



INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA AMBIENTAL

**FITORREMEDIÇÃO DE DIFERENTES CONTAMINANTES
DO SOLO**

BETHANIA GONÇALVES DE SOUZA

Rio Verde, GO

2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA AMBIENTAL

**FITORREMEDIAÇÃO DE DIFERENTES CONTAMINANTES
DO SOLO**

BETHANIA GONÇALVES DE SOUZA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho
Coorientador: Dr. Arthur Almeida Rodrigues

Rio Verde - GO
Março, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S729f Souza, Bethania Gonçalves de
FITORREMEDIAÇÃO DE DIFERENTES CONTAMINANTES DO
SOLO / Bethania Gonçalves de Souza; orientador
Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho; co-orientador
Arthur Almeida Rodrigues. -- Rio Verde, 2021.
31 p.

TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Plantas fitorremediadoras. 2. Hidrocarbonetos
contaminantes. 3. Poluição do solo. I. Carvalho
Vasconcelos Filho, Sebastião, orient. II. Almeida
Rodrigues, Arthur, co-orient. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Bethania Gonçalves de Souza
Matrícula: 2016102200740356
Título do Trabalho: Fitorremediação de Diferentes Contaminantes do Solo

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Goiano 14/06/21
Local Data

Bethania Gonçalves de Souza
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Sebastião CV Filho
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 85/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 01 do mês de junho de 2021, às 09 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Dr^o Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho (orientador - IFGoiano - Campus Rio Verde), Dr^o Bruno de Oliveira Costa Couto (membro - IFGoiano - Campus Rio Verde) e Me Luiz Eduardo Costa do Nascimento (membro - Universidade Federal de Goiás), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Fitorremediação de diferentes contaminantes no solo" da estudante Bethânia Gonçalves de Souza, Matrícula nº 2016102200740356 do Curso Engenharia Ambiental, do IF Goiano - Campus, Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Bruno de Oliveira Costa Couto

Membro

Luiz Eduardo Costa do Nascimento

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruno de Oliveira Costa Couto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/06/2021 15:16:59.
- Sebastiao Carvalho Vasconcelos Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/06/2021 15:15:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/04/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 263503
Código de Autenticação: 8981865ff7



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que estarão eternamente em meu coração, meu pequeno irmão Lucas, e minha amada vó Neuza.

(In memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradecer...

Esperei muito por esse momento, e finalmente ele chegou.

Agradeço primeiramente a Deus, por tua presença divina em minha vida, por ter sempre me guiado e protegido meus caminhos. Por ter me sustentado até aqui, e por ter sido minha força nos momentos onde tudo parecia não ter mais solução.

Mãe e Pai, agradeço por sempre terem confiado em mim e acreditado que sou capaz. Eu não sou e não seria absolutamente nada sem vocês. Deus não poderia ter me dado presente melhor do que ter a honra de ser sua filha. Obrigada por me encorajarem, por me ensinarem a ser forte e me mostrar que posso ir muito além do que eu espero.

Ao meu irmão Gabriel, obrigada por tudo e por sempre me incentivar do seu jeito e acreditar em mim. Ao meu irmão Lucas que já não se encontra mais entre nós, obrigada por ter me acompanhado durante quase toda essa caminhada, te amarei eternamente.

Agradeço à toda minha família, sempre digo e repito que vocês são uma família única e eu sou muito privilegiada por ter todos vocês. Tio Zé, Tia Lu, Tia Maria, Tia Chica, Tia Vina, Tia Olímpia, Ana Luísa, Maria Luísa, obrigada a cada um que esteve comigo me apoiando de todas as formas. Cada um da sua maneira. Se eu nunca desisti, sem dúvidas, foram vocês, o amor e nossa união que me mantinha firme em todos esses anos que passei longe de casa. Vocês são parte de tudo que sou hoje.

Às minhas amigas de infância, Ana Lívia, Sara, Geovana, Ana Paula, agradeço pela preocupação e cuidado, não houve distância que nos separou e nunca vai haver.

À Carol e Ana Clara, obrigada por me mostrarem o significado de amizade e companheirismo durante todos esses anos que estive fora de casa e longe de todos. Agradeço imensamente a Deus por suas vidas e por ter me dado a honra de ter colocado vocês em meu caminho.

Aos meus amigos da faculdade, sem dúvidas vocês fizeram dessa, a melhor experiência que eu já pude ter. Guilherme, Pedro, Saeki, Naimy, Maykelle, Gabriel, Duda, Déborah, Carla, Pinguim, Talles, Eduardo, Luiz Felipe e Izadora, vocês são incríveis e lembrar de vocês só me traz boas lembranças. Peço a Deus para que abençoe e reserve o melhor para a vida de cada um. Os levarei sempre em meu coração.

Ao meu orientador e professor Sebastião, obrigada pela paciência e por todo aprendizado durante todos esses anos de iniciação científica e monitoria.

À Arthur e Douglas, exemplos de dedicação e humildade. Obrigada por todos os

ensinamentos durante a execução de todos os projetos.

À todos os meus professores, em especial ao professor Celso, Bruno Couto, Marcelo, Bruna Elói e Patrícia Caldeira, vocês são exemplos de docentes e nos mostram como podemos ser grandes em nossa trajetória como profissionais.

FITORREMEDIAÇÃO DE DIFERENTES CONTAMINANTES DO SOLO

RESUMO

DE SOUZA, Bethania Gonçalves. **Fitorremediação de diferentes contaminantes do solo**. 2021. 39p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

O uso de plantas para a remoção de poluentes do solo é uma alternativa eficaz e biotecnológica, vários grupos de plantas são promissoras como agentes para fitorremediação de contaminantes derivados de petróleo. Dentre os grupos incluem: gramíneas, leguminosas, hortaliças, espécies de porte arbóreo e diversas outras monocotiledôneas e eudicotiledôneas. As consequências da contaminação proveniente dos derivados de petróleo são sentidas na agricultura, principalmente afetando vegetais e as propriedades físicas e químicas do solo, o que inclui o estado de hidratação, textura e matéria orgânica. Objetivou-se com o presente estudo realizar uma revisão bibliográfica sobre a fitorremediação de contaminantes derivados de petróleo, bem como apresentar algumas espécies vegetais eficazes no processo de remediação do solo. Realizou-se consultas em revistas e periódicos especializados no portal Periódicos Capes, utilizando as palavras-chaves fitorremediação, derivados de petróleo, solos, plantas. Com base nas pesquisas publicadas, constatou-se que a fitorremediação de solos contaminados pode se tornar ainda vantajosa ao produtor e mais sustentável quando há a utilização de plantas que possuem capacidade remediadora.

PALAVRAS-CHAVES: Plantas fitorremediadoras; hidrocarbonetos contaminantes; poluição do solo.

FITORREMEDIAÇÃO DE DIFERENTES CONTAMINANTES DO SOLO**ABSTRACT**

DE SOUZA, Bethania Gonçalves. Fitorremediação de diferentes contaminantes do solo. 2021. 36p Monograph (Bachelor's Degree in Environmental Engineering). Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

The use of plants to remove pollutants from the soil is an effective and biotechnological alternative, several groups of plants are promising as agents for phytoremediation of contaminants derived from oil. Among the groups include: grasses, legumes, vegetables, tree species and several other monocotyledons and eudicotyledons. The consequences of contamination from oil derivatives are felt in agriculture, mainly affecting vegetables and the physical and chemical properties of the soil, which includes the state of hydration, texture and organic matter. The aim of this study was to carry out a bibliographic review on the phytoremediation of contaminants derived from oil, as well as to present some plant species effective in the process of soil remediation. Consultations were carried out in specialized magazines and periodicals on the Periódicos Capes portal, using the keywords phytoremediation, oil products, soils, plants. Based on published research, it was found that the phytoremediation of contaminated soils can become even more beneficial to the producer and more sustainable when there is the use of plants that have remedial capacity.

KEYWORDS: Phytoremediation plants; contaminating hydrocarbons; ground pollution.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
1.1 Petróleo	3
1.2 Descontaminação por métodos físicos, químicos e biológicos.....	5
1.3 Fitorremediação	7
1.4 Solo	9
1.5 Remediação do solo	10
1.6 Plantas fitorremediadoras	10
1.6.1 Gramíneas	12
1.6.2 Leguminosas	14
1.6.3 Demais espécies fitorremediadoras	15
CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental é caracterizada como qualquer alteração nas propriedades químicas, físicas e biológicas que afetem à saúde ou o bem estar humano, a utilização dos recursos naturais e a biota (BARBOSA et al., 2010; ROCHA; BRITO; MILANELLI, 2010; MEDEIROS; CHIANCA; DE ANDRADE, 2015). Vem sendo relatada em diversos contextos, a poluição do solo por metais pesados e substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas, uma vez que causam grande ameaça à saúde e ao meio ambiente (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). Entre os poluentes orgânicos destacam-se o petróleo e seus derivados, em razão de sua ampla disposição no meio urbano (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

O impacto ambiental por hidrocarbonetos é um dos problemas ecológicos globais. Muita atenção tem sido dada ao efeito desse poluente ao ecossistema, que é originado por de acidentes com petroleiros e sondas de perfuração (BJORNDAL et al., 2011; BEYER et al., 2016), operações diárias em campos de petróleo (OZIGIS et al., 2019) e vazamentos de oleodutos (ZANARDI-LAMARDO et al., 2013). Esse poluente altera a qualidade de vida dos seres vivos expostos. Por sua persistência e toxicidade, estudos sobre os hidrocarbonetos, como a gasolina, vêm sendo realizados para remediação de solos contaminados utilizando métodos inovadores e ecológicos (LIAO et al., 2016).

O uso de plantas para a remoção de poluentes do solo é uma ferramenta econômica, ecologicamente correta e adequada para remediar a contaminantes do solo e da água (GAO et al., 2021). Dessa forma, entre os processos de remediação, a técnica menos destrutiva e drástica ao meio ambiente é a fitorremediação, um processo compatível com o conceito recém-desenvolvido de "remediação sustentável", que visa a minimização do impacto ambiental da remediação secundária (HOU e AL-TABBAA, 2014). A fitorremediação consiste no uso de plantas que possuem a capacidade de absorver elementos com teores excessivos de metais, além de outros elementos que apresentam alto teor de toxicidade ao meio.

Diante da necessidade de seleção de espécies de plantas capazes de realizar a fitorremediação de solos contaminados, vários grupos de plantas são pesquisados e vêm obtendo respostas promissoras como agentes de fitorremediação de contaminantes derivados de petróleo. Dentre os grupos incluem: gramíneas, leguminosas, hortaliças, espécies de porte arbóreo e diversas outras monocotiledôneas e eudicotiledôneas (CUNNINGHAM et al., 1996; MERKL et al., 2004; HYNES et al., 2004; HUANG et al., 2005; ZULFAHMI et al., 2021).

Objetivou-se com o presente estudo realizar uma revisão bibliográfica sobre a fitorremediação de contaminantes derivados de petróleo, bem como apresentar algumas espécies vegetais eficazes no processo de remediação do solo.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 *Petróleo*

O petróleo pode ser definido como um óleo de origem fóssil, que sofreu transformações químicas durante milhões de anos, sendo formado a partir de grandes deposições fósseis e acompanhada de uma composição variável entre matéria orgânica animal e vegetal sob condições extremas de temperaturas e pressão, formados sobre as rochas sedimentares (GERALDO; MARANHO, 2020; MALINOSKI; MARANHO, 2020).

De forma sucinta, o petróleo é uma mistura de compostos orgânicos gasosos, líquidos e sólidos, constituído de 4 a 26 átomos de carbono (75% do peso do óleo), segmentando-se em alcanos, alcenos, alcinos, ciclo alcanos e aromáticos, e pequenas proporções variáveis de átomos de enxofre, oxigênio e nitrogênio (NEFF, 1979).

Hidrocarbonetos saturados, insaturados e aromáticos constituem o petróleo. Os hidrocarbonetos saturados são constituídos por carbono e hidrogênio por meio de ligações simples. Por sua vez, os insaturados apresentam ao menos uma ligação, que pode ser dupla ou tripla entre os átomos de carbono, enquanto os aromáticos possuem pelo menos um anel benzênico em sua estrutura (JAGTAP et al., 2014).

Dentre os hidrocarbonetos, os que apresentam uma maior complexidade e, conseqüentemente, maior toxicidade para os seres vivos e maior renitência de degradação no meio ambiente, estão os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) que apresentam dois ou mais anéis aromáticos interligados, tornando-se os hidrocarbonetos mais complexos (MALINOSKI; MARANHO, 2020).

No Brasil, o petróleo pesado é encontrado em sua grande maioria em campos marítimos e terrestres. A sua extração e processamento requer uma enorme capacidade das unidades de refino, a fim de transformá-lo em combustíveis nobres e em outros subprodutos considerados essenciais. Já o petróleo leve é caracterizado por produzir gasolina, lubrificantes, querosene de aviação, fertilizantes, óleo diesel, GLP e naftas. Todo o processo de transformações ocorre nas refinarias depois de uma série de processos e reações (EVANGELISTA; SILVA, 2013; PETROBRAS, 2010).

A indústria do petróleo está em plena ascensão, influenciando de forma positiva a economia global. Toda a cadeia produtividade do setor, gera impactos devido a enorme quantidade de produtos derivados das indústrias petroquímicas que são introduzidos de forma direta ou indireta no meio ambiente (MARANHO, 2020).

O petróleo é uma matéria-prima não-renovável essencial para a humanidade, seus derivados estão presentes em diversos produtos, dentre eles combustíveis, cosméticos, borrachas (ANDRADE et al., 2010; MALINOSKI; MARANHO, 2020).

Devida a alta demanda de extração, o refinamento, o transporte e as operações de armazenamento, podem vir a ocorrer em certas condições, acidentes que ocasionam vazamentos de tanques e tubulações, despejando resíduos no solo, em água subterrâneas e por consequência contaminando-os (GERALDO et al., 2020). Geralmente a contaminação ao meio ambiente está relacionada às ações antropogênicas. As consequências da contaminação proveniente dos derivados de petróleo são sentidas na agricultura, principalmente afetando vegetais e as propriedades físicas e químicas do solo, o que inclui o estado de hidratação, textura e matéria orgânica (LABUD et al., 2007).

A contaminação causada pelos poluentes do petróleo ocorrerá de curto/médio a longo prazo, pode-se haver a redução e até provocar a extinção de algumas atividades essenciais dos seres vivos, distúrbios, além de acumular-se em organismos, provocando intoxicações e alterações neurológicas e respiratórias em humanos e animais em caso de contaminação (MARTINS et al., 2013).

Acrescendo a isso os contaminantes apresentam uma natureza hidrofóbica e são bastante perduráveis no ambiente (AFZAL et al., 2014), mesmo em concentrações relativamente baixas, provocam uma redução significativa e duradora no potencial produtivo do solo, reduzindo os nutrientes, e inibindo o crescimento e desenvolvimento das plantas, e as atividades metabólicas de microrganismos (MacKINNON; DUNCAN, 2013; SUN et al., 2013).

Os petroquímicos podem ser retidos por partículas do solo, tanto pelo processo de infiltração como de retenção nos poros, sendo adsorvidos às superfícies das partículas. Os derivados de petróleo são constituídos por uma heterogeneidade de componentes que apresentam diferentes taxas de volatilização, ou seja, irão diferir-se de modo que os mais voláteis irão se difundir pelos poros do solo e os não volatilizados permanecerão no mesmo (FINE et al., 1997).

Tendo em vista que estas substâncias possuem alta mobilidade, as mesmas podem contaminar toda a cadeia alimentar, provocando efeitos diretos e indiretos, logo após a contaminação, além de serem mutagênicos e carcinogênicos (MAHANTY et al., 2011; GUO et al., 2012; HAVELCOVÁ et al., 2014).

1.2 Descontaminação por métodos físicos, químicos e biológicos

Tendo em vista toda a complexidade da composição química dos derivados petroquímicos bem como as suas propriedades físicas, a descontaminação de ambientes torna-se um desafio a ser estudado, não exclusivamente para a egresso do componente tóxico, mas como também para a resiliência das áreas acometida a contaminação (HEIDERSCHEIDT et al., 2016).

A busca por alternativas para a descontaminação de solos e/ou mitigar os efeitos negativos, tornou-se uma das principais preocupações no campo da ciência, apesar de todos os esforços empreendidos nos últimos anos, ainda não existe uma tecnologia fidedigna para a descontaminação (CAMESELLE et al., 2013).

Além disso, a descontaminação envolve uma série de métodos que por vezes são caros e demorados. Múltiplas tecnologias foram desenvolvidas para remediar locais contaminados; nada obstante, sua aplicabilidade é em sua grande maioria das vezes restringida a um tipo específico de contaminante ou condição (SHARMA; KRISHNA, 2004; CAMESELLE et al., 2013).

Em geral, a contaminação contém diversos tipos de substâncias petroquímicas simultaneamente, o que torna a descontaminação desses locais, vegetais e animais ainda mais dificultoso, poucas são as alternativas viáveis e que apresentam resultados promissores, e mais escassas são as tecnologias que mostraram ser eficientes na descontaminação e na retirada do componente tóxico e na recuperação (HEIDERSCHEIDT et al., 2016).

A descontaminação pode dar-se de forma *in situ* (landfarming, borbulhamento de ar, biosparging, bioventing, barreiras reativas, biorremediação, biorremediação intrínseca e fitorremediação) e *ex situ* (oxidação química, dessorção térmica e incineração), sendo a mais utilizada a primeira, por apresentar um menor custo, além de ser melhor aceita pela população e não provocar contaminações secundárias (TAVARES, 2009; MAZZEO et al., 2010).

Os métodos disponíveis para realizar a descontaminação incluem a biorremediação, fitorremediação, a lavagem do solo, estabilização e solidificação, remediação eletrocinética (EK), barreiras e atenuação natural monitorada. Alguns tipos de tecnologias que visam a descontaminação, têm como principal limitação a entrega imprópria ou inadequada de reagentes em baixa permeabilidade em solos e ainda a

possibilidade de contaminação já que alguns utilizam produtos químicos (SHARMA; REDDY, 2004).

O processo de descontaminação de petroquímicos em ambientes terrestres pode ser feito por métodos químicos, físicos e biológicos. Os métodos físicos são definidos como aqueles que envolvem a queima dos componentes voláteis presentes no poluente petroquímico, o que corrobora em uma diminuição considerável dos níveis tóxicos da contaminação, entretanto, além de ser um processo muito oneroso, ou seja, possuem uma despesa por hectare muito alta, tornando-a economicamente insustentável (MASCANDARO et al., 2014), além de ocasionar a infertilidade do solo (LIMA et al., 2014). Além disto, podem ocorrer no caso de escavação, a indisponibilidade do solo substituído, o emprego de máquinas pesada e outros processos com um elevado consumo de energia (WITTERS et al., 2012).

No que concerne os métodos químicos, são definidos como os métodos que fazem uso de reações químicas de oxidação para clivar as estruturas mais complexas e mais nocivas do petróleo (GRACIANO et al., 2012; MALINOSKI; MARANHÃO, 2020). Os métodos químicos não obstante agredem menos o solo que os métodos físicos, porém, promovem uma alteração considerável no pH do meio e resíduos dos reagentes químicos (GRACIANO et al., 2012).

As técnicas biológicas têm-se destacado na descontaminação de solos, água e plantas. Os métodos biológicos, quando comparados aos métodos físicos e químicos, em sua maioria são mais seguros e possuem um custo mais baixo, são menos agressivos ao meio ambiente, já que na maioria das vezes, se baseia apenas na otimização do processo natural executado pela flora microbiana (MOLINA-BARAHONA et al., 2004; D'ANNIBALE et al., 2006).

Alguns microrganismos e outros seres vivos podem ser considerados como agentes degradadores das mais diversas substâncias (RIZZO et al., 2006), e possuem uma elevada potencialidade para o emprego no processo de descontaminação, aliado a biotecnologia. O tratamento biológico é considerado um dos mais eficientes métodos para se reduzir os efeitos adversos dos contaminantes sobre o meio ambiente (RIZZO et al., 2006).

Um exemplo da descontaminação por métodos biológicos é a introdução de nutrientes, o método chamado de bioestimulação, onde o nitrogênio e o fósforo na forma orgânica e inorgânica em sistemas contaminados, elevam a população de microrganismos endógenos, corroborando no aumento da taxa de degradação do contaminante. A

biodegradação de contaminantes possivelmente envolve o consórcio de microrganismos, entre eles os de formas eucarióticas e procarióticas, e não somente uma única espécie de microrganismo (SARKAR et al., 2005; FERREIRA; MORITA, 2012).

A velocidade do método biológico de descontaminação dependerá das condições do meio, do solo, tendo em vista que a disponibilidade de nutrientes influenciará todo o processo, a umidade, a temperatura, o pH, a concentração de minerais, o potencial redox, e as características físicas, químicas e ambiental do contaminante (FERREIRA; MORITA, 2012; MARIANO et al., 2007).

Porém, cada método depende de vários fatores, como as condições físicas, químicas e biológica do local e do material contaminado, da concentração do contaminante, bem como o tempo de degradação e/ou a extração do composto e as técnicas utilizadas (MARIANO et al., 2007; ANDRADE et al., 2010).

1.3 Fitorremediação

A fitorremediação consiste no uso de plantas que possuem a capacidade de absorver elementos com teores excessivos de metais, além de outros elementos que apresentam alto teor de toxicidade ao meio, e respectivamente seus microrganismos ou enzimas associados, acompanhada da aplicação de técnicas agrônômicas afim de degradar, reter ou reduzir as substâncias contaminantes a níveis inofensivos por meio de processos que possuem a capacidade de recuperar a matriz ou estabilizar o poluente (CUNNINGHAM et al., 1996; FRICK et al., 1999; HERNÁNDEZ-VALENCIA; MAGER, 2003; SOUZA et al., 2011).

A resistência das plantas a substâncias contaminantes, neste caso os petroquímicos, ocorre por um mecanismo que inclui a imobilização dos íons e/ou substâncias nas raízes e na parede celular, já a tolerância, é baseada no sequestro dos íons metálicos nos vacúolos, nas ligações com ácidos orgânicos, proteínas e peptídeos, e na presença de enzimas (GARBISU; ALKORTA, 2001).

Para se obter sucesso na fitorremediação é necessário utilizar espécies de plantas que possuem características que possibilitam boa capacidade de absorção, bem como um sistema radicular profundo, rápido desenvolvimento e crescimento, e resistência ao poluente. Entretanto, é importante ressaltar a necessidade de entender a interação das plantas com a substância poluente e o solo. O processo de fitorremediação possui vários mecanismos para que possa ser feita a descontaminação de áreas, plantas e microrganismos, sendo que esses, juntamente com as plantas possuem formas e

metabolismos distintos, desde a remoção, imobilização e/ou transformação dos poluentes (COUTINHO; BARBOSA, 2007; COUTINHO et al., 2015).

As plantas desenvolveram mecanismos morfofisiológicos especializados para ajustar as concentrações de íons metálicos por meio da solução do solo, ao modificar o ambiente químico da rizosfera, por meio do processo de acidificação, graças a extrusão de íons H^+ pelas raízes, o que estimula a dessorção de íons do solo para a solução (LASAT, 2000; DA SILVEIRA et al., 2016). Além do que, algumas plantas podem realizar a exsudação de compostos orgânicos, sintetizando complexos com os metais e os disponibilizando para serem posteriormente absorvidos.

Existem vários tipos de fitorremediação, dentre eles os principais são a fitoextração, fitotransformação, fitoestimulação e a fitoestabilização (ASSIS et al., 2010). A fitoextração, é um processo que é iniciado quando ocorre a extração das substâncias contaminantes do solo e posteriormente a acumulação nos tecidos vegetais. O grau da contaminação e a biodisponibilidade do contaminante, a capacidade de acumulação das plantas e a eficiência em produzir biomassa são de extrema e fundamental importância para a obtenção de resultados satisfatórios. A vantagem dessa técnica é que ela pode ser utilizada em grandes áreas, o que corrobora em um custo reduzido, e ainda é uma técnica conservacionista, onde não há custo energético para a realização do processo (ASSIS et al., 2010).

Fitotransformação, é uma técnica que pode ser empregada tanto no tratamento da água, como no solo, na qual o metabolismo da planta atua promovendo a degradação dos contaminantes. Algumas espécies vegetais possuem a capacidade de metabolizar determinados compostos tóxicos, e os transformando-os em não tóxicos. A fitotransformação está relacionada pela capacidade das plantas em realizar a translocação de compostos orgânicos para outros tecidos vegetais, e então posteriormente volatilizados, podendo ser degradado de forma parcial ou integral (PIRES et al., 2003).

A Fitoestimulação, como o nome já diz é a estimulação da atividade dos microrganismos que promovem a degradação das substâncias contaminantes localizadas na rizosfera da planta. As plantas reduzem a migração dos contaminantes no solo, por meio da interação entre a raiz-solo-microrganismos, sendo possível graças a exsudação de nutrientes, aminoácidos e polissacarídeos da planta (PIRES et al., 2005; SANTOS et al., 2007).

E por último, a fitoestabilização, caracterizada pela imobilização dos contaminantes presentes no solo, ou seja, a planta é usada para limitar a mobilidade e a

biodisponibilidade dos metais no solo. Os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à parede vegetal e/ou ao húmus do solo, onde ocorre a precipitação dos íons insolúveis, o que depois é aprisionado nas raízes. É considerada uma técnica que visa reduzir a erosão e a dispersão de contaminantes no ambiente (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; ALVARENGA et al. 2011; SOUZA et al., 2011).

Alguns compostos orgânicos sintéticos, xenobióticos, pesticidas, hidrocarbonetos e metais pesados, são exemplos de contaminantes que podem ser efetivamente reparados pelas plantas (SURESH; RAVISHANKAR, 2004), o que tem se buscado atualmente é melhorar a eficiência da fotorremediação e outras espécies que possuem grande potencial e eficiência, o que se reflete-se aumentando o acúmulo dos metais e/ou substâncias nas plantas (WU; TANG, 2009).

1.4 Solo

O solo pode ser definido como um corpo natural da superfície terrestre, independente e dinâmico, proveniente da ação cumulativa de fatores, tais como rocha mãe, relevo, tempo, clima e organismos (vegetais e animais) designados conjuntamente por fatores pedogenéticos ou fatores de formação do solo (EMBRAPA, 1999).

O solo possui uma elevada importância para a atividade humana, é a principal fonte de produção de alimento, combustível e materiais de construção, o que torna sua preservação imprescindível para a sobrevivência dos seres vivos (RIBEIRO, 2013).

Os solos vêm assumindo proporções que comprometem a qualidade de vida no planeta (PAJEVIC et al., 2009). As atividades antrópicas das quais podemos citar a indústria da mineração, indústria metalúrgica, indústrias químicas, agricultura, dentre outras, têm causado distúrbios na biosfera, ao liberar rejeitos orgânicos como hidrocarbonetos, inorgânicos e os metais pesados presentes em grande parte dos rejeitos industriais (BHARGAVA et al., 2012).

A qualidade do solo é definida como a aptidão do mesmo em atuar dentro de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manejar, manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitação (COUTINHO, 2005). Podendo ser atribuída a relação das suas características químicas, físicas e biológicas, ou seja, as características químicas do solo afetam a disponibilidade de nutrientes que influenciaram a comunidade microbiana; bem como a estrutura física do solo está intimamente relacionada à capacidade de retenção de água, que interfere nas reações químicas e biológicas.

Quando os metais pesados se encontram em excesso no solo, esses elementos podem inibir o crescimento das plantas e causar alterações nas comunidades vegetais, bem como interferir nas funções dos ecossistemas, com consequências ao meio ambiente e à saúde pública (ESTRELA; CHAVES; SILVA, 2018).

1.5 Remediação do solo

A contaminação de solos por petróleo e seus derivados tem sido um dos principais problemas ambientais nas últimas décadas, tendo em vista uma crescente demanda mundial por energia, contudo esta matéria prima representa uma complexidade muito grande de enumerados compostos, o que dificulta a eficácia dos métodos de remediação. Nos processos de tratamento devem-se levar em conta algumas variáveis como, a condição física e química do local a ser descontaminado, a concentração e o nível de toxidez do contaminante, e o tempo necessário para a remoção ou degradação do composto poluente (AGUIAR et al., 2012; DO AMARAL & SILVA MARTINS, 2017)

No Brasil há uma grande dificuldade técnica de se recuperar solos contaminados por petróleo e/ou seus derivados. De modo geral, nos solos brasileiros, com características argilosas, fortes interações se estabelecem entre a matriz do solo e os contaminantes e devido à baixa permeabilidade inerente a este tipo de solo, a penetração tanto de nutrientes quanto de oxigênio, indispensáveis ao processo de biodegradação ficam dificultadas (TRINDADE, 2002; AGUIAR et al., 2012).

Os contaminantes derivados do petróleo no solo, percolam por meio dele por dois mecanismos, como uma massa de óleo que infiltra o solo por meio da força da gravidade versus a força da capilaridade (compostos hidrofóbicos deslocam-se por meio da massa) e como compostos individuais que posteriormente se separam da mistura, sendo os hidrossolúveis dissolvidos na água ou no ar (ATSDR, 1999; REID et al., 2000; AGUIAR et al., 2012).

As interações dos derivados do petróleo e do solo são influenciadas pela quantidade e natureza da matéria orgânica, pelos constituintes inorgânicos, com particular referência ao tamanho e estrutura do poro, pela população de microrganismos e pela concentração do poluente. A adsorção aos constituintes do solo favorece a persistência do componente nesta matriz (REID et al., 2000; AGUIAR et al., 2012).

1.6 Plantas fitorremediadoras

Mulgrew & Williams (2000) em seu estudo têm demonstrado que espécies vegetais têm sido utilizadas como indicadores biológicos e bioacumuladores de diversos

poluentes, sendo estes retirados do ar, solo e água muitos deles, diminuindo assim os índices do poluente no meio ambiente. A taxa de diminuição irá depender de fatores, como clima, natureza dos poluentes e características dos vegetais (AGUIAR et al., 2012).

Já na poluição proveniente de metais pesados, nem sempre a alta concentração dos mesmos no meio ambiente indica uma alta acumulação pelas espécies vegetais, como a interpretação dos resultados pode ser complicada, o sistema de retirada por meio das raízes usadas pelas espécies vegetais ainda não se encontra totalmente esclarecido (MULGREW & WILLIAMS, 2000; AGUIAR et al., 2012).

A acumulação de metais nos tecidos vegetais só é eficiente se o contaminante for posteriormente removido do solo, através, por exemplo, da colheita da matéria vegetal. Se a maior parte dos metais pesados retirados do solo se localizar na parte aérea das plantas, a colheita poderá ser realizada utilizando os métodos de agricultura tradicionais (AGUIAR et al., 2012)

Em geral, se faz necessário colher as plantas antes da queda das folhas ou antes da sua senescência e decomposição de modo que os contaminantes não se dispersem ou retornem ao solo. Depois que realizada a colheita, a biomassa deverá ser processada para extração e recolhida da maior parte dos metais. Para alguns metais, o valor dos mesmos extraídos pode incentivar a remediação (MANT, 2001; AGUIAR et al., 2012).

Algumas plantas são apropriadas para fitorremediação (DUSHENKOV et al., 1995; AGUIAR et al., 2012). Plantas que são cultivadas hidroponicamente tendem a desenvolverem sistemas de raízes mais robustos, propiciando uma maior área de superfície para absorção dos poluentes (MANT, 2001; AGUIAR et al., 2012).

O Brasil possui um vasto número de espécies vegetais com grande potencial para fitorremediação e hidroponia; entretanto, estas espécies ainda são pouco exploradas e seus estudos são quase escassos no que diz respeito a seus potenciais como fitorremediadoras (AGUIAR et al., 2012).

Costa (2004), evidenciou o potencial das espécies *Pennisetum purpureum* (capim-elefante), *Brachiaria decumbens* e *Pennisetum graucum* (milheto forrageiro), cultivadas em sistema de tanques para o tratamento de efluentes industriais de curtumes (COSTA, 2004). A concentração de cromo nas raízes de *B. decumbens* foi significativamente maior que a encontrada nas raízes do *P. purpureum*, no entanto, *P. purpureum* removeu significativamente mais cromo em virtude da sua grande massa radicular (COSTA, 2004).

Diferentes propriedades das plantas são importantes para a fitorremediação. Em geral, as seguintes características são favoráveis para a utilização de plantas como

fitorremediadoras, crescimento rápido, elevada produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição. Plantas com essas características podem ser utilizadas como agentes de despoluição (GARBISU & ALKORTA, 2001).

Outros exemplos de plantas fitorremediadoras, são as plantas hiperacumuladoras que pertencem às famílias Brassicaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Gramíneas, Leguminosas e Scrophulariaceae (GARBISU & ALKORTA, 2001). Como exemplo: mostarda indiana (*Brassica Juncea* sp.), girassol (*Helianthus Annuus*) e tabaco (*Nicotiniana Tabacum*) (USEPA, 2000).

1.6.1 Gramíneas

1.6.1.1 Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*)

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma gramínea de porte elevado (3-5 m de altura) originário da África, desde a Guiné, no Oeste, até Angola, no sul. Segundo a classificação botânica, a espécie *Pennisetum purpureum* pertence à família Graminae. Atualmente encontra-se difundido em todo o território brasileiro e é principalmente utilizado sob a forma de capineira (COSTA, 1990). O *Pennisetum purpureum* apresenta uma extraordinária adaptabilidade à quase todos os climas e pode ser encontrado em altitudes que variam desde o nível do mar até 2000m (TCACENCO & BOTREL, 1994).

Alvarenga et al. (2017) concluiu em seu estudo que o cultivo de *P. purpureum* em lodo de esgoto por 150 dias promove reduções nas concentrações de poluentes como metais pesados nas camadas com maior concentração de raízes.

1.6.1.2 *Brachiaria*

Brachiaria vem do latim “bracium”, significando braço ou ramo. A *Brachiaria* é o capim mais plantado no Brasil, é utilizada em todas as fases de criação de ruminantes aptos a produção animal, desde que seja bem manejado (FILHO, 1996). A *Brachiaria* foi preferida pelos pecuaristas por se adaptar às mais variadas condições de solo e clima (FILHO, 1996). É uma forrageira muito apreciada, pois forma grande massa verde em pouco tempo, e é de elevada aceitabilidade ao gado. É tolerante a períodos de seca e possui boa tolerância a solos alagados ou inundados. O processo mais apropriado para seu o plantio é por sementes, embora também se propague por mudas (COSTA, 2004).

Carmo et al. (2008) em seu estudo corrobora que essas espécies podem ser inseridas inicialmente para avaliação em programas de fitorremediação, mostrando resultados promissores, Martinez et al. (2013) mostra em seu estudo que as espécies do

gênero *Brachiaria* removeu melhor os metais pesados, quando comparado ao *Panicum maximum*.

1.6.1.3 *Panicum maximum*

O *Panicum maximum* é uma espécie de capim tendo como berço de origem a África. É uma planta que requer um solo de média a alta fertilidade para devida formação e manutenção. Foi introduzido no Brasil na época da escravidão e posteriormente expandiu-se por todo o território. Possui folhas longas, finas e estreitas que envolvem o caule e apresentam pelos espalhados por toda sua extensão. O caule possui uma coloração levemente arroxeada. A inflorescência é feita por meio de pequenos ramos que brotam na base dos colmos e seu fruto apresenta um formato elíptico (2 mm de comprimento e menos de 1 mm de largura), e são achatados de um lado (OLATUNJI, 2014).

O gênero *Panicum* L. é o mais importante dentro da família Poaceae. Este gênero corresponde a mais de 400 espécies (ALISCIONI et al., 2003) e só o Brasil possui de acordo com a literatura mais 14 espécies (GUGLIERI et al., 2004). Apresenta uma vasta variabilidade genética e morfofisiológica, o que se reflete na adaptação de cada espécie as exigências nutricionais e climáticas.

Possui a capacidade de utilizar de forma eficiente as altas intensidades luminosas, além de apresentar um rápido desenvolvimento, podem ser classificados como plantas pioneiras. A espécie pode ser definida como uma cultura perene, que forma touceiras com um sistema radicular profundo, e uma altura variável de 60 a 200 cm (SKERMAN; RIVEROS, 1992).

A espécie *Panicum maximum* cv. Mombaça, foi lançada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte da EMBRAPA, e apresenta uma alta capacidade produtiva, com elevada taxa de manutenção foliar durante o ano e, principalmente, durante a estação de seca, além de ser responsiva à adubação (MULLER, 2000).

Dentre as estratégias de fitorremediação, a espécie *Panicum maximum* é considerada uma fitoextratora, ou seja, esta espécie pode ser usada em programas de fitorremediação. De modo geral, as gramíneas possuem um papel importante na agricultura, melhorando a qualidade dos solos (GARDEA et al., 2005). A espécie *Panicum maximum* apresenta uma tolerância aos altos níveis de Pb, Zn, Cr e Zn (CASTRO, 2007; JIAMJITRANICH et al., 2013).

1.6.1.4 *Pennisetum graucum*

O milheto (*Pennisetum graucum*) é uma gramínea anual, de origem africana, adaptada ao semi-árido. Possui elevada eficiência de uso de água (dispõe de mecanismo de resistência/tolerância à seca) e apresenta aptidão para a produção de forragem, podendo ser explorado para a produção de grãos (TABOSA et al., 1999).

Costa (2004) em seu estudo testou a eficiência da *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria decumbens* e *Pennisetum graucum* em fitorremediar solos contaminados por resíduos de curtumes. As concentrações de cromo foram maiores no sistema radicular da *P. purpureum*, mostrando a eficiência do milheto em promover a fitorremediação de solos poluídos por metais pesados, e derivados de petróleo.

1.6.2 Leguminosas

Para a execução do método de fitorremediação são apropriadas diferentes espécies como *Phragmites*, *Tamarix*, *Nicotiana*, *Helianthus*, *Salix*, *Typha*, *Arabis*. Em sua pesquisa, Madalão (2011) identificou a Crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e feijão guandu anão (*Cajanus cajan anão*) como as mais promissoras na fitoextração.

Dentre tais, a *Canavalia ensiformis* ganha destaque por seu potencial fitoextrativo de metais pesados e de herbicidas, mostrando ser uma solução que engloba a eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, menor tempo demandado pelo processo e menor custo (DAVIS et al, 2002; ALKORTA; GARBISU, 2001; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

1.6.2.1 Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)

Dentre as espécies destinadas à fitorremediação, destaca-se o feijão-de-porco, pela sua grande capacidade de tolerar e acumular metais pesados. Romeiro et al. (2007) trabalharam com *Canavalia ensiformis* cultivada em hidropônia, e concluíram que a espécie é hiperacumuladora de chumbo, principalmente no sistema radicular. Almeida et al. (2008) também observaram que o feijão-de-porco possui alta capacidade em acumular chumbo sem que este afete seu crescimento até a dose de 1000 mg kg⁻¹, no entanto, os autores observaram que com o aumento das doses de chumbo a raiz da planta foi adquirindo uma coloração escura, atribuída ao fato de o metal inibir a divisão e diferenciação celular das raízes (AFKHAMI et al., 2011).

Recentemente, Ferrazo et al. (2017) analisaram o efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solos contaminados e chegaram a resultados promissores na fitorremediação de solos contaminados com metais pesados.

1.6.2.2 Crotalária (*Crotalaria juncea*)

A crotalária (*Crotalaria juncea*) apresenta grande capacidade de fitorremediar solos contaminados com o herbicida sulfentrazone, que é largamente utilizado em culturas de cana-de-açúcar, soja e café (MADALÃO et al., 2012).

Madalão et al (2012)., em seus estudos mostram que a crotalária apresentou grande capacidade de fitorremediar solos contaminados. Zancheta (2011) avaliando o potencial fitoextrator de Cu por plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) constatou que o teor e acúmulo de Cu nas plantas foram proporcionais à adição do metal na solução nutritiva, porém, foram muito mais elevados no sistema radicular do que na parte aérea, a crotalária mostrou ser mais eficiente na fitorremediação do solo.

A crotalária (*Crotalaria spectabilis*), capacidade de armazenar no tecido vegetal de sua parte aérea o metal pesado chumbo, que possui largo uso industrial e é um dos maiores contaminantes do solo (LINDINO et al., 2012). Pelo aspecto de melhoramento das condições físicas, químicas e biológicas do solo, essas plantas podem ser utilizadas em pré-plantio ou rotação, consórcios e em faixas intercalares com diversas culturas de valor econômico.

1.6.3 Demais espécies fitorremediadoras

1.6.3.1 Girassol (*Helianthus annuus*)

Na avaliação do girassol (*Helianthus annuus*), a maior parte do chumbo (59%) e do cádmio (79%) foi acumulada nas folhas, e houve uma absorção pelas sementes de 1 a 2%, apenas, do total de metais presentes previamente no solo. Sendo assim, essas sementes podem ser utilizadas posteriormente para fabricação de biodiesel ou fins nutricionais (ANGELOVA et al., 2016).

O *Helianthus annuus* possuem potencial para extrair grandes quantidade de níquel do solo, além de ser uma espécie remediadoras de hidrocarbonetos de petróleo (DE MENEZES LAMBERT; DA SILVA SOARES; DE SOUZA, 2012).

1.6.3.2 Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)

Já o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) exibiu remoção de cádmio (50%) e chumbo (73%) do solo, e observou-se que a maior concentração desses metais nas plantas estava localizada em suas folhas (DE LIMA et al., 2013).

1.6.3.3 Mamona (*Ricinus communis* L.)

Por último, a mamona (*Ricinus communis* L.) mostrou alta produção de biomassa em solos com presença de cobre, indicando um alto nível de fitoacumulação, e juntamente com a produção de óleo para biodiesel, pode ser uma alternativa de recuperação de solos de vinicultura ou que abrigaram atividades de mineração de cobre (ANDREAZZA & CAMARGO, 2011).

A retenção do chumbo nos tecidos (sistema radicular, caule e folhas) da mamona indicou que a planta apresentou boa capacidade de bioacumular metais pesados, validando assim a sua utilização em sistemas de polimento de efluentes (DE LIMA et al., 2010). A espécie apresenta potencial para uso em técnicas de fitorremediação de metais pesados mediante aos mecanismos de fitoestabilização, visto que apresentam capacidade de bioconcentrar, os metais pesados no solo (DA SILVA, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fitorremediação é um avanço afim de realizar o tratamento de solos contaminados por metais pesados, portanto, pode se tornar ainda vantajosa ao produtor e mais sustentável quando há a utilização de plantas que possuem capacidade remediadora.

Dentre os grupos de plantas com potencial de fitorremediação destaca-se as gramíneas, leguminosas, hortaliças, espécies de porte arbóreo e diversas outras monocotiledôneas e eudicotiledôneas.

Gramíneas como capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), *Brachiaria*, *Panicum maximum* e milho (*Pennisetum glaucum*) possuem uma grande eficiência em promover a fitorremediação em solos contaminados por metais pesados.

O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) possui uma grande capacidade de tolerar e acumular metais pesados.

A crotalária (*C. juncea*) apresenta grande capacidade de fitorremediar solos contaminados.

A Mamona (*Ricinus communis* L.) possui grande capacidade de reter chumbo em seus tecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação Química e Biorremediação do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Lavras: UFLA, p. 299-352, 2000.

AFKHAMI, A.; SABER-TEHRANI, M.; BAGHERI, H.; MADRAKIAN, T. Flame atomic absorption spectrometric determination of trace amounts of Pb(II) and Cr(III) in biological, food and environmental samples after preconcentration by modified nano-alumina. **Microchim Acta**. v. 117. p 126-136, 2011.

AFZAL, M.; KHAN, Q. M.; SESSITSCH, A. Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants. **Chemosphere**, v. 117, p. 232-242, 2014.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). **Total Petroleum hydrocarbons**. 1999. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxiprofiles>>. Acesso em: 30 abril 2021.

AGUIAR, C. R. C; LOPES, B. C; BARBOSA, M. V. D; BALIEIRO, F. C; GOMES, M. M. Fitorremediação de solos contaminados por petróleo. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 1, 2012.

ALISCIONI, S. S.; GIUSSANI, L.M.; ZULOAGA, F.O.; KELLOGG, E. A. A molecular phylogeny of *Panicum* (Poaceae:Paniceae). Test of monophyly and phylogenetic placement with the Panicoideae. **American Journal of Botany**, v. 90, n. 5, p. 796-821, 2003.

ALKORTA, I.; GARBISU, C. Phytoremediation of organic contaminants Soil. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 273-276, 2001.

ALVARENGA, A. C; SAMPAIO, R. A; PINHO, G. P; CARDOSO, P. H; SOUSA, I. D. P; & BARBOSA, M. H. Phytoremediation of chlorobenzenes in sewage sludge cultivated with *Pennisetum purpureum* at different times. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 573-578, 2017.

ALVARENGA, P.; FERNANDES, R. M.; VARENNES, A. D.; VALLINI, G.; DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C. Utilização de *Lolium perenne* L. na fitoestabilização controlada de solos degradados por actividades mineiras. **Revista de Ciências agrárias**, Lisboa, v. 34, n. 2, p. 117-130, 2011.

ANDRADE, J.A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I.C.S.F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, v. 35, v. 17-43, 2010.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. de O. Fitorremediação de áreas contaminadas com cobre utilizando plantas de mamona. **In: IV Salão de Ensino**, UFRGS, 2011, Porto Alegre.

ANGELOVA, V. R.; PERIFANOVA-NEMSKA M. N.; UZUNOVA, G. P.; IVANOV, K. I.; LEE, H. Q. Potential of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals. **International Journal Of Environmental And Ecological Engineering**, [S.I.], v. 10, n. 9, 2016.

ASSIS, R. L. D.; PROCÓPIO, S. D. O.; CARMO, M. L. D.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BRAZ, G. B. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campinas Grande**, v. 14, n. 11 p. 1131-1135, 2010.

BAKER, A.J.M.; REEVES, R.D.; McGRATH, S.P. **In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants-a feasibility study**. In *Situ Bioremedeation*, eds. RE Hinchee, Butterworth-Heinemann, Stoneham MA, RF Olfenbuttel, 1991. P. 539.

BARBOSA, C. C. A.; VASCONCELOS, T. L., VALDEVINO, D.S.; SÁ, L. A. C.M. **Estruturação de Base Cartográfica para Mapeamento de Sensibilidade Ambiental a derrames de óleo ao longo do litoral Pernambucano**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de julho de 2010 p. 001-008.

BEYER, J.; TRANNUM, H.; BAKKE, T.; HODSON, P.; COLLIER, T. 2016. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 110, 28–51. [https://doi.org/ 10.1016/j.marpolbul.2016.06.027](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.027).

BHARGAVA, A.; CARMONA, F. F.; BHARGAVA, M.; SRIVASTAVA, S. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. **Journal of Environmental Management**, v. 105, p. 103-120, 2012.

Bjorndal, K.A., Bowen, B.W., Chaloupka, M., Crowder, L.B., Heppell, S.S., Jones, C.M., et al., 2011. Better science needed for restoration in the Gulf of Mexico. *Science* 331, 6017,537–538. <https://doi.org/10.1126/science.1199935>.

BRASIL. Lei Federal n. 6.939 de 31 de agosto de 1981. Define a política nacional do meio ambiente.

CAMESELLE, C.; CHIRAKKARA, R. A.; REDDY, K. R. Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: status and opportunities. **Chemosphere**, v. 93, n. 4, p. 626-636, 2013.

CARMO, M. L.; PROCOPIO, S. D. O.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; PACHECO, L. P. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 301-313, 2008.

CASTRO, R. F. DE. **Fitorremediação de Solos Contaminados por Crômio, Chumbo e Zinco utilizando as espécies amazônicas *Commelina erecta*, *Montagma laxum*, *Borria capitata*, *Panicum maximum*, *Cyperus surinamensis* e *Nephrolepis biserrata***. 2007. 170 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2007.

CHIARAMONTE, Edson Abel dos Santos et al. Propagação de compostos da gasolina em solos: 1. zona não saturada. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 33-40, Mar. 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 de Jun. 2020.

COSTA, S. M. S. P. D. Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em wetlands construídos, 2004.

COSTA, S. M. S. P. DA. Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em wetlands construídos. 2004.119

f. 2004. **Tese de Doutorado**. Tese (Doutorado)-Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COUTINHO, C. L. H. Avaliação da Biodiversidade do Solo através de Exame de DNA. **Embrapa Solos Documentos**, 1999.

COUTINHO, H. D; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007

COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES JR, A. C. Alternativas de remediação e descontaminação de solos—biorremediação e fitorremediação. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 59-68, 2015.

CUNNINGHAM, S.D.; ANDERSON T.A.; SCHWAB, P.; HSU, F.C. Phytoremediation of soil contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**. 56: p.55, 1996.

DA SILVA, M. C. F. **Potencial fitorremediador de Ricinus communis L. (Mamona) em solo contaminado pela presença de ferro (Fe²⁺), oriundo de rejeito de minério**, em Minas do Camaquã-RS. 2019.

DA SILVEIRA, L. R.; TATTO, J.; MANDAI, P. Biorremediação: considerações gerais e características do processo. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 13, n. 2, 2016.

D'ANNIBALE, A.; ROSETTO, F.; LEONARDI, V.; FEDERICI, F.; PETRUCCIOLI M. Role of Autochthonous Filamentous Fungi in Bioremediation of a Soil Historically Contaminated with Aromatic Hydrocarbons. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, v. 1, p. 28–36, 2006.

DAVIS, L. C.; CASTRO-DIAZ, S.; ZHANG, Q.; ERICKSON, L. E. Benefits of vegetation for soils with organic contaminants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 21, n. 5, p. 457-491, 2002.

DE LIMA, A. M.; DE SOUSA MELO, J. L.; DE SOUZA MELO, H. N.; DE CARVALHO, F. G. Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L) utilizando efluente sintético contendo chumbo. **HOLOS**, v. 1, p. 51-61, 2010.

DE LIMA, G. M.; CÔRREA, T. F.; LIMA, A. F.; PONTIERI, M. H.; MUNÕZ, R. A. A. Estudo de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo empregando plantas de amendoim (*Arachis Hypogaea* L.). **Rev. Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n.16, p. 2919-2029, 2013.

DE MENEZES LAMBERT, L. F.; DA SILVA SOARES, R. P.; DE SOUZA, S. C. O uso da fitorremediação para recuperação de solos contaminados por petróleo. **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2012.

DO AMARAL, D. G., DA SILVA MARTINS, D. **USO DE PLANTAS ORNAMENTAIS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM PETRÓLEO**, 2017.

DUSHENKOV, V.; KUMAR, P.; MOTTO, H.; RASKIN, I. Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. **Env. Sci. And Tech**, v. 29, p. 1239-1245, 1995.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p

ESTRELA, M. A.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, n. 1, p. 160-172, 2018.

EVANGELISTA, F.S.B.; SILVA, I.C.R. **Fontes de contaminação pelo Chumbo (Pb)**. 8ª Mostra de produção científica da pós-graduação lato sensu da PUC Goiás, v. 1, p. 1426-1434, 2013.

FERRAÇO, M.; PIRES, F. R.; BELO, A. F.; CELIN FILHO, A.; BONOMO, R. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 48, n. 1, p. 32-40, 2017.

FERREIRA, I. D.; MORITA, D. M. Biorremediação de solos contaminado por isobutanol, bis-2-etil-hexilftalato e di-isodecilftalato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 643-652, 2012.

FILHO, C. V. S. (1996). Brachiaria – espécies e variedades recomendadas para diferentes condições, por Cecílio V.S.F. Campinas, coordenadoria de assistência técnica integral- CATI, 26p, **Boletim Técnico**.

FINE, P.; GRABER, E. R.; YARON, B. Soil interactions with petroleum hydrocarbons: abiotic processes. **Soil Technology**, v. 10, p. 133-153, 1997.

FRICK, C. M.; FARREL, R. E.; GERMIDA, J. J. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. **University of Saskatchewan (Department of Soil Science) - Canada**, 1999.

GAO, J. J.; WANG, B.; PENG, R. H.; LI, Z. J.; XU, J.; TIAN, Y. S.; YAO, Q. H. 2021. Phytoremediation of multiple persistent pollutants co-contaminated soil by HhSSB transformed plant. **Environmental Research**. 197, 110959. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110959>.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plantbased technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 229-236, 2001.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plantbased technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 229-236, 2001.

GARDEA, J. L.; PERALTA, J. R.; ROSA, G.; PARSONSB, J. G. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by Xray absorption spectroscopy. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 249, p.1797-1810, 2005.

GERALDO, M. R.; MARANHO, L. T. Imobilização de consórcio de bactérias degradadoras de petróleo obtidas da rizosfera de *panicum aquaticum* poir., poaceae. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 7, p. 45816 – 45830, 2020.

GRACIANO, V. A.; PIRES, C. D. S.; TEIXEIRA, S. C. G.; ZIOLLI, R. L.; PÉREZ, D. V. Remediação de um solo contaminado com petróleo por oxidação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1656-1660, 2012.

GUGLIERI, A.; ZULOAGA, F. O.; LONGHI-WAGNER, H. M. Synopsis of *Panicum* subg. *Panicum* (Poaceae, Paniceae) in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 18(2), p. 359-367, 2004.

GUO, H.; YAO, J.; CAI, M.; QIAN, Y.; GUO, Y.; RICHNOW, H.H.; BLAKE, R.E.; DONI, S.; CECCANTI, B. Effects of petroleum contamination on soil microbial numbers, metabolic activity and urease activity. **Chemosphere**, v. 87, p. 1273-1280, 2012.

HAVELCOVÁ, M.; MELEGY, A.; RAPANT, S. Geochemical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and sediments of El-Tabbin. **Egypt Chemosphere**, v. 95, p. 63-74, 2014.

HEIDERSCHEIDT, D. Conceitos aplicados à poluição do solo decorrente do derrame de petróleo e seus derivados. **Revista Maiêutica**, v. 4, n. 1, p. 7-14, 2016.

HERNANDEZ-VALENCIA, I.; MAGER, D. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiária brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. **Biagro**, v.3, n.15, p. 149-155, 2003.

HOU, D.; AL-TABBAA, A. 2014. Sustainability: a new imperative in contaminated land remediation. *Environ. Sci. Policy* 39, 25–34.

HUANG, X. D.; EL-ALAWI, Y.; GURSKA, J.; GLICK, B.R; GREENBERG, B.M. A multiprocess phytoremediation for descontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (HTPs) from soils. **Microchemical Journal**, 81, p. 139-147, 2005.

HYNES, R. K.; FARREL, R. E.; GERMIDA, J. Plant-assisted degradation of phenanthrene as assessed by solid-phase microextraction (SPME). **International Journal of Phytoremediation**, V. 6, n.3, p. 253-268, 2004.

INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL. ***Panicum maximum***. Disponível em: <https://institutohorus.org.br/download/fichas/Panicum_maximum>. Acesso em: 15 ago. 2020.

JAGTAP, S. S.; WOO, S. M.; KIM, T. S.; DHIMAN, S. S.; KIM, D.; LEE, J. K. Phytoremediation of diesel-contaminated soil and saccharification of the resulting biomass. **Fuel**, v. 116, p. 292-298, 2014.

JIAMJITRANICH, W.; PARKPIAN, P.; POLPRASERT, C.; KOSANLAVIT, R. TNT and its metabolites in shoots and roots of *Panicum maximum* in nanophytoremediation. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2013.

LABUD, V.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. **Chemosphere**, v.66, p.1863-1871, 2007.

LASAT, M.M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. **Journal of Hazardous Substance Research**, v. 2, p. 25, 2000.

LIAO, C., XU, W., LU, G., DENG, F., LIANG, X., GUO, C., DANG, Z. Biosurfactant-Enhanced Phytoremediation Of Soils Contaminated By Crude Oil Using Maize (*Zea Mays*. L). **Ecological Engineering**, V. 92, P. 10-17, jul, 2016.

LIMA, L. M. Q. Biorremediação de lixões. Aplicações da biotecnologia ao meio ambiente. **LILACS**, p. 274, 2002.

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, Guarujá-SP, 2014.

LINDINO, C. A.; TOMCZAK, A. P.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de cádmio e chumbo. **Scientia Agraria Paranaensis, Marechal Cândido Rondon**, v. 11, n. 4, p.25-32, 2012.

MacKINNON, G.; DUNCAN, H.J. Phytotoxicity of branched cyclohexanes found in the volatile fraction of diesel fuel on germination of selected grass species. **Chemosphere**, v. 90, p. 952-957, 2013.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S. C. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazones. **Pesquisa Agropecuária Tropical: Goiânia**, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012.

MAHANTY, B.; PAKSHIRAJAN, K.; DASU, V.V. Understanding the complexity and strategic evolution in PAH remediation research. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 41, p. 1697-1746, 2011.

MALINOSKI, L.; MARANHO, L. T. Imobilização de consórcio de bactérias extraídas da rizosfera de *echinochloa polystachya* (KUNTH) HITCHC., Poaceae, e seu potencial para a degradação de petróleo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50373-50395, 2020.

MANT, C. M. **Studies on the use of Salix viminalis for the phytoremediation of wastewaters**. Tese de Doutorado. University of Portsmouth, 2001.

MARIANO, A. P.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Monitoramento de indicadores geoquímicos e avaliação de biodegradação em área contaminada com óleo diesel. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 296-304, 2007.

MARIANO, A. P.; KATAOKA, A. P. D. A. G.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Laboratory study on the biorremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. **Brazilian Journal of Microbiology**. São Paulo, v. 38, n. 2, p. 346-353, 2007.

MARTINEZ, M. S.; CRUVINEL, D. F. C.; BARATTO, D. M. Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. Revista **DAE-Sabesp, São Paulo**, v. 191, n. 1, p. 30-37, 2013.

MARTINS, S. S. D. S.; SILVA, M. P.; AZEVEDO, M. O.; SILVA, V. P. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. **Holos**, v. 6, p. 54-76, 2015.

MASCIANDARO, G.; DI BIASE, A.; MACCI, C.; PERUZZI, E.; IANNELLI, R.; DONI, S. Phytoremediation of dredged marine sediment: monitoring of chemical and biochemical processes contributing to sediment reclamation. **Journal of Environmental Management**, v. 134, p.166-74, 2014.

MATTA, J. C. M. E.; TAVARES, S. R.L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: O Uso De Plantas Na Melhoria Da Qualidade Ambiental**. São Paulo: Oficina De Textos, 2007. 176 P.

MAZZEO, D. E. C.; LEVY, C. E.; DE ANGELIS, D. F.; MARIN-MORALES, M. A. BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 4334-4340, 2010.

MEDEIROS, C. M.; CHIANCA, C. G. C.; DE ANDRADE, I. M. A aplicação de processos químicos no tratamento de poluentes gerados pela extração e refino do petróleo. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 935-942, 2015.

MERKL, N.; SCHULTZE-CRAFT, R.; INFANTE, C. Assesment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum contaminated soils. **Water, Air & Soil Pollution**. 2004. v. 165.

MOLINA-BARAHONA, L.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, R.; HERNÁNDEZ-VELASCO, M.; VEGA-JARQUÍN, C.; ZAPATA-PÉREZ, O.; MENDOZA-CANTÚ, A.; ALBORES, A. Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. **Applied Soil Ecology**, v. 27, n. 1, p. 165–175, 2004.

MULGREW, A.; WILLIAMS, P. Biomonitoring of air quality using plants, Air Hygiene Report 10. **WHO Collaborating Centre for the Air Quality Management and Air Pollution Control, Berlin**, 2000.

MÜLLER, M. S. **Desempenho de *Panicum maximum* (cv. Mombaça) em pastejo rotacionado, sob sistema de irrigação por pivô central, na região do cerrado**. Dissertação de mestrado em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 101, 2000.

NEFF, J. M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Sources, fates and biological effects. **Applied Science**, London, p. 262, 1979.

OLATUNJI, O. S.; XIMBA, B. J.; FATOKI, O. S.; OPEOLU, B. O. Assessment of the phytoremediation potential of *Panicum maximum* (guinea grass) for selected heavy metal removal from contaminated soils. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 19, p. 1979–1984, 2014.

OZIGIS, M. S.; KADUK, J. D.; JARVIS, C. H. 2019. Mapping terrestrial oil spill impact using machine learning random forest and Landsat 8 OLI imagery: a case site within the Niger Delta region of Nigeria. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 3621–3635. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3824-y>.

PAJEVIC, S.; BORISEV, M.; NIKOLIC, N.; KRISTIC, B.; PILIPOVIC, A.; ORLOVIC, S. Phytoremediation capacity of poplar (*Populus* spp.) and willow (*Salix* spp.) clones in relation of photosynthesis. **Archives of Biological Science Belgrade**, v. 61, n. 2, p. 239-247, 2009.

PETROBRAS – **Petróleo Brasileiro S.A.** Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/petroleo/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. D.; CECON, P. R.; SANTOS, J. B. D.; TÓTOLA, M. R.; PROCÓPIO, S. D. O.; SILVA, A. A. D.; SILVA, C. S. W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 627-634, 2005.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Seleção de Plantas com Potencial para Fitorremediação de Tebuthiuron. **Planta Daninha**, v. 21, p. 451-458, 2003.

REID, B.J.; JONES, K.C.; SEMPLE, K.T.; Bioavailability of persistent organic pollutants in soils and sediments: a perspective on mechanisms, consequences and assessment. **Environ. Pollut**, v. 108, p. 103-112, 2000.

REYNOSO-CUEVAS, L., GALLEGOS-MARTINEZ, M. E., CRUZ-SOSA, F., GUTIERREZ-ROJAS, M. In Vitro Evaluation Of Germination And Growth Of Five Plant Species On Medium Supplemented With Hydrocarbons Associated With Contaminated Soils. **Bioresource Technology**, V. 99, N. 14, P. 6379-6385, set, 2008.

RIBEIRO, M. A. C. **Contaminação do solo por metais pesados**. 2013.

RIZZO, A. C. L.; LEITE, S. G. F.; SORIANO, A. U.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S.; **Série Tecnologia Ambiental**, STA-37, CETEM/MCT, 2006.

Rizzo, A. C. L.; Leite, S. G. F.; Soriano, A. U.; Santos, R. L. C.; Sobral, L. G. S.; **Série Tecnologia Ambiental**, STA-37, CETEM/MCT, 2006.

ROCHA, T. C. F.; BRITO, D. D.; MILANELLI, J. C. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental do litoral de Ubatuba-SP a Vazamentos de Petróleo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 1, 2010.

SANTOS, F. S. D.; MAGALHÃES, M. O. L.; MAZUR, N.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. D. Alteração química e fitoestabilização de um resíduo industrial contaminado com Zn e Cd. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 506-512, 2007.

SARKAR, D.; FERGUSON, M.; DATTA, R.; BIRNBAUM, S. **Environ. Pollut**, n. 136, p. 187, 2005.

SHARMA, H. D.; KRISHNA R. R. Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies. **John Wiley & Sons**, 2004.

SHARMA, N. C.; GARDEA-TORRESDEY, J. L.; PARSONS, J.; SAHI, S. V. Chemical speciation and cellular deposition of lead in *Sesbania drummondii*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 23, p. 2068–2073, 2004.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, p. 35-52, 2005.

SILVA, J. F. D. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados, 2012.

SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Rome: FAO Producción y Protección Vegetal, v. 23, p. 849, 1992.

SOUZA, L. A. D.; ANDRADE, S. A. L. D.; SOUZA, S. C. R. D.; SCHIAVINATO, M. A. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 1441-1451, 2011.

SUN, J.-L.; ZENG, H.; NI, H.-G. Halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment. **Chemosphere**, v. 90, p.1751-1759, 2013.

SURESH, B.; RAVISHANKAR, G. A. Phytoremediation-a novel and promising approach for environmental clean-up. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 24, p. 97-124, 2004.

TABOSA, J. N.; AZEVEDO NETO, A. D.; REIS, O. V.; FARIAS, I.; TAVARES, J. J.; LIRA, M. A. Forage millet evaluation on harvest stage in the semi-arid region of Pernambuco State- Brazil. In: International pearl millet workshop, Brasília. **Anais dos IPMW**. Embrapa, p.208-212, 1999.

TAVARES, S. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Tese (Programa de Engenharia Civil). Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009, p. 415.

TCACENCO, F.A.; BOTREL, M. De A. (1994). Identificação e avaliação de acessos e cultivares de Capim Elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F., CARVALHO, L. de A. (Ed.) Capim elefante: produção e utilização. **Embrapa – CNPGL**. p. 1-30.

TRINDADE, P.V.O. (2002). **Avaliação das técnicas de bioaugmentação e bioestimulação no processo de biorremediação de solo contaminado por hidrocarboneto de petróleo** – Tese de Mestrado, Escola de Química/UFRJ, RJ.

USEPA. Introduction to phytoremediation: EPA/600/R-99/107. **Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory**, 2000.

WITTERS, N.; MENDELSON, R.O.; VAN SLYCKEN, S.; WEYENS, N.; SCHREURS, E.; MEERS, E. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: energy production and carbon dioxide abatement. **Biomass Bioenergy**, v.39, p. 454-469, 2012.

WU, H. B.; TANG, S. R. Using elevated CO₂ to increase the biomass of a Sorghum vulgare x Sorghum vulgare var. sudanense hybrid and Trifolium pratense L. and to trigger hyperaccumulation of cesium. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 861-870, 2009.

ZANARDI-LAMARDO, E.; BÍCEGO, M. C.; WEBER, R. R. 2013. The fate of an oil spill in São Sebastião channel: a case study. **Braz. J. Oceanogr.** 61, 2. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592013000200002>.

ZULFAHMI, I.; KANDI, R.N.; HUSLINA, F.; RAHMAWATI, L.; MULIARI, M.; SUMON, K.A.; RAHMAN, M.M. 2021. Phytoremediation of palm oil mill effluent (POME) using water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk). **Environmental Technology & Innovation**. 21, 101260. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101260>.