



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde

ISSN: 2526-690X
v.3 | n.1 | 2019

Victor Henrique Resende Lima
Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela
Universidade Federal de Lavras
victor@primeengenharias.com

Ronaldo Fia
Professor Associado do Departamento de
Engenharia da Universidade Federal de Lavras
ronaldofia@deg.ufla.br

Luana da Silva Sousa
Graduanda em Engenharia Ambiental e
Sanitária pela Universidade Federal de Lavras
luanadasilvasousa@hotmail.com

Raquel Alves Da Silva
Graduanda em Engenharia Ambiental e
Sanitária pela Universidade Federal de Lavras
raquelalves8328@gmail.com

Marcos Vieira De Carvalho
Graduando em Engenharia Ambiental e
Sanitária pela Universidade Federal de Lavras
marcos.carvalho.v@gmail.com

AVALIAÇÃO DO CAPIM-VETIVER E CAPIM-MARANDU NA REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM ÓLEO LUBRIFICANTE USADO

Resumo: A contaminação do solo causada pelo derramamento de combustíveis e outros derivados de petróleo constituem um grave problema de efeitos danosos ao ambiente e a saúde pública. Uma técnica que surge como solução para o problema é a fitorremediação, que consiste no uso de espécies vegetais para remoção de contaminantes do solo. Sendo assim, o estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da contaminação com derivados do petróleo em solo cultivado com diferentes gramíneas. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em um Latossolo vermelho onde foram plantados o capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e capim Marandu (*Brachiaria brizantha*). Para criar uma condição de contaminação do solo, utilizou-se óleo de motor de automóveis após o uso e foram estabelecidos cinco tratamentos, com diferentes volumes aplicados do resíduo: condição de controle (sem adição do resíduo), 2, 4, 6 e 8 litros por metro quadrado de solo com 5 repetições para tratamento com Vetiver e 4 para o Marandu. Foram realizadas análises de carbono orgânico e óleos e graxas do solo antes e depois do despejo para avaliar as alterações no solo. Observou-se que os teores de óleos e graxas e carbono orgânico do solo eram de 0,003 g.g⁻¹ de solo e 1,90% respectivamente. Após uma semana, os exemplares que obtiveram maior valor de carbono orgânico (2,63 %), foram o capim Marandu que receberam a dosagem de 6 L.m⁻². Enquanto as mudas do capim Vetiver que receberam 6 L.m⁻² apresentaram os maiores teores de óleos e graxas (0,0275 g.g⁻¹) após sete dias do despejo.

Palavras-chave: Fitorremediação. Degradação do solo. Descontaminação. Óleo usado. Petróleo.

EVALUATION OF CAPIM-VETIVER AND CAPIM-MARANDU IN THE REMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH USED LUBRICANT OIL

Abstract: Contamination of the soil caused by the spillage of fuels and other petroleum products is a serious problem with harmful effects on the environment and public health. One technique that appears as a solution to remedy the problem is phytoremediation, which consists in the use of plant species to remove contaminants from the soil. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of contamination with petroleum products on soil cultivated with different grasses. The experiment was carried out at Federal University of Lavras (UFLA), in a Red Latosol where Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) and Marandu grass (*Brachiaria brizantha*) were

planted. In order to create a soil contamination condition, automobile motor oil was used after use and five treatments were established, with different applied volumes of the residue: control condition (without residue addition), 2, 4, 6 and 8 liters per square meter of soil with 5 replicates for treatment with vetiver and 4 for the marandu. Analyzes of organic carbon and soil oils and greases were performed before and after the dump to evaluate soil changes. It was observed that the contents of oils and greases and soil organic carbon were 0.003 g.g⁻¹ of soil and 1.90% respectively. After one week, the samples that obtained the highest value of organic carbon (2.63%), were the Marandu grass that received the dosage of 6 L.m². Vetiver grass seedlings receiving 6 L.m² presented the highest oil and grease content (0.0275 g.g⁻¹) after seven days of dump.

Keywords: Phytoremediation, Soil degradation, Decontamination. Used oil. Petroleum.

Recebido em: 30/06/2019 - Aprovado em: 15/07/2019 - Disponibilizado em: 30/07/2019

INTRODUÇÃO

A contaminação por poluentes orgânicos perigosos, os derramamentos de petróleo, hidrocarbonetos, compostos poliaromáticos e solventes orgânicos geram grandes problemas ambientais e de saúde pública, pois devido à difícil degradação dessas substâncias, contribuem para acúmulo e persistência da poluição (CHU; CHAN, 2003; GUEDES et al., 2010).

Em contrapartida, o alto custo das técnicas de remediação de solos e os constantes casos de derramamentos de petróleo e seus derivados são pontuados como principais fatores de incentivo para estudos e pesquisas de novas metodologias e técnicas para descontaminação de áreas afetadas por

esse tipo de resíduo. A partir de então, o emprego de técnicas que promovem a degradação *in-situ* ou *ex-situ* de petróleo e seus derivados tem sido amplamente estudado e aplicado devido à atuação de mecanismos físicos, químicos e biológicos para diminuir ou atenuar os impactos causados ao meio ambiente (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010; FILHO; CORIOLANO, 2016; VIOTTI et al., 2017).

Técnicas de remediação como a oxidação química, atenuação natural, extração de vapores, extração da parte líquida, lavagem do solo, solidificação e estabilização, técnica do plasma e a fitorremediação têm sido utilizadas em larga escala para tentar solucionar a contaminação dos solos (PEDRAZZOLI,

2004; CARDOSO; LODI; BARROS, 2017).

A aplicação da fitorremediação de petróleo e seus derivados é evidenciada pelo experimento de Trinidad et al. (2017) com gramíneas *Leersia hexandra* (Poaceae) e remediação e biorremediação de solos multicontaminados com hidrocarbonetos e metais por Rocha et al. (2016). Sendo assim, gramíneas, leguminosas, hortaliças, espécies de porte arbóreo, monocotiledôneas e eudicotiledôneas são consideradas espécies promissoras para remediação de solos (AGUIAR et al., 2012).

As características morfológicas do Capim-Vetiver são um grande atrativo para seu uso, trata-se de uma planta perene que pode chegar a dois metros de altura; o desenvolvimento máximo ocorre quando está em condições de maior exposição solar, possui um sistema radicular que pode chegar até cinco metros de profundidade além de não ser considerada uma espécie invasora, pois suas sementes são estéreis. O capim possui alta eficiência em absorver N, P e Pb, alta tolerância a Al, Mn e demais metais pesados, além de suportar diferentes regimes hídricos (secas e inundações) e temperaturas de -15 a + 55°C, tornando-se um grande aliado na recuperação de áreas degradadas e estabilização de taludes

(BARBOSA; LIMA, 2013; CHAVES; ANDRADE, 2013).

O Capim-Marandu, por sua vez é uma gramínea ecotipo de *Braquiaria brizantha* representante da família Poaceae, originada de regiões vulcânicas da África, e apresenta grandes qualidades como forrageira devido a sua resistência a cigarrinha das pastagens, alta produção de sementes e biomassa foliar. Trata-se de uma planta robusta, podendo alcançar de 1,5 a 2 metros de altura, tolerante a altos níveis de alumínio e manganês do solo (EMBRAPA, 1984; SILVA; FERRARI, 2012).

Diante de tantas características morfológicas benéficas, o emprego do Capim-Vetiver e Capim-Marandu é base de estudos em remediação de solos contaminados. Como exemplo, Souza, Konrad e Gonçalves Junior (2016) evidenciaram o uso do Capim-Vetiver como fitoextrator de chumbo em solos contaminados, Embrapa (2017) com uso do vetiver para revegetação de rejeitos da barragem do Fundão em Mariana-MG e Borges et al. (2016) avaliaram a germinação do Capim-Marandu em exposição de cádmio, chumbo e cobre. Com isso, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o desempenho de gramíneas na remediação de um solo contaminado com derivados do petróleo, proporcionar maior

conhecimento técnico-científico sobre as plantas e analisar sua eficiência como um sistema alternativo e de baixo custo para a descontaminação de solos afetados por esse tipo de resíduo.

Especificamente, pretende-se avaliar os efeitos da contaminação com derivados do petróleo em um Latossolo Vermelho cultivado com o Capim-Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e Capim-Marandu (*Brachiaria brizantha*), quantificar os níveis de carbono orgânico do solo ao longo de um ano em diferentes dosagens de aplicação de óleo lubrificante usado (OLU), comparar o desempenho das espécies usadas no estudo e demonstrar que os resultados obtidos justificam a utilização de plantas como agentes de remediação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na cidade de Lavras - MG, no câmpus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), setor de tratamento de dejetos da suinocultura com as coordenadas 21° 13' 53,85" S e 44° 58' 14,63" O. Segundo a classificação do clima de Köppen e Geiger, o município é considerado como Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente, com uma média de temperatura de 19,9°C, pluviosidade anual

de 1.558,3 mm para normal climatológica de 1961 a 1990, 1461,8 mm para normal climatológica de 1981 a 2010. A área está a 918,84 metros de altitude de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018).

Na Tabela 1 estão descritos os resultados analíticos das variáveis do Latossolo Vermelho usado no experimento.

Tabela 1- Resultado analítico das variáveis do solo utilizado no estudo

Variáveis	Amostra de solo
K (mg.dm ⁻³)	313,79
P (mg.dm ⁻³)	98,89
S (mg.dm ⁻³)	15,31
Ca (cmol.dm ⁻³)	7,03
Mg (cmol.dm ⁻³)	0,86
Al (cmol.dm ⁻³)	0,08
H + Al (cmol.dm ⁻³)	1,44
SB (cmol.dm ⁻³)	8,69
t (cmol.dm ⁻³)	8,77
T (cmol.dm ⁻³)	10,13
V (%)	85,83
m (%)	0,91
MO (g.kg ⁻¹)	35,4
P-Rem (mg.L ⁻¹)	7,89

A análise de pH foi realizada em água, KCl e CaCl₂ com relação 1:2,5, Ca, Mg e Al utilizou-se extrator KCl a 1 mol L⁻¹, capacidade de troca catiônica (t) a pH 7,0, P e K aplicou-se o extrator Mehlich 1, H+Al o extrator SMP e matéria orgânica (MO) oxidação de Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N (EMBRAPA, 2009).

Na avaliação foi utilizada uma área que foi aterrada, antes caracterizada como Latossolo Vermelho, porém o manejo do solo, a disposição de dejetos da suinocultura e implantação de construções de alvenaria fizeram alterações significativas nas condições naturais do solo. Possui textura argilosa, com curva de retenção de água de 41,5 % a 0,1 atm, pH igual a 7,4 e a vegetação predominante é pastagem.

Para realizar o estudo, utilizou-se o Capim-Vetiver, *Chrysopogon zizanioides*, e Capim-Marandu, *Brachiaria brizantha*, ambos pertencentes à família Poaceae e que apresentam boa tolerância ao déficit hídrico e também devido ao seu grande uso na estabilização de taludes, recuperação de áreas degradadas e remediação de solos contaminados. As mudas do Capim-Vetiver foram obtidas por meio de divisão de touceiras de exemplares da espécie que existem no Departamento de Ciência do Solo na UFPA e posteriormente cultivadas em 25 caixas de 1 L de capacidade tipo Tetra Park®, com substrato de areia, solo e esterco bovino, seguindo a proporção recomendada pela Embrapa (2016), 3:1:1 volume/ volume e não sendo realizada adubação química. As mudas foram irrigadas diariamente e após seis meses

foram transplantadas para o local do estudo.

A distribuição das mudas foi em 5 fileiras contendo 5 exemplares do Capim-Vetiver espaçados de um metro de distância entre elas e a mesma distância entre fileiras. Durante dois meses foi realizada a aplicação de água a cada dois dias de intervalo, utilizando 1 L de água por planta com auxílio de vasilhames plásticos.

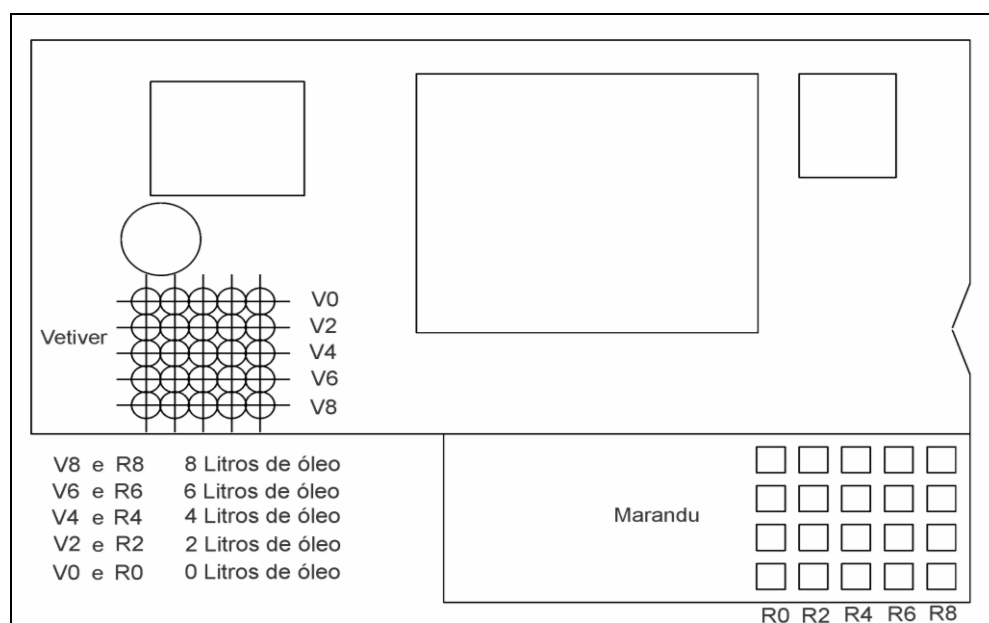
As sementes do Capim-Marandu foram obtidas por meio de doações realizadas pelo setor de Forragicultura e Pastagens do Departamento de Zootecnia da UFPA. O plantio das mesmas foi realizado em covas no campo experimental com profundidade de 5 centímetros no dia 15/01/2017, a irrigação ocorreu de dois em dois dias com auxílio de vasilhames plásticos durante 2 meses.

A distribuição do plantio foi realizada em porções de um metro quadrado delimitados com linha de nylon suspensa a 0,40 m acima do solo e distantes entre si de 0,5 m, sendo as mesmas dispostas em 4 fileiras contendo 4 porções em cada (representam as quatro repetições em campo onde foram plantadas as sementes de Capim-Marandu), apresentando espaçamento de 0,5 metros de distância entre elas.

Para criar uma condição de contaminação do solo por petróleo e seus derivados, utilizou-se óleo lubrificante de motor de automóveis adquiridos em oficinas mecânicas da cidade de Lavras – MG e no setor de transportes da UFLA após o uso, que foram homogeneizados em tambores de 200 L. Sendo assim, foram estabelecidos diferentes volumes para a disposição do resíduo: 0 (condição de controle), 2, 4, 6 e 8 litros por metro

quadrado de solo, o que representa 0, 1, 2, 3 e 4% v/v de contaminação. Com isso, foram feitas 5 repetições em campo para cada dosagem com Capim-Vetiver e 4 para o Capim-Marandu. O croqui com o layout do campo experimental e com as porções usadas no plantio das plantas está representado na Figura 1.

Figura 1 – Layout do campo experimental onde foram cultivados o Capim-Vetiver e o Capim-Marandu, e dispostas diferentes quantidades de óleo lubrificante usado.



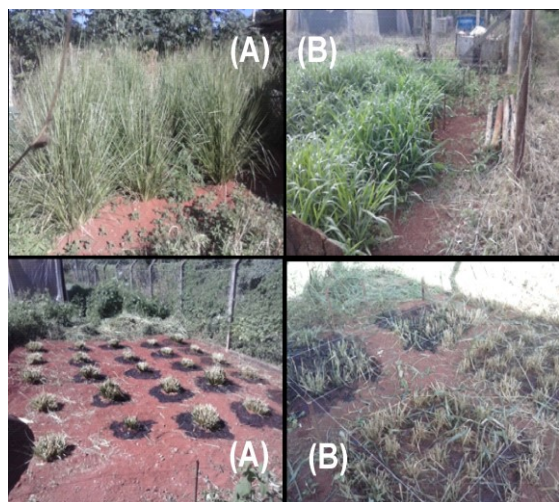
Fonte: O autor (2019).

Foram consideradas como V8, V6, V2, V4 e V0 os respectivos volumes de 8, 6, 4, 2, 0 litros de óleos dispostos; enquanto que para o Capim-Marandu considerou-se como R8, R6, R4, R2 e R0 com as mesmas dosagens citadas, porém com quatro repetições em campo.

A disposição dos resíduos foi realizada dia 13/05/2017, 119 dias após o plantio de Capim-Marandu e 198 dias após o transplante do Capim-Vetiver no campo experimental, tempo suficiente para estabilização e desenvolvimento das plantas. Os exemplares passaram por uma

poda para homogeneizar a altura das plantas com 0,15 m. A Figura 2 demonstra a condição das plantas antes e depois do corte inicial de uniformização.

Figura 2 – Capim-Marandu (A) e Capim-Vetiver (B) antes e depois do corte inicial de uniformização e a disposição de óleo lubrificante usado no solo



Realizou-se coleta de amostras de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, com auxílio do trado holandês, antes do despejo do óleo no solo e nos intervalos de 7, 73, 146, 320, 508 dias após o despejo. A primeira coleta consistiu em uma amostragem composta para um diagnóstico inicial, em que foram coletadas amostras de solo dos exemplares que receberam a mesma dosagem. Enquanto nas outras coletas foi realizada a amostragem simples, ou seja, a coleta de solo onde está cultivado cada exemplar das espécies. A Figura 3 auxilia na

compreensão temporal das etapas de despejo e coleta de solo realizada no experimento.

Para avaliar o desempenho das plantas e a atenuação natural do solo na remediação foram realizadas análises de carbono orgânico em todas as amostras de solo, por meio do qual possibilitou o cálculo da matéria orgânica do solo, ambos seguindo a metodologia de Lana et al. (2010), sendo realizadas em triplicatas no Laboratório de Águas Residuárias do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFLA.

Os teores de matéria orgânica foram obtidos multiplicando os teores de carbono orgânico por um fator de correção correspondente a 1,724, utilizado em virtude de se admitir que na composição média dos compostos orgânicos do solo o carbono participa com 58% (LANA et al., 2010; EMBRAPA, 2009).

Foi calculada a média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) das análises de carbono orgânico do solo coletado após 73 dias da disposição de OLU no solo (análises que foram realizadas em triplicatas e por plantas).

Figura 3 – Diagrama esquemático da variação temporal das diferentes etapas da condução experimental: plantio das espécies vegetais, disposição de óleo lubrificante usado no solo, corte das espécies vegetais e coleta do solo



A Análise de óleos e graxas seguiu a metodologia descrita APHA; AWWA e WEF (2005) sendo realizada apenas nas amostras coletadas após sete dias do despejo do óleo lubrificante em análise única, sendo as mesmas obtidas por meio de amostragem do solo por planta.

Posteriormente, foram utilizados os dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) obtidos por meio da estação convencional localizada no município de Lavras para avaliar se a precipitação durante o período do experimento influenciou na degradação da matéria orgânica no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes do despejo do contaminante, as mudas do Capim-Vetiver apresentaram grande desenvolvimento da parte aérea da planta, atingindo uma média de 1,8 m de altura enquanto que o Capim-Marandu obteve em torno de 0,5 m de altura, não sendo registrada nenhuma morte das plantas nesse momento.

Após corte da parte aérea dos exemplares com 0,15 m de altura e a disposição do óleo lubrificante usado (OLU) no solo observou-se que os solos que receberam maior concentração sofreram impermeabilização superficial, o que comprometeu o crescimento da vegetação rasteira e até mesmo a infiltração da água no solo.

No entanto, dois meses após a aplicação do OLU, observou-se que os exemplares do vetiver que receberam 4 litros de OLU, V41 (repetição 1), V42 (repetição 2) e V82 (repetição 2), que recebeu dosagem de 8 litros de OLU, não brotaram e morreram, podendo ser causada pela toxicidade do contaminante ou mais provável devido ao estresse causado pelo corte da planta e o déficit hídrico ocorrido nos meses de junho e julho de 2017. Caso a morte fosse causada pela toxicidade do contaminante esperava-se que os mais afetados seriam os exemplares V8 em função da maior concentração recebida. Não foram observadas diferenças discrepantes no crescimento das plantas após a contaminação; posteriormente, em meados de julho de 2018, a exemplar V84 (repetição 4) também morreu.

Diferentemente do observado no Capim-Vetiver, não foram constatadas mortes no Capim-Marandu após o corte de uniformização e a disposição do óleo. As plantas não demonstraram sofrer efeitos adversos devido às etapas ocorridas no experimento, e apresentaram desenvolvimento muito semelhante nas diferentes dosagens mesmo passando por um período de estiagem. Entretanto, após o período de seca em 2018, mais precisamente em outubro, quando foram

realizadas as últimas coletas de solo no campo experimental, observou-se que todos os exemplares de Capim-Marandu apresentavam sinais de senescência parcial ou completa do tecido vegetal, provavelmente por questões de falta de umidade no solo.

Observou-se que o Capim-Marandu apresentou grande desenvolvimento de biomassa de tecido vegetal, mas que devido ao período de seca, dificuldades de infiltração da água ocasionada pela impermeabilização do solo pelo óleo, aos efeitos remanescentes do contaminante ou até mesmo às características morfológicas da planta fizeram com que a mesma não tivesse grande resiliência em suportar o estresse proporcionado pelo experimento.

Aguiar et al. (2012) empregaram *Glycine max* cv CD (soja) 214 Br e *Brachiaria brizantha* cv (Marandu) na fitorremediação de um solo planosolo háplico contaminado por petróleo a 3%, e observou que a soja é mais tolerante que a braquiária na presença do contaminante.

Após 30 dias, foram observadas alterações anatômicas na área foliar e na biomassa aérea da soja enquanto que o Capim-Marandu teve mudança no comprimento da parte aérea, na área foliar, biomassa aérea e biomassa radicular, mas

não houve relato de senescência das plantas.

Valencia e Mager (2003), por sua vez, avaliaram o uso de *Panicum maximum* e *Brachiaria brizantha* (Marandu) para remover o petróleo em solos contaminados com 3% de concentração e não encontraram diferenças significativas na germinação das sementes em solos contaminados e não contaminados, porém, os autores verificaram que a sobrevivência da *Panicum maximum* foi significativamente menor do que a do *Brachiaria brizantha* comparados com a condição de controle. Observaram também que o Capim-Marandu apresentou uma redução maior na produção total de matéria seca, 11,4% enquanto que a outra gramínea estudada foi de 1,2%, mas que após 240 dias houve

diminuição no teor de óleos e gorduras em comparação com solos contaminados onde não havia presença de vegetação.

A análise de óleos graxas realizada nas amostras de solo coletas 7 dias após o despejo do óleo lubrificante usado no solo, demonstrou o aumento de 666,3 % no teor de óleos e graxas (mg.g^{-1} de solo) para o solo cultivado com Capim-Marandu que recebeu dosagem de 8 litros por metro quadrado, 346,4 % para dosagem de 6 litros, 335,9 % para dosagem de 4 litros, queda de 8,3 % para dosagem 2 litros e a condição controle manteve a concentração $2,99 \text{ mg.g}^{-1}$ de solo obtida no solo coletado na data do plantio das exemplares no campo experimental. Na Tabela 2 é demonstrado os resultados das análises juntamente com percentual de aumento ou decréscimo da concentração.

Tabela 2 - Teor óleos e graxas (mg.g^{-1} de solo) após sete dias do despejo de óleo lubrificante usado (OLU) no solo

Amostra	16/05/2017	23/05/2017	Variação (%)
	Condição Inicial	(7 dias depois)	
R8	2,99	22,91	666,3
R6	2,99	13,34	346,4
R4	2,99	13,03	335,9
R2	2,99	2,74	-8,3
R0	2,99	2,99	0,0
V8	2,99	26,11	773,6
V6	2,99	27,53	821,0
V4	2,99	3,69	23,6
V2	2,99	2,65	-11,4
V0	2,99	2,99	0,0

No solo cultivado com Capim-Vetiver, nos exemplares que tiveram dosagem de 8 litros por metro quadrado foram observados aumento de 773,6 % no teor de óleos e graxas, 821,0 % para dosagem de 6 litros, 23,6 % para dosagem de 4 litros, queda de 11,4 % para dosagem de 2 litros e a condição controle manteve a concentração 2,99 mg.g⁻¹ de solo obtido no solo antes do despejo. A concentração de óleos e graxas obtida no campo experimental antes do despejo do óleo foi muito baixa, 2,99 mg.g⁻¹ de solo o que corresponde a 0,3% de p/p. Conforme as características do solo e principalmente das atividades de manejo e uso do mesmo esperava-se que o teor de óleos não fosse muito expressivo. Porém, Rosa (2018), que avaliou o acúmulo de nutrientes, óleos e graxas em Latossolo Vermelho Eutroférrico de textura argilosa em Santa Tereza do Oeste - PR e Palotina - PR adubados com dejetos de suínos e encontrou valores muito próximos ao obtido nesse experimento, 2 mg.g⁻¹ (0,2% p/p) e 3 mg.g⁻¹ (0,3% p/p) de óleos e graxas para camadas de solo de 0 a 5 centímetros de profundidade.

Os locais onde foram depositadas as maiores concentrações do OLU no Capim-Marandu tiveram o maior teor de óleos e graxas no solo, 22,91 mg.g⁻¹ nos exemplares R8, 13,34 mg.g⁻¹ nos R6 e

13,03 mg.g⁻¹ nos R4. Diferentemente do observado no Capim-Marandu, as exemplares que obtiveram maiores teores de óleo e graxas foram as que receberam dosagem de 6 litros de OLU, assim V8 apresentou 26,11 mg.g⁻¹, V6 com 27,53 mg.g⁻¹ e V4 3,69 mg.g⁻¹.

Entretanto, os exemplares R2 apresentaram teores menores do que o solo continha antes do despejo do OLU, fato também observado nos exemplares V2, mesmo recebendo dosagem de 2 litros. A justificativa desse resultado e dos teores de V6 serem maiores podem ser erros no processo de homogeneização no despejo do OLU no solo, de erros no procedimento da análise, amostragem do solo ou até mesmo de uma análise com repetições significativas no laboratório, uma vez que o solo passou por amostragem composta e as análises foram realizadas uma única vez por amostra. Para R0 e V0, que representam a condição de controle não tiveram alteração na concentração de óleos e graxas do solo.

Outra hipótese é a de que a aplicação de pequenas doses de óleo (R6 e V6) possam ter estimulado a atividade microbiana da rizosfera possam ter estimulado a biodegradação do carbono presente no óleo lubrificante, reduzindo sua concentração 7 dias após a aplicação.

Em estudo realizado por Câmara, Souza e Lima (2014), que avaliou a biodecomposição de óleo bruto e diesel por meio de *Pseudomona aeruginosa*, utilizou-se 50 gramas de diesel e petróleo em amostras de 2 quilos de areia (concentração de 25 mg.g⁻¹ ou 2,5%) sendo que os percentuais observados de óleo e graxas nas amostras foram de 12 mg.g⁻¹ (1,2 %) para o petróleo e 11,5 mg.g⁻¹ (1,15%) para o diesel em processo de atenuação natural. Os valores se assemelham aos observadas no Capim-Marandu que recebeu dosagem de 6 litros, uma justificativa possível para esse resultado pode ser explicada pela relação de volume de solo afetado, já que foram depositados OLU por metro quadrado e coletadas amostras a 20 centímetros de profundidade, resultando em volume de 200 L de solo afetado. Logo os 6 litros de OLU em representaria um percentual de 3 % (0,03 v/v) são muito próximo dos 2,5 % (25 mg.g⁻¹) descrito pelo estudo mencionado.

Deon et al. (2012), realizando um experimento de biorremediação de solos contaminados com resíduos oleosos através de bioaumentação e atenuação natural em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico de pH em torno de 5,4 observou valores superiores ao obtido nesse estudo. Os teores de óleos e graxas

foram em torno de 140 mg.g⁻¹ (14%) e 120 mg.g⁻¹ (12%) para óleo lubrificante, 100 mg.g⁻¹ (10%) e 90 mg.g⁻¹ (9%) para óleo diesel dispostos em dois sistemas de bioaumentação de microrganismos isolados de diferentes efluentes industriais, enquanto que no processo de atenuação natural a concentração inicial foi de 100 mg.g⁻¹ (10%) para óleo lubrificante e 110 mg.g⁻¹ (11%) para o óleo diesel. No experimento, Deon et al. (2012), utilizaram parcelas de solo de 500 g, as quais foram contaminadas com 50 mL (10% m/v) de contaminante enquanto as maiores concentrações utilizados no presente estudo foram de 8 litros de OLUC por metro quadrado (4% v/v), obtendo como resultados mais expressivos V6 com 27,53 mg.g⁻¹ (2,75 %), V8 com 26,11 mg.g⁻¹ (2,61%) e R8 com 22,91 mg.g⁻¹ (2,91 %).

Como a concentração do contaminante foi menos que a metade utilizada por Deon et al. (2012), esperava-se que os teores de óleos e graxas fossem próximos da metade do observado pelo referido estudo, mas não foi o que ocorreu, para que os valores se aproximassem os maiores valores deveriam se aproximar de 50 mg.g⁻¹ (5%), fato que não ocorreu muito provavelmente em função da tipologia dos contaminantes usados. Para reforçar esse argumento,

Reginatto et al. (2011) observaram teores de 14,5 mg.g⁻¹ (1,45 %) em solos onde houve bioaumentação por *Aspergillus fumigatus* e 14,1 mg.g⁻¹ (1,41%) para a atenuação natural em um Latossolo Vermelho Distrófico húmico contaminado com 10% óleo de soja, também abaixo dos observados por Deon et al. (2012) em função dos diferentes contaminantes usados.

Embora não seja um estudo muito recente, mas não menos importante, Baptista e Rizzo (2005) fizeram acompanhamento do processo de atenuação natural de solo de textura areia

franca contaminado com 5 e 10% p/p por petróleo e observaram que após 15 dias a concentração de óleos e graxas em torno de 2,99 mg.g⁻¹ (3%), muito próximo do observado em R8, V8 e V6 (4% v/v de contaminação) para a primeira concentração e 60 mg.g⁻¹ (6%) para a segunda.

A Tabela 3 apresenta os teores de carbono orgânico do solo cultivado com o Capim-Vetiver (V) e o Capim-Marandu (R) sob diferentes dosagens de contaminante de acordo com a data de coleta e o tempo transcorrido (dias) após o despejo do OLU no solo.

Tabela 3 - Teor carbônico orgânico do solo (CO), em %, cultivado com Capim-Vetiver (V) e com Capim-Marandu (R) sob diferentes dosagens de contaminante.

Amostra	29/10/2016	23/05/2017	26/07/2017	07/10/2018	30/03/2018	05/10/2018
	Dia 0	Dia 7	Dia 73	Dia 146	Dia 320	Dia 508
R8 (8L)	1,90	2,58	2,50	3,35	2,85	2,90
R6 (6L)	1,90	2,63	2,53	3,26	2,51	2,72
R4 (4L)	1,90	1,65	2,37	2,73	2,35	2,41
R2 (2L)	1,90	1,64	2,53	2,53	2,19	2,32
R0 (0L)	1,90	1,90	2,77	2,54	2,02	2,33
V8 (8L)	1,90	2,62	3,04	3,31	2,89	2,73
V6 (6L)	1,90	2,50	3,26	3,28	2,86	2,80
V4 (4L)	1,90	2,62	2,65	3,24	2,50	2,03
V2 (2L)	1,90	2,27	3,16	3,23	2,29	2,61
V0 (0L)	1,90	1,90	2,29	2,71	1,76	1,63

Conforme observado na Tabela 3, o solo apresentou o percentual de 1,90% de CO antes do despejo do OLU no solo. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo com

areia franca de textura localizado em região amazônica no estado do Mato Grosso, Rodrigues et al. (2018) avaliaram a camada de 0 a 0,10 m em solos onde

eram cultivados arroz e soja e que no momento da coleta de amostras se consolidava pastagem de Capim-Marandu, no cultivo mínimo encontrou-se teores de 1,19 % de CO, no cultivo convencional (histórico de uso intensivo de grade aradora e niveladora) 0,93% , em pastagem nativa com vegetação graminoide 0,95 %, e em mata nativa fechada sem intervenção antrópica 1,32 %. Devido às características de manejo e uso do solo e principalmente das condições climáticas da região fizeram com que os valores tivessem essa variação.

Observou-se que sete dias após a disposição de óleo os exemplares R2 e R4 apresentaram valores de carbono orgânico menores que a condição inicial. Todos os outros exemplares apresentaram aumento em relação à condição inicial. No Capim-

Vetiver as maiores concentrações foram observadas onde foram depositados maiores volumes de OLU; entretanto no Capim-Marandu, além de apresentarem valores menores que a condição inicial, a maior concentração de CO foi observada nas plantas que receberam a dosagem de 6 litros de óleo. A explicação do ocorrido tem como possível causa erros no processo de homogeneização no despejo do óleo.

Para as amostras realizadas aos 73 dias após a aplicação do óleo lubrificante usado no solo, as amostras de solo foram coletadas por planta (amostragem simples) e as análises foram realizadas em triplicata, permitindo o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de carbono Orgânico (CO), desvio padrão e coeficiente de variação (CV) observados no solo 73 dias após a contaminação do solo com óleo lubrificante usado.

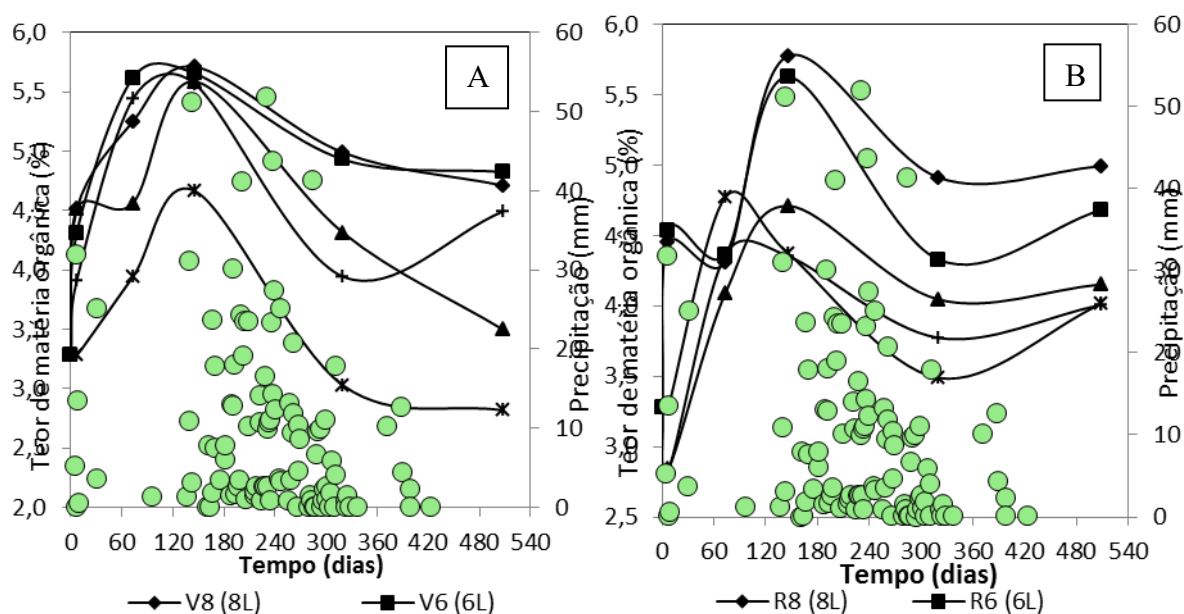
Amostra	CO% (Média)	Desvio Padrão	CV (%)
R8	2,5003	0,0857	3,43
R6	2,5316	0,0367	1,45
R4	2,3302	0,3187	13,68
R2	2,4604	0,1982	8,06
R0	2,7677	0,9198	33,23
V8	3,0600	0,3691	12,06
V6	3,2141	0,1287	4,01
V4	2,6077	0,2518	9,65
V2	3,0532	0,2987	9,78
V0	2,5166	0,4378	17,40

Com exceção das exemplares R0 e V0, condição de controle que não receberam óleo, todas as outras apresentaram o coeficiente de variação menor que 15%, esperava-se que os valores fossem bem menores devido a proximidade dos pontos de coletas e até mesmo da exposição as mesmas condições meteorológicas, mas é compreensível os resultados encontrados devido a heterogeneidade do solo. Assim, a partir dessa data as análises foram realizadas de

amostragem composta do campo experimental.

Na Figura 4, observa-se que a concentração de matéria orgânica no solo teve as maiores concentrações no período compreendido entre 73 e 146 dias após o despejo do OLU. Em seguida, iniciou-se o processo de redução nas concentrações até os 320 dias, sendo que depois predominou o processo de estabilização e sem reduções bruscas até o fim do experimento.

Figura 4 - Matéria orgânica no solo cultivado com Capim-Vetiver (A) e Capim-Marandu (B) sob diferentes dosagens de óleo lubrificante usado



Diante dos dados, percebe-se que os solos que foram contaminadas com o OLU apresentaram sempre valores maiores que na condição de controle; entretanto, alguns aspectos se mostraram

diferente do que era esperado. Após 7 dias do despejo os exemplares V8 e V4 tiveram valores muito próximos de matéria orgânica, embora o primeiro tenha recebido 4 L a mais de óleo, e V6 ser

praticamente idêntico a condição de controle mesmo recebendo dosagem de 6 L.

Passados 73 dias do despejo, a concentração em V4 apresentou um comportamento diferente das demais, sendo verificado um ligeiro aumento em relação ao dado anterior. As exemplares V2 tiveram um aumento considerável, ultrapassando até V8, só ficando atrás de V6.

Aos 320 dias, em processo de depleção da matéria orgânica, a ordem decrescente dos teores de MO seguiu o esperado, V8, V6, V4, V2 e V0 enquanto que na última amostragem V8 e V6 apresentaram valores aproximados e superiores aos demais, mas surpresa se deu com relação ao aumento de MO em V2.

O comportamento de V4 aos 73 dias e V2 aos 508 apresentaram discordância e desconformidade com a representação gráfica observada nas outras exemplares. Para sanar dúvidas sobre os resultados e verificar possíveis erros analítico, as amostras foram refeitas novamente em laboratório e não foi constatada variação significativa.

Diferentemente do Capim-Vetiver, o Capim-Marandu apresentou vários aspectos diferentes entre si e do esperado, conforme demonstrado na Figura 4.

A exemplares R4 e R2 aos 7 dias tiveram teores menores do que na condição inicial do solo enquanto que R6 e R8 tiveram os maiores valores para a data de amostragem. Na coleta 73 dias após o despejo, os exemplares R8 e R6 demonstraram uma redução enquanto que todas as outras tiveram aumento na concentração de MO e o maior valor foi observado em R0, condição de controle.

O ápice na concentração de R8, R6, R4 e R2 foi observado aos 146 dias sendo que depois iniciou-se o processo de depleção da MO. A peculiaridade encontrada na parte final do experimento demonstrou que após o período de 508 dias a concentração de matéria orgânica no solo de todos os exemplares do Marandu apresentaram aumento em relação a 320 dias.

A explicação para os valores de apresentarem discrepantes ou que não seguissem o padrão observado pode ser justificado pelo processo de homogeneização no despejo do óleo, o uso de utensílios rudimentares e até mesmo a dificuldade em espalhar igualmente o resíduo no solo, em função da viscosidade, podem ter influenciado nesse comportamento.

A justificativa para que os teores finais de matéria orgânica aumentassem ou estabilizassem se dá devido à ação das

espécies envolvidas. No Capim-Vetiver o índice de senescência foi muito baixo enquanto no Capim-Marandu a presença de tecido vegetal seco sobre o solo estava muito evidenciada. Logo a incorporação dos restos vegetais e a sua posterior degradação fizeram com que os teores de MO no solo cultivado com Capim-Marandu elevasse.

De maneira geral, o cultivo das plantas apresentou aumento nos teores de MO no solo, o que apresenta ser um aspecto benéfico, mas nas exemplares contaminadas o aumento de MO teve como principal motivo a incorporação e degradação do óleo no solo. Nesse aspecto, os maiores valores de matéria orgânica foram obtidos pelo Capim-Vetiver, o que demonstram ser uma vantagem em relação ao Capim-Marandu.

Embora os valores acima apresentem concentrações muito expressivas, o estudo realizado por Ribeiro et al. (2014) avaliou um solo arenoso contaminado com 5% p/p (sem remediação) no município de Goiânia, e foram obtidos teores de 73,23 g kg⁻¹ de CO e 131,42 g kg⁻¹ de MO, valores superiores ao observado por Primaz et al. (2017).

Os gráficos que representaram a concentração de matéria orgânica ao longo do tempo permitiram a visualização

de um comportamento peculiar no experimento. Até os 120 dias aproximadamente houve tendência de aumento da concentração da matéria orgânica enquanto que a partir de 320 iniciou-se o processo de redução.

Mesmo sendo espécies diferentes de plantas e estando expostas a condições parecidas de contaminação do solo, deveria existir alguma condição além das mencionadas, que favorecesse comportamento gráfico da concentração da MO ao longo do tempo observado. Logo, foi realizada uma verificação das variáveis meteorológica e conforme observado na Figura 4, a intensidade das chuvas foi fator de grande significância nos resultados encontrados.

O período de outubro a maio representa as mudanças de estação primavera/verão e verão/outono. Com isso, observa-se que no período de maior depleção da matéria orgânica foi justamente no período de chuvas.

Para ocorrer a degradação dos compostos oriundos de petróleo, que possuem características oleosas, a quantidade de nutrientes, o pH, a umidade, potencial redox, temperatura e concentração de oxigênio são fundamentais para a ação de microrganismos iniciarem o processo de decomposição da MO (BAPTISTA;

RIZZO, 2005; RIZZO et al., 2008), logo as condições ideais de umidade são de 50 a 85% da capacidade de campo no solo (ALVAREZ, ILLMAN; 2006), fato que pode ser obtido no período de maior índice pluviométrico.

De maneira geral, observou-se que o Capim-Vetiver apresentou maior resistência em suportar o estresse imposto no experimento, muito em função das características de seu sistema radicular, demonstrando como vantagem a sua aplicabilidade de longo prazo. Embora não tenha apresentado senescência aparente no início da contaminação, o Capim-Marandu se mostrou interessante para ser implantado em curtos espaços de tempo, o rápido aumento de biomassa vegetal é um aspecto importante para sua introdução como agente remediador primário para a proteção do solo, e desenvolvimento da rizosfera, ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos do solo.

CONCLUSÕES

Os dados apresentados no presente trabalho demonstraram benefícios com o uso das espécies vegetais na remediação de um solo contaminado com derivados do petróleo. Observou-se a incorporação de matéria orgânica no solo, mesmo nos

tratamentos que não receberam aplicação do óleo lubrificante usado. A presença das espécies vegetais também demonstrou como aspecto positivo a melhoria da qualidade estética do local e também a função de manter a camada de proteção contra impacto de gotas de chuva e carreamento de solo e contaminantes.

Com isso, o diferencial desse trabalho foi realizar um experimento *in situ*, onde foram executadas poucas atividades de manejo e controle das condições de campo. Nesse estudo, apenas foi realizado o molhamento nos dois primeiros meses, posteriormente as espécies vegetais estavam submetidas às condições reais de temperatura, chuvas, insolação e expostas a agentes externos (animais, por exemplo).

Por fim, os resultados demonstram que as plantas apresentam grande aplicabilidade e baixo custo, sendo interessante a sua aplicação em pequenas áreas contaminadas ou em pequenos núcleos industriais. Logo a aplicação do Capim-Vetiver e o Capim-Marandu são recomendadas para serem usadas em projetos e pesquisas envolvendo a fitorremediação.

Sugere-se que os próximos experimentos sejam realizados utilizando as plantas aqui estudadas e avaliem a ação

concomitante de microrganismos na biorremediação do solo, avaliação morfológicas das plantas e concentração de óleos e graxas ao longo do tempo.

Agradecimento aos membros Programa de Educação Tutorial Institucional de Engenharia Ambiental e Sanitária (PETI Ambiental) que tanto se empenharam para a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Christiane Rosas Chafim et al. Fitorremediação de Solos Contaminados por Petróleo. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p.3-9, jan. 2012.

ALVAREZ, Pedro J.J.; ILLMAN, Walter A. **Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models**. New Jersey: Wiley-Interscience, 2006. 609 p.

ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 3, p.17-43, set. 2010.

APHA, AWWA e WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, 21 ed., Washington, 2005.

BAPTISTA, Paula Machado; RIZZO, Andréa C. de Lima. Acompanhamento do Processo de Atenuação Natural de Solo Contaminado por Petróleo. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13.2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Cetem, 2005. p. 1 - 6.

BARBOSA, M. C.; LIMA, H. M. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com Capim-Vetiver.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.113-120, 2013.

BORGES, Karine Sousa Carsten et al. Germination and initial development of *Brachiaria brizantha* and *Brachiaria decumbens* on exposure to cadmium, lead and copper. **Journal of seed science**, Londrina, v. 38, n. 4, p.335-343, maio 2016.

CARDOSO, José Eduardo Taddei; LODI, Paulo Cesar; BARROS, Ana Maria Taddei Cardoso de. Técnicas Associadas de Remediação de Contaminação da Água e do Solo por Hidrocarbonetos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 5, n. 36, p.18-28, dez. 2017.

CÂMARA, J. D. A.; SOUSA, M. A. S. B.; LIMA, A. M.. Avaliação da biodecomposição de óleo bruto e diesel através da *Pseudomonas aeruginosa*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Cobeq, 2014. p. 1 - 9.

CHAVES, T.; ANDRADE, A. **Capim-Vetiver: Produção de mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: 2013, (Manual Técnico 39).

CHU, W.; CHAN, K.h.. The mechanism of the surfactant-aided soil washing system for hydrophobic and partial hydrophobic organics. **The Science Of The Total Environment**: Elsevier, New York, v. 1, n. 307, p.83-92, fev. 2003.

DEON, Maitê Carla et al. Biorremediação de solos contaminados com resíduos oleosos através de bioaumentação e atenuação natural. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 33, n. 1, p.73-82, jun. 2012.

EMBRAPA. **Brachiara Brizantha cv Marandu**. Campo Grande: Embrapa/CNPC, 1984. (Documentos 21).

EMBRAPA. **Manual de análises químicas dos solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA. **Manual de viveiro e produção de mudas: Espécies arbóreas e nativas do cerrado**. Brasília: Rede de Sementes do Serrado, 2016. 128 p.

EMBRAPA. **Seminário PIBIC Embrapa Solos 2016/2017**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017. 5 p. (Documentos 192).

FILHO, M. C. Moraes; CORIOLANO, A. C. F.. Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. **Holos**, Natal, v. 7, n. 1, p.133-150, set. 2016.

GUEDES, Carmen Luisa Barbosa et al. Tratamento de Solo Contaminado com Petróleo Utilizando Tensoativos e Peróxido de Hidrogênio. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p.87-99, jul. 2010.

LANA, Maria do Carmo et al. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. Marechal Cândido Rondon, PR: Ed. UNIOESTE, 2010. 129 p.

PEDRAZZOLI, Carina Duarte. **Remediação eletrocinética de chumbo em resíduos industriais**. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos (pipe), Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PRIMAZ, Magali et al. APLICAÇÃO DA COMPOSTAGEM E DA VERMICOMPOSTAGEM EM SOLO CONTAMINADO COM ÓLEO LUBRIFICANTE USADO. **Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v. 9, n. 4, p.121-133, jun. 2017.

REGINATTO, Cleomar et al. Biorremediação de solo contaminado com óleo de soja através de atenuação natural e bioaumentação por *Aspergillus fumigatus*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 18., 2011, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: Inaferm, 2011. p. 1 - 6.

RIBEIRO, D. L. R. et al. AVALIAÇÃO DA BIORREMEDIAÇÃO EM SOLO ARENOSO CONTAMINADO POR DIESEL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20. 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Cobeq, 2014. p. 1 - 6.

RIZZO, A. C. L. et al. Preliminary identification of the bioremediation limiting factors of a clay bearing soil contaminated with crude oil. **J. Braz. Chem. Soc.**, vol.19, n.1, p.169- 174, 2008.

ROCHA, Daniele Leonel da et al. **Remediação e biorremediação de solos multicontaminados com hidrocarbonetos e metais com ênfase na aplicação de surfatantes e biosurfatantes**. Rio de Janeiro:

Cetem/mctic, 2016. 60 p. (Série Tecnologia Ambiental 95).

RODRIGUES, A. C. D. et al. Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 8, n. 1, p.262-276, jan. 2016.

ROSA, Anderson. **Acúmulo de nutrientes, óleos e graxas em latossolos adubados com dejetos de suínos**. 2018. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2018.

SILVA, Samuel Ferreira da; FERRARI, Jéferson Luiz. DESCRIÇÃO BOTÂNICA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E POTENCIALIDADES DE USO DA *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich) Stapf. **Enciclopédia Biosfera**: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 14, p.302-314, jun. 2012.

SOUZA, Valmir de; KONRAD, Odorico; GONÇALVES JUNIOR, Affonso Celso. CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO, RISCOS, LIMITES LEGAIS E ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p.249-276, jan. 2016.

TRINIDAD, Alfredo Arias et al. Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado. **Revista de Biología Tropical**, San Pedro de Montes de Oca, v. 65, n. 1, p.21-30, mar. 2017.

VALENCIA, Ismael Hernandez; MAGER, Denise. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de Petróleo liviano. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 15, n. 3, p. 149-156, sept. 2003 .

VIOTTI, Marcela Aguiar Portugal et al. Biorremediação de solo contaminado por óleo lubrificante usado em biopilha de bancada. **Cadernos Unifoa**, Volta Redonda, v. 1, n. 1, p.5-14, ago. 2017