



Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu*
Especialização em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis

Dalton Gomes do Amaral

**USO DE PLANTAS ORNAMENTAIS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS
CONTAMINADOS COM PETRÓLEO.**

Nilópolis-RJ
2017

Dalton Gomes do Amaral

**USO DE PLANTAS ORNAMENTAIS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS
CONTAMINADOS COM PETRÓLEO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof^a.Ms. Denise da Silva Martins

Nilópolis-RJ
2017

A485u Amaral, Dalton Gomes do

O uso de plantas ornamentais na fitorremediação de solos contaminados com o petróleo / Dalton Gomes do Amaral; orientador: Denise da Silva Martins – Nilópolis, RJ: IFRJ, 2017.

40 f. : il. ; 30 cm.

Trabalho de conclusão de curso (pós-graduação) - Instituto Federal Rio de Janeiro - IFRJ, Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão Ambiental, 2017.

1. Fitorremediação. 2. Solos - Petróleo. 3. Microrganismo. 4. Plantas ornamentais. 5. Petróleo – óleo residual. I. Martins, Denise da Silva, **orient.** II. IFRJ. III. Título.

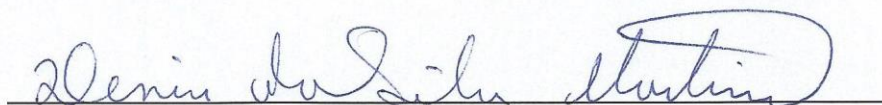
CDU 631.462: 665.61

Dalton Gomes do Amaral

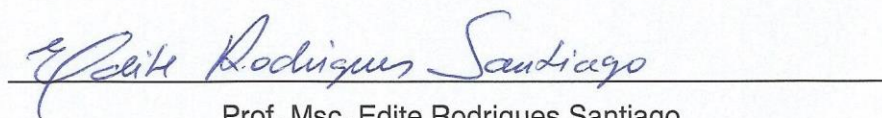
**USO DE PLANTAS ORNAMENTAIS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS
CONTAMINADOS COM PETRÓLEO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos
requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista em
Gestão Ambiental.

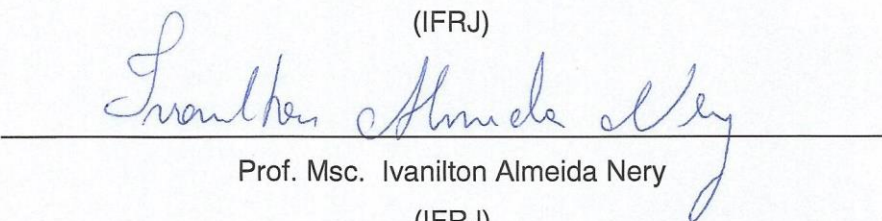
Data de Aprovação: 10/03/2017



Prof^a. Msc. Denise da Silva Martins
(IFRJ - Orientadora)



Prof. Msc. Edite Rodrigues Santiago
(IFRJ)



Prof. Msc. Ivanilton Almeida Nery
(IFRJ)

Nilópolis-RJ

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, força, sabedoria, pelas oportunidades que me foram dadas e pelo privilégio de ter amigos e demais entes queridos que me apoiaram ao longo dessa trajetória, sem deixar que eu desanimasse e me dando todo o suporte necessário.

Agradeço a minha esposa Julia pela confiança, incentivo, amizade, por me ensinar a ser perseverante, por estar sempre ao meu lado, pela paciência e compreensão a mim dedicadas. A minha irmã Elaine pelo suporte, pois, quando sempre precisei, ela sempre esteve disposta a me ajudar. A minha mãe Cirea e aos meus irmãos Daiane, Elias e Elton.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio, principalmente os da turma de pós-graduação, lato senso - especialização em gestão ambiental, Amanda, Sara, Marcelo, Gabriel, Juliana, Mariana e Gisele.

Agradeço imensamente a minha orientadora Denise Martins pela paciência e pelos conselhos e ensinamentos, sempre muito atenciosa cumprindo com muito êxito o papel de orientação

Agradeço toda a equipe da coordenação do curso de pós-graduação do IFRJ em Nilópolis, pela dedicação a mim e aos demais alunos, que com certeza faz toda a diferença.

RESUMO

Este trabalho efetuou uma comparação entre duas diferentes espécies de plantas ornamentais com o propósito de observar a aptidão que cada uma tem na fitorremediação de amostras de solos contaminadas com petróleo. No ensaio experimental foram testadas as espécies *Ixora coccinea* e *Duranta repens*. As mudas, portando altura média entre 15 e 21 cm, após serem alocadas em vasos Nutriplan N°02, foram submetidas à aplicação de teores de petróleo correspondentes a 3% e 6%. Simultaneamente foram feitas aplicações dos mesmos teores em vasos com amostra de solo, porém sem plantas, para serem empregados como controle, ou seja, sem que haja nenhuma influência das plantas na degradação do petróleo. A rega foi controlada através de um recipiente disposto para recolher o líquido percolado, para que não houvesse perda de óleo residual.

Em cada coleta efetuada foi observado que, após a contaminação, além da imediata impermeabilização da amostra de solo, houve uma redução ou mesmo a paralisação do crescimento das duas espécies, com a abscisão brusca de 90% das inflorescências da espécie *Ixora coccinea* nos primeiros 7 dias. Contudo, desde a contaminação até a etapa de coleta, não foi identificado morte de nenhuma planta.

A extração do óleo residual de petróleo nas amostras foi efetuada através do método gravimétrico de óleos e graxas, por meio do extrator Soxhlet. A espécie *Duranta repens* se destacou como a mais promissora, dentre as duas testadas, pois esta apresentou uma maior taxa de degradação ou fitoextração de petróleo de cada amostra durante todo o período de teste, principalmente nas amostras contaminadas por teores relativos a 3% de contaminante.

Palavras chave: fitorremediação, solos, petróleo, microrganismo, plantas ornamentais, petróleo, óleo residual.

ABSTRACT

This term paper compared two different species of ornamental plants with the purpose of observing the aptitude that each one has in the phytoremediation of soil samples contaminated with petroleum. In the experimental trial the species *Ixora coccinea* and *Duranta repens* were tested. The seedlings, with a mean height between 15 and 21 cm, after being placed in Nutriplan No02 pots, were submitted to the application of oil contents corresponding to 3% and 6%. At the same time, the same contents were applied to pots with soil samples, but without plants, to be used as control, that is, without any influence of the plants in the degradation of the oil. The watering was controlled through a vessel arranged to collect the percolated liquid, so that there was no loss of residual oil.

In each assay, it was observed that, after contamination, besides the immediate waterproofing of the soil sample, there was a reduction or even paralyzation of growth of the two species, with abrupt abscission of the inflorescences of the *Ixora coccinea* species of 90% in the first 7 days. However, from contamination to the collection stage, no plant death was identified.

The extraction of the residual petroleum oil in the samples was done through the gravimetric method of oils and greases, using the Soxhlet extractor. The species *Duranta repens* stood out as the most effective among the two tested, because of presented higher rate of degradation or phytoextraction of petroleum from each sample during the whole test period, especially in samples contaminated with 3% contaminants.

Keywords: phytoremediation, soils, petroleum, microorganism, ornamental plants, oil, waste oil.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
REVISÃO DE LITERATURA	10
PETRÓLEO	13
BIORREMEDIAÇÃO	15
FITORREMEDIAÇÃO	16
PINGO DE OURO (<i>Duranta repens</i>)	19
IXORA MIDI (<i>Ixora coccinea</i>)	20
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GERAL:	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	21
MATERIAIS E MÉTODOS	21
METODOLOGIA	25
CRONOGRAMA	27
ANÁLISE DE ÓLEOS E GRAXAS	27
RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	38

INTRODUÇÃO

Através dos recentes tratados políticos internacionais que discorreram sobre a temática relacionada à preservação da natureza e ao desenvolvimento sustentável, houve um aumento natural do interesse da população mundial em questões relacionadas ao meio ambiente, principalmente no que se refere à poluição causada pelos lançamentos de resíduos oriundos de atividades industriais, seja na forma sólida, semi-sólida, líquida e gasosa, ao meio ambiente (FREITAS 2009). Simultaneamente a isso, algumas empresas vêm adaptando sistemas de gestão ambiental em seus processos buscando, além de atender as exigências legislatórias, a construção de um renome comercial para atrair investidores e clientes que buscam parcerias com empreendimentos que promovem suas atividades preocupando-se com a qualidade e a preservação do patrimônio ambiental. No entanto, apesar da pressão de órgãos de proteção do meio ambiente, de Organizações Não Governamentais (ONGs), da mídia e a crescente preocupação humana, ainda são corriqueiros os casos em que as necessidades de ordem econômicas decorrentes de operações industriais se sobressaem em detrimento da preservação do meio ambiente e busca por um desenvolvimento sustentável.

A atividade industrial, segundo BRITO *et al* (2004), é a grande vilã responsável pela poluição do meio ambiente por intermédio de emissões gasosas e descarte de rejeitos de forma inadequada à natureza tornando-os potenciais contaminantes do solo e da água subterrânea. Dessa forma há um comprometimento não só, com a qualidade dos recursos ambientais, mas também com a saúde humana.

Durante o século XX ocorreram graves acidentes industriais que mobilizaram a opinião pública, e entre um dos desastres ambientais marcantes, podemos destacar a catástrofe ecológica sucedida em 24 de março no Alasca, onde um navio-tanque atingiu um recife ao se desviar de um *iceberg* gerando um vazamento de 44 milhões de litros de petróleo que atingiu uma área de 260km² aproximadamente, esse caso resultou na morte milhares de animais entre peixes, leões-marinhos e baleias.

Uma ferramenta que busca privilegiar métodos alternativos de operações industriais e comerciais que levam em consideração a preservação do meio ambiente é a gestão ambiental, que vêm ganhando espaço e aparece nesse cenário, acompanhando de forma participativa, desde a extração da matéria prima até a obtenção do produto final visando promover um bem econômico, evitando a geração de danos ambientais e, se necessário, lançando mão de técnicas de remediação em uma eventual situação de impacto ambiental negativo estabelecido.

O presente trabalho busca adentrar em uma área específica da gestão ambiental, a qual se trata da recuperação de impacto ambiental negativo oriundo de resíduo industrial. Com a comparação de duas espécies de plantas ornamentais na fitorremediação de amostras de solo submetidas a poluentes orgânicos, tem como propósito fornecer informações que possam contribuir para trabalhos experimentais sucessores, buscando o fortalecimento de atributos tecnológicos utilizáveis em ações mitigadoras de possíveis impactos ambientais negativos provocados por contaminação de petróleo e seus derivados no solo.

REVISÃO DE LITERATURA

Segundo BARBIERI, (2004), a Gestão Ambiental pode ser entendida como as diretrizes e atividades administrativas e operacionais, tais como, planejamento, direção e controle de recursos, que buscam obter efeitos positivos sobre os recursos naturais, prevenindo ou reduzindo os problemas ambientais causados pelas ações do homem.

Em se tratando de legislação ambiental no Brasil, a Resolução do CONAMA 273/2000 considera que toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais. Dispõe ainda que os vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar. Os vazamentos de petróleo e seus derivados vêm aumentando significativamente nos últimos anos, o que acarreta em risco de incêndio pelo fato de que parte desses estabelecimentos localiza-se em áreas povoadas.

Podemos inferir também sobre esta resolução, que as áreas contaminadas por intermédio de vazamentos devam ser remediadas, ou seja, a instituição responsável, sem prejuízo de outras penalidades cabíveis, deverá intervir com ações mitigadoras com o intuito de recuperar o dano ou amenizar a interferência ambiental negativa.

Em caso de acidentes ou vazamentos que representem situações de perigo ao meio ambiente ou a pessoas, bem como na ocorrência de passivos ambientais, os proprietários, arrendatários ou responsáveis pelo estabelecimento, pelos equipamentos, pelos sistemas e os fornecedores de combustível que abastecem ou abasteceram a unidade, responderão solidariamente, pela adoção de medidas para controle da situação

emergencial, e para o saneamento das áreas impactadas, de acordo com as exigências formuladas pelo órgão ambiental licenciador. Os responsáveis pelo estabelecimento, e pelos equipamentos e sistemas, independentemente da comunicação da ocorrência de acidentes ou vazamentos, deverão adotar as medidas emergenciais requeridas pelo evento, no sentido de minimizar os riscos e os impactos às pessoas e ao meio ambiente. (Art. 8º CONAMA 273/2000).

Apesar do notório aumento da preocupação ambiental, ainda é explícito que há uma carência de leis específicas que dispõe sobre determinados tipos de contaminação no meio ambiente. Assim como afirma Bento (2005), os acidentes ambientais causados por petróleo e seus derivados geralmente se dão por perdas e rompimentos de ductos, ou por acidentes ocorridos no seu transporte, é inegável a necessidade de ampliação do conjunto de leis para abranger principalmente os acidentes que obtêm o potencial de provocar contaminações do solo e lençol freático, como por meio de fissuras em reservatórios em postos de combustíveis e oleodutos, e derramamentos em transportes terrestres de derivados de petróleo. Grande parte da legislação vigente a respeito do assunto limita-se às águas sob jurisdição nacional, zonas portuárias, clubes náuticos e zonas costeiras como o caso do decreto no 4.871, de 6 de novembro de 2003 (combate à poluição por óleo em águas nacionais), a Resolução CONAMA nº. 293/01 (BRASIL, 2001), a Lei nº. 9.966/00 (conhecida como “lei do óleo”, de 28 de abril de 2000)

Um destaque para um dos acidentes mencionados acima está na consequência da ação de furto de gasolina e nafta em oleodutos. Esse tipo de crime, ao patrimônio privado e ambiental concomitantemente, tem sido evidenciado de forma cada vez mais freqüente, como a tentativa de furto em um duto da Transpetro, ocorrido em 26 de outubro de 2016, na Vila Jacuí, distrito da zona leste cidade de São Paulo, onde, além do vazamento, houve remoção de 54 moradores do local devido aos possíveis danos à saúde¹.

¹ O endereço eletrônico da reportagem é: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/10/1826397-grupo-causa-vazamento-de-nafta-ao-tentar-furtar-duto-da-petrobras-em-sp.shtml>

Figura1: Vazamento de nafta em duto da Transpetro.



Fonte: <http://www1.folha.uol.com.br>

De acordo com Castro (2010) o derrame de petróleo e seus derivados no solo se dão principalmente através de rompimento de oleodutos, explosões de poços, perfurações ou corrosões de tanques de combustível. Os problemas ambientais estão presentes em todo o processo da indústria petrolífera. As ameaças vão desde a fase de exploração e perfuração até o destino final. O aumento nos últimos anos do consumo mundial desses compostos orgânicos sintéticos, levando em consideração o seu potencial de contaminação das águas, solos e ar, vem preocupando cada vez mais os órgãos de proteção ambiental. (VIANA *et.al.*, 2011).

Todas as etapas que compõem a cadeia produtiva do petróleo, o transporte, a exploração, a produção em terra e a comercialização são as que potencialmente podem vir a poluir os solos. (RIZZO 2008).

Os derivados de petróleo, e seus diversos componentes, possuem diferentes formas de dispersão uma vez que atingem o solo. A propagação do líquido depende de vários fatores, dentre eles, Hillel (1988) e Abriola (1988) destacam os seguintes:

- A quantidade e o tipo de líquido oriundo de vazamentos ao solo.
- As características granulométricas, químicas e biológicas do solo.
- As características litoestatigráficas e hidrogeológicas do sistema sub-superficial do solo.
- A proximidade do lençol freático.

Existem possibilidades de tratamentos físicos para extrair os contaminantes residuais em consequência dos vazamentos, sem que se promova a degradação do solo ou possa mudar suas características químicas, no entanto, é um processo extremamente oneroso. De acordo com Alexander (1994), as ações de remediação da área contaminada utilizando métodos biológicos tem se mostrado promissoras, principalmente pela simplicidade e baixo custo de implantação quando comparado com outras tecnologias alternativas.

Almeida (2009) destaca ainda que pequenas contaminações decorrentes de lavagem de motores, tanques de armazenamentos e dos efluentes líquidos gerados em refinarias de petróleo são fontes de poluição pontuais, porém tão freqüentes que são equiparáveis, em nível de importância, aos acidentes que atingem maiores proporções.

PETRÓLEO

O petróleo, substância oleosa, inflamável, com cheiro característico, em geral, menos denso que a água, e com cor variando entre o negro e o castanho escuro, podendo ser encontrado na natureza sob rochas sedimentares denominadas popularmente como rochas reservatórios, é proveniente da decomposição de material orgânico sob condições específicas de temperatura e pressão (VILAS, 2012). Esta substância, segundo Tonini *et al.*,(2010), é formada por uma mistura complexa de 90% de hidrocarbonetos, que são compostos formados predominantemente de hidrogênio e carbono, os alifáticos ou aromáticos, e em menores quantidades, por compostos não hidrocarbônicos e outros componentes orgânicos, alguns constituintes organometálicos, especialmente complexos de vanádio e níquel. Sua composição varia em função da localização geográfica e das condições físicas, químicas e biológicas que o originaram. As características do petróleo podem variar também conforme a inclusão ou não de elementos químicos, tais como; o enxofre, o nitrogênio, o oxigênio e alguns metais. A composição química do petróleo, ou seja, as diferentes famílias de hidrocarbonetos presentes no mesmo é o que caracteriza o tipo de petróleo.

Os tipos de hidrocarbonetos predominantes no petróleo podem ser: parafínicos, naftênicos e aromáticos. Esses hidrocarbonetos podem prognosticar a forma que será o processamento do petróleo (DROZDOVA *et al.*, 2013). Quando em seu estado bruto, como foi extraído, o petróleo possui reduzidas aplicações para o ser humano, ou seja, este deve passar pelo processo de refino para que possa haver a separação das frações que o compõe formando assim produtos desejáveis como, gasolina, diesel, nafta, etc. (MARIANO

2005). Após o refino o petróleo passa a adquirir inúmeras finalidades, como a obtenção de combustíveis, medicamentos, solventes, óleos lubrificantes e outros. Há três mil anos aproximadamente o petróleo já era um bem utilizado na construção de castelos e embarcações, na confecção de múmias, no processo de cura de doenças de pele, na iluminação e em outras atividades (CRAPEZ *etal*,2009).

Quando queimado, o petróleo libera dióxido de carbono e, junto com a queima de carvão, a sua combustão pode ser considerada a maior contribuinte para o aumento do CO² atmosférico e o agravamento do efeito estufa. Através dessa crescente preocupação com o impacto ambiental negativo oriundo do petróleo e seus derivados a biorremediação é uma tecnologia que está em ascensão, pois pode ser entendida como um processo que promove a degradação bioquímica dos contaminantes através da ação de microrganismos presentes ou adicionados no local de contaminação (BERNOTH *et al.*, 2000).

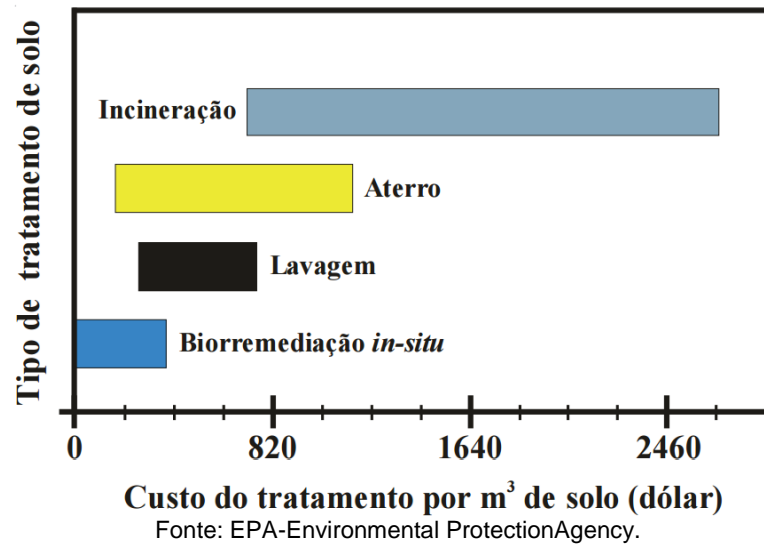
A contaminação de solos por petróleo e seus derivados tem sido uma das principais problemáticas ambientais nos últimos anos, tendo em vista a crescente demanda mundial energética, contudo esta matéria prima representa uma complexidade muito grande de enumerados compostos, o que dificulta a eficácia dos métodos de remediação. A produção de petróleo no Brasil foi intensificada após a descoberta de poços petrolíferos em toda costa brasileira na camada pré-sal. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP) a produção de petróleo em maio de 2015 foi de 2,412 milhões de barris/dia, cerca de 10,2% a mais que no mesmo mês do ano anterior. A produção do pré-sal no mesmo período foi de 726,4 milhares de barris/dia (ANP, 2015).

Os métodos de tratamento mais utilizados na indústria de petróleo são corriqueiramente divididos em métodos físicos (extração de vapores no solo), químicos (oxidação química *in-situ*), e biológicos (biorremediação) (KHAN *et al.*,2004). No entanto, nos processos de tratamento devem-se levar em conta algumas variáveis como; a condição física e química do local a ser descontaminado, o nível de concentração do contaminante e o tempo necessário para a remoção ou degradação do composto poluente.

D'Annibale *et al.*, (2006), afirmam que o tratamento biológico consiste em um método mais seguro, eficiente e de menor custo a ser aplicado na remediação de solos contaminados por compostos orgânicos, quando comparados aos métodos físicos e químicos. Este tratamento é fundamentado no potencial dos microrganismos em degradar esses compostos, denominado biodegradação. Esta tecnologia quando é aplicada buscando uma remediação ambiental é denominada de biorremediação.

A figura 2 a seguir mostra o valor aproximado do custo de alguns métodos de tratamento para cada metro cúbico (m³) de solo remediado. A incineração destaca-se como o método com o custo mais elevado podendo chegar a aproximadamente 2.665 dólares para cada m³ de solo tratado.

Figura 2: Comparação entre os custos dos métodos de remediação.



BIORREMEDIAÇÃO

Tonini *et al.*,(2010) definem a biorremediação como o processo que utiliza biotecnologia para acelerar e transformar poluentes em produtos menos agressivos ao meio ambiente. O objetivo então é a utilização do metabolismo de microrganismos para eliminação rápida de poluentes, para reduzir sua concentração para níveis aceitáveis, transformá-los em compostos de baixa toxicidade, ou mesmo mineralizá-los completamente.

De acordo com Bento *et al.*,(2003), as técnicas de biorremediação incluem: a utilização de microrganismos do próprio local que são denominados de autóctones, sem qualquer interferência de tecnologias ativas de remediação (biorremediação intrínseca ou natural); a adição de agentes estimulantes como nutrientes, oxigênio e biossurfactantes (bioestimulação); e a inoculação de consórcios microbianos enriquecidos (bioaumento). Os processos baseiam-se nas atividades aeróbicas ou anaeróbicas de microrganismos denominados “petrófilos”. Assim, vários tipos de microrganismos utilizam vias bioquímicas complexas para transformar os hidrocarbonetos em intermediários comuns do seu catabolismo e, a partir daí, em fonte de carbono e energia para seu crescimento TONINI *et al.*, (2010). A biorremediação se mostra então como uma ferramenta às empresas, principalmente as relacionadas com consultorias e remediação ambiental, como opção para a reabilitação de áreas contaminadas.

Conforme a definição formulada por Mariano (2006), a biorremediação pode ser classificada como "*in-situ*" ou "*ex-situ*". A "*in-situ*" é realizada na própria área onde se deseja descontaminar e possui a vantagem de ser menos onerosa, pois não há custos requeridos por transporte e armazenamento do material contaminado e menos distúrbios ambientais.

Na biorremediação "*ex-situ*" o solo é transportado até a unidade de tratamento. Geralmente através da escavação ou bombeamento de água. O processo "*ex-situ*", de modo geral, emprega o uso de biorreatores ou algum outro mecanismo que busca controlar as variáveis ambientais, porém, deste modo, há um aumento significativo no custo da operação. MARTINS *et al.*,(2003).

FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma área da biorremediação onde se utilizam plantas como agentes biológicos responsáveis pela biodegradação do poluente alvo. Essa técnica possui um elevado potencial de utilização, uma vez que, possuem vantagens principalmente com relação custo benefício quando comparadas com e outras técnicas de descontaminação. De acordo com os informes de Cole *et al.* (1995), Cunningham *et al.* (1996) e Vose *et al.* (2000), podemos destacar as seguintes vantagens da fitorremediação:

- Baixo custo, pois as práticas convencionais envolvem a remoção do solo para realizar o tratamento.
- As plantas são mais simples de serem monitoradas
- Na maioria das situações os equipamentos e maquinário requeridos para a fitorremediação são semelhantes aos utilizados em atividades agrícolas, logo quando há necessidade de realizar essa técnica em meio rural essa particularidade pode reduzir o custo.
- Nos casos em que a biodegradação dos compostos orgânicos poluentes forem removidos restando apenas CO₂ e H₂O não há preocupação em remover as plantas fitorremediadoras da área, no entanto este procedimento não cabe quando se trata de contaminação por metais pesados
- As características físicas e biológicas do solo são preservadas ou até melhoradas
- As plantas podem ser incorporadas ao solo aumentando o conteúdo de matéria orgânica.
- No caso de plantas da família das leguminosas há promoção da fixação biológica de nitrogênio atmosférico e sua incorporação ao solo.

- Plantas podem ajudar no controle da erosão eólica ou hídrica.
- As plantas reduzem a percolação de água contaminada no perfil do solo em direção ao lençol freático.
- Utilização de plantas no local evita o tráfego pesado e escavações além de melhorar a estética.
- Possui melhor aceitação pública no geral.

A fitorremediação não é uma técnica ideal para todos os casos de contaminação Narayanan *et al.* (1996), Cunningham *et al.* (1996), Miller (1996) e Macek *et al.* (2000), destacam algumas desvantagens desse método:

- A complexidade na escolha de uma espécie de plantas para atuar como fitorremediadora, especialmente quando o contaminante se trata de resíduos de herbicida de amplo espectro de ação.
- Longo período de tempo até que se consiga obter um nível satisfatório de descontaminação
- Como toda planta, a selecionada para fitorremediar estará sujeita a condições climáticas e edáficas adversas que podem interferir negativamente no seu desenvolvimento.
- O agente contaminante deve estar disperso entre a zona de alcance do sistema radicular da planta fitorremediadora.
- Altos níveis do contaminante no solo podem impedir a introdução de plantas na área contaminada.
- Em se tratando de compostos orgânicos, as plantas podem absorver e introduzir determinados compostos em seu metabolismo, o que não significa que serão integralmente mineralizados.
- Potencial de contaminação da cadeia alimentar.
- Em casos de remoção das plantas, há complexidade na destinação da biomassa vegetal gerada
- Eventualidade de a planta fitorremediadora tornar-se uma planta invasora

A seguir, destacamos alguns dos principais métodos de fitorremediação encontrados na literatura.

Fitoextração: neste processo ocorre a absorção das substâncias contaminantes pelo sistema radicular, e a acumulação destes no tecido da planta fitorremediadora (SUSARLA *et al.*, 2002; ANDRADE *et al.*, 2007).

Fitodegradação: é a degradação ou mineralização dos compostos poluentes que foram absorvidos pela planta fitorremediadora, este processo ocorre intracelularmente pela ação metabólica de enzimas específicas. Pode ocorrer também a degradação de poluentes na zona radicular, externa, através de liberação de exsudatos com ação catalítica pela planta (U. S. EPA, 2004).

Bioestimulação: consiste em estimular o desenvolvimento de uma população de microrganismos nativos capazes de degradar certos tipos de poluentes (SEABRA, 2008). Esta técnica promove um aumento na atividade dos microrganismos que irão agir sobre compostos tóxicos transformando-os em produtos neutros que não irão agredir o meio ambiente (MESQUITA, 2004).

De acordo com as necessidades físico-químicas da microbiota a adição de agentes estimulantes como nutrientes, biossurfactantes e oxigênio (bioventilação) podem ser utilizados para melhorar a eficiência da atividade microbiana em relação à biodegradação dos poluentes (ALMEIDA, 2009). Contudo, uma ressalva deve ser feita no que diz respeito à utilização de substâncias bioestimulantes ou mesmo à adição de microrganismos exógenos em solos tipicamente brasileiros. Até junho de 2007, era proibida a utilização destas técnicas em quaisquer condições e localizações dentro do território brasileiro. No entanto, em 22 de junho de 2007, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado) publicou uma normativa autorizando a inoculação de microrganismos de forma restrita ao estado de São Paulo. Dentre as regras a serem seguidas, destaca-se a norma técnica da CETESB nº L1.0 22, de junho de 2007, que trata, entre outras, sobre a utilização de microrganismos e produtos biotecnológicos na remediação de solos e de águas (CETESB, 2007b). Essa concessão, ainda recente, reflete em algumas empresas que estão buscando expandir o número de unidades de tratamento biológico em solos contaminados. Podemos destacar como empreendedores do ramo, representantes da iniciativa privada, as empresas Sapotec, BMA ambiental e Tecnohidro.

A justificativa para a utilização de plantas ornamentais neste trabalho está em sua característica de potencial operacional, pois se trata de um tipo importante de vegetal superiore não inserida na cadeia alimentar do homem, conseqüentemente torna-se de crucial importância se puderem ser aplicadas na fitorremediação de solos contaminados. Assim, usando plantas ornamentais para a remediação de ambientes contaminados tem um

propósito significativo e realista, que pode definitivamente abrir um novo caminho para fitorremediação, sem que haja uma preocupação com descarte da biomassa produzida.

A *Duranta repens* e a *Ixora coccinea* foram as duas plantas selecionadas para verificação da eficiência na fitorremediação das amostras de solos selecionadas, pois além de serem plantas de interesse ornamental e bastante utilizadas no paisagismo, se desenvolvem bem em clima quente e úmido e em condições de alta luminosidade apresentam rápido enraizamento e são consideradas razoavelmente rústicas, exigindo poucos cuidados no seu cultivo e manutenção (BITENCOURT, 2004). Outra característica desejável que vem a ser encontrada nessas espécies foi a capacidade de propagação vegetativa através de estacas, desta forma, pode-se obter clones de uma mesma planta matriz e desnortear a contribuição da expressão gênica para justificar os diferentes comportamentos fisiológicos oriundos da condição de poluição por petróleo.

PINGO DE OURO (*Duranta repens*)

Pertencente a família Verbenaceae e originária da América Latina, a *Duranta repens* (figura 4) está sendo amplamente utilizada no Brasil com grande utilização em projetos paisagísticos compondo cenários de praças e parques públicos e privados. Isso se deve à adaptação que apresenta quanto às condições edafoclimáticas, além da sua folhagem bastante apreciada. Essa espécie é popularmente conhecida como pingo-de-ouro, sendo uma planta de porte arbustivo, lenhosa, com altura até 1,5 metros, de ramagem densa, apresentando folhas de cor amarelo-dourado, principalmente nas folhas jovens, sendo muito utilizada em bordaduras e renques. A propagação da *D. repens* tem sido realizada de forma empírica principalmente pelo processo de estaquia, embora as informações técnicas na literatura quanto ao tipo de estaca e necessidade de uso de auxinas exógenas ainda sejam muito escassas (LORENZI, 2001).

Figura 4: *Duranta repens* (pingo – de – ouro)



Fonte: blog Parque Ecológico Rochdale

IXORA MIDI (*Ixora coccinea*)

Um arbusto lenhoso e muito ramificado que pode chegar a 2,5 metros de altura, a *Ixora coccinea* (figura 5) é uma planta originária das Índias orientais e Malásia, pertence à família Rubiaceae, que compreende cerca de 500 gêneros e aproximadamente 7.000 espécies e considerada uma das maiores famílias de angiospermas. Possuem folhas grandes ovais acuminadas, cor verde-escuras, coriáceas e brilhantes, quase sem pecíolo, organizadas de forma opostas duas a duas e devido a suas grandes inflorescências vermelhas, que estão presente praticamente o ano todo, é extremamente empregada no paisagismo urbano (LORENZI e SOUZA, 1995). A *Ixora coccinea* aprecia locais ensolarados, solo bem adubado, com bom teor de matéria orgânica e bem drenado. O pH 5, ou seja, mais ácido, é considerado o ideal para o seu crescimento e desenvolvimento.

Figura 5: *Ixora coccinea* (ixora)



Fonte: <http://www.floresefolhagens.com.br>

OBJETIVOS

Objetivo geral: Comparar duas espécies vegetais, a *Ixora coccínea* (ixora) e a *Duranta repens* (pingo de ouro), verificando a eficiência de cada uma delas na fitorremediação dos solos, por intermédio da análise de óleo e graxas.

Objetivos específicos: Testar as espécies utilizadas quanto às suas respectivas tolerâncias à contaminação por diferentes níveis de petróleo, buscando uma possibilidade de indicação de espécie para promover futuros projetos de bioremediação *in situ*.

MATERIAIS E MÉTODOS

No período antecedente ao experimento, foi efetuado um teste preliminar com nível de 3% de petróleo para verificar a resistência das seguintes espécies de caráter ornamental (figura 3); murta-de-cheiro (*Murraya paniculata*) (A), lantana (*Lantana camara*) (B), hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*) (C), ixora mini (*Ixora chinensis*) (D), ixora midi (*ixora coccinea*) (E) e pingo-de-ouro (*Duranta repens*) (F), havendo morte apenas da planta lantana.

Figura 3: Teste preliminar com 3% de petróleo.



Fonte: Elaborada pelo autor

A escolha do pingo-de-ouro e da *Ixora midi* se deu pela facilidade na propagação vegetativa assexuada por meio da estaca e pelo seu uso exclusivo como planta ornamental, pois, a murta e o hibisco são reconhecidas também pelas funções terapêuticas.

O experimento foi iniciado no dia 14 de dezembro de 2015, em uma casa de vegetação no Centro de Educação e Justiça Ambiental (CEJA), um anexo da Secretaria de Meio ambiente da Prefeitura de Mesquita- RJ (SEMUAM).

Foram confeccionadas estacas, herbáceas e semi-lenhosas, de *Duranta repens* e *Ixora coccinea* de uma mesma planta matriz. Para o enraizamento mais eficiente das estacas, estas foram submersas durante 10 segundos a uma solução com o hormônio vegetal exógeno ácido indol-butírico (AIB) em concentração de 4.000 mg L⁻¹. O AIB é uma auxina sintética, de grande utilização e possui uma eficaz ação promotora do crescimento de raízes adventícias em estacas (BASTOS, 2006).

Após serem submetidas ao AIB, as estacas foram postas para enraizamento em um substrato composto basicamente de areia e vermiculita.

Figura 6: Confeção de estacas



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 7: Estacas de *Duranta repens*



Fonte: CPT. <https://www.youtube.com/watch?v=xMJhmNv3Gg8>

Devido a alguns fatores ambientais adversos ocorridos durante a condução do experimento, houve a morte de mais de 90% das estacas, inviabilizando assim a continuação do trabalho. Contudo, por não haver mais tempo hábil para realizar uma nova propagação vegetativa por estacas, optou-se então pela aquisição de mudas já estabelecidas.

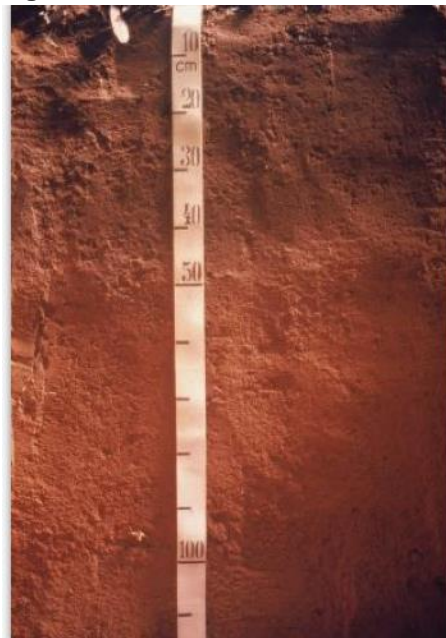
As mudas foram obtidas comercialmente e alocadas em uma área externa de produção vegetal do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), *campus* Nilópolis-RJ. A aquisição destas ocorreu na central de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (Ceasa-RJ). Estas mudas foram produzidas por intermédio da propagação vegetativa, através da confecção de estacas, de uma mesma planta matriz, na Chácara denominada de Bouganvillea, localizada no bairro Ilha de Guaratiba, coordenadas: 22° 59' S, 43° 36'O, situada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro–RJ, onde há predominância da produção e cultivo de diversas espécies de caráter ornamental. Foram utilizados dois tipos diferentes de solos para o enraizamento das estacas, adicionando ainda 10% de matéria orgânica oriunda de húmus de minhoca. Após o enraizamento em casa de vegetação, as plantas foram expostas para rustificação em pleno sol. As classes de solos identificadas foram: Planossolo háplico (figura 8) e Latossolo vermelho-amarelo (figura 9) para o desenvolvimento das espécies *Duranta repens* e *Ixora coccinea* respectivamente. A identificação foi desempenhada por intermédio da interpretação no mapa de solos do Brasil (figura 10), disponibilizado pelo IBGE, análise do tipo de vegetação local, altitude de origem, a análise granulométrica dos horizontes do perfil do solo (seção vertical do solo) e análise química das amostras de solo. As amostras foram recolhidas dos horizontes A, A-B, B-A e B.

Figura 8: Planossolo Háplico



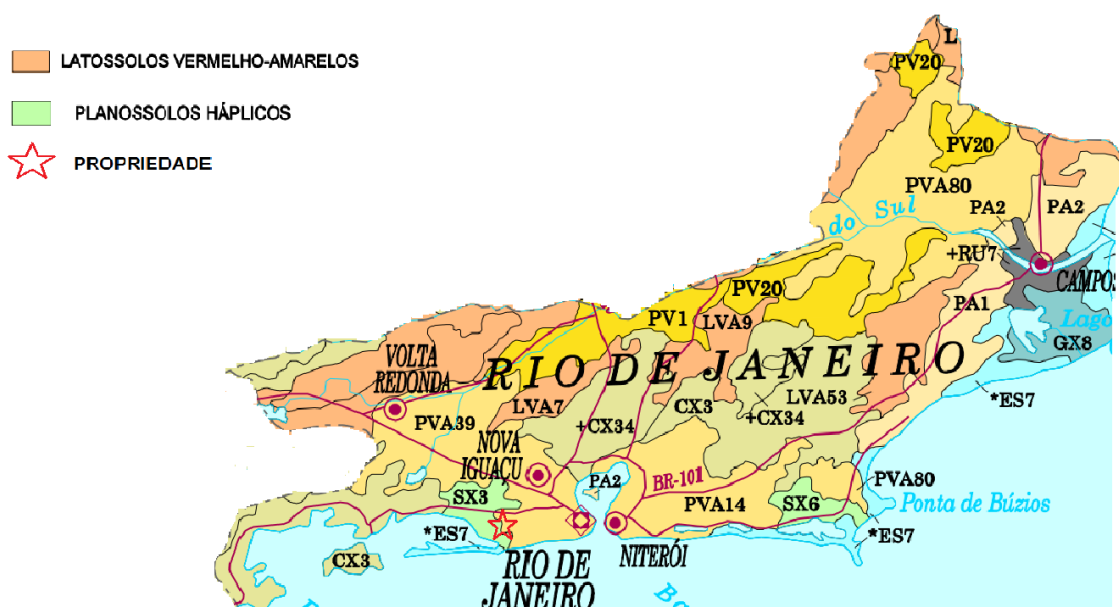
Fonte: <http://www.colecaomateusrosas.com.br/>

Figura 9: Latossolo vermelho-amarelo



Fonte: <http://www.colecaomateusrosas.com.br/>

Figura 10: Mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: <http://www.ibge.gov.br/>

A análise química de solos é uma ferramenta bastante utilizada em campo para que se possam conhecer alguns componentes nutricionais presentes no solo que serão responsáveis pelo desenvolvimento da planta nele estabelecida. Dessa forma é importante efetuar uma análise de solo que represente as amostras em que as plantas foram submetidas, para que um eventual sintoma de anomalia, surgido após a contaminação por petróleo, não se confunda com alguma deficiência nutricional. O resultado da análise de solo para as amostras testadas apresentou dados satisfatórios, destacando-se o pH (potencial Hidrogeniônico) que está dentro da faixa ideal às plantas que é de modo geral, de 5,5-6,5. A ausência do teor de alumínio (Al) é outra característica desejável, pois trata-se de um mineral extremamente tóxico às plantas além de possuir o potencial de tornar o solo mais ácido.

A escolha da ordem dos solos se torna pertinente, principalmente quanto ao Latossolo, pois são de grande abrangência no território brasileiro, e como a proposta do presente trabalho é verificar a existência de uma bioindução da microbiota nativa, nada melhor que trabalhar com um dos solos predominante do país.

As espécies foram adquiridas portando 15 e 21 cm de comprimento médiopara a ixora e o pingo de ouro respectivamente, e transplantadas para vasos plásticos Nutriplan Nº02. Para a contaminação da amostra de solo inserido no vaso, o petróleo utilizado foi

cedido pela Petrobrás – Petróleo Tabit da Plataforma FPSO Cidade de Angra dos Reis/RJ, Brasil.

Delineamento: foram realizados 3 tratamentos com diferentes níveis de adição de petróleo (com 0, 3 e 6% de petróleo – p/v), com 2 coletas em intervalo de 40 dias entre elas, 2 espécies de plantas ornamentais e 2 repetições, somando-se 24 amostras preparadas com plantas, e 2 tratamentos (contendo 0, 3 e 6% de petróleo – p/v) com 2 tempos, 2 repetições sendo com e sem plantas, somando-se 24 amostras preparadas sem plantas (padrão). Deste modo totalizando-se 48 amostras confeccionadas.

Análise de óleos e graxas: Essa análise é obtida utilizando do equipamento Soxhlet. Este aparelho tem as seguintes divisões (figura 13):

- O Extrator: possui tubos laterais que se comunicam com o balão de vidro, funcionando como sifão.
- Condensador
- Balão de vidro

METODOLOGIA

- Adquiriu-se as mudas e transplantou-se em vasos plásticos Nutriplan N°02, colocando um recipiente de polietileno embaixo do vaso para resgatar o volume de fluído percolado resultante da rega.
- Adicionou-se o contaminante no solo (nas concentrações de 3 e 6% p/v) (figura 11).

Figura 11: Adição do contaminante



Fonte: Elaborada pelo autor

- Foi controlada a rega, realizada uma vez ao dia, recolhendo o volume lixiviado e retornando-o novamente à superfície do vaso, para que não se perca qualquer resíduo de petróleo, como se pode observar na figura 12. A lixiviação propriamente dita está envolvida com o arraste vertical, pela infiltração de água, de partículas, dissolvidas ou em suspensão, da superfície do solo para as camadas mais profundas (Andrade *et al.*, 2010).

Figura 12: Recipientes recolhedores de líquido lixiviado resultante da rega diária.



Fonte: Elaborada pelo autor

- Realizou-se a primeira coleta 40 dias após a contaminação e foi determinada a concentração de óleos e graxas no solo pelo método de extração em Soxhlet.
- Realizou-se a segunda coleta 80 dias após a contaminação, e determinou-se a concentração de óleos e graxas do solo.
- Foram correlacionados os dados e expressos em gráficos e tabelas comparando e especulando o motivo do comportamento entre as duas espécies de plantas selecionadas.

CRONOGRAMA

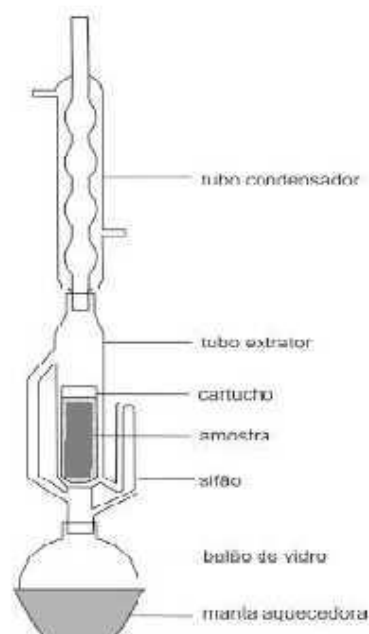
Tabela1: Cronograma experimental

ETAPAS	Jul/16	Ago/16	Set/16	Out/16	Nov/16	Dez/16	Mar/17
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	
Adição de Petróleo			X				
Primeira coleta e extração				X			
Segunda coleta e extração					X		
Análises das plantas e do solo				X	X		
Estudo dos dados						X	
Defesa							X

ANÁLISE DE ÓLEOS E GRAXAS

A amostra é colocada em um cartucho dentro de um filtro de papel dentro do extrator. Coloca-se o solvente no balão e este é aquecido com uma manta aquecedora para que o solvente ferva. Os vapores passam pelo tubo lateral e chegam ao condensador, onde condensam, caindo no extrator. Neste permanece até que seu nível chegue à altura acima do pequeno sifão e retorne ao balão. Estas operações continuam até que seja efetuada a extração total da amostra e tendo-se transferido ao balão toda a substância a se extrair junto com o solvente. (GONÇALVES *et.al.*, 2012).

Figura 13: Aparelhagem Soxhlet



Fonte: SHINZATO (2010)

As análises após as coletas ocorreram nos laboratórios de bioquímica, microbiologia e instrumental do Instituto Federal do Rio de Janeiro, *campus* Nilópolis. Cada etapa da extração de óleos e graxas ocorrida está prescrita a seguir:

- Pesagem dos balões volumétricos que receberão o óleo residual.
- Pesagem de 20g da amostra recém coletada, portando resíduo de petróleo, em balança analítica de OHAUS de precisão 210 gr. 0,0001 (figura 14).
- Maceração da amostra com almofariz e pistilo (figura 15).
- Colocação da amostra em papel filtro e acondicionada no interior do Soxhlet, adicionado 200 mL de solvente (hexano P.A-A.C.S). Este processo obteve duração de 2 horas (equivalentes a 10 ciclos) para cada amostra, com a manta aquecedora registrando 80 °C (figura 16).
- A separação do óleo e solvente foi realizada através do rotar evaporador (figura 17).
- A remoção completa do resíduo de solvente (hexano P.A-A.C.S) foi realizada em estufa a 105°C por 24 horas (figura 18).
- Pesagem dos balões para a quantificação do teor óleo residual extraído em balança analítica de OHAUS de precisão 210 gr. 0,0001.

Figura 14: Pesagem de 20g da amostra de solo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 15: Maceração da amostra de solo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16: Adição de hexano ao Soxhlet.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17: Separação do óleo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18: Secagem final em estufa a 105 °C.



Fonte: Elaborada pelo autor

Após a obtenção do peso inicial e final do balão calculou-se o percentual de Óleos e Graxas (O&G) extraído:

$$O\&G(\%) = \frac{(B-A)}{P} \times 10^2 \times f$$

Onde:

B = Massa em gramas do balão mais o resíduo

A = Massa em gramas do balão vazio

P = Massa em gramas da amostra

f = Fator de umidade

O fator de umidade ou fator de correção (f) é obtido com a secagem das amostras a 40°C e a 105°C. Procedimento realizado de acordo com a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997).

$$"f" = \frac{a}{b}$$

Onde:

a = Massa da amostra seca a 40°C

b = Massa da amostra seca a 105°C

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 19 a seguir trata-se do resultado de análise química das amostras de solos que foram submetidas às plantas, efetuado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (**PESAGRO-RIO**), e indica bons valores de **V%** e **CTC** do solo o que é imprescindível para o bom desenvolvimento nutricional das plantas.

Figura 19: Resultado da análise química de solos ocorrida no laboratório em uma estação experimental da PESAGRO-RIO.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, PESAGRO-RIO															
Alameda São Boaventura, 770 24.123 - Fonseca-Niterói-RJ															
Estação Experimental de Seropédica da PESAGRO-RIO															
Estrada Rio-São Paulo, km 47; BR 465, km 7 – 23890.000, Seropédica, RJ															
Tel/Fax: (021) 3787-0780															
RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO													Data:26/10/16		
Interessado: Denise da Silva Martins															
Endereço:															
Cultura:															
Identificação da Amostra		Textura (Expedita)	pH em água	cmol/dm ³								%		mg/dm ³	
Registro no Laboratório				Al	(H+Al)	Ca	Mg	Na	SB	t	T	V	m	P	K
477/16	A <i>ixora</i>	Argilosa	5,8	0,0	3,6	6,2	2,8	0,80	10,6	10,6	14,2	75,0	0,0	37,0	301
478/16	B pingo de ouro	Argilosa	6,3	0,0	3,5	5,4	2,1	0,90	9,7	9,7	13,2	73,0	0,0	42,0	511
 Agrônoma: Maria Aparecida Prado Responsável pelo Laboratório															
Nota: Unidades: mEq/100 cm ³ = cmol _c /dm ³ e ppm = mg/dm ³															

Fonte: Pesagro-RJ

Desde o momento da contaminação das amostras de solo até a conclusão da segunda coleta foram identificadas algumas ocorrências atípicas que podem estar atribuídas a ação do residual do petróleo sobre o metabolismo fisiológico das plantas analisadas.

O resíduo em questão não teve uma atuação letal às plantas durante o período observado, ou seja, no decorrer dos 75 dias de contato entre o resíduo do petróleo e o sistema radicular das plantas, não houve morte das mesmas. No entanto o crescimento cessou nitidamente e após uma semana houve o abortamento de mais de 90% das inflorescências vermelhas da espécie *Ixora coccinea*. Houve ainda uma imediata impermeabilização do solo da amostra dificultando o percolamento da água oriunda da rega diária (figuras 20 e 21)

Figura 20: Muda de *Duranta repens* após a contaminação.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 21: Mudanças de *Ixora coccinea* após a contaminação



Fonte: Elaborada pelo autor

Os valores em percentagem de óleo residual de petróleo, extraído através do aparelho Soxhlet das amostras contaminadas na primeira coleta, encontram-se a seguir, na tabela 2, considerando que as amostras foram feitas em duplicatas e retirada a média aritmética entre elas.

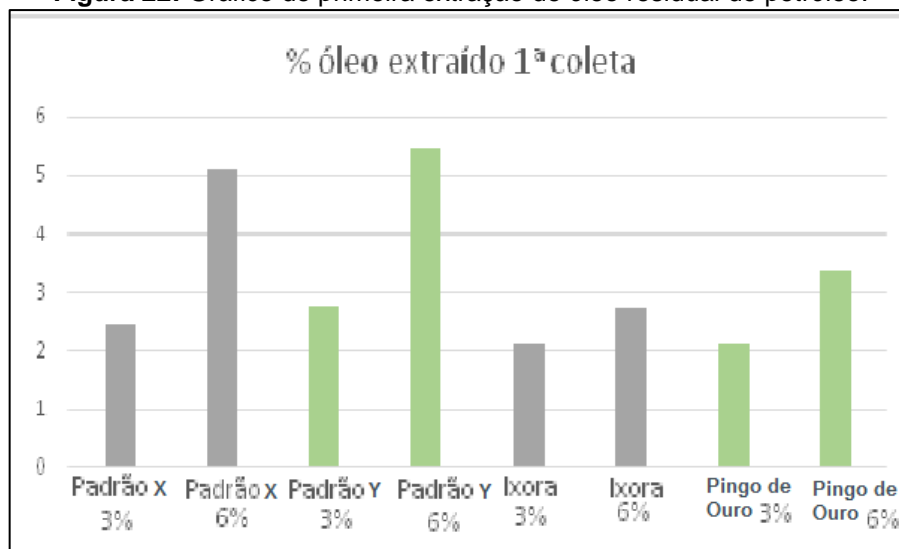
Tabela 2: Resultados da primeira coleta e extração do óleo residual

1ª Coleta		
Amostras	% petróleo	% petróleo média
Padrão 3% <i>Ixora coccinea</i> I	2,631141844	2,454031427
Padrão 3% <i>Ixora coccinea</i> II	2,27692101	
Padrão 6% <i>Ixora coccinea</i> I	5,036634171	5,109117345
Padrão 6% <i>Ixora coccinea</i> II	5,181600518	
Padrão 3% <i>Duranta repens</i> I	2,811650045	2,759503497
Padrão 3% <i>Duranta repens</i> II	2,707356948	
Padrão 6% <i>Duranta repens</i> I	5,199858557	5,47013336
Padrão 6% <i>Duranta repens</i> II	5,740408163	
<i>Ixora coccinea</i> 3% I	2,206961471	2,137942089
<i>Ixora coccinea</i> 3% II	2,068922707	
<i>Ixora coccinea</i> 6% I	2,466122449	2,746205048
<i>Ixora coccinea</i> 6% II	3,026287647	
<i>Duranta repens</i> 3% I	2,055881188	2,135684358
<i>Duranta repens</i> 3% II	2,215487528	
<i>Duranta repens</i> 6% I	2,859808743	3,392251391
<i>Duranta repens</i> 6% II	3,924694039	

*Padrão x: refere-se à amostra de solo (latossolo vermelho-amarelo) sem planta.

*Padrão y: refere-se à amostra de solo (planossolo háplico) sem planta.

A figura 20 representa o gráfico referente aos resultados da tabela 2 acima, onde são comparadas as taxas de petróleo residual extraído das amostras de solo na primeira coleta e seus respectivos controles para as concentrações de 3% e 6%.

Figura 22: Gráfico de primeira extração de óleo residual de petróleo.

*Padrão x: refere-se à amostra de solo (latossolo vermelho-amarelo) sem planta.

*Padrão y: refere-se à amostra de solo (planossolo háplico) sem planta.

A confecção de 2 (dois) tipos de padrões diferentes (X e Y) se remete ao fato de as espécies estarem estabelecidas sobre dois tipos de solos diferentes. Ao observarmos o gráfico, na figura 22 representada acima, e efetuando-se uma comparação apenas entre os padrões, que se refere à amostra de solo contaminado sem planta alguma, encontramos

uma diferença: tanto no padrão 3% quanto no de 6%, houve uma extração menor de óleo residual de petróleo, através do Soxhlet, na amostra de solo do padrão Y contendo planossolo háplico quando comparado ao padrão X contendo latossolo vermelho amarelo. Essa diferença pode estar atribuída às características microbiológicas preexistentes no solo, mesmo sem qualquer bioestimulação por plantas, ou seja, solos diferentes contém quantidades e qualidades diferentes de microrganismos naturalmente, caracterizando uma microbiota própria, uma vez que, não houve inoculação de microrganismos alóctones.

Merki (2006) destaca que, quando se trata de fitorremediação de hidrocarbonetos de petróleo, presume-se que a degradação dos compostos poluentes é predominantemente executada pela atividade microbiana na rizosfera. A ação mecânica do sistema radicular cria um ambiente favorável, principalmente com relação à circulação de oxigênio necessário para a oxidação dos compostos contaminantes.

Ao analisar ainda o gráfico (figura 22) acima notamos que na concentração de 3%, quando comparamos novamente as amostras, desta vez com a planta, observamos que a *Duranta repens* obteve melhor resultado quanto a degradação de óleo comparando com o próprio padrão Y, o que poderia indicar o processo de bioestimulação. No entanto, essa diferença se inverte quando comparamos as amostras de concentração 6%, ou seja, a *Ixora coccinea* obtém um melhor resultado através da menor concentração de óleo residual quando comparada com o próprio padrão X.

Os valores em percentagem de óleo residual de petróleo, extraído através do aparelho Soxhlet das amostras contaminadas na segunda coleta, encontram-se a seguir;

Tabela 3: Resultados da segunda coleta e extração do óleo residual

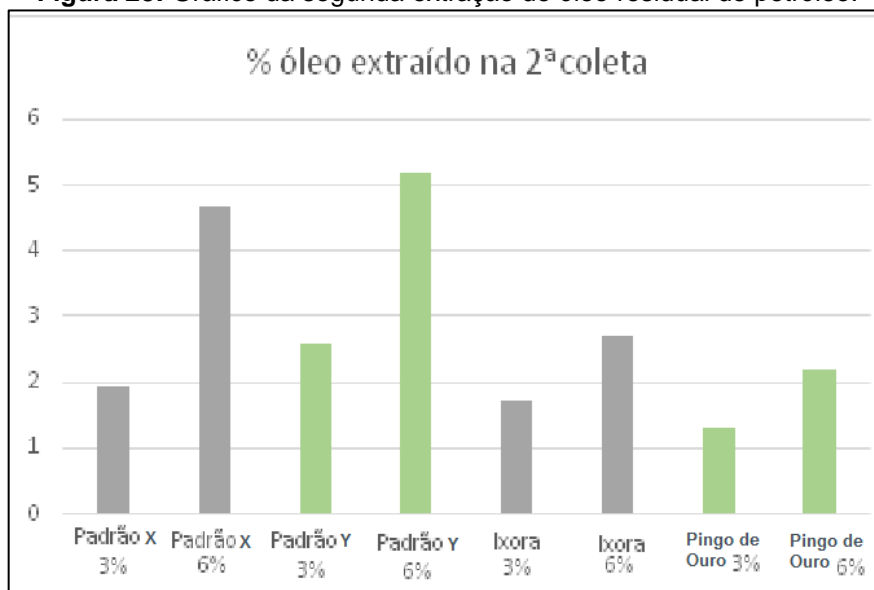
2a Coleta		
Amostras	% petróleo	% petróleo média
Padrão 3% <i>Ixora coccinea</i> I	1,921948769	1,950156203
Padrão 3% <i>Ixora coccinea</i> II	1,978363636	
Padrão 6% <i>Ixora coccinea</i> I	4,797111913	4,656166928
Padrão 6% <i>Ixora coccinea</i> II	4,515221943	
Padrão 3% <i>Duranta repens</i> I	2,725395468	2,569361553
Padrão 3% <i>Duranta repens</i> II	2,413327638	
Padrão 6% <i>Duranta repens</i> I	5,155724466	5,186064126
Padrão 6% <i>Duranta repens</i> II	5,216403785	
<i>Ixora coccinea</i> 3% I	1,686619965	1,728479474
<i>Ixora coccinea</i> 3% II	1,770338983	
<i>Ixora coccinea</i> 6% I	2,8548	2,7148847
<i>Ixora coccinea</i> 6% II	2,5749694	
<i>Duranta repens</i> 3% I	1,365763662	1,314641633
<i>Duranta repens</i> 3% II	1,263519603	
<i>Duranta repens</i> 6% I	2,160583855	2,190760449
<i>Duranta repens</i> 6% II	2,220937042	

*Padrão x: refere-se à amostra de solo (latossolo vermelho-amarelo) sem planta.

*Padrão y: refere-se à amostra de solo (planossolo háplico) sem planta.

A figura 23 a seguir representa o gráfico referente aos resultados da tabela 3 acima, onde são comparadas as taxas de petróleo residual extraído das amostras de solo e seus respectivos controles para as concentrações de 3% e 6%.

Figura 23: Gráfico da segunda extração de óleo residual de petróleo.



*Padrão x: refere-se à amostra de solo (latossolo vermelho-amarelo) sem planta.

*Padrão y: refere-se à amostra de solo (planossoloháplico) sem planta.

Ao observarmos a tabela 3 e respectivo gráfico (figura 23) referentes à segunda coleta, observamos claramente uma menor extração de óleo, pelo Soxhlet, da amostra com *Duranta repens* comparado com a *Ixora coccinea*, tanto em nível de 3% quanto de 6%. Isso representa que ela foi mais eficiente na biodegradação e/ou fitoabsorção.

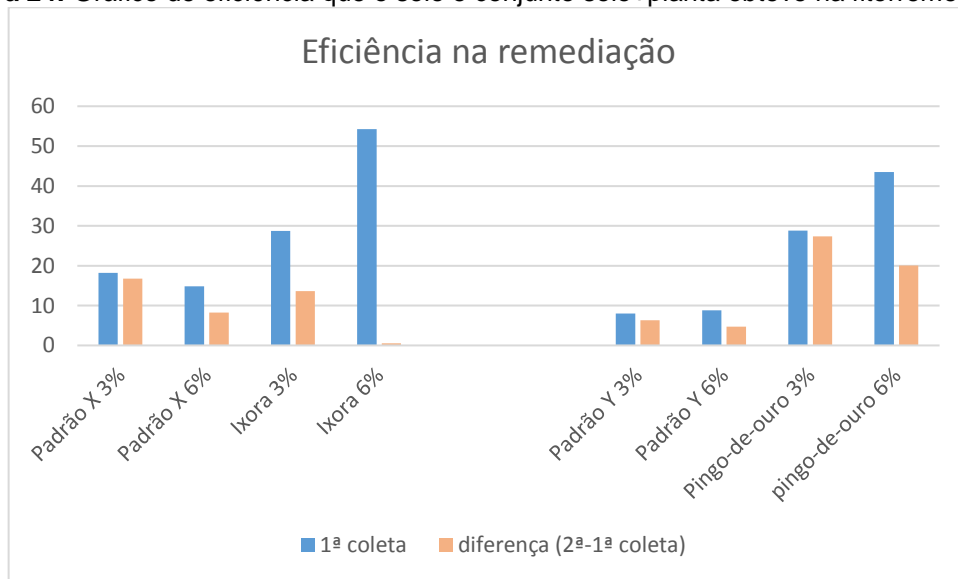
Esses valores contrastam com o resultado da primeira coleta onde a extração, pelo Soxhlet, ao teor de 3% é semelhante entre as duas espécies, já no teor de 6% a *Ixora coccinea* foi mais eficiente biodegradando maior quantidade de óleo. Embora ocorrido esse contraste entre as duas coletas, se compararmos a figura 22 com a figura 23, notamos que o padrão X degradou mais óleo nas duas coletas realizadas quando comparado com padrão Y em todo o período de teste, o que se pressupõe que o latossolo vermelho-Amarelo, onde foi introduzido a *Ixora*, possui uma microbiota mais eficiente em realizar a decomposição do petróleo mesmo sem o auxílio de nenhuma planta. Contudo a degradação do óleo residual no padrão Y durante o período de teste foi baixa, podemos então inferir que os microrganismos presentes no planossolo háptico, onde foi introduzido o pingo-de-ouro, não obtiveram uma atividade tão eficaz na biodegradação sem o auxílio da planta, ou

estavam em uma população de menor densidade. De modo geral a espécie *Duranta repens* se mostrou mais eficiente na remoção do óleo residual da amostra de solo.

Para a contaminação nos teores de 3%, foram extraídos, através do Soxhlet, na primeira e segunda coleta respectivamente 71,1% e 43,8% do contaminante utilizado na amostra com a espécie *Duranta repens*. Contudo, para os mesmos teores de 3%, foram extraídos na primeira e segunda coleta respectivamente 71,3% e 57,7% do contaminante utilizado na amostra com a espécie *Ixora coccinea*. Para 6%, foram extraídos 56,6% e 36,5% da primeira e segunda coleta respectivamente com a espécie *Duranta repens*, e 45,7% e 45,1% da primeira e segunda coleta respectivamente com a espécie *Ixora coccinea*.

O gráfico a seguir (figura 24) complementa os últimos gráficos apresentados, e expressa a eficiência que cada solo e conjunto solo-planta obteve na diminuição do contaminante.

Figura 24: Gráfico de eficiência que o solo e conjunto solo+planta obteve na fitorremediação.



*Padrão x: refere-se à amostra de solo (latossolo vermelho-amarelo) sem planta.

*Padrão y: refere-se à amostra de solo (planossoloháplico) sem planta.

Ao compararmos a ixora e a pingo de ouro aos níveis de 6% observamos claramente que a amostra com ixora cessou bruscamente a atividade de redução do contaminante, enquanto que a amostra com pingo de ouro continuou. Este desempenho foi observado no intervalo entre a primeira e a segunda coleta.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a espécie *Duranta repens* obteve melhores desempenho como planta fitorremediadora, uma vez que, houve uma maior eliminação do óleo residual de petróleo nas amostras durante todo o período de teste, principalmente pela razão do seu padrão Y, contendo planossolo háplico, não ter sido tão eficiente na remoção quanto o padrão X, contendo latossolo vermelho-amarelo, mostrando que houve influência positiva, e que pode ter promovido um aumento da atividade biodegradadora dos microrganismos preexistentes no solo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRIOLA, L.M. *Multiphase Flow and Transport Models for Organic Chemicals: a Review and Assessment*. Electric Power Research Institute, Final Report. Ann Arbor, Michigan, September, 1988. 93p.

ALEXANDER, M. *Biodegradation and Bioremediation*. [S.I]: Academic Press, 1994. 302p.

ALMEIDA, J.A. F. *Princípios Básicos da Agroecologia*. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo23.htm>. Acesso em Mai 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. Rio de Janeiro: ANP, 2015.

BASTOS, D. C.; PIO, R.; SCARPARE FILHO, J. A.; ALMEIDA, L. F. P.; ENTELMANN, F. A.; ALVES, A. S. R. *Tipo de estaca e concentração de ácido indol-butírico na propagação da licheira*. CiênciasAgrotécnicas, Lavras, v. 30, n. 1, p. 97- 102, Janeiro/Feveiro, 2006.

BERNETH, L.; FIRTH, I.; MCALLISTER, P. & RHODES, S. *Biotechnologies for remediation and pollution control in the mining industry*. Miner. Metall. Proc., 17:105-111, 2000.

BITENCOURT, J. *Propagação vegetativa de Duranta repensL.* 31 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004

BRASIL, Lei 9.966 de 28 de Abril de 2000. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 abril. 2000. Ed Extra.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 293, de 12 de Dezembro de 2001. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res29301.html>. Acesso em: abril de 2016

BRASIL, Decreto nº. 4.871, de 6 de Novembro de 2003. *Diário Oficial da União, Poder Executivo*, Brasília, DF, 7 de Novembro, 2003. Ed. 217.

BRITO, N. N. *etal. Utilização de fungos na remediação de efluentes industriais*. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 4., 2004, Rio Claro. Anais... Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2004.

CASTRO, D. N. B. *Estudo em modelo físico 1D e 3D de remediação eletrocinética com uso de surfactante em solo argiloso contaminado com óleo cru*. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CRAPEZ, M.A.C. et al. Biorremediação: tratamento para derrames de petróleo. *Ciência hoje*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 179, p. 32-37, jan./ fev. 2009

CONAMA - Resolução CONAMA 273, de 29 de Novembro 2000. Disponível em: . Acesso <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html> em 2016.

CONAMA - Resolução CONAMA 293, de 12 de Dezembro de 2001. Disponível em: . Acesso <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=290> html em 2016.

- CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A. & SCHWAB, A. P. (1996) - *Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants*. Adv. Agron., v. 56, p. 55-114.
- D'ANNIBALE, A.; ROSETTO, F.; LEONARDI, V.; FEDERICI, F.; PETRUCCIOLI M. (2006) *Role of Autochthonous Filamentous Fungi in Bioremediation of a Soil Historically Contaminated with Aromatic Hydrocarbons*. Applied and Environmental Microbiology
- EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *A Citizen's Guide to Bioremediation, Soil Waste and Emergency Response*, EPA 542-F-01-001, 2001b. Disponível em: <http://www.epa.gov/>. Acesso em 15 mar. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) *Mapa de solos do Brasil*. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf. Acesso em 11 de outubro de 2016.
- FREITAS, J. R. S.R; MAIA, K.M.P. *Um estudo da Percepção Ambiental entre alunos do Ensino de Jovens e Adultos e 1º ano do ensino médio da fundação de ensino de Contagem (FUNEC)- MG*. Sinapse Ambiental, p. 52-77, dez. 2009.
- GONÇALVES, A. G. M; CAVALCANTE, C. M; DINIZ, N. B; JÚNIOR, P.J. E. M; FREITAS, W. A; *Relatório de Química Orgânica Experimental. Extração em Extrator de Soxhlet*. Universidade Federal do Amazonas/UFA, Amazonas, 2012.
- HILLEL, Daniel. *Movement and Retention of Organic in Soil: A Review and a Critique of Modeling*. In: KOSTECKI, P. T., CALABRESE, E. J. *Petroleum Contaminated Soils - Volume 1*. Chelsea: Lewis Publishers, 1988. p.81-86
- MESQUITA, Ana Carla. 2004. *Uso das técnicas de oxidação química e biodegradação na remoção de alguns compostos recalcitrantes*. Universidade Federal do Rio de Janeiro- RJ. Tese Doutorado.
- D. E., & AUREA, L. (2000). *Estacas, E. D. E., Duranta, enraizamento de estacas de Duranta repens Linn "aurea" em função de doses de IBA*, 1-9.
- LORENZI, H.; SOUZA, H.M. *Plantas ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras*, Nova Odessa, São Paulo, Ed. Plantarum, P.1088, p.635, 1995.
- MARIANO, J. B. *Impactos Ambientais do Refino de Petróleo*. 1 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2005
- MARTINS, A., ELAL. *Biorremediação III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas, Rio Claro-SP* Disponível em: www.ceset.unicamp.br/ite/artigos/3fec2401; acesso em 02 de abril de 2017.
- MERKL, N.; KRAFT, R. S.; ARIAS, M. *Effect of the tropical grass Brachiaria brizantha (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf on Microbial Population and Activity in Petroleum-contaminated Soil*. Microbiological Research. Vol. 161, Issue 2006, p 81.
- MILLER, R. R. (1996) - *Phytoremediation*. Disponível em: <https://rtfd.clu-in.org/public/phyto/default.htm>. Acesso: 15 de março de 2017.
- NARAYANAN, M. et al. (1996) - *Experimental and modeling studies of the fate of trichlorethylene in a chamber with alfalfa plants*. 1996. Online. Disponível em <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/home.html>. acesso em 18 jun. 2016.

PEDROZO, M.F.M. *et al. Ecotoxicologia e avaliação de risco do petróleo*. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 246p. 2002.

SEABRA, P. N. *Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo e Derivados. Microbiologia Ambiental* - EMBRAPA. Cap 24, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

KHAN, F. I.; HUSAIN, T.; HEJAZI, R. (2004) *An overview and analysis of site remediation technologies*. Journal of Environmental Management, 71: 95–122

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; McCUTCHEON, S. C. *Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination*. Ecological Engineering. 18 (5), 647-658, 2002.

TONINI, R.M.C.W.; REZENDE, C.E.; GRATIVOL, A.D. *Degradação e Biorremediação de Compostos de Petróleo por Bactérias*. Oecologia Australis, 14(4): 1025-1035, dez. 2010.

TRINDADE, P.V.O. (2002). *Avaliação das técnicas de bioaugmentação e bioestimulação no processo de biorremediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo*. Tese M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, Brasil, 127p.

U.S. EPA *Introduction to Phytoremediation*. EPA 600-R-99-107, Office of Research and Development. <http://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>. 2004.

VERNIER, R. M., & CARDOSO, S. B. (2013). *Influência do ácido-butírico no enraizamento de estacas em espécies frutíferas e ornamentais*. Revista Eletrônica de Educação E Ciência, 03(2), 11–16.

VIANA, E.M. *Fitoextração em solo contaminado com metais pesados*. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

VILAS, T. G. *Identificação de componentes de frações de petróleo através de massas moleculares para formação de modelos moleculares*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.