzido especialmente para a utilização em motores de embarcações marítimas. Difere do diesel Tipo A por ter especificado o seu ponto de fulgor em, no máximo, 60°C.
(<http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/manutencao/combustveis>).

1.8 REMOÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS

Quando se pensa em separar o óleo presente em uma água oleosa é importante lembrar que não basta retirar apenas o óleo livre, uma vez que também é indispensável à remoção do óleo que está emulsionado no meio.

A separação do óleo livre é geralmente realizada pelos processos físicos, onde os mais utilizados são a sedimentação, flotação e centrifugação. Para a quebra das emulsões e a remoção do óleo que fica disperso, processos químicos e de coalescência são utilizados. Os processos químicos de desemulsificação, incluem, entre outros, o uso de processos de acidificação e coagulação. O processo de acidificação normalmente é mais efetivo que o de coagulação, entretanto, é muito mais caro e o efluente final deve ser neutralizado após a separação. A coagulação pode ser realizada adicionando sais de alumínio ou ferro ao tratamento do efluente industrial (ABNT, 1998).

Os processos citados anteriormente são utilizados no tratamento de águas residuárias de processos industriais. Quando se fala em acidentes ambientais ocasionados com óleo, ações mais rápidas e de fácil aplicação são utilizadas. Neste âmbito, pode-se citar a utilização de dispersantes químicos, a queima do óleo ou a utilização de materiais que podem facilitar a remoção manual, como rodos, pás e *skimmers* (equipamentos utilizados para a sucção do óleo).

Uma tecnologia que tem sido amplamente estudada, desenvolvida e utilizada para o tratamento do óleo é a adsorção, a qual pode ser utilizada para remoção de óleos e graxas tanto em efluentes industriais quanto em acidentes ambientais.

A adsorção exibe elevada eficiência, não utiliza outros produtos químicos para remoção do composto poluidor e muitas vezes, apresenta baixo custo de investimento e manutenção para a adequação da água produzida. Os adsorventes são materiais eficientes para a redução do óleo liberado tanto no solo quanto na água e podem ser utilizados na forma de cinturões, almofadas ou apenas em sua forma particulada quando aplicado a acidentes e vazamentos ambientais e em colunas ou *pellets* para o tratamento do efluente aquoso industrial (BONI, 2012).

O estudo do fenômeno de adsorção nas últimas décadas, de acordo com Bernardo (2011), tem merecido grande importância, especialmente no desenvolvimento de novas tecnologias separativas. Estas tecnologias fazem uso da

adsorção seletiva dos componentes (adsorbatos) a separar, quando colocados em contato com um sólido poroso (adsorvente). Novos materiais adsorventes têm despertado grande interesse no meio científico. Diversos trabalhos têm desenvolvido estudos com materiais adsorventes para cátions, ânions e hidrocarbonetos, destacando-se quitosana, argilas, zeólitas, leveduras, bactérias, carvão ativado, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos agroindustriais e compósitos (TAGLIAFERRO *et al.*, 2011). O estudo do bagaço de cana-de-açúcar, utilizado como biomassa adsorvente para hidrocarbonetos está consolidado, comprovando por meio de pesquisas (SANTOS, 2005; MORAIS, 2005; BRANDÃO, 2006; LIMA, 2010; LIMA *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2012), seu alto poder adsorativo de derivados do petróleo como gasolina e óleo diesel. Com o aumento de subprodutos e resíduos oriundos de agroindústrias, torna-se viável e promissor o uso de resíduos agroindustriais quando observados de um ponto de vista químico e/ ou aspecto ambiental. Estes resíduos são renováveis e biodegradáveis e contém moléculas ricas em grupos hidroxilas, que podem sofrer um grande número de modificações químicas para a produção de novos materiais (COSTA *et al.*, 2010).

1.9 PROCESSO DE ADSORÇÃO

Os sólidos apresentam a propriedade de reter moléculas em sua superfície. Esta propriedade pode ser bastante acentuada no caso de materiais porosos ou finamente divididos

A adsorção, segundo Foust (1982), é o termo que se aplica à transferência de um soluto, presente em um gás ou líquido, para uma superfície sólida, onde ele fica retido devido a interações com as partículas constitutivas do material. A força motriz para acontecer essa transferência de uma fase para outra é a diferença de concentração do composto no meio do líquido e no material sólido.

Várias são as aplicações do processo de adsorção. Segundo Ruthven (1984) algumas das aplicações específicas incluem a desidratação de líquidos orgânicos, descoloração e remoção de peróxidos de óleos vegetais, de gorduras e óleos animais, além da descoloração de xaropes de açúcar, remoção de contaminantes sulfurosos, fenólicos e hidrocarbonetos de efluentes aquosos, purificação de várias soluções aquosas de ácidos, álcalis, glicóis, sais, gelatina,

vinagre, sucos de fruta, pectinas, gliceróis e álcoois, remoção de rejeitos de proteínas, anilina, benzeno, fenol e cânfora da água.

Embora a adsorção, como um processo de purificação, já venha sendo utilizada desde os primórdios de sua descoberta, a adsorção como uma operação unitária para a separação de componentes presentes em grandes quantidades é relativamente recente, iniciado por volta de 1970 e sendo impulsionada pela indústria petroquímica (RUTHVEN, 1984).

No processo de adsorção o composto a ser adsorvido chama-se adsorbato e o sólido poroso que retém o soluto de interesse é conhecido por adsorvente.

Existem dois tipos de adsorção: a fisissorção, de natureza física, envolve forças intermoleculares relativamente fracas, ao nível de forças de Van der Waals (atração como a de moléculas no estado líquido); a quimissorção, por meio de interações mais fortes, a nível energético de reações químicas entre a molécula de adsorbato e a superfície do adsorvente (RUTHVEN, 1984).

Na adsorção física podem formar-se camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na adsorção química se forma uma única camada molecular adsorvida (monocamada). O soluto adsorvido não se dissolve no sólido, mas permanece na superfície ou nos poros deste. O processo de adsorção é muitas vezes reversível, de modo que a modificação da pressão ou da temperatura pode provocar a fácil remoção do composto adsorvido (FOUST, 1982).

Vários fatores afetam a adsorção, tais como a estrutura e área superficial do sólido, a natureza do adsorvente e do adsorbato, a solubilidade do soluto, o potencial hidrogeniônico (pH) do meio e a temperatura.

A solubilidade do soluto impede a atração para a superfície do adsorvente. Grupos polares têm uma alta afinidade com a água e isto geralmente diminui a adsorção a partir de soluções aquosas (VASQUES, 2008).

Em geral, a temperatura é inversamente proporcional à capacidade de adsorção, na qual altas temperaturas diminuem a quantidade de soluto adsorvido, caracterizando o processo de adsorção como sendo exotérmico. Segundo Cooney (1999) o aumento da temperatura aumenta a energia vibracional da molécula adsorvida, possibilitando, conseqüentemente, a dessorção desta da superfície do material.

O pH do meio influencia a capacidade de adsorção principalmente quando o composto a ser removido é ionizável. A carga positiva ou negativa do adsorvente é

proporcional ao pH da solução. Um índice conveniente que revela a propensão da superfície se tornar positiva ou negativamente carregada em função do pH, é o valor de pH requerido para que a carga elétrica líquida da superfície seja zero. Este valor é chamado ponto de carga zero (pHZPC). Valores de pH inferiores ao pHZPC indicam que a carga superficial é positiva e portanto a adsorção de ânions é favorecida. Para valores de pH superiores ao pHZPC, a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (AL-DEGS, 2000).

Além da natureza do sólido influenciar nas cargas superficiais do adsorvente, também podem definir a afinidade deste com o adsorbato. Adsorventes polares, conhecidos como hidrofílicos, possuem afinidade com substâncias polares como a água e os álcoois. Adsorventes não polares, hidrofóbicos, possuem maior afinidade com hidrocarbonetos e óleos.

A estrutura do sólido é particularmente essencial, pois afeta a seletividade do adsorvente. Duas características do sólido são importantes e influenciam conjuntamente na adsorção: área superficial e o tamanho dos poros.

Quando se discutem as propriedades superficiais de sólidos com grande superfície específica é conveniente distinguir entre superfície interna e externa. De acordo com Gregg e Sing (1967) a superfície externa pode ser tomada como aquela que inclui todas as proeminências e todas as rachaduras que são mais largas que profundas. Já a superfície interna compreende as paredes de todas as rachaduras, poros e cavidades as quais são mais profundas que largas.

Normalmente imagina-se que a quantidade de adsorbato que pode ser adsorvida é diretamente proporcional à área superficial interna, o que nem sempre é verdadeiro. Deve-se ter em mente que a medida da área superficial é normalmente obtida através da quantidade de nitrogênio (N_2) que pode ser adsorvida. O N_2 é uma molécula pequena e por isso, quando o processo visa à adsorção de uma molécula maior, grande parte desta área superficial interna torna-se inacessível (COONEY, 1999).

A propriedade que determina a acessibilidade da molécula de adsorbato para a superfície interna de adsorção é o tamanho do poro, o qual, segundo Gomes *et al.* (2009) pode agir como agente controlador no processo de adsorção, permitindo que partículas de diâmetros menores penetrem no interior do sólido, excluindo aquelas com diâmetro superior.

Pode-se classificar os poros do material de acordo com seu tamanho. Pela definição da International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), o microporo tem menos de 20 Å (2,0 nm), um mesoporo tem de 20 a 500 Å e um macroporo é maior que 500 Å (50 nm) (CURBELO, 2002).

Nos microporos é onde ocorre intensamente a adsorção. Todas as moléculas estão adsorvidas, pois nunca escapam do campo de força da superfície sólida, nem mesmo quando estão localizadas no centro do poro. Já nos meso e macroporos, a molécula no centro do poro não sofre a ação desse campo de força; logo há duas fases no adsorvente, aquela adsorvida na sua superfície e uma outra fase fluida no interior do poro (LUZ, 2009).

1.10 BIOADSORÇÃO

Bioadsorção é o termo utilizado para denominar o tratamento de correntes aquosas empregando como adsorventes biomassas encontradas na natureza ou provenientes de algum processo industrial.

Alguns autores definem biomassa como qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um período de tempo inferior a 100 anos. Do ponto de vista energético, biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia, como por exemplo, a madeira, detritos animais e resíduos orgânicos, os resíduos agrícolas como a casca de arroz, a serragem e o bagaço da cana-de-açúcar (CENBIO, 2012).

A bioadsorção utiliza materiais abundantes na natureza, de baixo custo de aquisição, com alta lipofilidade e que não necessitam de regeneração após o uso, podendo ser utilizados para a produção de energia após o tratamento do efluente no processo industrial; e reutilizados em um novo ciclo no processo de adsorção.

É uma alternativa que se destaca na redução do teor de óleos e graxas, pois é uma operação de baixo custo, que demanda pouca energia para o tratamento de águas e utilizam, muitas vezes, materiais que se apresentam como um resíduo na indústria e são vistos como um problema, transformando-o em um produto de alto valor agregado e fornecendo um destino sustentável ao rejeito sólido industrial (BONI, 2012).

1.11 ADSORVENTES

É muito importante a escolha dos adsorventes. Os sólidos devem ter características de pequena queda de pressão e boa resistência mecânica para suportar o manuseio. Além disso, os adsorventes são seletivos quanto à capacidade de adsorverem solutos específicos. Por isso, a natureza do sólido deve ser cuidadosamente ponderada para que se tenha a segurança de um desempenho satisfatório (FOUST, 1982).

Segundo Gomide (1988) para que um adsorvente seja comercialmente importante, ele deve reunir uma série de características favoráveis de eficiência, seletividade, resistência mecânica, perda de carga, custo, aglomeração, inércia química, densidade e área interfacial.

Vários materiais são utilizados como adsorventes. Pode-se citar alguns comerciais como a sílica gel, alumina ativada, carvão ativado, aluminossilicatos, zeólitas, carvão de ossos, terra *fuller*, bentonita e bauxita (RUTHVEN, 1984; FOUST, 1982).

Já como bioadsorventes, as várias pesquisas nesta área apresentam materiais como o mesocarpo de coco, serragem, casca do pinheiro, quitosana, turfa, palha de milho, cana-de-açúcar, mandacaru, sisal. Pasila (2004) avaliou a remoção de óleo lubrificante e óleo combustível presentes em água utilizando capim amarelo como bioadsorvente. Foram obtidos valores para a capacidade de adsorção de até 4 g de hidrocarboneto por g de capim amarelo. Menor capacidade de adsorção foi obtida por Ibrahim *et al.* (2010) ao estudarem a adsorção de óleo de canola pela palha de cevada. A adsorção máxima obtida foi de 0,576 g de óleo/g de palha.

Santos *et al.* (2007) estudaram o desempenho de diversas biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. Como biomassas, foram avaliados o sabugo de milho, serragem da madeira, o mesocarpo de coco e o bagaço da cana-de-açúcar. Para simular o efluente contaminado com produtos orgânicos, utilizaram a gasolina comercial tipo C. A biomassa que apresentou a maior capacidade de adsorção foi o mesocarpo de coco seguido do bagaço da cana-de-açúcar, em torno de 8,28 e 7,92 g de hidrocarboneto por g de material, respectivamente. A capacidade de adsorção do sabugo de milho e da serragem da madeira foram praticamente equivalentes, apresentando remoção em torno de 5,76 g de hidrocarbonetos por g de adsorvente. Além disso, os autores estudaram a

adsorção da gasolina utilizando um pré-tratamento ácido com ácido clorídrico (HCl) em todos os adsorventes. O pré-tratamento dos adsorventes não resultou em diferenças significativas na capacidade de adsorção da gasolina pelas biomassas, obtendo retenções muito próximas daquelas utilizando os materiais em sua forma natural.

Morais (2005) estudou a adsorção de hexano, heptano e iso-octano utilizando mesocarpo de coco e o bagaço da cana-de-açúcar como adsorventes. Os resultados mostraram que o bagaço da cana-de-açúcar apresentou melhores desempenhos frente ao mesocarpo de coco quando submetido à adsorção da mistura dos três componentes. Valores máximos de adsorção de 3,87 g de hidrocarboneto por g de bioadsorvente foram obtidos utilizando o mesocarpo de coco e uma retenção máxima de 7,65 g de hidrocarboneto por g de bagaço de cana foi alcançada quando o colocou em contato com a água oleosa.

Brandão *et al.* (2010) obtiveram valores para capacidade de adsorção em torno de 7 g de gasolina/ g de adsorvente quando avaliaram a remoção de hidrocarbonetos de petróleo a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço da cana-de-açúcar como adsorvente.

1.12 BIOMASSA ADSORVENTE

Biomassa é um termo utilizado para representar uma série de materiais orgânicos, como os resíduos agrícolas, que podem ser direta ou indiretamente empregados para a geração de combustíveis, como etanol, metanol, biogás, carvão vegetal e óleos (SANTOS *et al.*, 2007).

1.12.1 Coco (*Cocos nucifera* L.)

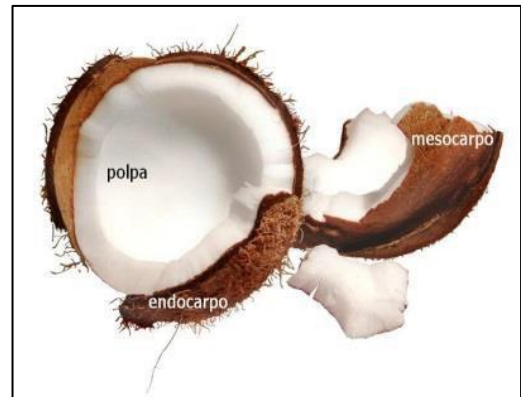
Botanicamente, o coco (Figura 1a) é um fruto seco simples classificado como drupa fibrosa (não uma noz). Conforme ilustrado na Figura 1b, a casca (mesocarpo) é fibrosa e existe um "caroço" interno (o endocarpo lenhoso). Este endocarpo duro tem três poros de germinação que são claramente visíveis na superfície exterior, uma vez que a casca é removida. É através de um destes que a pequena raiz emerge quando o embrião germina (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coqueiro>).

O termo "coco" foi desenvolvido pelos portugueses no território asiático de Malabar, na viagem de Vasco da Gama à Índia (1497 - 1498), a partir da associação da aparência do fruto, visto da extremidade, em que o endocarpo e os poros de germinação assemelham-se à face de um "coco" (monstro imaginário com que se assusta as crianças; papão; ogro), conforme conta o historiador João de Barros no seu livro *Décadas da Ásia* (1563). Do português o termo passou ao espanhol, francês e inglês "coco", ao italiano "cocco", ao alemão "Kokos" e aos compostos "coconut", inglês, e "Kokosnuss", alemão (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coqueiro>).

Figura 1 – (a) Fruto coco; (b) Partes internas do coco.



(a)



(b)

Fonte: Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/coco/fruto>.

Figura 2 – Imagens do mesocarpo de coco.



Fonte: Disponível em <http://coqueiro-anao.blogspot.com.br/2013/05/tipos-de-cultura-do-coqueiro-anao.html>.

De acordo com Florence (2010) o Estado da Bahia é o maior produtor de coco do Brasil, ocupando a vanguarda na produção nacional, com uma área cultivada de mais de 76 mil hectares. Tomando-se como referência o ano de 2010, a

produção anual foi superior a 500 milhões de frutos contribuindo com mais de R\$ 221 milhões para a composição do valor bruto da produção agrícola, além de gerar cerca de 240 mil postos de trabalho.

O crescimento do consumo da água de coco, registrado nos últimos anos contribuiu para a geração de um resíduo (casca) de difícil degradação. A sua utilização, além do valor econômico e social é também importante do ponto de vista ambiental. Deve-se salientar que 80 a 85% do peso bruto do coco verde são considerados lixo, e que 70% do lixo gerado nas praias são compostos por casca de coco verde (FLORENCE, 2010).

Com o intuito de aproveitamento do mesocarpo do coco, que está presente na percentagem considerada como lixo, nos últimos anos tem sido desenvolvido estudos sobre a viabilidade do uso desse mesocarpo no processo de adsorção de compostos derivados de petróleo, especificamente a gasolina e o óleo diesel (SANTOS, 2005; MORAIS, 2005; LIMA *et al.*, 2014).

1.13 PROCESSO DE ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL

A adsorção é um método eficaz e econômico utilizado na purificação de efluentes que pode ser aplicado de várias formas, sendo o processo de adsorção em leito diferencial o foco deste trabalho.

O sistema de adsorção em leito diferencial consiste em uma camada fina de espessura específica de adsorvente em contato com o efluente que se deseja remover os contaminantes.

O processo em leito diferencial é preferencialmente aplicado para retirada de material líquido sobrenadante.

2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

2.1 MATÉRIA PRIMA

Os contaminantes orgânicos estudados, presentes no efluente contaminado simulado, foram gasolina básica tipo C e óleo diesel.

A biomassa utilizada foi o mesocarpo de coco (Figura 2), que é a parte espessa e fibrosa. O qual foi retirado de resíduos de coco, obtidos no município de Campina Grande, no Estado da Paraíba. Esses resíduos encontravam-se depositados a céu aberto quando de sua coleta.

2.2 EQUIPAMENTOS

2.2.1 Sistema de Adsorção em Leito Diferencial

O equipamento usado para a adsorção em leito diferencial de biomassa ilustrado na Figura 3 é constituído por um reservatório de vidro com capacidade de 4000 mL para armazenamento da mistura heterogênea água/ gasolina/ óleo diesel, composto por uma tela de alumínio para recepção do adsorvente mesocarpo de coco na forma de partículas.

Figura 3 - (a) Sistema de adsorção em leito diferencial, constituído por um reservatório de vidro; (b) Tela de alumínio.



(a)



(b)

Fonte: SOUZA *et al.* (2011).

2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Análises Bromatológicas

As caracterizações química e física do mesocarpo de coco na forma de pó foram determinadas através de análises feitas no Laboratório de Análises de Tecido da Planta e no Laboratório de Análise de Alimentos, respectivamente; ambos pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – Campus Areia. Nesta fase foram determinados os compostos químicos presentes no mesocarpo do coco e características como matéria seca, umidade, cinzas, matéria orgânica, proteína bruta, fibras, celulose e lignina.

2.3.2 Preparação da Biomassa

Inicialmente o mesocarpo do coco foi separado do exocarpo (parte mais externa da casca) e moído em máquina forrageira, em seguida triturado em um liquidificador industrial e peneirado em peneiras de série Tyler com granulometria referente a 10 mesh apresentando $1,70 \text{ mm } \mu\text{m}^{-1}$ de porosidade, de forma a se obter a biomassa na granulometria desejada. Por fim, todo o material triturado foi peneirado para desmanchar os aglomerados e tornar mais fácil a manipulação do adsorvente para experimentos futuros. A preparação da biomassa pode ser observada nas Figuras 4a, b e c. Após preparada, a biomassa foi acondicionada em recipientes devidamente etiquetados para posterior uso.

Figura 4 – (a) Mesocarpo do coco após ser moído na forrageira; (b) Peneiramento do mesocarpo moído; (c) Mesocarpo de coco na forma particulada.



Fonte: Própria (2014).

2.3.3 Adsorção em Sistema de Leito Diferencial (ciclo 1)

Pesou-se uma quantidade de biomassa de acordo com a espessura da camada a ser utilizada, a qual foi uniformizada em uma tela. Preparou-se um reservatório preenchido com um volume predeterminado de água e uma concentração predeterminada de uma mistura de proporções iguais (1:1) de gasolina e óleo diesel.

Logo após a preparação desses dois elementos, a tela deve ser colocada dentro do reservatório contendo à água e os contaminantes. Feito o contato entre o adsorvente e à água contaminada, por um período de tempo determinado, retirou-se a tela do reservatório, deixando escorrer entre 10 e 20 segundos. Após esse tempo, foi medido o volume restante de contaminante em uma proveta, para quantificação da quantidade adsorvida do contaminante.

Os experimentos foram realizados para os tempos de contato de 1 a 30 minutos para concentrações da mistura gasolina/ óleo diesel iguais a 3, 5 e 10% e espessura da biomassa de 3 mm. O procedimento experimental pode ser observado nas Figuras 5 (a) e (b); 6 (a) e (b).

Figura 5 - (a) Reservatório com água e mistura de gasolina e diesel (1:1); (b) Tela com biomassa adsorvente de mesocarpo de coco com espessura pré-determinada.



(a)



(b)

Fonte: Própria (2014).

Figura 6 – (a) Conjunto preparado para o contato entre o adsorvente e contaminante sobrenadante; (b) Momento do contato entre o contaminante e o adsorvente.



(a)



(b)

Fonte: Própria (2014).

2.3.4 Reuso do Mesocarpo de Coco como Biomassa Adsorvente (ciclo 2)

A metodologia utilizada para a realização dos experimentos para o ciclo 2 (reuso) foi a mesma para o ciclo 1, descrita no item 2.2.3, na qual foi utilizado o mesocarpo de coco na forma particulada contaminada com a mistura gasolina/ óleo diesel procedente dos experimentos do ciclo 1. O mesocarpo de coco após ser utilizado no ciclo 1 foi deixado em repouso em temperatura ambiente por 24 horas. As condições operacionais e o sistema de adsorção em leito diferencial foram os mesmos para o ciclo 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS

Na Tabela 2 estão apresentadas as análises bromatológicas para três tipos de biomassas nativas da região Nordeste, mandacaru, coco e banana, utilizadas para estudos na adsorção de derivados de petróleo.

Tabela 2 – Resultados das análises bromatológicas, para biomassas mandacaru, coco e banana.

COMPONENTES ESTUDADOS		EM (100% DA MATÉRIA SECA)						
AMOSTRA	MS ¹	FDN ²	FDA ³	N-FDN ⁴	N-FDA ⁵	HEM ⁶	CEL ⁷	LIG ⁸
Mandacaru/RN	92,51	44,19	36,11	0,71	0,25	8,08	29,86	6,25
Mandacaru/PB	93,94	45,84	30,54	0,69	0,23	15,30	25,55	4,99
Coco/PB	92,70	91,97	78,52	0,22	0,36	13,45	40,48	38,04
Banana/PB	94,52	41,54	31,38	1,59	1,40	10,16	9,31	22,07

¹Matéria Seca; ²Fibra em Detergente Neutro; ³Fibra em Detergente Ácido; ⁴Nitrogênio na Fibra em Detergente Neutro; ⁵Nitrogênio na Fibra em Detergente Ácido; ⁶Hemicelulose; ⁷Celulose; ⁸Lignina.

Fonte: Adaptado do laudo expedido pela UFPB – Areia (2013).

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que o mesocarpo de coco é a biomassa que apresenta maiores teores de celulose e lignina, e um valor significativo de hemicelulose, dentre as biomassas analisadas. Lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa encontrada nas plantas terrestres, associada à celulose na parede celular cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais.

A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza. Sua cadeia se constitui de unidades de β D-glicose (um açúcar simples - $C_6H_{12}O_6$), resultando em um polímero de alto peso molecular (300000 - 500000). As cadeias de celulose nas paredes celulares das plantas são arranjadas compactamente, de modo que suas fibras apresentam regiões nitidamente cristalinas (ALMEIDA, 2011).

A hemicelulose ou polioses é uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixa massa molecular, os quais estão intimamente associados com a celulose. As polioses são polímeros, em cuja composição podem aparecer unidades de açúcares. Assim sendo, a possibilidade de tratamentos que possam reduzir algum dos açúcares presentes, poderá possibilitar o aumento da capacidade adsortiva dessa biomassa (ALMEIDA, 2011).

3.2 ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL

Nas Figuras 7 e 8 podem ser observadas as comparações do volume residual da mistura (1:1) de gasolina e óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso do mesocarpo de coco na forma de partículas como adsorvente em sistema de leito diferencial. Sendo que para a Figura 7 temos o Volume da mistura de contaminantes em Função do tempo de contato e na Figura oito é a porcentagem de contaminantes adsorvidos em função do tempo e esse modelo também será o mesmo adotados para os pares de figuras posteriores.

As condições operacionais utilizadas foram espessura da camada de mesocarpo de coco (E) 3 mm, concentração de contaminantes (C) 3% e tempo de contato (t) variando entre 1 e 30 minutos para o uso e reuso da biomassa.

Figura 7 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm, C = 3%, $V_{H_2O} = 3880\text{mL}$ e $V_{C_{inicial}} = 120\text{mL}$.

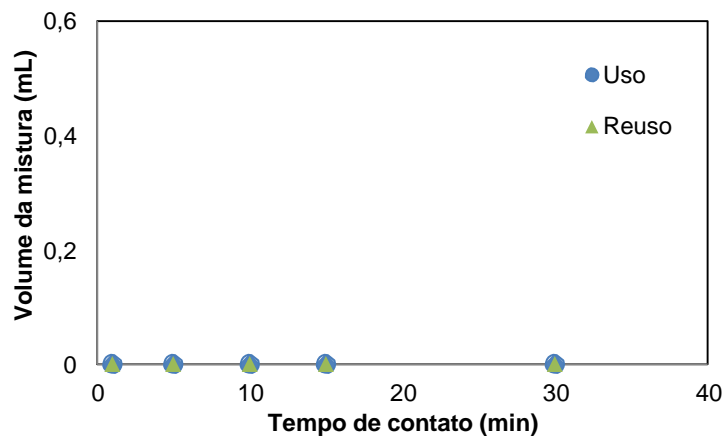
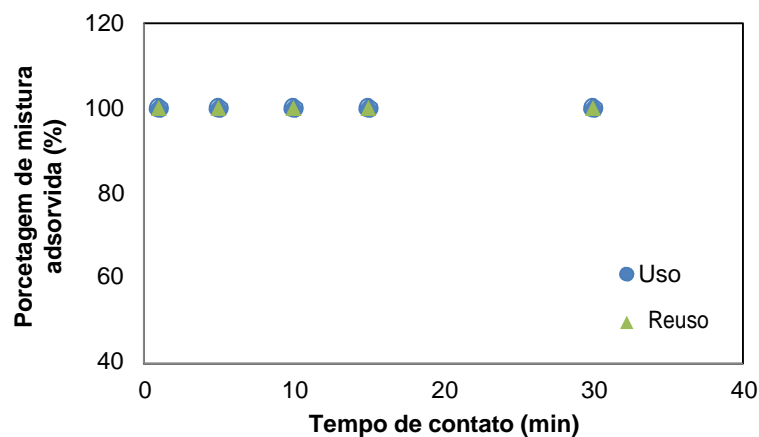


Figura 8 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm, C = 3%, $V_{H_2O} = 3880\text{mL}$ e $V_{C_{inicial}} = 120\text{mL}$.



Conforme exposto nas curvas da Figura 7 e 8, pode-se observar que para as condições utilizadas, tanto o uso quanto o reuso do mesocarpo de coco apresentaram resultados satisfatórios, retendo todo o contaminante já nos primeiros minutos de contato, apresentando 100% de capacidade adsortiva.

Nas Figuras 9 e 10 estão apresentados os volumes residuais e o percentual adsorvido dos contaminantes gasolina e óleo diesel dispersos em água, respectivamente, para a espessura da camada da biomassa igual a 3 mm e concentração do contaminante igual a 5%, com o tempo de contato variando entre 5 e 60 minutos para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco.

Figura 9 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm, C = 5%, $V_{H_2O} = 3800\text{mL}$ e $V_{Cinicial} = 200\text{mL}$.

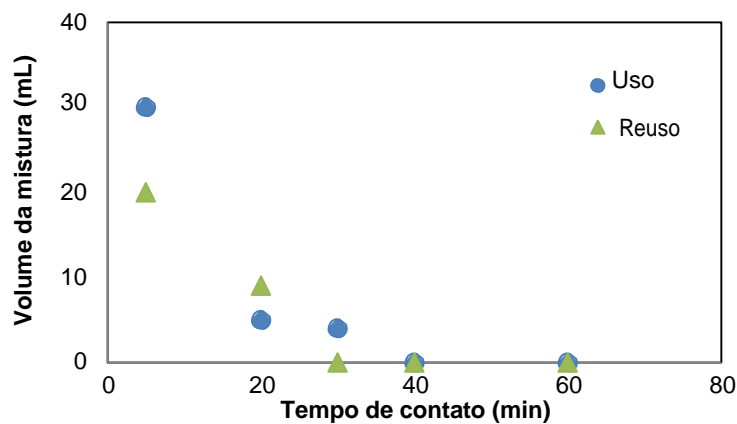
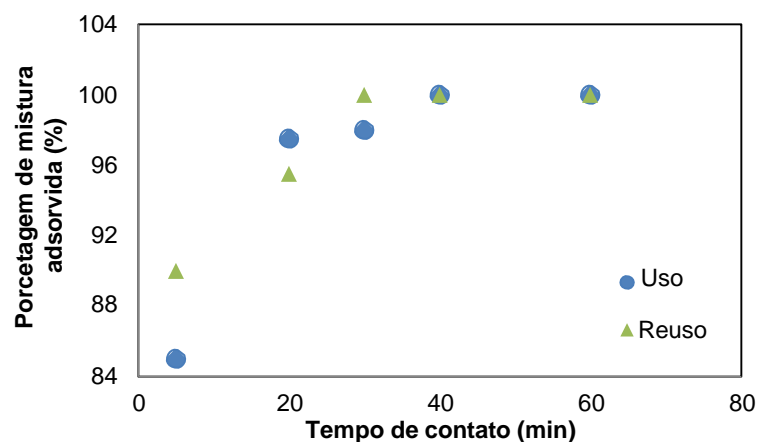


Figura 10 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: E = 3 mm, C = 5%, $V_{H_2O} = 3800\text{mL}$ e $V_{Cinicial} = 200\text{mL}$.



Na Figura 9, observa-se que o volume da mistura decresceu com o aumento do tempo, como fora previsto. Os resultados ilustrados na Figura 10 (em

porcentagem) descrevem que o aumento da concentração do contaminante exigiu um aumento do tempo de contato (entre biomassa e contaminantes) para retenção total do mesmo pelo adsorvente, precisamente aos 40 minutos de corrida experimental, tanto para uso (ciclo 1) quanto para o reuso (ciclo 2) da biomassa mesocarpo de coco. Sendo que, em 20 minutos, 98% do contaminante já haviam sido adsorvidos no ciclo 1 e 96% no reuso (ciclo 2). O tempo de contato é estabelecido com base no total adsorvido do contaminante, até chegar ao equilíbrio, onde mesmo com o aumento do tempo o volume de contaminantes foi o mesmo, sugerindo que não haverá mais adsorção devido à saturação do material bioadsorvente.

Nas Figuras 11 e 12 estão apresentados os resultados obtidos para a concentração de contaminantes 10%, espessura da camada de biomassa mesocarpo de coco igual a 3 mm e tempo de contato entre 60 e 300 minutos.

Figura 11 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: $E = 3$ mm, $C = 10\%$, $V_{H_2O} = 3600$ mL e $V_{Cinicial} = 400$ mL.

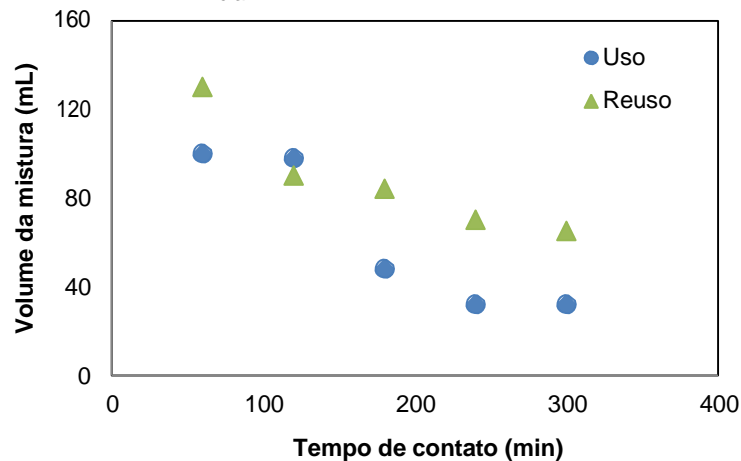
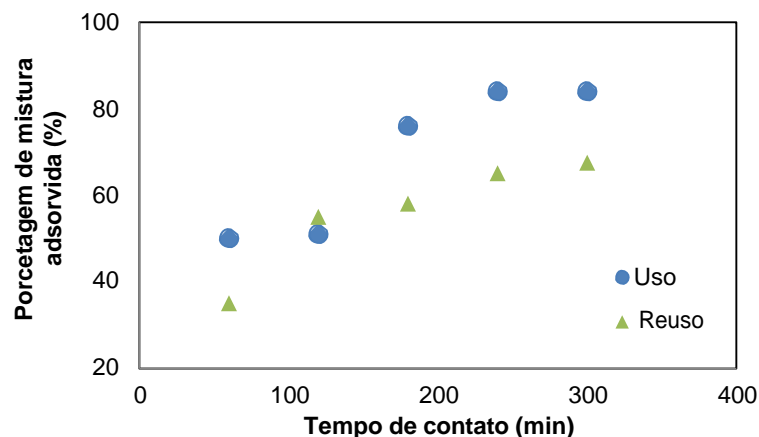


Figura 12 - Percentual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso e reuso da biomassa mesocarpo de coco: $E = 3$ mm, $C = 10\%$, $V_{H_2O} = 3600$ mL e $V_{Cinicial} = 400$ mL.



Observando a Figura 11 é possível destacar as diferenças entre os volumes adsorvidos no uso e no reuso, enquanto que, por meio das curvas ilustradas na Figura 12 (porcentagem) pode-se observar que a capacidade máxima de adsorção do mesocarpo de coco foi atingida em 200 minutos, sendo a quantidade adsorvida para o mesocarpo de coco *in natura* de aproximadamente 80% e para o reuso, de aproximadamente 70%.

Nas Figuras 13 e 14 estão ilustrados os resultados do volume residual da adsorção da mistura gasolina e óleo diesel, dispersos em água, variando a concentração inicial do contaminante para o uso e reuso do mesocarpo de coco como bioadsorvente, respectivamente.

Figura 13 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o uso da biomassa mesocarpo de coco *in natura* (ciclo 1): E = 3 mm e C = 3, 5 e 10%.

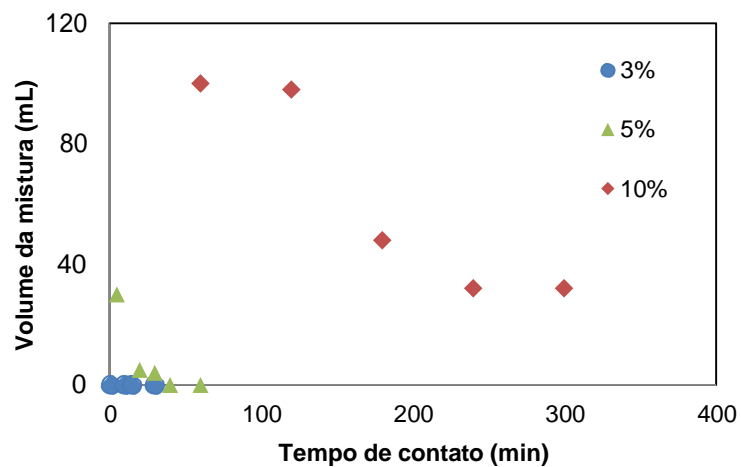
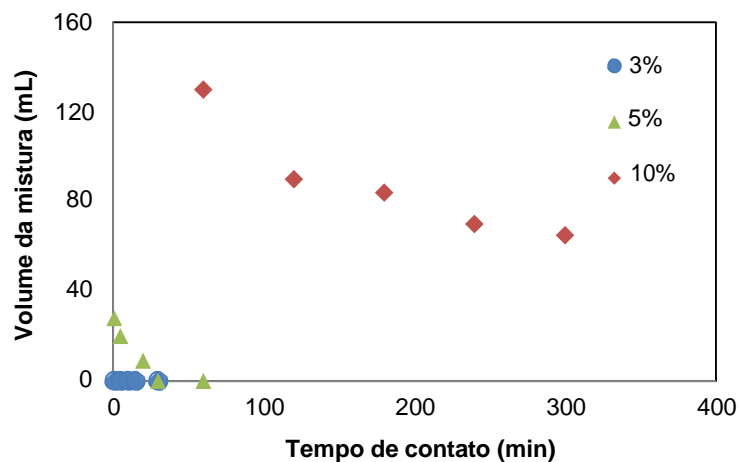


Figura 14 - Volume residual da adsorção da mistura gasolina/ óleo diesel, dispersos em água, para o reuso da biomassa mesocarpo de coco (ciclo 2): E = 3 mm e C = 3, 5 e 10%.



Analisando as Figuras 13 e 14, percebe-se que a capacidade de adsorção do mesocarpo de coco é bastante alta, tanto para o uso (ciclo 1) quanto para o reuso (ciclo 2) da biomassa mesocarpo de coco, possibilitando a total remoção do contaminante antes dos 60 minutos de contato para as concentrações de 3 e 5 %; enquanto que para a concentração de 10%, houve até 80% de remoção para o uso e aproximadamente 70% para o reuso.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível destacar as seguintes conclusões:

- A estrutura do mesocarpo de coco apresenta alto teor de lignina e celulose, assim como, valores significativos para a hemicelulose, como era de se esperar para fibras vegetais, podendo viabilizar, através de tratamentos, a possibilidade de melhorar ainda mais seu caráter adsorvente. Sendo essa análise, uma sugestão para trabalhos futuros.
- O mesocarpo de coco é um bioadsorvente em potencial, devido suas características bromatológicas apresentarem altos valores de fibras.
- O reuso do mesocarpo de coco como bioadsorvente em leitos diferenciais de biomassa, é perfeitamente viável, visto que apresentou resultados iguais ou muito próximos dos obtidos com o mesocarpo *in natura*. Isto é, 100% de remoção dos contaminantes para concentrações de 3% e 5%, e até 70% para concentração de contaminante igual a 10%.
- O reuso do mesocarpo do coco também revelou particularidades no sistema de saturação dos poros da fibra, mostrando valores maiores que os da primeira adsorção em termos de velocidade, mas em contrapartida, houve uma saturação mais rápida dos poros, ocasionando uma diminuição quantos aos valores de contaminante adsorvido, mas isto é justificável, mediante a presença dos hidrocarbonetos do processo inicial.
- A utilização de resíduo de coco tem grande potencial de produzir energia sem causar danos ao meio ambiente, inclusive sendo utilizado após o processo de adsorção.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 14929. Madeira- Determinação do Teor de Umidade em Cavacos – Método por Secagem em Estufa. Brasil, 2003. Acesso em: 04 abr. 2012.

_____. NBR – 14063. Óleos e Graxas - Processos de Tratamento em Efluentes de Mineração. Brasil, 1998.

_____. Resoluções do CONAMA: Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental, n.001, de 26/ 01/ 1986, Brasília, 1986.

AL-DEGS, Y.; KHRAISHEH, M. A. M.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M. N. Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes from Textile Effluent. Water Research, v. 34, n. 3, p. 927-935, 2000.

ALMEIDA, T. N. P. **Avaliação do efeito do tratamento com pressão sobre a capacidade adsortiva de bagaço de cana.** Monografia de Graduação, UFU, Uberlândia – MG, 31 p., 2011.

ALVES, J. K. P. Estudo do desempenho antioxidativo de um novo composto derivado do cardanol hidrogenado aplicado à gasolina automotiva. Monografia de Graduação, UFRN, CT, Natal – RN, 76 p., 2006.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19 th ed. Washington, D. C.: Americam Public Health Association, 1995.

BAPTISTA, J. A. N.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. (Organizadores). Poluição Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BENTO, D. M. **Análise química da degradação dos hidrocarbonetos de óleo diesel no estuário da lagoa dos patos – Rio Grande/ RS.** Dissertação de Mestrado. Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande Rio Grande – RS, 112 p., 2005.

BERNARDO, B. T. **Estudo de adsorção em leito fixo para o sistema heptano/ tolueno/ sílica gel usando líquidos iônicos como fase móvel.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica, UNL, Monte de Caparica, Lisboa, p.1, 2011.

BONI, H. T. **Aplicação de biomassa na redução do teor de óleos e graxas presentes em efluentes aquosos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis – SC, 123 p., 2012.

BRANCO, S. M. Água: origem, uso e preservação. Moderna: São Paulo. 2ª ed., 1993.

BRANDÃO, P. C. **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia - MG, 160 p., 2006.

BRANDÃO, P. C.; SOUZA, T. C.; FERREIRA, C. A.; HORI, C. E.; ROMANIELO, L. L. Removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution using sugarcane bagasse as adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, n. 175, p.1106 – 1112, 2010.

BRASIL. Lei n.9.966, de 28/ 04/ 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Brasília, 2000.

CASAS, A. L. **Tratamento de efluentes industriais utilizando a radiação ionizante de acelerador industrial de elétrons e por adsorção com carvão ativado – estudo comparativo.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2004.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Conceituando Biomassa. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/conceituando.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2012.

CEPETRO – Centro de Estudos de Petróleo. Petróleo. Disponível em: http://www.cepetro.unicamp.br/petroleo/index_petroleo.html. Acesso em: 04 abr. 2012.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções do CONAMA: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, n. 357, de 17/ 03/ 2005, Brasília, 2005.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment.** USA: Lewis Publishers, 1999.

CORSEUIL, H. X.; SANTOS, R. F.; FERNANDES, M. **Contaminação de aquíferos por derramamentos de gasolina e álcool.** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 2448 – 2452. Rio de Janeiro. 1999.

COSSICH, E. S.; SILVA, E. A.; TAVARES, C. R. G.; CARDOZO FILHO, L.; RAVAGNANI, T. M. K. **Modelagem da bioadsorção de cromo pela alga marinha *Sargassum sp.* em coluna de leito fixo.** III Encontro Brasileiro de Adsorção – III EBA, Recife - PE, p. 231 - 240, 2002.

COSTA, E. C.; BARBOSA, C. D. A. E. S.; MACHADO, J. A.; GARCIA, C. A. B. Estudo comparativo de adsorção do corante preto *sulphcolor* utilizando o carvão

ativo convencional com o bagaço da cana-de-açúcar *in natura* e tratada quimicamente. **Scientia Plena**, v. 6, n. 12, 2010.

CURBELO, F. D. S. **Estudo da remoção de óleos em águas produzidas na indústria do petróleo, por adsorção em coluna, utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2002.

ENGENHO NOVO TECNOLOGIA LTDA. **Tratamento de águas oleosas nas indústrias**. Artigo Técnico. Disponível em: <<http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2012.

FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Indicadores de Desempenho Ambiental na Indústria. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/cartilha_indic_ambiental.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2012.

FLORENCE, F. (2010). **Situação atual e perspectivas de aproveitamento do coco e da casca**. Comunicação. Disponível em: Disponível em: <http://www3.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/3_comunicacao02v9n1.pdf>. Acesso em 15 de jun. de 2014.

FOUST, S. A.; WENZEL, A.; CLUMP, W. C.; MAUS, L.; ANDERSEM, B. L. **Princípios das Operações Unitárias**, 2ª Ed., Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro - RJ, 1982.

FURASTÉ, P. A. Normas Técnicas para o Trabalho Científico: Explicitação das Normas da ABNT, 17ª Ed., Dáctilo Plus, Porto Alegre – RS, 2014.

GOMES, G. V. P.; SILVA, J. B. A.; JESUS, L. B.; DRUZIAN, J. I. **Utilização de bagaço de cana-de-açúcar como substrato fermentativo para produção de goma xantana**. Congresso Internacional de Fibras Naturais – Slides Apresentação – Salvador – BA, 2009.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias – Operações de Transferência de Massa**. v. 4. Editora do Autor, São Paulo – SP, 1988.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption surface area and porosity**. Academic Press, London and New York, p.169, 1967.

IBRAHIM, S.; ANG, HM.; WANG, S. **Removal of emulsified food and mineral oils from wastewater using surfactant modified barley straw**. Bioresource Technology, n. 100, p. 5744 – 5749, 2009.

IBRAHIM, S.; ANG, HM.; WANG, S. **Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw**. Biochemical Engineering Journal, n. 49, p. 78 - 83, 2010.

KAIPPER, B. I. A. **Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados por óleo diesel**. Tese de Doutorado em

Química – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, 2003.

LIMA, L. M. R. **Avaliação da adsorção de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos mediante leito fixo de biomassa em escala ampliada.** Tese de Doutorado em Engenharia de Processos – UFCG, Campina Grande - PB, 2010.

LIMA, L. M. R.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, V. L. M. M. **Avaliação da ampliação de escala na adsorção de gasolina em leito fixo com biomassa bagaço de cana-de-açúcar.** XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ2010) e 8º Encontro Brasileiro Sobre Adsorção (EBA2010), Foz do Iguaçu – PR, 2010.

LIMA, L. M. R.; COSTA, K. J. B.; OLIVEIRA, E. D. C.; OLIVEIRA, E. K. G.; SANTOS, T. C.; SILVA, V. L. M. M. **Utilização do mandacaru (*Cereus jamacaru*) como biomassa adsorvente de gasolina presente em corpos d'água.** X Encontro Brasileiro Sobre Adsorção (EBA2014), Guarujá - SP, 2014.

LIMA, L. M. R.; CARVALHO, E. S.; SILVA, A. M.; COSTA, F. O.; SILVA, V. L. M. M. **Descontaminação de corpos d'água utilizando mesocarpo de coco em sistema de leito diferencial, visando a remoção de derivados de petróleo.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ2014), Florianópolis – SC, outubro de 2014 (no prelo).

LUZ, A. D. **Aplicação de processos adsorptivos na remoção de compostos BTX presentes em efluentes petroquímicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2009.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2001.

MORAIS, V. L. M. **Purificação de efluentes contaminados com hidrocarbonetos por adsorção em leito fixo de biomassa.** Doutorado em Engenharia de Processos – UFCG, Campina Grande - PB, 104 p., 2005.

NEIVA, J. **Conheça o Petróleo/ Prefácio de Ozires Silva.** 5ª ed. Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro – RJ, 1986.

PASILA, A. A biological oil adsorption filter. **Marine Pollution Bulletin**, n. 49, p. 1006 – 1012, 2004.

PASTRE, I. A.; MARQUES, R. N. **Cursos de Especialização para o Quadro do Magistério da SEESP. Ensino Fundamental II e Ensino Médio.** Unesp/ Redefor/ Módulo IV/ Disciplina 08. Rede São Paulo de Formação Docente. São Paulo – SP, 139 p., 2012.

PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S/A. Petróleo. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/petroleo/>> . Acesso em: 04 abr. 2012.

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A. Petróleo. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/petroleo/>>. PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. Para entender a Terra.

Bookman, 4ª ed., 2006.

PRESS, F.; RAYMOND, S.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra. 4ed.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

PROJETO PETROBRAS. **Remediação de Áreas Contaminadas por Derramamento de Combustíveis.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental CENPES/ PETROBRAS - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. Gerência de Biotecnologia e Ecossistemas. UFSC, Florianópolis – SC, 2009.

RIBEIRO, T. M. H. **Sorção de petróleo na biomassa seca do macrófito aquático *Salvinia herzogii* dela sota.** 2003. Disponível em: <<http://www.lapes.ufrgs.br/teses>>. Acesso em: 09 de mai. de 2014.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental.** Bookman: Porto Alegre, 2ª ed., p. 256, 2009. ISBN: 978-85-7780-469-6.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption & Adsorption Process.** New York, John Wiley and Sons, 1984.

SANTOS, E. G. **Estudo da adsorção de contaminantes orgânicos provenientes da água de extração do petróleo, em coluna de leito fixo, utilizando biomassas como adsorventes.** Doutorado em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande - PB, 229 p., 2005.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. **Estudo do desempenho de uma coluna de leito fixo de biomassa para a adsorção de contaminantes orgânicos provenientes do petróleo.** V Encontro Brasileiro de Adsorção – V EBA, Recife - PE, p.66 - 67, 2004.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H.; **Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos.** Quim. Nova, v. 30, n. 2, p. 327 - 331, 2007.

SILVA, R. L. B.; BARRA, C. M.; MONTEIRO, T. C. N.; BRILHANTE, O. M. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro - RJ, nov. e dez., 2002.

SILVA, V. L. M. M.; OLIVEIRA, E. D. C.; COSTA, K. J. B.; SANTOS, T. C. **Adsorção de contaminantes derivados do petróleo utilizando mandacaru (*Cereus jamacaru*) como biomassa adsorvente.** X Encontro Brasileiro Sobre Adsorção (EBA2014), Guarujá - SP, 2014.

SOUZA, R. S.; LIMA, L. M. R.; SILVA, V. L. M. M. Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos – REMAP**, UFCG, v. 6, n. 2, p. 123-126, 2011.

TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. **Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (v) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea.** Química Nova, v. 34, n. 1, p. 101 - 105, 2011.

THOMAS, J. E. (Org). Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima: São Carlos, p. 248, 2003. ISBN: 85-86552-51-8.

VASQUES, A. R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo.** Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis - SC, p.153, 2008.

Fotografia. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/coco/fruto>>. Acesso em: 19 de jun. de 2014.

Fotografia. Disponível em: <<http://coqueiro-anao.blogspot.com.br/2013/05/tipos-de-cultura-do-coqueiro-anao.html>>. Acesso em: 19 de jun. de 2014.

Principais constituintes, propriedades e processo de obtenção da gasolina. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/gasolina>>. Acesso em: 14 de jun. de 2014.

Óleo Diesel. Disponível em: <<http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/manutencao/combustveis>>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

Coco (*Cocos nucifera L.*). Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coqueiro>>. Acesso em: 14 de jun. de 2014.