



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA**

IRACEMA DE AZEVEDO MONTE PAIVA

**POTENCIAL DO USO DA COMPOSTAGEM COMO MEIO
DE DIMINUIÇÃO DA TOXICIDADE DE DERIVADOS DO PETRÓLEO**

**SUMÉ - PB
2017**

IRACEMA DE AZEVEDO MONTE PAIVA

**POTENCIAL DO USO DA COMPOSTAGEM COMO MEIO
DE DIMINUIÇÃO DA TOXICIDADE DE DERIVADOS DO PETRÓLEO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Tecnóloga em Agroecologia.

Orientadora: Professora Dra. Glauciane Danusa Coelho.

**SUMÉ - PB
2017**

P149p Paiva, Iracema de Azevedo Monte.
Potencial do uso da compostagem como meio da diminuição da
toxicidade de derivados de petróleo.. / Iracema de Azevedo Monte
Paiva. - Sumé - PB: [s.n], 2014.

44 f.

Orientadora: Professora Dra. Glauciane Danusa Coelho.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro
de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso Superior de
Tecnologia em Agroecologia.

1. Compostagem. 2. Derivados de petróleo - toxicidade. 3. Teste
de ecotoxicidade. I. Título.

CDU: 628.473(043.1)

IRACEMA DE AZEVEDO MONTE PAIVA

**POTENCIAL DO USO DA COMPOSTAGEM COMO MEIO DE
DIMINUIÇÃO DA TOXICIDADE DE DERIVADOS DO PETRÓLEO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Tecnóloga em Agroecologia.

BANCA EXAMINADORA

**Professora Dr^a. Glauciane Danusa Coelho.
Orientadora - UAEB/CDSA/UFCG**

**Professora Dr^a. Adriana de Fátima Meira Vital.
Examinador I - UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dr^a. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.
Examinador II - UAEB/CDSA/UFCG**

Aprovado em: ____ de _____ de 2017.

SUMÉ – PB

AGRADECIMENTOS

Não poderia começar os meus agradecimentos de outra maneira, muitíssimo obrigada Deus da minha vida, que cotidianamente vem me dando forças e abençoando dessa maneira tão grandiosa que me faz querer viver nessa vida transmitindo a sua paz e o bem.

À minha família que amo infinitamente. É até difícil encontrar palavras que expressem os meus agradecimentos aos que tanto se esforçam para me proporcionar o melhor e que, mesmo longe fisicamente, me dão tanta força e coragem, que zelam por mim com toda dedicação, cuidados e que acima de tudo posso ter como melhores amigos, obrigada por todo amor (Caramurú Paiva e Joyce Azevedo), mas para que isso fosse possível, tenho que agradecer à minha avó e meu avô materno (Júlia Azevedo e Osmir Costa “*in memorian*”) e aos paternos (Rita Góis e Paiva “*in memorian*”), pois são as raízes desses bons frutos. Às minhas pequenas irmãs, que são os melhores presentes da minha vida, a flor e abelhinha (Açucena e Mel), sem vocês, chegar até aqui não teria sentido.

A todos os demais que fazem parte das amadas famílias: Monte Paiva, Azevedo, Góis, Costa: Obrigada por todo apoio e carinho.

Quando saí de casa para ingressar na universidade, não imaginava que iria encontrar com uma professora tão mãe, não mãe só de carinho, mas sim, a mãe de reclamar para poder ensinar e que hoje tenho a honra de agradecer, à minha orientadora, Dra. Glauciane D. Coelho pela oportunidade, por todo conhecimento transmitido dessa sua forma única, pelo abraço de mãe e o ombro de amiga, muito obrigada!

Obrigada UFCG-CDSA (Instituição/Professores e os demais que fazem parte) por ter me dado oportunidade de conhecer esse novo mundo e me fazer capaz de ir além.

Ao Programa de pesquisa (PIVIC-CNPq) e PBOBEX pela oportunidade do conhecimento mais aprofundado na área da pesquisa desse trabalho e da experiência na extensão universitária.

Às examinadoras Dra. Adriana de Fátima Meira Vital e Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro por terem aceitado o convite e toda colaboração nesse trabalho.

Aos amigos do laboratório de Microbiologia (Marcos Antonio, Kamila Sotero, Jaqueline Siqueira, Renato França. Ao meu anjo do laboratório, Caio Azevedo) pelo super apoio do começo ao fim, muito obrigada!

Ao Programa de Ações Sustentáveis do Cariri- PASCAR, em especial Laíres Cavalcante, Ray Martins e Zé Tiano juntamente com a professora Dra. Adriana de Fátima

Meira Vital, que foram fundamentais para a realização dessa pesquisa, os meus sinceros agradecimentos.

Obrigada Professora Dra. LenildeMérgia Ribeiro, por ter cedido o produto final da sua pesquisa para a realização desse trabalho.

Aos bons amigos que tive a oportunidade de conhecer na vida acadêmica (Amelya Lopes, Khyson Gomes, Nayane Viana, Ariana Motta, Laíres Cavalcante, Adriano Silva, Nubiana Benedita, Ilka Lissandra, Ray Martins, Érica Talyta, Beatriz Diniz) E aos demais da turma, espero encontrar em breve com todos vocês, obrigada por todo companheirismo.

Aos que dividiram o apartamento do sucesso comigo (Monalisa Farias, Carol Sousa, Gislaine, Ana Carla, Bruno Marins). Gostei muito de conviver com cada um, obrigada!

Às meninas do grupo Plenas e Divas (Anadyne Dal Maso, Barbara Lopes, Dani, Phamella Oliveira e Yasmin-Eloá) por serem as melhores amigas que eu poderia encontrar, obrigada por tudo!

Ao meu namorado e melhor amigo, André Rodrigues, por todo apoio, paciência e cuidado durante esse tempo, você foi essencial! Muito obrigada.

À toda igreja Católica Nossa Senhora da Conceição, grupo Semear e ao Seminarista amigo Rodolfo Lucena, por todos os momentos e palavras de conforto e alegria vindas do Senhor. Muito obrigada!

À Sumé-PB pela excelente receptividade por ter me presenteado com pessoas que levarei para sempre comigo, em especial a minha madrinha Ana Motta e ao casal amigo Antônio Carlos e Zilmara. Obrigada!

Agradeço aos amigos que mesmo longe de casa se faziam tão presente, ainda bem que tive vocês desde princípio (Beatriz Marques, Jesley Melo, Jefter Bruno, Rafaela Sonale, MayllaDallyane, Emilly Fonseca, Vitória Júlia e Josenúbia Fernandes).

Obrigada as minhas irmãs de coração (Alline Mayra e Roanna Freitas) por estarem comigo sempre, como sempre digo: Ainda bem que tenho vocês. Muito e muito obrigada.

Aos demais que de forma direta não foram citados, mas que estiveram presente para a realização desse trabalho e por ter me ajudado a chegar até aqui, eu também agradeço de todo coração.

A minha gratidão é tão pequena quando comparada ao meu amor por vocês!

RESUMO

Existe uma grande preocupação em torno dos impactos ambientais ocasionados por práticas antrópicas como, por exemplo, a contaminação dos solos causada por diversos fatores, dentre eles o derramamento de derivados do petróleo. E com isso este trabalho propõe o uso da compostagem como uma possibilidade de diminuição da toxicidade do óleo diesel e óleo lubrificante no solo, visto que este é um método economicamente viável. O sistema de compostagem utilizado continha raquetes de palma forrageira *ficus* (secas e moídas) utilizadas para a adsorção de óleo lubrificante e óleo diesel, serrapilheira, borra de café, casca de ovo triturada e esterco caprino. A avaliação da diminuição da toxicidade foi realizada por meio de testes ecotoxicológicos com minhocas e sementes de alface (*Lactuca sativa L.*). Durante o processo de compostagem verificou-se que a adição de raquetes de palmas que adsorveu óleo diesel e óleo lubrificante que estimulou o crescimento microbiano. Ainda foi verificado que durante o processo houve a produção de biossurfactantes. O composto final apresentou odor e textura de terra adubada, semelhantes ao composto controle que não teve adição de palma contendo os derivados de petróleo. Os testes ecotoxicológicos indicaram que o tratamento empregado foi capaz de reduzir a toxicidade do óleo lubrificante, de modo que o composto final se apresentou como matéria orgânica que pode ser usada como adubo orgânico.

PALAVRAS-CHAVE: Teste de ecotoxicidade, biossurfactante, redução de hidrocarbonetos no composto.

ABSTRACT

There is great concern about the environmental impacts caused by anthropogenic practices such as soil contamination caused by a number of factors, including oil spills. This work proposes the use of composting as a possibility of reducing the toxicity of diesel oil and lubricating oil in the soil, since this is an economically feasible method. The composting system used contained dried and ground forage palm rafts used for the adsorption of lubricating oil and diesel oil, litter, coffee grounds, crushed eggshells and goat manure. The toxicity reduction was evaluated by means of ecotoxicological tests with earthworms and lettuce seeds (*Lactuca sativa* L). During the composting process it was found that the addition of palm rackets that adsorbed diesel oil and lubricating oil that stimulated the microbial growth. It was still verified that during the process there was the production of biosurfactants. The final compound had odor and texture of soil fertilized, similar to the control compound that had no addition of palm containing petroleum derivatives. Ecotoxicological tests indicated that the treatment employed was able to reduce the toxicity of the lubricating oil, so that the final compound presented itself as organic matter that can be used as an organic fertilizer

KEYWORDS: Ecotoxicity test, biosurfactant, hydrocarbon degradation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de acordo com a temperatura da compostagem.....	15
Figura 2 - Composteiras / biopilhas montadas em baldes.	22
Figura 3 - Esboço ilustrativo referente aos pontos de monitoramento.....	23
Figura 4 - Esquema adotado para diluição em série.....	24
Figura 5 - Contador de colônias de fungos.....	25
Figura 6 - Equipamento modelo MOC63udo usado na determinação da umidade.....	26
Figura 7 - Equipamento modelo pH3600 usado na determinação do pH.....	27
Figura 8 - Teste de ecotoxicidade.....	28
Figura 9 - Teste de germinação de alface (Lactuca sativa) em sementeiras.	29
Figura 10 - Aferição do eixo radicular da plântula utilizando o paquímetro	29
Figura 11 - Variação da temperatura no processo de biopilha com óleo diesel.....	30
Figura 12 - Variação da temperatura no processo de compostagem	31
Figura 13 - Variação da umidade no processo de biopilha com óleo diesel e do controle	32
Figura 14 - Variação da umidade no processo de biopilha com óleo lubrificante e do controle.	32
Figura 15 - Comprimento das raízes	37
Figura 16 - As plântulas de alface que germinaram no composto	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da composteira1.....	23
Tabela 2 - Números das unidades formadoras de colônia de cada composteira ao vigésimo oitavo (28º) dia e do quadragésimo segundo (42º) do processo de biopilha óleo diesel.....	33
Tabela 3 - Números das unidades formadoras de colônia de cada composteira ao trigésimo primeiro (31º) dia e do septuagésimo sétimo (77º) dias do processo de biopilha com óleo lubrificante.....	33
Tabela 4 - Valores de pH verificados no vigésimo oitavo dia (quarta semana) do processo e do quadragésimo segundo (42º) dia.....	34
Tabela 5 - Valores do pH verificados no trigésimo primeiro (31º) dia e do septuagésimo sétimo (77º) dias do processo.....	34
Tabela 6 - Índice de Emulsificação (%) verificado no vigésimo oitavo dia (quarta semana) e com 42 dias do processo de biopilha.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Atm	Atmosfera
B.O.D	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
°C	Graus Celsius
CDSA	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
C/N	Carbono/Nitrogênio
g	Gramas
He	Altura da emulsão
Ht	Altura total do líquido
IE	Índice enzimático
mg	Miligrama
mL	Mililitro
m:m	Massa por massa
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 COMPOSTAGEM	14
3.1.1 Fases da Compostagem	14
3.1.2 Principais fatores que influenciam a compostagem	16
3.1.2.1 Organismos	16
3.1.2.2 Temperatura	16
3.1.2.3 Umidade	17
3.1.2.4 Aeração	17
3.1.2.5 Resíduos utilizados na compostagem.....	17
3.2 CONTAMINAÇÃO DO SOLO E BIORREMDIAÇÃO	18
3.2.1 Biopilhas	18
3.3 TESTES ECOTOXICOLÓGICOS	19
3.3.1 Testes ecotoxicológicos com minhocas	19
3.4 GERMINAÇÃO DE SEMENTES NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO COMPOSTO.	20
4 METODOLOGIA	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.2 TANQUE DE COMPOSTAGEM	22
4.3 COLETAS.....	24
4.4 <u>O</u> BTENÇÕES DO LÍQUIDO METABÓLICO E CONTAGEM DE MICRORGANISMOS	24
4.5 MEIO DE CULTURA BATATA DEXTROSE E ÁGAR (BDA).....	25
4.6 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE	25
4.7 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	26
4.8 DETERMINAÇÃO DO pH	27
4.9 TESTE DE ECOTOXICIDADE.....	27
4.9.1 Teste de fuga	27
4.9.2 Teste de germinação de sementes	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS TESTES DE DEGRADAÇÃO	30

5.2 VARIAÇÃO DE UMIDADE DURANTE OS TESTES DE DEGRADAÇÃO	31
5.3 CONTAGEM DAS UNIDADES FORMADORAS DE COLÔNIA (UFC)	33
5.4 AFERIÇÃO DO pH	34
5.5 DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE BIOSURFACTANTE.....	35
5.6 TESTE DE ECOTOXICIDADE	35
6 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o processo de contaminação do meio ambiente acelerou com a Revolução Industrial, que teve início no fim do século XVIII, com a busca constante de modernização de máquinas e equipamentos que viessem facilitar a vida humana, porém com isto a troca de materiais e produtos gerou uma grande quantidade de lixo doméstico e industrial devido ao aumento do consumo pela população mundial (ALEXANDER, 1994), o que vem gerando até hoje a contaminação dos recursos naturais, como o solo, a água e a atmosfera.

Preocupações com a qualidade do ar e das águas começaram a surgir com maior intensidade ao redor do mundo, mas os cuidados com solos contaminados não surgiram de imediato, pois por motivo de não serem visualmente percebidas demoram a mostrar os efeitos aos seres humanos. Segundo Bento et al (2003), apenas no final da década de 1970 alguns estudos focaram na avaliação das condições do solo e a busca de meios de conter a contaminação desse recurso natural.

Nas duas últimas décadas tem se notado que a poluição causada por petróleo e seus derivados tem sido um dos principais problemas ao meio ambiente, sendo que os frequentes derramamentos desses produtos no solo vêm motivando o desenvolvimento de diversas técnicas que utilizam métodos, tais como os biológicos para a remoção ou a degradação *in-situ* ou *ex-situ* para a redução dos efeitos tóxicos sobre os ecossistemas. Dentre as técnicas desenvolvidas, a biorremediação vem se destacando como uma alternativa viável e promissora para o tratamento de solos contaminados por petróleo e derivados (BENTO et al., 2003; DUA et al., 2002; RAHMAN et al., 2002).

Diversos sistemas de biotratamento podem ser usados a fim de promover a biorremediação dos resíduos oleosos de petróleo, entre eles os sistemas de “landfarming”, compostagem e biopilhas, em que a biodiversidade do solo é utilizada para promover a biodegradação de resíduos perigosos (URURAHY et al., 1998).

Diante desses biotratamentos, destaca-se a compostagem, que é um processo controlado de decomposição microbiana em que ocorre uma aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos, e que ao final gera um produto chamado de composto (KIEHL, 1985). O uso dessa técnica é interessante, pois pode gerar um composto/adubo

com valor econômico agregado para o uso agrícola, que pode ser utilizado em substituição aos adubos industrializados.

Visto que o manejo inadequado dos resíduos sólidos é uma das causas dos problemas ambientais, sociais e econômicos no país, a Lei nº 12.305/10, que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), prevê o uso da compostagem como meio de redução da geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável (BRASIL, 2010).

Neste trabalho foi avaliado o uso da compostagem como forma de degradação de hidrocarbonetos derivados do petróleo, tais como óleo diesel e óleo lubrificante. Testes de ecotoxicidade foram realizados para identificar a redução da toxicidade dos referidos compostos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial do uso da compostagem como método de redução da toxicidade de hidrocarbonetos derivados do petróleo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Acompanhar a variação de temperatura, umidade e crescimento microbiano durante o processo de compostagem estudado.

Avaliar o efeito ecotoxicológico do composto gerado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 COMPOSTAGEM

A compostagem representa processos biológico, aeróbio, exotérmico e controlado em que substratos orgânicos são decompostos, nesse processo ocorre liberação de gás carbônico (CO₂) e vapor de água, e ao final, produz um produto estável, rico em matéria orgânica e humificado, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem (KIEHL, 1985; KIEHL, 2004; REIS, 2005). Esse produto é chamado de composto e possui cerca de 50% a 70% de matéria orgânica, tem coloração escura, odor de terra molhada e é rico em nutrientes (CERRI, 2007).

De acordo com Freudenrich (2001) a compostagem é capaz de reduzir vários tipos de resíduos e geralmente é feita sem muitos gastos, e o composto gerado pode ser utilizados para fertilização dos solos, visando um caminho para um mundo mais sustentável. Além disso, a compostagem pode ser usada como uma técnica de biorremediação.

As tecnologias de biorremediação, desde os anos 80 do século XX, vêm procurando maneiras eficazes de viabilizar o baixo custo para o tratamento de solos contaminados com petróleo e seus derivados (DELFINO; MILES, 1985). Assim, a biorremediação baseia-se na degradação bioquímica dos contaminantes por meio da atividade de microrganismos presentes ou adicionados no local de contaminação (BERNOTH et al., 2000). Sendo que atividade microbiológica é o principal fator que influencia a biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo (HUTCHINSON et al., 2003).

3.1.1 Fases da Compostagem

A literatura informa que a compostagem ocorre em três fases sendo a primeira fase chamada de fase de **fitotoxicidade**, que é rápida e nela ocorre a decomposição por oxidação. A segunda fase é chamada de fase de **bioestabilização**, fase que transforma biologicamente a parte putrescível presente na compostagem, em material inerte, que é menos perigosa para o ambiente, e a terceira fase é conhecida como fase de **humificação** ou **maturação**, que é a fase

em que ocorre a formação de húmus, e **mineralização** dos componentes da matéria orgânica (KIEHL, 2002).

As fases da compostagem (Figura 1) também podem ser identificadas de acordo com a variação da temperatura conforme descrito a seguir (BERNAL *et al.*, 1998; TRAUTMANN; OLYNCIW, 2005):

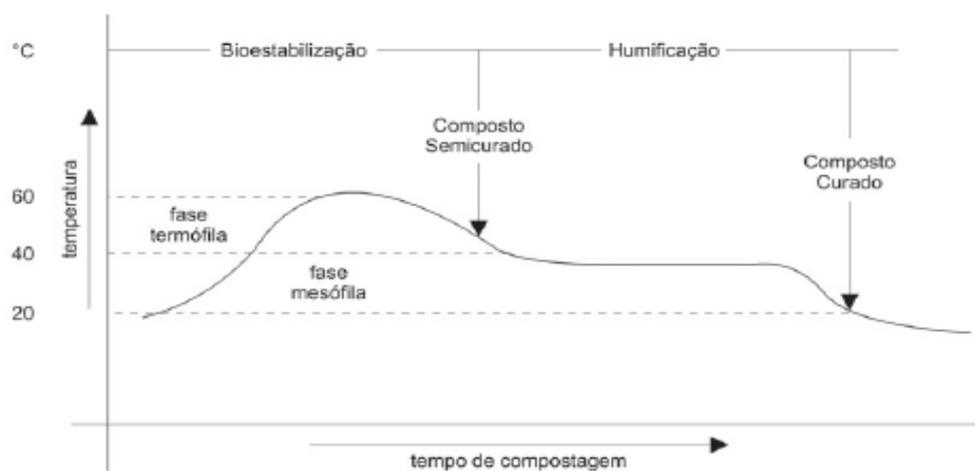
Fase Mesofílica: é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40°C. Tem duração média de dois a cinco dias.

Fase Termofílica: quando o material atinge a temperatura máxima (>40°C) e é degradado mais rapidamente. Esta fase pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material que estiver sendo compostado.

Fase Resfriamento: é marcada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente.

Fase Maturação: é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade.

Figura 1 - Fases de acordo com a temperatura da compostagem



Fonte: D'ALMEIDA; VILHENA, 2000.

3.1.2 Principais fatores que influenciam a compostagem

Durante as etapas do processo da compostagem existe uma sucessão de predominância de diversos microrganismos que varia conforme as características do composto, com o teor de umidade, a disponibilidade de oxigênio, a temperatura, e o pH (KIEHL, 1985), sendo que esses fatores podem ser monitorados utilizando-se técnicas adequadas (CASALI, 2011).

3.1.2.1 Organismos

Conforme Kiehl (2004), os principais microrganismos que presentes no processo da compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos. Esses microrganismos normalmente já se encontram nos resíduos, sendo que o processo de compostagem promove um ambiente com condições favoráveis de umidade, nutrientes e oxigênio para que eles possam degradar e estabilizar a matéria orgânica diante de uma ação conjunta com os macro-organismos.

A decomposição das moléculas mais complexas até as substâncias mais simples é realizada por meio de reações enzimáticas, sendo que os microrganismos sintetizam enzimas que atacam e decompõem os constituintes orgânicos (KIEHL, 1998). Portanto, no processo da compostagem, a atividade metabólica da população microbiana resulta na produção de calor e consequentemente o aumento de temperatura (BRITO et al., 2008).

3.1.2.2 Temperatura

A compostagem é caracterizada por ser um processo exotérmico de degradação de resíduos orgânicos, porque gera calor devido à atividade microbiana (KIEHL, 1985). A temperatura é considerada um dos fatores de grande importância por ser um indicador de funcionalidade durante o processo, desde as altas temperaturas até a fase de maturação chegando ao produto final, o composto, pois a temperatura evidencia a degradação da matéria orgânica pela microbiota contida (MALHEIROS, 1996; VALENTE et al., 2009; PUYUELO et al., 2010). O aquecimento e o arrefecimento do material orgânico fornecem informação sobre a atividade biológica e o grau de decomposição (BRITO et al., 2008).

3.1.2.3 Umidade

Durante o processo da compostagem ocorre a propagação de microrganismos presentes. Sendo que a água é responsável por promover o transporte de nutrientes dissolvidos, imprescindíveis para as atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos (KIEHL, 1985), a umidade é um indicativo para a determinar o grau da decomposição da matéria orgânica durante o processo compostagem, é a umidade.

Um teste simples e rápido que vem sendo aplicado e com grande importância para a prática cotidiana de observação dos processos de compostagem, é o conhecido “teste da mão”, que consiste em umidificar e esfregar um pouco do composto entre as palmas das mãos, se o composto estiver pronto deixará as mãos sujas soltando-se facilmente (NUNES, 2009).

3.1.2.4 Aeração

Os microrganismos aeróbios necessitam apenas de 5% de oxigênio para a sua sobrevivência, com isso, valores abaixo de 10% prejudicam o desenvolvimento da microbiota envolvida e promovem o aparecimento de zonas anaeróbicas na leira de compostagem. Ainda, é preciso saber que a quantidade necessária de oxigênio para a compostagem depende do estágio em que ela se encontra, pois, o oxigênio é fundamental para a sobrevivência e atividade microbiana presente no sistema de compostagem (BRITO, 2010).

3.1.2.5 Resíduos utilizados na compostagem

A agricultura e a pecuária produzem quantidades de resíduos, como dejetos de animais e restos de culturas, palhas e resíduos agroindustriais, os quais, em alguns casos, provocam sérios prejuízos e problemas de poluição. Muitos desses resíduos são perdidos por não serem coletados e reciclados ou por serem destruídos pelas queimadas. Todavia, quando manipulados adequadamente, podem suprir os sistemas agrícolas de boa parte da demanda de insumos sem afetar os recursos do solo e do ambiente (TEIXEIRA, 2002).

A compostagem que é uma maneira de gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e também é vista como uma maneira econômica de tratamento do mesmo com redução do seu volume que precisam ser descartados nos aterros sanitários (BAYA et al., 2014). Nesse

sentido, a PNRS (2010) define a compostagem no Artigo 3º inciso VII como sendo uma destinação final de resíduos sólidos ambientalmente adequada.

3.2 CONTAMINAÇÃO DO SOLO E BIORREMEDIAÇÃO

A contaminação dos solos por vazamentos de derivados de petróleo como o óleo diesel, por exemplo, pode acontecer de várias maneiras, surgindo a necessidade de remediação dos ambientes contaminados, o que tem estimulado o surgimento de técnicas de remediação que visam à eliminação desses poluentes. Dentre as técnicas utilizadas, a biorremediação recebeu destaque por ser uma tecnologia limpa, de baixo custo e que utiliza a capacidade fisiológica que alguns organismos apresentam em degradar compostos poluentes (DIEMER et al., 2010; MACIEL et al, 2010).

Segundo Johnsen et al, (2005) e Jacques (2007), para a descontaminação do ambiente podem-se utilizar técnicas de biorremediação *in situ*, como atenuação natural, bioaumentação, bioestimulação, fitorremediação e “landfarming”, ou técnicas de biorremediação *ex situ*, como compostagem e biorreatores. A biorremediação é uma técnica alternativa e ecologicamente correta do ponto de vista da destinação final dos resíduos. Pode-se sugerir que a biorremediação seja considerada como uma tecnologia para tratar ambientes contaminados utilizando-se agentes biológicos capazes de modificar ou decompor poluentes alvos (MARIANO, 2006).

3.2.1 Biopilhas

Uma das técnicas de biorremediações de solos bastante utilizada é a tecnologia de biopilhas, a qual envolve a construção de células ou pilhas de solo contaminado de forma a estimular a atividade microbiana aeróbica dentro da pilha por meio da aeração. A atividade microbiana é aumentada pela adição de umidade e nutrientes como a matéria orgânica. As bactérias presentes degradam os hidrocarbonetos adsorvidos nas partículas de solo, reduzindo assim as concentrações (EPA, 1994).

As biopilhas representam uma tecnologia de construção e manutenção simples e que apresenta reduzido custo de implementação e tempo de tratamento relativamente baixo: de três semanas a seis meses para hidrocarbonetos leves. Segundo estudos realizados, a aplicação

de biopilhas tem-se mostrado efetiva, também, para contaminantes com baixa taxa de biodegradação. Ressalta-se, também, que as biopilhas não necessitam de grande área e podem ser projetadas como um sistema fechado que possibilite a coleta e tratamento de vapores (EPA, 1994). Esta tecnologia opera muito bem em temperaturas acima de 10 °C, sendo que a atividade microbiana dobra a cada 10 °C de incremento até o limite de 45 °C. Para o tipo de clima dominante no Brasil esta é uma grande vantagem (BITTAR, 2002).

3.3 TESTES ECOTOXICOLÓGICOS

As técnicas de biorremediação vêm sendo utilizadas no tratamento de solos contaminados por petróleo, no entanto a avaliação da descontaminação focava-se apenas em parâmetros químicos, e esses dados por si só não podem fornecer informações de toxicidade para organismos vivos. Nesse contexto, os ensaios ecotoxicológicos podem indicar uma resposta mais precisa da toxicidade dos contaminantes para os organismos (SISINNO et al., 2006). A ecotoxicidade pode ser avaliada por meio de bioensaios. Devido à capacidade de avaliar a toxicidade de uma determinada substância de forma global, usando organismos vivos que funcionam como bio-indicadores (REDE, 2011).

A Ecotoxicologia foi definida por Truhaut (1969) e mais tarde por Butler (1978) como “o ramo da Toxicologia que estuda os efeitos tóxicos das substâncias, naturais e artificiais vivos, animais ou vegetais, aquáticos ou terrestres, que constituem a biosfera”. Assim, os bioensaios são relevantes, pois fornecem uma boa avaliação do risco ambiental, antes que os efeitos possam se expressar no nível de populações, comunidades e ecossistemas (MAGALHÃES e FERRÃO-FILHO, 2008).

Os testes ecotoxicológicos ajudam a determinar se as concentrações dos contaminantes em um local são altas o suficiente para causar efeitos adversos nos organismos (USEPA, 1996). De modo que os organismos podem ser utilizados nos testes de ecotoxicidade para monitoramento do processo de biorremediação, buscando uma correlação entre a sensibilidade do organismo com a biodegradação do contaminante (PLAZA et al., 2005).

3.3.1 Testes ecotoxicológicos com minhocas

As minhocas são utilizadas para avaliação da contaminação do solo por diversos motivos: ingestão de grande quantidade de solo, demonstrando capacidade de acumulação de poluentes presentes neste compartimento, representam cerca de 92% da biomassa de

invertebrados presentes no solo, apresentam sensibilidade acentuada a diversos produtos químicos, são de fácil obtenção e criação em condições laboratoriais e importantes na reciclagem de nutrientes. Segundo Edwards (1996), as minhocas se transformaram em uma alternativa viável para a realização dos testes ecotoxicológicos também por serem organismos simples de serem estudados.

As minhocas são as principais responsáveis pelo processo de fragmentação e condicionamento do substrato, que agem como “liquidificadores mecânicos” triturando a matéria orgânica, modificando as características físicas, químicas e biológicas, reduzindo gradualmente a relação C/N, aumentando a área de superfície exposta à ação microbiana, fazendo com que o material seja mais facilmente decomposto (DOMÍNGUEZ, 2004).

Dorn e Salanitro (2000) utilizaram minhocas, bactérias, germinação e crescimento de plantas como bio-indicadores, para monitorar a toxicidade do processo de biorremediação e concluíram que o processo utilizado reduz a toxicidade permitindo a colonização de minhocas e a reintrodução de plantas.

O uso de minhocas (vermicompostagem) sob condição aeróbica tem a finalidade de estabilizar a matéria orgânica, de uma maneira que reduza o grau poluente e contaminante dos resíduos (KIEHL, 1985). Um dos fatores primordiais para a sobrevivência das minhocas é a umidade, pois tanto a escassez quanto o excesso de umidade podem ocasionar a rápida letalidade. As minhocas possuem respiração cutânea e na presença de água o O₂ é absorvido pela cutícula da pele das minhocas e o CO₂ é dissipado (LOURENÇO, 2014).

3.4 GERMINAÇÃO DE SEMENTES NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO COMPOSTO

A germinação é um fenômeno biológico que pode ser considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula. Entretanto, para os tecnólogos de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma planta normal, sob condições ambientais favoráveis (IPEF, 1998). O processo germinativo envolve várias etapas e cada uma exige determinada temperatura para que se processe de maneira mais rápida e eficiente. Assim, os efeitos da temperatura sobre a germinação refletem apenas a consequência global, não havendo um coeficiente único que caracterize a germinação (POPINIGIS, 1977). Outra condição

especificada nas Regras para a condução do teste de germinação refere-se ao substrato, que tem a função de suprir as sementes de umidade e proporcionar condições para a germinação das mesmas e o desenvolvimento das plântulas (FIGLIOLIA et al., 1993).

A germinação das sementes e os testes de alongamento das raízes têm sido usados como um simples teste devido à sensibilidade para a detecção da toxicidade de poluentes como metais pesados no meio ambiente. (WONG; BRADSHAW, 1982).

A escolha das sementes de alface apresenta as várias vantagens que advêm da sua utilização. Isto porque, as sementes de alface são baratas e fáceis de germinar e não é necessário fazer uma manutenção das culturas entre experiências. Ainda, o tempo de teste não é longo, e as sementes de alface são sensíveis a substâncias tóxicas (ex. metais pesados) e podem ser aplicadas a testes com água, sedimentos ou solos, por isso, esta espécie tem sido aplicada em estudos ecotoxicológico. (ENVIRONMENT CANADA, 2005; ENVIRONMENTAL INQUIRY, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (UFCG- CDSA), *Campus* Sumé-PB situado na microrregião do Cariri Ocidental. As composteiras foram mantidas na Área experimental, local aberto, portanto, as análises das pesquisas foram efetuadas no laboratório de Microbiologia.

O município de Sumé está localizado na mesorregião da Borborema, que possui 29 municípios, abrangendo uma área de 11.233 km², e que engloba as Microrregiões do Cariri Ocidental e Cariri Oriental, com uma população de 173.323 habitantes (IBGE, 2010). Na microrregião do Cariri Ocidental a precipitação é concentrada em 3 a 4 meses, com 250 a 900 mm, as médias anuais, são irregulares e mal distribuídas no tempo e no espaço. A temperatura média anual varia de 25°C a 27°C, a insolação média é de 2.800 h/ano (NASCIMENTO e ALVES, 2008).

4.2 TANQUE DE COMPOSTAGEM

As composteiras / biopilhas foram montadas (Figura 2) em baldes de plástico (41 cm de diâmetro por 55 cm de altura) e foram mantidas durante o experimento na área experimental.

Figura 2 - Composteiras / biopilhas montadas em baldes. A e B: Teste de degradação; C: Controle.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

O sistema de compostagem / biopilhas foi constituído por material proveniente da poda do campus universitário que é constituído por Gliricídia (*Gliricidia sepium*), Sesbânia (*Sesbania punicea*), Ficus (*Ficus benjamina*), Cassia (*Cassia spectabilis*), Neen (*Azadirachta indica*) e de resíduos de varrição do Campus (folhas e grama), bem como esterco caprino, cascas de ovos e borra de café, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Composição da composteira1.

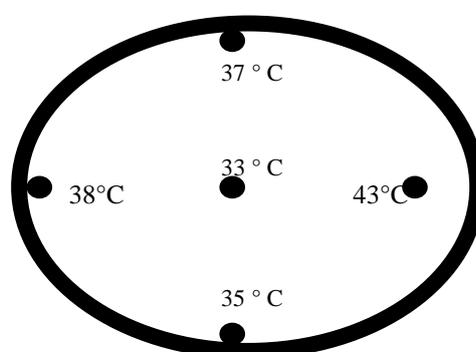
Material	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Esterco	11,7	83,1
Serrapilheira	2,0	14,2
Casca de Ovo	0,1	0,8
Pó de Café	0,26	1,9
Total	14,1	100

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Na composição das composteiras em que foi avaliada a degradação e foram adicionados 0,5% (m:m) da palma com as raquetes cortadas e secas e que anteriormente foram utilizadas em projeto para adsorção de óleo diesel e de óleo lubrificante.

No decorrer do processo da compostagem a temperatura foi monitorada a cada três dias em cinco pontos diferentes nos baldes conforme apresentado na Figura 3. Para a aeração do sistema foi realizado revolvimento manual no balde (com luvas) a cada quinze dias.

Figura 3 - Esboço ilustrativo referente aos pontos de monitoramento da temperatura do balde



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

As composteiras foram molhadas uma vez na semana. Para a avaliação do ajuste da umidade fez-se o teste da mão como descrito no item 3.1.2.3 e no laboratório a umidade foi aferida por meio do determinador de umidade.

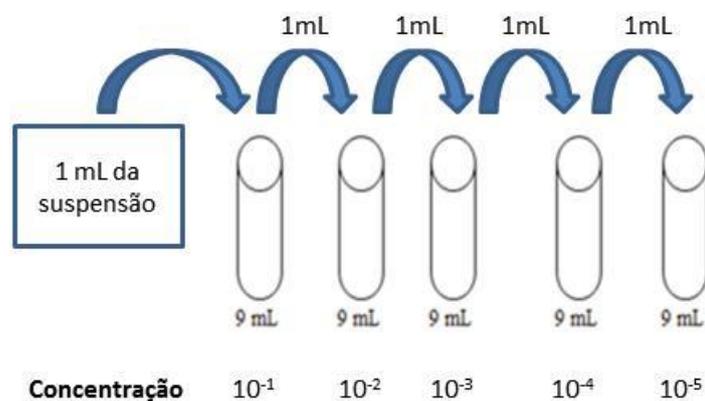
4.3 COLETAS

Na coleta as amostras foram obtidas em cinco pontos dos baldes, conforme Figura 3. As porções foram misturadas e submetidas à técnica de quarteamento. No teste de degradação do óleo diesel foram realizadas duas coletas, sendo a primeira aos 28 dias e a segunda aos 42 dias depois da montagem. No teste de degradação do óleo lubrificante a primeira coleta foi realizada aos 31 dias e a segunda coleta foi realizada aos 77 dias depois de montadas as composteiras / biopilhas.

4.4 OBTENÇÕES DO LÍQUIDO METABÓLICO E CONTAGEM DE MICRORGANISMOS

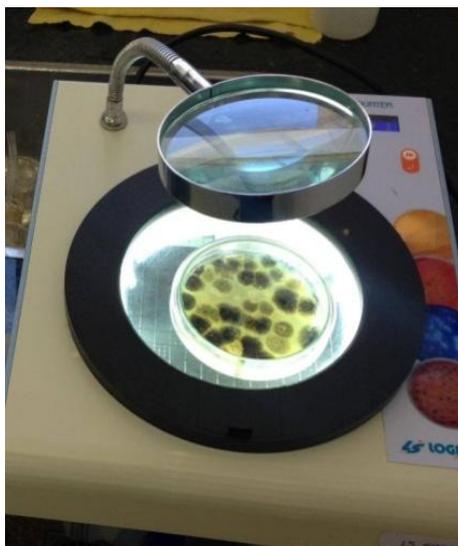
Um grama (1g) do composto coletado (Figura 4) foi diluído em 10mL de água destilada esterilizada. A suspensão foi diluída em série até a concentração de 10^{-5} e um (1) ml das concentrações 10^{-4} e 10^{-5} foi espalhado em placas de Petri contendo meio BDA. As placas foram incubadas a 30°C por 72 horas e procedeu-se (Figura5) a contagem das Unidades Formadoras de Colônia (UFC) com auxílio do Contador de Colônias Eletrônico Digital LS6000. Os testes foram feitos em triplicatas.

Figura 4 - Esquema adotado para diluição em série.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Figura 5 - Contador de colônias de fungos.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

4.5 MEIO DE CULTURA BATATA DEXTROSE E ÁGAR (BDA)

Composição: 200,0 g de batata, 20,0 g de sacarose, 20,0 g de ágar e água destilada q.s.p. 1000 mL.

Modo de preparo: As batatas foram cortadas e cozidas em água destilada e filtradas em filtro de *nylon*. Ao caldo obtido acrescentou-se o ágar e a sacarose. A mistura foi esterilizada em autoclave durante 20 minutos a 121°C e 1atm. Após o resfriamento, adicionou-se cerca de 500mg de tetraciclina (antibiótico) a fim de evitar o crescimento de bactérias. O meio foi vertido nas placas de Petri (cerca de 20 mL/placa), previamente esterilizadas. Após a solidificação o meio de cultura foi utilizado para o plaqueamento e contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC).

4.6 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE

O líquido metabólico sem diluição foi utilizado para a determinação da ocorrência de biossurfactantes. A produção de biossurfactante foi verificada por meio do índice de emulsificação (IE), seguindo o método descrito por Cooper e Paddock (1984) Para a

observação do IE foram utilizados 2 (dois) mL de líquido metabólico e 1(um) mL de querosene. A mistura foi agitada por dois minutos (BARBOSA; GONDIM; PAZ, 2007).O cálculo do IE foi realizado utilizando - se a Equação 1. Os testes foram realizados em duplicatas.

$$IE(\%) = \frac{He}{Ht} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

He: altura da emulsão multiplicados por 100

Ht: altura total do líquido

4.7 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

A umidade em base úmida do composto foi aferida utilizando-se o determinador de umidade Moisture Analyzer Instruction (Shimadzu modelo MOC63udo) (Figura 6) ajustado para 105°C durante 15 minutos.

Figura 6 - Equipamento modelo MOC63udo usado na determinação da umidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

4.8 DETERMINAÇÃO DO pH

A determinação do pH (Figura 7) foi realizada no líquido metabólico sem diluição por meio do medidor de pH digital da marca Instrumental modelo pH3600.

Figura 7 - Equipamento modelo pH3600 usado na determinação do pH.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

4.9 TESTE DE ECOTOXICIDADE

4.9.1 Teste de fuga

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados com minhocas (*Eisenia fetida*) segundo metodologias descritas por Sisinnio et al (2006) e Navarrete et al. (2009). O teste foi realizado em bandejas de plástico contendo amostras do composto teste e do composto controle. Após a acomodação das amostras de compostos 10 (dez) indivíduos (Figura8) foram transferidos para o centro de cada recipiente.

Figura 8 - Teste de ecotoxicidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

As bandejas foram incubadas em B.O.D durante 14 horas. Para evitar a perda de umidade foram colocadas bandejas contendo água potável dentro da B.O.D. Durante o teste ecotoxicológico com as minhocas foi observado o comportamento em que elas apresentaram preferência do composto.

Os ensaios de comportamento podem ser aplicados como um método rápido para determinar a biodisponibilidade de substâncias químicas ou de contaminantes do solo para *E. fetida*, em que o comportamento de fuga é usado como indicador (ISO, 2002).

4.9.2 Teste de germinação de sementes

Testes de germinação de sementes têm sido usados como uma técnica rápida, simples, confiável e reprodutível para indicar os efeitos nocivos da aplicação de estrume animal, composto ou lodo de esgoto no crescimento das plantas (BACA et al., 1990). Dessa forma, o composto gerado foi avaliado quanto à capacidade de permitir a germinação das sementes.

O teste da germinação foi realizado em campo utilizando sementeiras (Figura 9), adicionando três sementes de alface (*Lactuca sativa*) em cada célula. O sistema foi molhado duas vezes ao dia durante 12 dias. Ao final desse período foram contadas as sementes que

germinaram e o comprimento do eixo radicular foi mensurado utilizando um paquímetro (Figura10). O índice de germinação foi determinado segundo metodologia descrita por Tam e Tiquia, 1994, em que o índice de germinação de sementes (Equação 2) é avaliado por meio da porcentagem de sementes germinadas (Equação 3) e pela porcentagem de crescimento do eixo hipocótilo radícula (Equação 4).

$$IG = \text{sementes germinadas (\%)} * \text{crescimento da raiz (\%)} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{sementes germinadas (\%)} = \frac{\text{germinação no teste (\%)}}{\text{germinação no controle (\%)}} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Crescimento das raízes (\%)} = \frac{\text{Crescimento no teste}}{\text{Crescimento no controle}} * 100 \quad \text{Equação 4}$$

Figura 9 - Teste de germinação de alface (*Lactuca sativa*) em sementeiras.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Figura 10 - Aferição do eixo radicular da plântula utilizando o paquímetro



Fonte :Dados da pesquisa, 2017.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

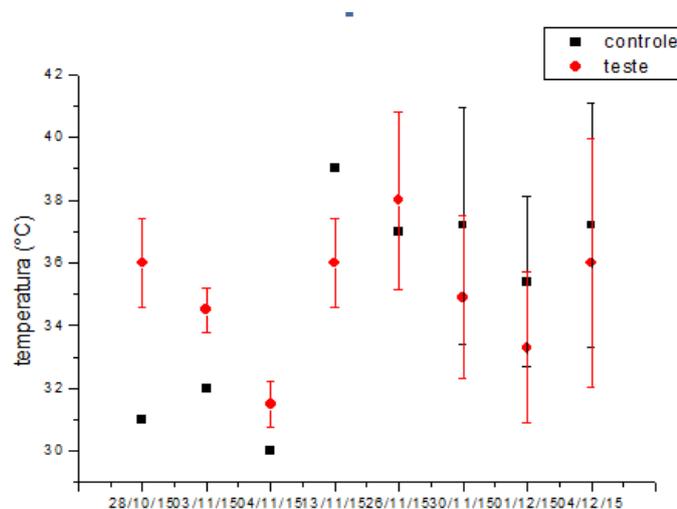
Considerando-se que neste trabalho a compostagem foi utilizada como forma de biorremediação de um resíduo contaminado com derivados do petróleo doravante iremos nos referir ao sistema utilizado como biopilha e não mais compostagem.

5.1 VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS TESTES DE DEGRADAÇÃO

A biopilha com o óleo diesel durou 50 dias. A temperatura no processo da biopilha (Figura 11) variou entre 30°C e 41°C. Os baixos valores de temperatura devem-se, provavelmente, ao fato das coletas terem sido realizadas após revolvimento do composto, por isso não foram observadas altas temperaturas. Visto que a aeração é considerada como o principal mecanismo capaz de evitar altas temperaturas durante o processo de compostagem, além de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em decomposição (PEREIRA NETO, 1994; KIEHL, 2004).

Nos primeiros sete dias foi observado que as temperaturas nas biopilhas teste foram superiores que as verificadas na biopilha controle. Nos dias que se seguiram as temperaturas das biopilhas teste e controle ficaram semelhantes.

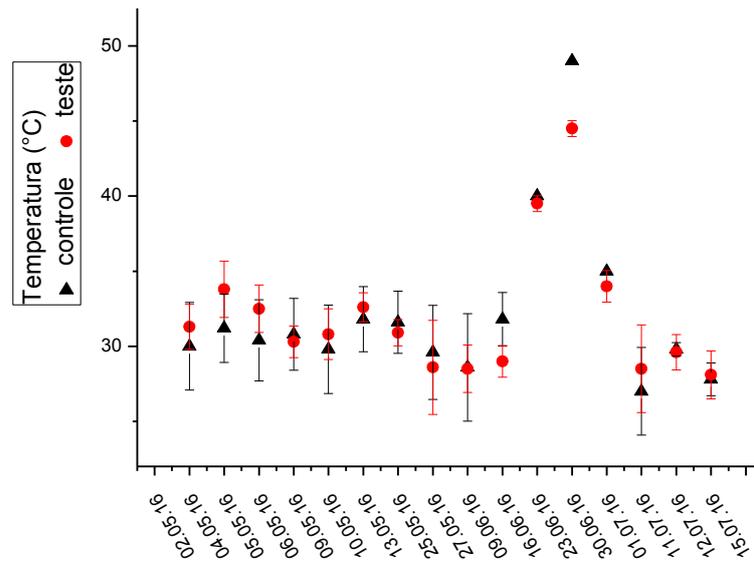
Figura 11 - Variação da temperatura no processo de biopilha com óleo diesel



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

A biopilha com o óleo lubrificante durou 77 dias e a temperatura variou entre 30°C e 50°C (Figura 12). Nesse caso, não houve diferença significativa entre as temperaturas verificadas na biopilha controle e nas biopilhas teste.

Figura 12 - Variação da temperatura no processo de compostagem com óleo lubrificante e do controle

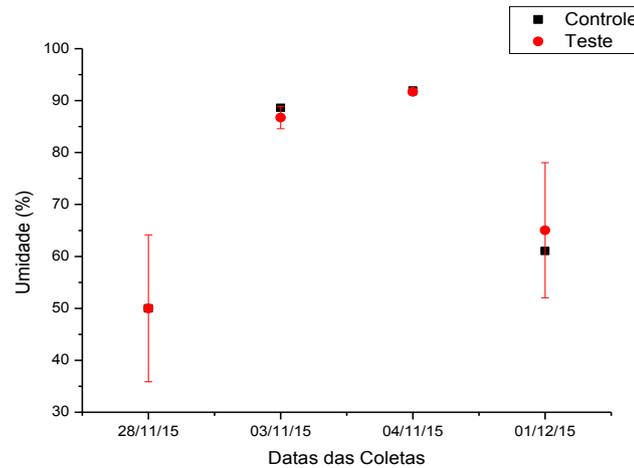


Fonte: Dados da pesquisa, 2017

5.2 VARIAÇÃO DE UMIDADE DURANTE OS TESTES DE DEGRADAÇÃO

A umidade na biopilha controle e o teste com óleo diesel variou entre 40% e 92% (Figura 13). Sendo que os maiores valores são, provavelmente, devido ao fato dos testes terem sido conduzidos em ambiente aberto e no período dessas coletas foram registradas precipitações.

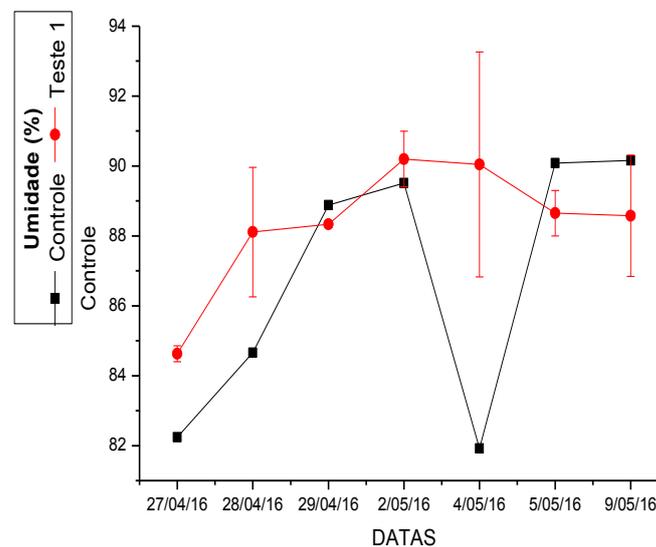
Figura 13 - Variação da umidade no processo de biopilha com óleo diesel e do controle



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

A umidade na biopilha controle e teste com óleo lubrificante variou entre 82% e 93%. Sendo que o controle quando comparado a umidade do teste, apresentou valor mais baixo, mas que ao final do processo ficaram semelhantes.

Figura 14 - Variação da umidade no processo de biopilha com óleo lubrificante e do controle.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Segundo Kiehl (1985) teores de umidade inferiores a 40% devem ser evitados, uma vez que podem fazer com que a atividade biológica seja reduzida.

5.3 CONTAGEM DAS UNIDADES FORMADORAS DE COLÔNIA (UFC)

A contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) apresenta os valores de UFCs verificadas aos 28 dias e com 42 dias do processo no teste de degradação do óleo diesel. Verifica-se que com o passar do tempo o número de UFCs aumentou, tanto nas biopilhas controle e nas biopilhas teste (Tabela 2). Comparando-se as biopilhas controle e teste, pode-se notar que o teste apresentou maior número de UFC.

Tabela 2 - Números das unidades formadoras de colônia de cada composteira ao vigésimo oitavo (28º) dia e do quadragésimo segundo (42º) do processo de biopilha óleo diesel.

UFC. g de composto ⁻¹				
	28 dias		42 dias	
Biopilhas	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
Controle	0,3 x 10 ⁵	0,6 x 10 ⁵	0,8 x 10 ⁵	9,6 x 10 ⁵
Teste	1,7 x 10 ⁵	1,13 x 10 ⁶	1,55 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁶

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

A contagem de UFC apresenta o valor verificado com 31 dias e com 77 dias do processo no teste de degradação do óleo lubrificante (Tabela 3). Verifica-se que na biopilha teste o número de UFCs foi superior que na biopilha controle.

Tabela 3 - Números das unidades formadoras de colônia de cada composteira ao trigésimo primeiro (31º) dia e do septuagésimo sétimo (77º) dias do processo de biopilha com óleo lubrificante.

UFC.g de composto ⁻¹				
	31 dias		77 dias	
Biopilhas	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
Controle	0,66 x 10 ⁵	6,33 x 10 ⁵	0,3 x 10 ⁵	4,0 x 10 ⁵
Teste	2,1 x 10 ⁵	10,9 x 10 ⁵	0,41 x 10 ⁵	20,0 x 10 ⁵

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

O maior número de UFC nas biopilhas teste sugere que óleo diesel e óleo lubrificante presentes nos fragmentos de palma serviram como fonte de carbono, o que justifica o aumento do número de microrganismos.

5.4 AFERIÇÃO DO pH

As amostras retiradas do tanque de biopilha com óleo diesel foram diluídas para a aferição do pH. A tabela 4 apresenta o pH verificado no vigésimo oitavo dia (quarta semana) e do quadragésimo segundo (42°) dia do processo.

Tabela 4 - Valores de pH verificados no vigésimo oitavo dia (quarta semana) do processo e do quadragésimo segundo (42°) dia.

pH		
Biopilhas	28° dia	42° dia
Controle	8,8	9,3
Teste	8,9	9,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

As amostras retiradas do tanque de biopilha com óleo lubrificante foram diluídas para a aferição do pH. A tabela 5 apresenta o pH verificado no trigésimo primeiro (31°) dia e do septuagésimo sétimo (77°) dias do processo.

Tabela 5 - Valores do pH verificados no trigésimo primeiro (31°) dia e do septuagésimo sétimo (77°) dias do processo.

pH		
Biopilhas	31° dia	77° dia
Controle	9,3	8,9
Teste	9,3	9,2

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Durante os processos das biopilhas nos testes (óleo diesel e óleo lubrificante) e biopilha controle os resultados do pH apresentaram-se alcalinos.

5.5 DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE BIOSSURFACTANTE

A presença de biossurfactante foi verificada por meio do índice de emulsificação (IE), na biopilha com óleo diesel (Tabela 6).

Tabela 6 - Índice de Emulsificação (%) verificado no vigésimo oitavo dia (quarta semana) e com 42 dias do processo de biopilha

Biopilhas	Índice de Emulsificação IE (%)	
	28º dia	42º dia
Controle	37,24	8,69
Teste	38,36	22,81

Fonte: Dados da pesquisa, 2017

Os índices encontrados apresentam valores maiores quando comparados com trabalhos observados na literatura. Segundo SANTANA (2012), que realizou produção de biossurfactante por *Candida lipolytica* (UPC 0988), utilizando óleo de pequi como fonte alternativa de carbono, e CAVALCANTI (2014) que realizou a bioprospecção de biossurfactantes produzidos por fungos filamentosos da caatinga, os melhores Índices de Emulsificação ficaram entre 20 e 30 (%), que foram inferiores ao IE apresentado neste trabalho. A ocorrência de biossurfactantes nas biopilhas pode indicar a importância desse grupo de moléculas na degradação de óleo diesel.

Nos testes de degradação do óleo lubrificante não foi verificada a ocorrência de biossurfactantes.

5.6 TESTE DE ECOTOXICIDADE

No processo de biopilha com óleo diesel foi realizado o teste de ecotoxicidade com minhocas (*Eisenia fetida*). Após 14 horas, verificou-se que 80% dos indivíduos utilizados haviam migrado para o composto teste (óleo diesel), no entanto estavam mortas. Esse teste indicou que algum subproduto gerado da degradação do óleo diesel pode ter atraído as minhocas. No entanto, o composto apresentou-se tóxico para a espécie avaliada.

Dessa forma, apesar do composto ter apresentado odor e textura semelhante à terra adubada, ainda existe toxicidade. Assim, para que esse composto fosse empregado em

atividades agrícolas, seria preciso realizar um novo tratamento para a eliminação da toxicidade e melhorar a qualidade do composto.

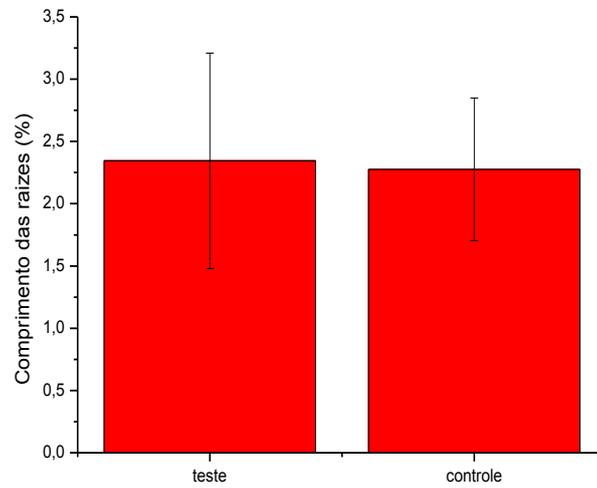
Com a utilização de organismos vivos, principalmente microrganismos, para degradar os contaminantes ambientais em formas menos tóxicas (VIDALI, 2001), em alguns casos, após a biodegradação, ainda pode haver toxicidade devido à presença de subprodutos e intermediários resultantes do processo (NUNES-HALLDORSON et al., 2004).

A literatura reconhece a eficiência dos biossurfactantes para biodisponibilização e biodegradação dos derivados de petróleo (BANAT et al., 2000), no entanto, a produção de biossurfactante nos testes de degradação do óleo diesel não foram suficientes para a redução da toxicidade desse produto no sistema utilizado.

Para a avaliação da redução da toxicidade do óleo lubrificante utilizou-se o teste germinação das sementes de alface. As Figuras 15 A e 15 B apresentam o aspecto das plântulas de alface que germinaram nos compostos controle e teste, respectivamente.

Nos resultados do teste de ecotoxicidade verificou – se que em comparação com o controle, as sementes que germinaram no composto obtido na biopilha apresentaram 94% de germinação. Na Figura 15 é possível verificar que o crescimento das raízes nos compostos obtidos a partir do teste de degradação não diferiram do crescimento das raízes das sementes depositadas no composto controle. O índice de germinação das sementes de alface para o composto obtido a partir da biopilha teste foi determinado em 96,8%. Esses dados indicam que o tratamento do resíduo contendo óleo lubrificante em sistema de biopilha foi eficiente. Zucconi et al.(1981) apresentam que índices de germinação superiores a 85% indicam o desaparecimento da fitotoxicidade no composto.

Figura 15 - Comprimento das raízes



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Figura 16 - As plântulas de alface que germinaram no composto controle (A) e no composto teste (B)



Fonte: Dados da pesquisa, 2017

6 CONCLUSÕES

Levando em consideração os resultados obtidos, pode-se concluir que:

A presença do óleo diesel e óleo lubrificante no sistema estimulou o crescimento microbiano.

O teste de ecotoxicidade com as minhocas apresentou dados inconclusivos.

Os testes de ecotoxicidade utilizando sementes de alface (*Lactuca sativa*) indicaram que as biopilhas / compostagem empregadas nesse trabalho foram capazes de reduzir a toxicidade do óleo lubrificante, permitindo que o composto seja aplicado como condicionante do solo.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. **Biodegradation and Bioremediation**, 302 p, Academic Press, 1994
- BACA, M. T., DELGADO, I. C., SANCHEZ-RAYA, A. J., GALLARDO-LARA, F., 1990. **Comparative uses of cress seed germination and physiological parameters of *Helianthus annuus* L. to assess compost maturation.** *Biol. Wastes* 33, 251-261
- BANAT, I. M., MAKKAR R. S., CAMEOTRA S. S.; **Possíveis aplicações comerciais de biossurfactantes microbianos.** *AppMicrobiolBiotechnol.* 2000
- BARBOSA, A. P. A.; GONDIM, A. L. N.; PAZ, M. C. F. **Remoção do corante preto pirazol por *Pseudomonas aeruginosa*.** In:II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa, 2007.
- BAYA, K.S.N.; AZURA, Z.K.I.; NURAITI, T.I.T. Mini Review: Environmental Benefits of Composting Organic Solid Waste by Organic Additives in Malaysia. **Bulletin of Environmental Science and Management**, 2014, Vol 2, No 1, 1-7
- BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O.; OKEKE, B. & FRANKENBERGER-JÚNIOR, W.T. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. **Braz. J. Microbiol.**, 34:65-68,2003.
- BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 69, p. 175-189, 1998.
- BERNETH, L.; FIRTH, I.; MCALLISTER, P. & RHODES, S. Biotechnologies for remediation and pollution control in the mining industry. *Miner. Metall. Proc.*, 17:105-111, 2000.
- BITTAR, P. R. **A biorremediação através do uso de biopilhas.** Disponível em: Acesso em 12 de dezembro de 2002.
- BRASIL. Lei no 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e da outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 22 fev. 2014.
- BRITO L. M., AMARO A. L., MOURÃO I. & COUTINHO J. **Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino.** *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1959-1968, 2008
- BRITO, L. M. **Manual de Compostagem.** Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. 2008. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2010.
- CASALI, D. J. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem.** 2011. 146 f. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

CAVALCANTI, R. M. F. **BIOPROSPECÇÃO DE BIOSURFACTANTES PRODUZIDOS POR FUNGOS FILAMENTOSOS DA CAATINGA**. 2014. 63 pg. Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé 2014.

CERRI, C. E. P. **Compostagem**. Piracicaba, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_2008. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2010000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf>. Acesso em: 28 de outubro de 2016

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p

DELFINO, J.J. & MILES, C.J. **Aerobic and anaerobic degradation of organic contaminants in Florida groundwater**. *Soil Crop Sci. Soc. Fl. Proc.*, 44:9-14, 1985

DIEMER, F.; SPECHT, L. P.; LAUTENSCHLAGER, C. E.; CONSOLI, N. C. **Estudo da permeabilidade do solo da região de Ijuí-RS percolando água e óleo diesel. Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, n. 16, p. 29- 41, 2010.

DOMÍNGUEZ, J. **State of the art and new perspectives on vermicomposting Research**. In: EDWARDS, C. A. *Earthworm ecology*. 2. ed. Florida: CRC Press, 2014. p. 401-424.

DORN, P.B., SALANITRO, J.P., HUESEMANN, M.H., MOORE, K.O., RHODES, I.A.L., RICE-JACKSON, L.M., VIPOND, T.E., WESTERN, M.M., WISNIEWSKI, H.L., 2000. **Crude oil hydrocarbon bioremediation and soil ecotoxicity assessment**. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1769±1776.

DUA, M.; SINGH, A.; SETHUNATHAN, N. & JOHRI, A.K. **Biotechnology and bioremediation: successes and limitations**. *Appl. Microbiol. Biot.*,59:143-152, 2002.

EDWARDS, P.J. & BROWN, S.M. **Use of grassland plots to study the effect of pesticides on earthworms**. *Pedobiologia*, 24:145- 150, 1996.

ENVIRONMENT CANADA. **Biological test method: test for measuring emergence and growth of terrestrial plants exposed to contaminants in soil**. Ontawa: Centre Environment, 2005. Disponível em: <<http://publications.gc.ca/site/eng/9.579102/publication.html>. >

ENVIRONMENTAL INQUIRY, 2011 apud REDE, 2011, p. 17

EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (EUA). **How to evaluate alternative cleanup technologies** for underground storage tank sites: a guide for corrective action plan reviewers. (EPA 510-B-94-003 and EPA 510-B-95-007) 1994. Disponível em: <<http://www.epa.gov/swerust1/pubs/tums.htm>>. Acesso em: 10 de julho de 2002.

FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PIÑARODRIGUES, F. C. M. **Análise de sementes**. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Coord.). *Sementes florestais Tropicais* Brasília: ABRATES, 1993. p. 137-174

FREUDENRICH, Craig. HowStuff Works - **Como funciona a compostagem**. Publicado em 02 de abril de 2001 (atualizado em 29 de outubro de 2007). Disponível em: Acesso em 30 de novembro de 2016

HUTCHINSON, S.L.; SCHWAB, A.P. & BANKS, M.K. **Biodegradation of petroleum hydrocarbons in the rhizosphere**. In: McCUTCHEON, S.C. & SCHNOOR, J.L., ed. **Phytoremediation - Transformation and control of contaminants**. Hoboken, New Jersey, John Wiley, 2003. p.355-386.

IBGE. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 06 de julho de 2017.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). Draft. **Avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals – Part 1: test with earthworms (Eisenia fetida)**. Geneva, ISO. 2002.

IPEF. Informativo sementes IPEF – Abril/98. 1998. 2 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/especies/germinacaoambiental.html>>. Acesso em: 21 nov. 199

JACQUES, R. J. S.; ZAIDA, F. M. B.; ANTONIOLLI, I.; CAMARGO, F. A. de O. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos**. *Ciência Rural*, v.37, n.4, jul-ago, 2007.

JOHNSON, A.R. et al. **Principles of microbial PAH-degradation in soil**. *Environmental Pollution*, Oxford, v.133, n.1, p.71- 84, 2005.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, SP. E. J. Kiehl, 1998

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto**. 3ª Edição. Piracicaba, SP: E. J. Kiehl, 2002. 171 p

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4.ed. Piracicaba, 173p. 2004.

LOURENÇO. **Manual de vermicompostagem e vermicultura para a Agricultura Orgânica**. 9789897230479. ed. Porto: Publindústria, 2014.

LYNCH JM, WISEMAN A, DE LEIJ FMAA. **Ecotoxicology. Encyclopaedia of biodiversity**, vol. 2. London/New York: Academic Press; 2001. p. 540–65

MACIEL, C. C. S.; TAKAKI, G. M. C.; GUSMÃO, N. B. **Potencialidade de fungos filamentosos em degradar óleos lubrificantes**. *Revista Eclesiástica Brasileira*, Petrópolis, v. 3, n. 1, p. 58-64, 2010.

MAGALHÃES, D.P. & FERRÃO-FILHO, A.S. (2008). **A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos**. *Oecologia Brasiliensis* 12(3): 355- 381.

MALHEIROS, Sergio M. P. **Avaliação do processo de compostagem utilizando resíduos agroindustriais**. Campinas-SP, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000116365>>. Acesso em: 24/02/2017

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro/ UNESP, 2006.

NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A. Ecoclimatologia do cariri paraibano. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 2 n. 3, p. 28-41, 2008.

NAVARRETE, A.A.; PIZANO, M.A.; NECCHI JR, O.; PIÃO, A.C.; ANGELIS, D.F. **Toxicidade de solo de “landfarming” de refinaria de petróleo tratado com algas para minhoca Eisenia fetida**. HOLOS Environment, v.9 n.1, 2009.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade. Circular técnico** – Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, n.59, 7p., dez. 2009. Disponível em: Acessoem: 4 jun. 2014.

NUNES-HALLDORSON, S. V.; STEINER L. R.; SMITH B. G. - Residual toxicity after biodegradation: interactions among benzene, toluene, and chloroform. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57 (2004) 162–167

PAPINI, S.; ANDRÉA, M. M. **Dissipação de simazina em solo por ação de minhocas (Eisenia fetida)** R. Bras. Ci. Solo, 25:593-599, 2001

PLAZA, G.; NAŁĘCZ-JAWECKI, G.; ULFIG, K.; BRIGMON, R.L. The application of bioassays as indicators of petroleum-contaminated soil remediation. *Chemosphere*, v.59, p.289-296, 2005.

PEREIRA NETO, J.T. 1994. **Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: Conferência sobre Agricultura e Meio Ambiente**, 1.,1994, Viçosa. Anais... UFV-NEPEMA. Viçosa. p. 61-74

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.

PUYUELO, B.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. *Chemical Engineering Journal, Lausanne*, n.165, p.161-169, 2010

RAHMAN, K.S.M.; BANAT, I.M. & THAHIRA, J. Bioremediation of gasoline contaminated soil by a bacterial consortium amended with poultry litter, coir pith and rhamnolipidbiosurfactant. *Bioresour. Technol.*, 81:25-32, 2002.

REDE M. G. S. D. **Avaliação Ecotoxicológica de Solos Contaminados por Ibuprofeno**. 2011. 95f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2011

REIS, M.F. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese de Doutorado (Pos-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

SANTANA, W. J. PRODUÇÃO DE BISSURFACTANTE POR *Candidalipolytica* (UCP 0988) UTILIZANDO ÓLEO DE PEQUI COMO FONTE ALTERNATIVA DE CARBONO. 2012. 137 pg. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SISINNO, C. L. S.; BULUS, M. R. M.; RIZZO, A. C.; MOREIRA, J. C. MOREIRA. Ensaio de Comportamento com Minhocas (*Eisenia fetida*) para Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares para Contaminação por Hidrocarbonetos. **Revista JBSE**, Rio Grande do Sul, vol. 1, n. 2, 2006.

TAM, N. F. Y; TIQUIA, S. Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. **Resources. Conservation and Recycling**. 11 (1994) 261-274

TEIXEIRA, R.F.F. Compostagem. In: HAMMES, V.S. (Org.) **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, v.5, p.120-123

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. **Compost Microorganisms**. In: CORNELL Composting, Science & Engineering, 2005. Disponível em: Acesso em: 31/10/2016.

URURAHY, A. F. P.; MARINS, M. D. M.; VITAL, R. L.; GABARDO, I. T. PEREIRA Jr, N. Effect of aeration on the biodegradation of petroleum waste. **Rev. Microbiol.**, São Paulo, v.29, p.254-258, 1998

USEPA – Environmental Protection Agency 1996. EPA 712-C-96-114. OPPTS 850. 1010 **Aquatic invertebrate toxicity test, freshwater daphnids: ecological effects test guidelines**. Washington. USA

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**. v.58. p.60-76, 2009.

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. **Pure Appl. Chem.**, Vol. 73, No. 7, pp. 1163–1172, 2001.

WONG, M.H. and BRADSHAW, A.D., 1982. A comparison of the toxicity of heavy metals using root elongation of ryegrass, *Lolium perenne*. **New Phytol.**, 91: 255-261.

ZUCCONI, F., PERA A. and FORTE, M. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**. March/ April: 54-57. 1981.