



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE**

JOSÉLIA CASTRO DA SILVA MARTINS

**EFEITOS DO ÓLEO DIESEL NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE
PROPÁGULOS DE *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L. e
Laguncularia racemosa C.F. Gaertn**

**São Luís - MA
2022**

JOSÉLIA CASTRO DA SILVA MARTINS

**EFEITOS DO ÓLEO DIESEL NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE
PROPÁGULOS DE *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L. e
Laguncularia racemosa C.F. Gaertn**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Flávia Rebelo Mochel

Coorientador(a): Prof.^o Dr.^o Leonardo Gonçalves de Lima

São Luís - MA
2022

MARTINS, Josélia Castro da Silva.

Efeitos do óleo diesel na germinação e crescimento de propágulos de *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* L. e *Laguncularia racemosa* C.F. Gaertn / Josélia Castro da Silva MARTINS. - 2022.

81 p.

Coorientador(a): Leonardo Gonçalves de Lima.

Orientador(a): Flávia Rebelo Mochel.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. Degradação ambiental. 2. Manguezal. 3. Recuperação ecológica. 4. Tensor Ambiental. I. Lima, Leonardo Gonçalves de. II. Mochel, Flávia Rebelo. III. Título.

JOSÉLIA CASTRO DA SILVA MARTINS

**EFEITOS DO ÓLEO DIESEL NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE
PROPÁGULOS DE *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L. e
Laguncularia racemosa C.F. Gaertn**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em 29 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Flávia Rebelo Mochel
Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI)/UFMA
ORIENTADORA

Prof.^o Dr.^o James Werllen de Jesus Azevedo
Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI)/UFMA
MEMBRO INTERNO

Prof.^a Dr.^a Ilisandra Zanandrea
Departamento de Biologia (DEBIO/CCBS)/UFMA
MEMBRO EXTERNO

Dedico este trabalho ao meu pai, José Firmo da Silva, (em memória). Que sempre acreditou em mim, deu-me incentivo e apoio. Meu querido, meu velho, meu amigo.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, Pai criador de todas as coisas, pela oportunidade de fazer este mestrado. A Jesus Cristo, pelas bênçãos de cada dia que me fortaleceram e deram-me direcionamentos para que esse trabalho fosse desenvolvido. Ao meu anjo guardião por todas as inspirações e orientações dadas.

Ao meu querido, velho e amado pai, em memória, por sempre ter estado presente ao meu lado em momentos como este.

Ao meu querido e amado marido, João, pela força, parceria, apoio e companheirismo de sempre.

Às minhas filhas amadas, Jéssica e Annelise, por todo o carinho, paciência e auxílio nos momentos em que precisei.

À minha querida amiga de alma, Érica, por sempre me acalmar e me estimular a dar sempre um passo a mais.

A toda a minha família, pela compreensão devido aos diversos momentos ausentes.

À FAPEMA pela bolsa concedida.

À Karine e ao Arthur por toda ajuda que me deram e que foi de suma importância nesta pesquisa.

A todos os professores que, de uma forma ou de outra, também fizeram parte desta pesquisa e me ajudaram.

Aos meus colegas de turma do mestrado pelo apoio e ajuda nas horas em que precisei.

E por último, mas não menos importante, muito pelo contrário, gratidão à minha orientadora Flávia Mochel, pois sem ela este trabalho não seria possível. Além de todo o suporte, dedicação, paciência e ensino que disponibilizou para mim, essa grande mulher também se doou como amiga em diversos momentos difíceis no decorrer destes dois anos.

“[...] Se Deus, em seus desígnios, vos fez nascer num meio onde pudestes desenvolver a vossa inteligência, é que quer a utilizeis para o bem de todos [...]” E.S.E. cap.VII, item 13.

RESUMO

Após lançado no meio ambiente, o óleo diesel tende a causar impactos negativos com efeitos agudos e crônicos às diversas espécies de mangue. Variados são os exemplos de acidentes com derramamentos e vazamentos de óleo que atingiram ecossistemas aquáticos, costeiros e terrestres, dentre estes o ecossistema de manguezal que possui alta relevância ecológica, econômica e social. Pesquisas realizadas com propágulos e mudas de mangue em um ambiente controlado tendem a auxiliar o entendimento de como atuam os efeitos de tensores nos processos de germinação e crescimento de espécies de mangue. Os propágulos e mudas desta pesquisa foram submetidos a diferentes tratamentos com óleo diesel, e, três repetições, em ambientes de laboratório e viveiro de mudas. Para os estudos de germinação de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, os experimentos foram separados em lote controle (sem adição de óleo diesel) e seis tratamentos com diferentes percentuais de óleo diesel (0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 3% e 4%) emulsificados em 500ml de água estuarina cada. Os testes realizados incluíram germinabilidade (G%), tempo médio de germinação (TMG), velocidade média de germinação (VMG), índice de velocidade de germinação (IVG) e taxa de mortalidade. Para o estudo de crescimento e desenvolvimento de *Rhizophora mangle*, as mudas foram distribuídas em experimento controle (sem adição de óleo diesel) e seis tratamentos com diferentes volumes de óleo diesel (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml) aplicados diretamente no sedimento das mudas. Os testes incluíram análise granulométrica, análise da altura e diâmetro das mudas, análise da biomassa das raízes (biomassa abaixo do solo), análise anatômica e análise da taxa de mortalidade. Os resultados mostraram que cada espécie estudada sofreu um efeito diverso diante dos componentes do óleo diesel. A *Laguncularia racemosa* apresentou-se mais sensível ao óleo diesel no processo germinativo com uma taxa de mortalidade significativa, enquanto que a *Avicennia germinans* sofreu mais anomalias externas e a *Rhizophora mangle* teve como resultado efeitos negativos no seu desenvolvimento estrutural como altura e diâmetro significativamente alterados, além de outros efeitos significativos. O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos do óleo diesel na germinação de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans* e no crescimento e desenvolvimento de mudas de *Rhizophora mangle*, a fim de contribuir com o conhecimento da resposta dos propágulos em áreas degradadas pela presença do óleo diesel. Além de concorrer para o entendimento dos procedimentos e ações de melhorias de políticas públicas e gestão da zona costeira brasileira, no que se refere aos ecossistemas de manguezais.

Palavras-Chave: Manguezal, tensor ambiental, degradação ambiental, recuperação ecológica.

ABSTRACT

After being released into the environment, diesel oil tends to cause negative impacts with acute and chronic effects on the different species of mangroves. There are several examples of accidents with oil spills and leaks that affected aquatic, coastal and terrestrial ecosystems, including the mangrove ecosystem that has high ecological, economic and social relevance. Research carried out with mangrove propagules and seedlings in a controlled environment tends to help the understanding of how the effects of tensors act in the processes of germination and growth of mangrove species. The propagules and seedlings of this research were submitted to different treatments with diesel oil, and, three replications, in laboratory environments and seedling nursery. For the germination studies of *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans*, the experiments were separated into a control batch (without the addition of diesel oil) and six treatments with different percentages of diesel oil (0.5%; 1%; 1.5%; 2 %; 3% and 4%) emulsified in 500ml of estuarine water each. The tests performed included germinability (G%), mean germination time (AMT), mean germination velocity (VMG), germination velocity index (IVG) and mortality rate. For the study of growth and development of *Rhizophora mangle*, the seedlings were distributed in a control experiment (without the addition of diesel oil) and six treatments with different volumes of diesel oil (7.5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml and 50ml) applied directly in the seedling sediment. Tests included granulometric analysis, seedling height and diameter analysis, root biomass analysis (below-ground biomass), anatomical analysis and mortality rate analysis. The results showed that each species studied suffered a different effect on the components of diesel oil. *Laguncularia racemosa* was more sensitive to diesel oil in the germination process with a significant mortality rate, while *Avicennia germinans* suffered more external anomalies and *Rhizophora mangle* had as a result negative effects on its structural development such as significantly altered height and diameter, as well as other significant effects. The present study aimed to analyze the effects of diesel oil on the germination of *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans* and on the growth and development of seedlings of *Rhizophora mangle*, in order to contribute to the knowledge of the response of the propagules in areas degraded by the presence of diesel oil. In addition to contributing to the understanding of procedures and actions to improve public policies and management of the Brazilian coastal zone, with regard to mangrove ecosystems.

Keywords: mangrove, environmental tensor, environmental degradation, ecological recovery.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** - Distribuição dos manguezais no Brasil e principais áreas protegidas e Unidades de Conservação. 25
- Figura 2** - Regiões brasileiras mais afetadas por principais derrames de óleo diesel e óleos combustíveis em manguezais desde a segunda metade da década de 1975 até 01 de janeiro de 2022. 30
- Figura 3** - Demanda mundial de petróleo por produto. O óleo diesel é o combustível mais consumido. 31
- Figura 4** - Os tipos de óleo diesel no Brasil. 32

Capítulo 2

- Figura 1** - Mapa da localização dos pontos de coleta dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans*, no manguezal do Mangue Seco, Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil..... 42
- Figura 2** – Resultado para a Germinabilidade (%) da *L. racemosa* nos tratamentos com óleo diesel. – a e b representam diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância..... 45
- Figura 3** – Análise de ordenação (MDS) para a germinação em função dos tratamentos de óleo aplicados na espécie *L.racemosa*..... 45
- Figura 4** – Análise de agrupamento de Cluster com base na mortalidade ocorrida por tratamento com óleo diesel da espécie *L.racemosa*. 46
- Figura 5** – Análise de componentes principais (PCA) mostrando a correlação entre as medidas fisiológicas de germinação dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans* (germinabilidade - G%; mortalidade - M%, tempo médio de germinação - TMG; valor médio de germinação - VMG e índice de velocidade de germinação – IVG), em função dos percentuais de óleo diesel aplicados (0%; 0,5%; 1%; 2%; 3% e 4%). 48
- Figura 6** – Propágulo de *A. germinans* germinado com anomalias no tratamento com óleo diesel. 49
- Figura 7** – Propágulo não germinado de *L. racemosa* com uma estrutura com aparência de raiz no tratamento T₆. 50

Capítulo 3

- Figura 1** - Mapa da localização dos pontos de coleta dos propágulos de *R. mangle*, no manguezal do Mangue Seco, Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil..... 58
- Figura 2** - Altura (em cm) de plântulas de *R. mangle* em função dos sete tratamentos com óleo diesel (de controle, que é 0ml, até 50mL de óleo diesel) e do tempo em meses (maio a novembro). Os diferentes volumes de óleo diesel aplicados estão destacados em uma escala de cores, onde o controle (ctrl – 0ml) está destacado em preto e o maior volume de óleo diesel (50m) está em verde. 62

- Figura 3** - Diâmetro (em cm) de plântulas de *R. mangle* em função dos sete tratamentos com óleo diesel (de controle, que é 0ml, até 50mL de óleo diesel) e do tempo em meses (maio a novembro). Os diferentes volumes de óleo diesel aplicados estão destacados em uma escala de cores, onde o controle (ctrl – 0ml) está destacado em preto e o maior volume de óleo diesel (50m) está em verde. 63
- Figura 4** – A menor taxa de mortalidade ocorreu no experimento controle (6,67%). Os demais tratamentos com óleo diesel apresentaram taxas significativamente mais elevadas. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância. 64
- Figura 5** – Biomassa das raízes (biomassa abaixo do solo) de *R. mangle*. O gráfico apresenta a massa fresca (em gramas) e a massa seca (em gramas) das raízes por tratamento de óleo diesel.....65
- Figura 6** – A) Muda de *R. mangle* com necrose no caule, que acabou causando a morte da muda. B) Muda com necrose e má formação das folhas. C) Muda com necrose em parte do caule, o que causou uma mutação adaptativa. D) Muda com clorose e queda das folhas 66
- Figura 7** – Muda *R. mangle* com herbivoria..... 66
- Figura 8** – Incidência de anomalias externas nas mudas de *R. mangle* por tratamento de óleo diesel.67
- Figura 9** – Cortes transversais de raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 µm. Redução no diâmetro das raízes..... 67
- Figura 10** – Cortes transversais de raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 µm. Desorganização das células do cilindro central os tratamentos com adição de óleo diesel (10B, 10C e 10D). 68
- Figura 11** – Cortes paradérmicos e formato da epiderme nas folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 µm. Índice estomático menor em C e D..... 69
- Figura 12** – Cortes das folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 µm. Quantidade de esclereídes do tipo astroesclereíde diminuíram nos tratamentos com óleo (B, C e D).70

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1 – Resultados dos efeitos do óleo diesel S10 na germinação dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans*, submetidos a diferentes percentuais de tratamento, a partir das variáveis aplicadas (germinabilidade - G%; mortalidade - M%, tempo médio de germinação - TMG; valor médio de germinação - VMG e índice de velocidade de germinação - IVG; mesma letra não difere entre si ao nível de probabilidade de 5%) 47

Capítulo 3

Tabela 1– Parâmetros micromorfométricos das raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. Médias seguidas de uma mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 68

Tabela 2 – Parâmetros micromorfométricos das folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. Médias seguidas de uma mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)..... 69

LISTA DE QUADROS

Capítulo 1

Quadro 1 - Principais derramamentos de óleo diesel e óleos combustíveis em manguezais no Brasil, desde março de 1975 até janeiro de 2022. Embora , no quadro, a ênfase esteja nos derrames de óleo diesel e óleos combustíveis, apresentam-se, também, alguns dos derrames de grande porte de petróleo bruto, gasolina e GLP..... 26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALL - América Latina Logística

ANP – Agência Nacional do Petróleo

APA – Área de Preservação Ambiental

BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ISL – Índice de Sensibilidade do Litoral

MDS – Método de Escalonamento Multidimensional

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

SAO – Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo

SUMÁRIO

I.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
II.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
1.	ESPÉCIES DE MANGUE DESTA PESQUISA	20
2.	TIPO DE ÓLEO DIESEL UTILIZADO NESTA PESQUISA: ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO B S-10.....	21
III.	CAPÍTULO 1: PRINCIPAIS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO DIESEL E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS EM ECOSISTEMAS DE MANGUEZAIS NO BRASIL, NO PERÍODO DE 1975 A 2022.....	22
1.	INTRODUÇÃO	23
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.	CONCLUSÃO	34
	RECONHECIMENTOS.....	35
	REFERÊNCIAS.....	35
IV.	CAPÍTULO 2: EFEITOS DO ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO NA GERMINAÇÃO DE PROPÁGULOS DE MANGUE DE <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. E <i>Laguncularia racemosa</i> C.F. GAERTN.....	39
1.	INTRODUÇÃO	40
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
2.1	Caracterização da área de coleta e estudo	42
2.2	Procedimentos para germinação de <i>A. germinans</i> e <i>L. racemosa</i>	42
2.3	Testes de germinação.....	43
2.4	Percentual de mortalidade.....	43
2.5	Análise de dados.....	44
3.	RESULTADOS.....	44
3.1	Efeito do óleo diesel automotivo sobre a germinação dos propágulos de <i>L. racemosa</i>	44
3.2	Efeito do óleo diesel automotivo sobre a germinação dos propágulos de <i>A. germinans</i> ...	46
3.3	Efeito do óleo diesel automotivo sobre as variáveis fisiológicas de germinação entre <i>L. racemosa</i> e <i>A. germinans</i>	47
3.4	Anomalias no experimento de germinação dos propágulos de <i>A. germinans</i> e <i>L. racemosa</i>	49
4.	DISCUSSÃO.....	50
5.	CONCLUSÃO	52
	RECONHECIMENTOS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	52
V.	CAPÍTULO 3: EFEITOS DO ÓLEO DIESEL B S-10 NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE <i>Rhizophora mangle</i> (L.).....	56
1.	INTRODUÇÃO	57

2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
2.1	Procedimentos para desenvolvimento de mudas de <i>R. mangle</i>	59
2.2	Análises granulométricas.....	59
2.3	Análise da biomassa das raízes de <i>R. mangle</i> (biomassa abaixo do solo).....	60
2.4	Análise da taxa de mortalidade.....	60
2.5	Análise anatômicas.....	60
2.6	Análise de dados.....	61
3.	RESULTADOS.....	62
3.1	Análise granulométrica.....	62
3.2	Altura da plântula.....	62
3.3	Diâmetro do caule.....	63
3.4	Taxa de mortalidade.....	64
3.5	Biomassa das raízes de <i>R. mangle</i> (biomassa abaixo do solo).....	64
3.6	Anomalias externas.....	65
3.7	Anatomia.....	67
4.	DISCUSSÃO.....	70
5.	CONCLUSÃO.....	73
	RECONHECIMENTOS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	73
VI.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICES.....	80

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente os manguezais tem apresentado diversos desequilíbrios em contato com produtos oleosos que adentram este ecossistema de várias formas. Os resultados são degradações danosas e complexas com efeitos negativos a curto e a longo prazo para o ambiente. Estes efeitos negativos podem refletir na germinação dos propágulos de mangue, bem como no desenvolvimento da muda ou na sobrevivência e continuidade da espécie atingida pelo óleo. O presente estudo teve por objetivo buscar o conhecimento da resposta dos propágulos de mangue na fase inicial e juvenil (germinação e crescimento) na presença do óleo diesel, avaliando as consequências que os efeitos do tensor podem gerar em cada espécie. Estudos como este tendem a auxiliar na conservação, restauração e preservação do ecossistema de manguezal, trazendo conhecimentos que contribuem para o aprimoramento de técnicas de recuperação de áreas degradadas pela presença do óleo, além de que, essas respostas também podem agregar informações relevantes para a formação de análises de risco de áreas sensíveis ao derramamento de óleo.

Esse documento de dissertação foi elaborado na forma de Artigo Científico, dividido em três capítulos (artigos), de acordo com o formato pré-estabelecido pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. O primeiro capítulo é constituído pelo artigo intitulado “**PRINCIPAIS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO DIESEL E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS EM ECOSSISTEMAS DE MANGUEZAIS NO BRASIL, NO PERÍODO DE 1975 A 2022**”, que será submetido ao **International Journal of Biological and Natural Sciences**, o segundo capítulo intitulado “**EFEITOS DO ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO NA GERMINAÇÃO DE PROPÁGULOS DE MANGUE DE *Avicennia germinans* (L.) L. E *Laguncularia racemosa* C.F. GAERTN**”, o qual foi submetido à revista científica multidisciplinar **Acta Amazônica** (Qualis Capes B1, ciencias ambientais), em agosto de 2022, através do ID AA-2022-0234 (e-mail de submissão no Apêndice deste documento). Por fim, o terceiro capítulo da dissertação, intitulado “**EFEITOS DO ÓLEO DIESEL B S-10 NO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *Rhizophora mangle* (L.)**”, que ainda será submetido.

O trabalho está organizado, numa abordagem geral, em **Considerações Iniciais, Fundamentação Teórica, o Capítulo 1**, que aborda os aspectos do óleo diesel como um dos principais poluentes provenientes de derramamentos acidentais, ou não, que afetam os ecossistemas na zona costeira brasileira (artigo submetido). O **Capítulo 2**, artigo já submetido,

que mostra os resultados do efeito do óleo diesel na germinação de *A. germinans* e *L. racemosa*. O **Capítulo 3**, ainda a ser submetido, que aborda a influência do óleo estudado no crescimento e desenvolvimento de *R. mangle*. Finalizado pela **Considerações Finais, Referências e Apêndices** (Normas da Revista e e-mail de submissão do artigo).

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O manguezal é o ambiente costeiro mais vulnerável aos impactos causados por um derramamento de óleo (GUNDLACH e HAYES, 1978). Seu nível de sensibilidade (nível 10) é considerado o nível mais alto e de maior sensibilidade a derramamentos de óleo (MMA, 2016). Em Hoff e Michel (2002/2014, p.2.1), os autores enfatizam que “os manguezais são altamente suscetíveis à exposição ao óleo; a lubrificação pode matá-los dentro de algumas semanas a vários meses”. Soares *et al.* (2006) ressaltam que os impactos do óleo no manguezal, geralmente, resultam em efeitos agudos e crônicos.

Diversos autores consideram que os impactos do óleo ao manguezal, dependem da composição química do poluente (o tipo de óleo), o tempo de exposição, assim como, da quantidade de óleo à qual o ambiente é exposto, a persistência deste no ambiente, as condições naturais e climáticas e as espécies atingidas (BAKER, 1970; DUKE *et al.*, 1998; SOARES *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2007; HOFF e MICHEL, 2002/2014; CHEQUER *et al.*, 2017).

O óleo diesel é um combustível obtido através da destilação do petróleo bruto, possui diversos compostos formados por hidrocarbonetos, enxofre, nitrogênio, oxigênio, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (CETESB, 2012). Estes compostos, devido à sua natureza, tendem a causar danos quando entram em contato direto com o meio ambiente (PETROBRAS, 2021).

Szklo e Uller (2012) destacam que o óleo diesel tem sido, ao longo dos anos, o combustível com consumo mais crescente dentre os demais, tornando-se o derivado de petróleo mais consumido no país. Sua vasta utilização vai desde transportes rodoviários, transportes ferroviários a embarcações marítimas, na indústria, na geração de energia, entre outros. A poluição de ambientes por este tipo de combustível, geralmente, se dá por meio de acidentes em pequena ou grande escala (CETESB, 2012). Esses acidentes atingem frequentemente os ecossistemas costeiros e marinhos (THOMPSON e THOMPSON, 2020), degradando os manguezais.

Devido a este fator degradação, estima-se que há uma perda de cerca de 25% dos manguezais do Brasil, sendo que, no Norte e Nordeste do país a perda estimada é bem maior

com cerca de 40% das florestas de mangue (ICMBIO, 2018). Mochel (2002) e Corrêa *et al.* (2021), informam que, no Estado do Maranhão, as florestas de manguezais já sofreram uma perda de cerca de 10.000ha entre os anos de 1972 e 2002. Carneiro *et al.* (2017) destacam que na Ilha do Maranhão, entre os anos de 2010 e 2015, houve uma perda de área de manguezais de 1.953,68ha. Tais perdas se deve à ação de tensores naturais, mas, principalmente devido à influência da ação humana que, para estabelecer habitações e se desenvolver economicamente, afeta negativa e permanentemente imensas áreas florestais de mangue.

Soares *et al.* (2003) advertem que em áreas de mangue onde há influência de atividades antrópicas, devemos considerar que além das condições naturais do ambiente, a floresta também está exposta aos efeitos de diferentes tensores e, considerando o petróleo e seus derivados como um tensor potencial em ecossistemas de manguezal, Soares *et al.* (2006) sugerem que tão importante quanto a ação do tensor é a persistência deste no sistema, tornando o processo de recuperação mais lento.

Mochel e Fonseca (2019), ressaltam que a recuperação induzida das espécies diminui o prazo de recomposição da área afetada, diminuindo a taxa de mortalidade e auxiliando no crescimento saudável das mudas. Os autores consideram que a produção de mudas em um ambiente controlado, como um viveiro, é uma das técnicas para a recuperação induzida e produção de mudas saudáveis, e para isso torna-se indispensável a germinação dos propágulos de mangue. Estudos (ZHANG *et al.*, 2007) que envolveram os efeitos do óleo com outras espécies de mangue resultaram em danos para a espécie estudada. Conhecer os efeitos que o óleo diesel pode causar na etapa de germinação das espécies de mangue, pode auxiliar na recuperação de florestas degradadas.

Dessa forma, a partir de estudos com a germinação dos propágulos de mangue submetidos a um contaminante, em um ambiente controlado, pode-se verificar como reage cada espécie e quais os efeitos que sofrem diante do contato agudo ou crônico com o óleo em um dos processos mais importantes para o desenvolvimento e continuidade das florestas de manguezais: a germinação de seus propágulos. Bewley e Black (1994) estabelecem que a germinação se inicia com a captação de água pela semente, em um processo de embebição, e termina com o alongamento da radícula. Os autores esclarecem ainda que o crescimento da plântula começa quando a germinação termina.

Além do mais, estudos realizados com espécies de mangue em contato com o petróleo e seus derivados, como o óleo diesel, resultaram em efeitos danosos, agudos e/ou crônicos.

Além de diferentes efeitos para cada espécie, apontando que as diferentes espécies de mangue não respondem de forma semelhante, isso resulta em implicações no processo de restauração de um manguezal atingido por um derrame de óleo e demonstra o risco potencial de impacto negativo que o contato deste tensor representa aos sítios de manguezais (DUKE *et al*, 1998; SOARES *et al*, 2006; CHINDAH *et al*, 2007; HOFF e MICHEL, 2002/2014; CHECKER *et.al.*, 2017). Os efeitos agudos e crônicos, observados pelos autores, mostraram falhas na germinação, retardo no crescimento das plântulas, propágulos deformados, raízes pouco desenvolvidas e ou/anômalas, folhas amareladas ou enroladas, desfolhamento, aumento nas mutações, aumento na sensibilidade a outros estresses, diminuição no crescimento das árvores e morte da árvore, entre outros.

1. ESPÉCIES DE MANGUE DESTE ESTUDO

Para os autores Schaeffer-Novelli *et al.* (2000, p.561), o termo mangue:

[...] é usado para designar um grupo de árvores e arbustos tropicais floristicamente diversos pertencentes a famílias não relacionadas que compartilham características fisiológicas e adaptações especiais que permitem a persistência em sedimentos alagados, salinos, lodosos e substratos não consolidados. [...]

No Brasil temos três gêneros de mangue, totalizando seis espécies típicas (ICMBIO, 2018). Na Ilha do Maranhão são encontradas quatro destas espécies: *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, além de outras espécies associadas como *Conocarpus erectus*, entre outros (MOCHEL, 1997; MOCHEL, 2011). As espécies utilizadas neste estudo foram: *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.

A *A.germinans* é chamada de mangue preto, siriba ou siriúba. Possui raízes radiais (subterrâneas) para sua sustentação, de onde saem as raízes chamadas de pneumatóforos, estes crescem em sentido contrário à gravidade (geocentrismo negativo). Os pneumatóforos possuem lenticelas que servem para ventilação (respiração) da planta. Suas folhas acumulam cristais de sódio como forma de expelir o sal absorvido da água da maré.

A *L.racemosa* é chamada de mangue branco ou tinteira. Esta espécie possui uma característica que a diferencia das demais, são as glândulas não funcionais na base da folha, esta, por sua vez possui pecíolos avermelhados. Suas raízes também são do tipo radiais com pneumatóforos menores e em menor quantidade que a *A.germinans*.

A *R.mangle* é chamada comumente de mangue vermelho por possuir uma substância

em sua casca, o tanino, que produz uma cor avermelhada. Possui raízes caulinares de sustentação chamadas de rizóforos (raízes escoras) e raízes adventícias, elas crescem a partir do caule em direção ao solo (geocentrismo positivo) e possuem lenticelas que auxiliam na respiração da planta ao permitir a troca gasosa. Possui ainda uma característica marcante relativa à sua reprodução: a viviparidade, ou seja, seus frutos, chamados de propágulos, germinam direto na árvore-mãe e ao ficarem maduros são liberados no ambiente como embrião. Ao se desprenderem da árvore-mãe, o propágulo, que se assemelha ao formato de uma caneta, fixa-se no chão, dando continuidade à espécie em forma de plântula, necessitando para isso de condições ideais para o seu estabelecimento e desenvolvimento (ICMBIO, 2018).

2. TIPO DE ÓLEO DIESEL UTILIZADO NESTA PESQUISA: ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO B S-10

O óleo diesel automotivo B S-10 é composto principalmente por hidrocarbonetos (moléculas de hidrogênio e carbonos), contendo ainda em menor proporção nitrogênio, enxofre e oxigênio, além de compostos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e o Xileno). É um combustível com maior peso molecular devido à apresentação da sua cadeia de carbonos composta de 09 a 30 átomos, portanto, menos voláteis. É também menos denso e menos solúvel em água e apresenta menor mobilidade no ambiente do que aqueles que compõem a gasolina, tem odor forte e sua coloração varia, de acordo com o tipo de diesel, do transparente ao amarelo, vermelho, laranja ou marrom. Há tipos de óleo diesel diferenciados no mercado e o que difere um tipo do outro é o teor de enxofre e o ponto de fulgor (FINOTTI *et al.*, 2001; PETROBRAS, 2021).

Szklo e Uller (2012) ressaltam o significativo crescimento do consumo do óleo diesel. Atualmente há uma crescente demanda por este derivado do petróleo devido à sua alta eficiência, durabilidade e flexibilidade. Sua utilização vai desde o transporte de cargas e de passageiros, rodoviário, ferroviário e marítimo, na indústria, na geração de energia, em máquinas para construção civil, em máquinas agrícolas e locomotivas (CETESB 2012).

III. CAPÍTULO 1: PRINCIPAIS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO DIESEL E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS EM ECOSISTEMAS DE MANGUEZAIS NO BRASIL, NO PERÍODO DE 1975 A 2022

Josélia Castro da Silva MARTINS¹ e Flávia Rebelo MOCHEL²

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFMA - PRODEMA, ORCID 0000-0001-5247-4708, joselia.castro@discente.ufma.br

² Universidade Federal do Maranhão- UFMA, Depto. Oceanografia e Limnologia- DEOLI, Av. dos Portugueses, 1966, Maranhão, Brasil, ORCID 0000-0001-5911-3171, flavia.mochel@ufma.br

RESUMO

Derramamentos de óleo em ambientes costeiros e marinhos tem sido frequentes desde a segunda metade do século XX até as primeiras décadas do século XXI, tendo como resultado variados impactos socioambientais em ecossistemas de manguezais, estuários e praias. Áreas portuárias, marinas e áreas onde se efetuam o abastecimento e manutenção de veículos automotivos, rodoviários, férreos e de embarcações, além de postos de distribuição de combustíveis, também são locais passíveis de vazamentos, ocasionando percolação do resíduo de óleo e bioacumulação a longo prazo, mesmo que em pequenas quantidades. Por outro lado, derramamentos de grandes proporções, como os listados neste trabalho, resultam em danos maiores para os ecossistemas atingidos. No percurso destes acidentes, geralmente, encontram-se os ecossistemas de manguezais, ambientes sensíveis a derramamentos de óleo e de imensa importância ambiental, econômica e ecológica. Procurou-se identificar os principais derrames ocorridos com óleo diesel e óleos combustíveis, que atingiram estuários e manguezais na costa brasileira entre os anos de 1975 a 2022. Alguns acidentes e vazamentos com petróleo bruto foram também incluídos apenas na análise temporal, dada sua expressiva relevância tanto em volume derramado quanto em extensão da zona costeira atingida. Utilizou-se dados, metadados e análise documental, incluindo artigos científicos, relatórios técnicos de empresas públicas ou privadas de meio ambiente, saneamento, relatórios acadêmicos e de gestores públicos governamentais, dissertações acadêmicas, processos jurídicos, entre outros. Os resultados mostraram que acidentes com óleo diesel estão entre os mais frequentes em terminais aquaviários químicos e petroquímicos e ocasionaram danos severos aos manguezais, demais ecossistemas costeiros e à população humana. Observou-se a importância da pesquisa sobre os diversos efeitos do óleo nos ambientes de manguezais, com o intuito de contribuir para a sua recuperação ecológica, bem como para o entendimento dos procedimentos e melhorias de políticas públicas e gestão da zona costeira brasileira.

Palavras-Chave: hidrocarbonetos, vazamentos petroquímicos, mangue, zona costeira, impacto ambiental

ABSTRACT

Oil spills in coastal and marine environments have been frequent from the second half of the 20th century to the first decades of the 21st century, resulting in varied socio-environmental impacts on mangrove ecosystems, estuaries and beaches. Port areas, marinas and areas where the supply and maintenance of automotive, road, rail and boat vehicles are carried out, in addition to fuel distribution stations, are also prone to leaks, causing percolation of oil residue and long-term bioaccumulation. , even in small amounts. On the other hand, large spills, such as those listed in this work, result in greater damage to the affected ecosystems. In the course of these accidents, there are usually mangrove ecosystems, environments sensitive to oil spills and of immense environmental, economic and ecological importance. We sought to identify the main spills that occurred with diesel oil and fuel oils, which reached estuaries and mangroves on the Brazilian coast between the years 1975 to 2022. Some accidents and spills with crude oil were also included only in the temporal analysis, given their significant relevance both in spilled volume and in extension of the affected coastal zone. Data, metadata and document analysis were used, including scientific articles, technical reports from public or private companies in the environment, sanitation, academic reports and from government public managers, academic dissertations, legal processes, among others. The results showed that diesel oil accidents are among the most frequent in chemical and petrochemical waterway terminals and caused severe damage to mangroves, other coastal ecosystems and the human population. The importance of research on the various effects of oil on mangrove environments was observed, in order to contribute to their ecological recovery, as well as to the understanding of procedures and improvements in public policies and management of the Brazilian coastal zone.

Keywords: hydrocarbons, petrochemical spills, mangrove, coastal zone, environmental impact

1. INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema costeiro de transição entre a terra e o mar característico de zonas tropicais e subtropicais, sendo, entre os ecossistemas existentes, um dos mais produtivos do planeta, possuindo uma estreita conectividade com os demais ambientes além do costeiro (YOKOYA, 1995; MOCHEL, 2011; ICMBIO, 2018). Ele tem a sua importância ecológica, econômica e social destacada por diversos autores como Mochel (2002, 2011 e 2016), Mochel e Fonseca (2019), Corrêa et al. (2021), Paula (2012) e Soares (1997), dentre outros. Segundo esses autores, são inúmeros os benefícios que manguezais proporcionam, porém, não obstante a sua importância, estão entre os ecossistemas costeiros mais ameaçados e vem sofrendo grande perda através da degradação, que pode ser tanto de origem natural quanto de origem antrópica.

A poluição por óleo caracteriza-se como um tensor que produz efeitos negativos ao meio ambiente, principalmente àqueles mais sensíveis como é o caso do ecossistema de manguezal

ao qual é atribuído o nível 10 no Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) descrito nas Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), nível mais alto e de maior sensibilidade caracterizado nas cartas. Diversos autores (SOARES et al., 2003; 2006; PINHEIRO e SILVA, 2020) apontam para a cojunção de condições naturais adversas aliadas às atividades humanas na persistência ambiental e lentidão dos processos de recuperação dos ecossistemas costeiros, em especial os manguezais, sendo a exposição ao óleo, em grande parte através de acidentes, um dos fatores que mais causa danos.

Em florestas de manguezais, nos casos em que a recomposição das condições ambientais anteriormente existentes for demorada, em virtude dos danos causados pelo contato prolongado do óleo, pode haver a repercussão de outros impactos negativos além dos que ocorrem nas plantas, como a degradação do ambiente pela erosão, invasão de espécies oportunistas, mudanças nos fluxos hidrológico, entre outros (SILVA, 2006; MOCHEL E FONSECA, 2019).

Os combustíveis derivados do petróleo, como o óleo diesel, a gasolina e o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), são caracterizados como a mais importante fonte de energia utilizada no mundo. A partir dos anos 1950 sua exploração aumentou gradativa e consideravelmente e passou a ser indispensável na modernidade para a funcionalidade de diversos segmentos que vai desde combustíveis para veículos automotivos, aviação, transportes marítimos, motores, termoelétricas, bem como utilizado como matéria prima na fabricação de plásticos, lubrificantes, borrachas, produtos asfálticos, querosenes, tintas, cosméticos, entre outros (THOMAS, 2001; MARSICO, 2008). Apesar do consumo crescente ao longo dos anos, o setor sofreu uma diminuição na demanda em virtude dos desafios impostos pela situação de Pandemia da COVID-19 em 2020, mesmo assim, o mercado do petróleo está se restabelecendo e a demanda por seus derivados, nos anos subsequentes, promete aumentar, segundo afirma a International Energy Agency (2021). Essa agência, bem como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), apontam a demanda mundial do petróleo por produto demonstrando que o óleo diesel é um dos principais combustíveis comercializados mundialmente.

Diversos são os percursos por onde passam os derivados do petróleo, desde o seu refino até a sua distribuição final (rodoviário, dutoviário, ferroviário e aquaviário), e, no decorrer dessa logística de transporte, há variados riscos de acidentes tanto em pequenas quanto em grandes proporções que podem atingir o meio ambiente resultando em efeitos danosos a curto e/ou a longo prazo (efeitos agudos e/ou crônicos). Segundo Matos, Cunha e Cutrim (2019), no Brasil,

há um maior número de acidentes ambientais envolvendo transportes rodoviário e aquaviário, e que, os ecossistemas aquáticos são um dos ambientes naturais mais afetados, principalmente pelo óleo.

O IBAMA (2009/2014), ressalta a importância de se conhecer o tipo e a quantidade do produto que atinge o meio ambiente para que haja uma melhor avaliação do impacto ocorrido; o órgão informa ainda que, nos anos de 2008, 2009, 2013, bem como 2014, o óleo diesel foi o produto com maior índice de acidentes e também com maior volume vazado, sendo o evento mais ocorrido o de derramamento de líquidos, ou seja, de óleo. Salienta-se que um acidente envolvendo um derramamento de óleo em grandes proporções pode causar diversos impactos negativos tanto à flora quanto à fauna e às pessoas também, isso devido à toxicidade que envolve os seus componentes.

Resultados de estudos como este tendem a contribuir para a formação e gestão de políticas públicas e ambientais, auxiliando também na promoção de medidas mitigadoras em áreas onde ocorrem os acidentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os manguezais distribuem-se, na costa brasileira, desde 4° N em Cabo Orange, no estado do Amapá até 28° 30' S, no município de Laguna, em Santa Catarina. As áreas mais extensas localizam-se no litoral amazônico, compreendendo os estados do Maranhão, Pará e Amapá. (Figura 1).

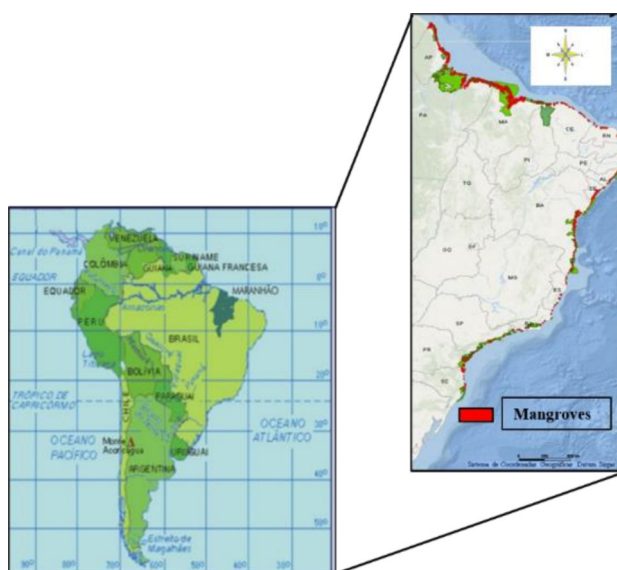


Figura 1 - Distribuição dos manguezais no Brasil e principais áreas protegidas e Unidades de Conservação.

Fonte: ICMBIO, 2018

A pesquisa baseou-se em dados, metadados e análise documental, incluindo artigos científicos em meio indexados, relatórios técnicos de empresas públicas ou privadas de meio ambiente, saneamento, relatórios acadêmicos e de gestores públicos governamentais, processos jurídicos (Ministério Público, laudos periciais jurídicos ambientais, entre outros), e, também, relatórios e informações textuais publicadas por Organizações Não Governamentais. O período de levantamento de dados abrangeu a segunda metade da década de 1970 até janeiro de 2022. A partir de dados coletados, foram realizadas tabulação e análise de dados com programa *Excel Office* 2016 (OLIVEIRA,2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são apresentados os principais derramamentos de petróleo e óleos combustíveis em manguezais no Brasil ao longo de 47 anos, ocorridos desde março de 1975 até janeiro de 2022. A Resolução CONAMA 398 de junho de 2008 classifica os vazamentos de óleo como pequenos (até 8m³), médios (até 200 m³) e grandes (acima de 200 m³). A partir desta classificação e com as quantidades informadas no quadro 1, pode-se melhor mensurar os vazamentos ocorridos.

Quadro 1 - Principais derramamentos de óleo diesel e óleos combustíveis em manguezais no Brasil, desde março de 1975 até janeiro de 2022. Embora, no quadro, a ênfase esteja nos derrames de óleo diesel e óleos combustíveis, apresentam-se, também, alguns dos derrames de grande porte de petróleo bruto, gasolina e GLP.

Data	Localização	Volume vazado *	Características dos derramamentos em manguezais no Brasil
03/1975	Baía de Guanabara (RJ)	6 mil toneladas	Cargueiro fretado pela Petrobrás vazou óleo na Baía de Guanabara.
10/1983	Bertioga (SP)	3 milhões de litros	Rompimento de oleoduto da Petrobrás atingiu manguezal .
02/1984	Santos (SP)	500 mil litros	Vazamento de óleo diesel advindo do naufrágio da Barcaça Gisela no terminal de Alemoa.
02/1984	Cubatão (SP)	700 mil litros	Vazamento de gasolina após explosão de duto da Petrobrás na favela Vila Socó, atingiu extensa área de manguezal.
09/1984	Santos (SP)	20 mil litros	Óleo diesel vazado do rompimento de duto do terminal de Alemoa
1990	São Luís (MA)	33 mil litros	Derramamento de óleo diesel na Baía de São Marcos, após a colisão do Navio Orade Nassau com o navio Hyundai New World, encalhado desde 1987, no banco de areia Cavalos
04/1992	Madre de Deus (BA)	48 mil litros	Derrame de óleo cru atingiu mais de 30 km de manguezais

Data	Localização	Volume vazado *	Características dos derramamentos em manguezais no Brasil
07/1992	Cubatão (SP)	10 mil litros	Vazamento de óleo em manancial do Rio Cubatão.
05/1994	Vários municípios (SP)	2 milhões e 700 mil litros	Em 18 praias do litoral norte paulista, atingindo manguezais.
03/1997	Baía de Guanabara (RJ)	2 milhões e 800 mil litros	Vazamento de óleo combustível em manguezais, após rompimento de duto de ligação entre a Refinaria de Duque de Caxias (RJ) e o terminal DSTE-Ilha D'Água
08/1997	Ilha do Governador (RJ)	2 mil litros	Vazamento de óleo combustível da Petrobras, em cinco praias e manguezais.
01/2000	Duque de Caxias (RJ)	1 milhão e 300 mil litros	Vazamento de óleo combustível atingiu manguezais, após rompimento de duto de ligação entre a Refinaria Duque de Caxias e o terminal da Ilha d'Água.
03/2000	São Sebastião (SP)	7 mil e 250 litros	Derramamento de óleo no canal de São Sebastião, proveniente do navio Mafra, da FNP.
05/2000	São Luís (MA)	25 mil litros	Vazamento de óleo diesel em manguezal durante abastecimento de locomotivas da então CVRD
06/2000	Baía de Guanabara (RJ)	380 litros	Mancha de óleo de um quilômetro de extensão apareceu próximo à Ilha d'Água.
07/2000	Ponta Grossa (PR)	60 mil litros	Vazamento de óleo diesel oriundo de descarrilhamento de trem da Companhia América Latina Logística (ALL)
07/2000	Ponta Grossa (PR)	20 mil litros	Vazamento de óleo diesel e gasolina (uma semana depois) por descarrilhamento de trem da ALL, atingindo área de preservação permanente.
09/2000	Morretes (PR)	4 mil litros	Vazamento de combustível por descarrilhamento de trem da ALL, no córrego Caninana.
11/2000	Ilhabela e São Sebastião (SP)	86 mil litros	Acidente com cargueiro da Petrobrás poluiu praias e manguezais.
02/2001	Morretes (PR)	4 milhões de litros	Vazamento de óleo diesel por rompimento de duto da Petrobrás, no Córrego Caninana, afluente do Rio Nhundiaquara, afetando extensa área de manguezais.
04/2001	Curitiba (PR)	30 mil litros	Vazamento decorrente de acidente com caminhão da Petrobrás na BR-277, atingiu Rios do Padre e Pintos e manguezais.
2001	Santos/SP	43.000 litros	Derrame de óleo diesel proveniente da colisão entre duas embarcações de pesca
10/2001	São Francisco do Sul (SC)	150 litros	O navio que descarregava petróleo na monobóia da empresa, a 8 km da costa, acabou deixando vaziar 150 litros de óleo em São Francisco do Sul, no litoral norte de Santa Catarina.

Data	Localização	Volume vazado *	Características dos derramamentos em manguezais no Brasil
10/2001	Baía de Paranaguá (PR)	392 mil litros	O navio petroleiro Norma chocou-se em uma pedra na baía de Paranaguá, litoral paranaense, vazando 392 mil litros do produto atingindo uma área de 3 mil metros quadrados.
02/2002	Baía de Guanabara (RJ)	50 mil litros	Vazamento de óleo combustível do transatlântico inglês Caronia, atracado no Pier da Praça Mauá,
05/2002	Baía de Ilha de Grande (RJ)	16 mil litros	Derramamento de petróleo leve, do navio Brotas da Transpetro (do tipo nigeriano) na região de Angra dos Reis.
08/2002	São Sebastião (SP)	3 mil litros	Vazamento de petróleo durante carregamento de navio de bandeira grega.
15/2004	Porto de Paranaguá (PR)	290 mil toneladas de óleo; 4 mil toneladas de etanol	Derramamento de óleo combustível marítimo e etanol, decorrente da explosão do navio cargueiro Vicuña, atingiu manguezais, restingas e levou a proibição da pesca.
04/2013	São Sebastião (SP)	3 mil e 500 litros	Vazamento de óleo no pier do Terminal Aquaviário Almirante Barroso (Tebar), em São Sebastião, atingiu o litoral norte de São Paulo.
03/2015	Baías de Ilha Grande e Sepetiba (RJ)	25 mil litros	vazamento de óleo no mar, durante operação ship to ship double banking, de transferência de petróleo realizada entre os navios “Navion Gotemburg” e “Nave Buena Sorte”, no pier de atracação do terminal
06/2015	Itaguaí e Mangaratiba (RJ)	600 litros	Vazamento de petróleo em duto da Petrobras atingindo manguezais em Coroa Grande e Itacuruçá.
03/2016	Cubatão (SP)	-	Vazamento de petróleo no rio Cubatão, na cidade de Cubatão (SP).
06/2018	Baía de Todos os Santos (BA)	-	Vazamento de óleo por rompimento de duto da Petrobras contamina a Baía de Todos-os-Santos (BA), afetando a vida das comunidades quilombolas que dependem da pesca e do mangue.
12/2018	Baía de Guanabara (RJ)	60 mil litros	Extensa área de manguezais afetada por vazamento de óleo do oleoduto da Transpetro, na região da APA de Guapimirim.
08/2019	Litoral do Nordeste e Sudeste	Estimativa entre 5 e 12,5 milhões de litros	Maior derramamento de petróleo no Brasil, afetando manguezais, praias ecossistemas costeiros, em 11 estados da costa do Nordeste e Sudeste, em uma área superior a 4 mil quilômetros.
01/2022	Litoral do Ceará	4 mil litros	Manchas de petróleo cru em várias praias; causas não identificadas.

*Quando houve controvérsia no volume de óleo vazado, foi mantido o menor valor informado nas fontes pesquisadas.

Fonte: os autores, 2022

A Baía de Guanabara tem sido local de vários acidentes recorrentes com vazamentos de óleo combustível. Em março 1975 um cargueiro fretado pela Petrobrás (navio iraquiano Tarik Ibn Ziyad) rompeu o casco e vazou 6 milhões de litros de óleo nas águas da baía. Dentre os derrames já ocorridos na Baía de Guanabara, este foi o maior em termos de quantidade de óleo vazado no meio ambiente, sendo caracterizado como o maior acidente ambiental ocorrido na baía (NITAHARA, 2016). Após este evento, outros acidentes com derramamentos de óleo ocorreram na Baía de Guanabara (Quadro 1), contudo em menor escala em termos de quantidade de óleo vazado, mas que também provocaram diversos danos à flora e fauna local, bem como à população de pescadores da área. Ainda na Baía de Guanabara, o segundo maior evento com derramamento de óleo ocorreu em janeiro de 2000, caracterizado como um dos grandes derramamentos de óleo, no Brasil, em uma área de manguezal. O acidente ocorreu após o oleoduto entre a Refinaria Duque de Caxias e o Terminal da Ilha d'Água romper-se e provocar um vazamento de 1 milhão e 300 mil litros de óleo combustível marinho (mistura de óleo diesel e óleo combustível pesado). O desastre ocorreu durante a maré alta de sizígia provocando um maior impacto nas áreas de manguezais, tanto em efeitos agudos quanto crônicos (SOARES *et al.*, 2006; CETESB, 2013). Os resultados deste impacto ambiental tiveram repercussões nos manguezais atingidos, causando diversos efeitos como alta taxa de mortalidade de plântulas, jovens e árvores, redução no recrutamento de propágulos, contaminação do substrato por hidrocarbonetos resultando em raízes anômalas, entre outros (SOARES *et al.* 2006).

Poffo *et al.* (2007) chamaram atenção para os diversos danos causados por derramamentos de óleo aos manguezais e às comunidades de pescadores no litoral paulista ocorridos entre os anos 1976 e 2004. Merece destaque, a liberação de mais de 500 mil litros de óleo diesel para os estuários e manguezais da região de Santos, São Paulo, no ano de 1984, por ocasião do afundamento parcial da Barcaça Giela, em Santos, no terminal em Alemoa (POFFO, 2010). Uma análise realizada sobre acidentes ocorridos nos terminais químicos e petroquímicos em Santos revelou que entre as substâncias oleosas derramadas para os estuários e ecossistemas adjacentes, o óleo diesel (terrestre e marítimo) e óleo combustível marítimo (marine fuel oil) foram os predominantes (POFFO, 2008).

Na Baía de São Marcos, Maranhão, em 1990, o Navio Orade Nassau, carregado com 33 mil toneladas de óleo diesel, chocou-se com o navio coreano Hyunday New World, já então encalhado desde 1987 no banco de areia Cavalos, liberando a parte da carga no estuário, sendo considerado um dos acidentes mais graves ocorridos na área (PORTOSMA, 2018).

Outro evento considerado como desastre ambiental, tanto pela exposição prolongada da área a substâncias tóxicas, quanto pelos impactos e danos gerados ao ecossistema e a sociedade, foi o acidente ocorrido após a explosão do navio tanque chileno *Vicuña*, em 15 de novembro de 2004. O desastre ocorreu no Porto de Paranaguá, município de Paranaguá, litoral do Paraná, onde após a explosão do navio tanque foi liberado 290 mil toneladas de óleo combustível e 4 mil toneladas de etanol (FIGUEIRA, 2019). Segundo informações do Centro de Apoio Científico em Desastres – UFPR (2004), foi o maior vazamento de óleo já registrado na Baía de Paranaguá em 20 anos, até a data; o óleo percorreu cerca de 30 quilômetros do local da explosão, poluindo e contaminando além da Baía de Paranaguá, a Ilha do Mel e parte do mar aberto. O material contaminante resultou em diversos danos ao meio ambiente, a pesca foi proibida e houve a morte de 4 pessoas.

Grande parte dos acidentes apresentados no quadro 1 ocorreram na região Sudeste, sendo esta a região que apresenta os maiores derramamentos em áreas de manguezais (Figura 2). É nessa região onde se concentram as refinarias de grande porte, uma intrincada rede de dutos de óleo e gás, numerosas áreas portuárias que incluem a movimentação de embarcações de turismo de massa (cruzeiros marítimos), favorecendo riscos potenciais e sinistros efetivos de derrames de óleo. Há, também, a prospecção de óleo e gás nas plataformas das Bacias de Campos (RJ), Bacia de Santos (SP), onde riscos de derrames são previstos em seus EIA/RIMA, uma vez que condições oceanográficas de marés, ventos, correntes, podem fazer um derrame alcançar o litoral e adentrar manguezais, estuários e outros ecossistemas costeiros.

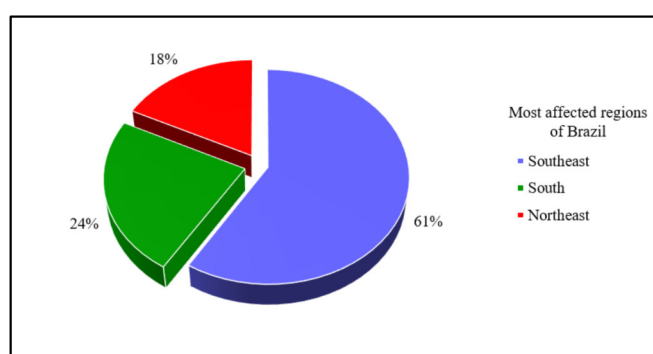


Figura 2 - Regiões brasileiras mais afetadas por principais derrames de óleo diesel e óleos combustíveis em manguezais desde a segunda metade da década de 1975 até 01 de janeiro de 2022.

Fonte: Os autores.

De acordo com a EPE (2019) e a International Energy Agency (2021), atualmente, o óleo diesel é o principal combustível consumido no mundo (Figura 3). Essa estatística também

aumenta o potencial de degradação dos ecossistemas, causada por acidentes com este produto e, segundo Thompson e Thompson (2020), uma das principais formas de poluição costeira e marinha se dá por meio de acidentes com o óleo utilizado como combustível ou transportado em navios e embarcações. Esses autores destacam que por serem amplamente atingidos, os ambientes costeiros e marinhos sofrem diversos impactos que os fragilizam ao longo do tempo. Dessa forma, torna-se importante observar os impactos negativos que diversos acidentes, já ocorridos com o óleo diesel, causaram aos ambientes costeiros, como forma de analisar os efeitos agudos e crônicos que resultaram ao ecossistema de manguezal.

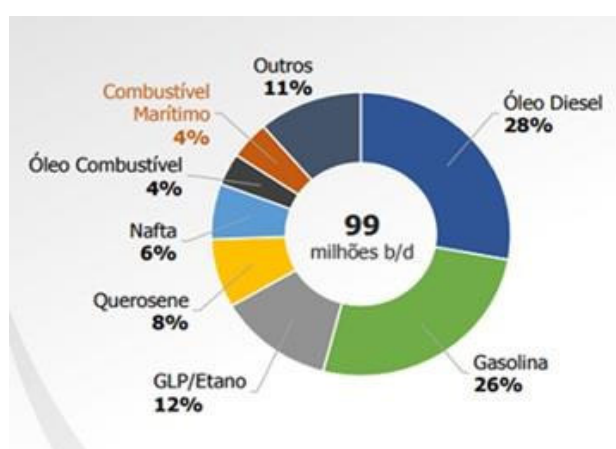


Figura 3 - Demanda mundial de petróleo por produto. O óleo diesel é o combustível mais consumido.
Fonte: IEA/EPE, 2019

Atualmente há diversos tipos de óleo diesel no mercado (Figura 4). A Resolução ANP nº 65/2011 classifica os tipos de óleo diesel comercializados no Brasil como Óleo Diesel A (Sem adição de biodiesel) e Óleo diesel B (Com adição de biodiesel), estabelece ainda o teor de enxofre neles contidos, sendo: S-10 (10 mg/kg ou 10ppm¹), S-50² (50 mg/kg ou 50ppm), S-500 (500 mg/kg ou 500ppm) e S-1800³ (1800 mg/kg ou 1800ppm), sendo os três primeiros de uso rodoviário e o S1800 usado em transporte ferroviário, geração de energia em usinas termelétricas e mineração.

¹ Quantidade de partes/partículas de enxofre por milhão.

² O Óleo diesel S-50 não é mais comercializado desde 2013, substituído pelo S-10 (Resolução ANP nº 50/2013).

³ O Óleo diesel S1800 não é mais comercializado desde 2014, substituído pelo S-500.

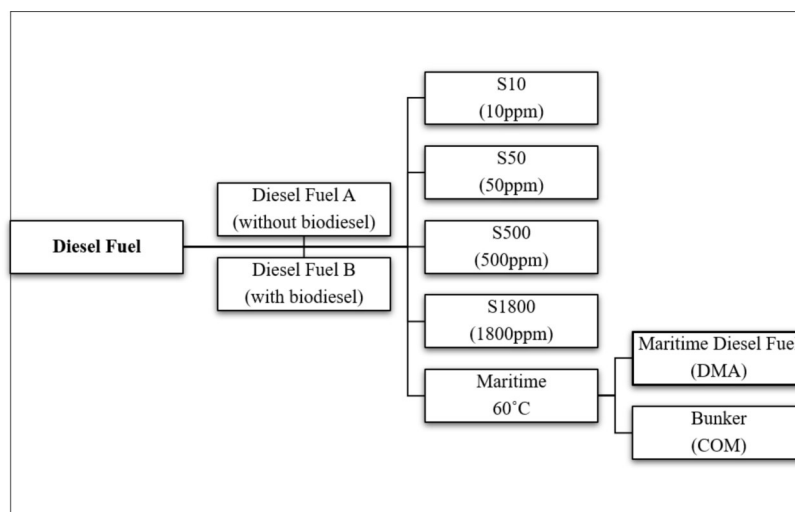


Figura 4 - Os tipos de óleo diesel no Brasil.

Fonte: os autores, elaborada a partir de Resolução ANP 65/2012 e EPE (2019)

Os dois tipos de óleo diesel mais comuns são o óleo diesel automotivo e o óleo diesel marítimo. O óleo diesel automotivo é normalmente caracterizado pelo seu teor de enxofre, sendo o mais comum o S-10 (10ppm), enquanto o óleo diesel marítimo é normalmente caracterizado pelo seu Ponto de Fulgor (60°C), contendo 0,5% enxofre (5000ppm) – (FINOTTI *et al.*, 2001; CETESB, 2012; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019; PETROBRAS, 2021). O óleo diesel automotivo S-10, com ou sem acréscimo de biodiesel, é o mais comum, utilizado em veículos construídos após o ano de 2012, devido ao seu baixo teor de enxofre (10ppm) e aumento no número de cetano que passou para 48, ambos considerados uma relevante melhoria em comparação com os demais tipos de óleo diesel. (FINOTTI, *et al.*, 2001; SILVEIRA, 2014; PETROBRAS, 2021).

O diesel S-10 possui inúmeros compostos químicos mais complexos que a gasolina. Nessa composição química há uma mistura complexa de hidrocarbonetos contendo de 10 a 22 átomos de carbono onde cada grupo de hidrocarbonetos varia conforme a origem do petróleo; possui também aditivos como: aromáticos (25 a 35%), baixas concentrações de enxofre, nitrogênio, oxigênio e BTEX – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – (FINOTTI, *et al.*, 2001; CETESB, 2012; SZKLO e ULLER, 2012). Por seu maior peso molecular é menos volátil, menos denso e menos solúvel em água e apresenta menor mobilidade no ambiente do que a gasolina. De odor forte, sua coloração varia, de acordo com o tipo de diesel, do transparente ao amarelo, vermelho, laranja ou marrom. Devido à sua natureza, tendem a causar danos quando em contato direto com o meio ambiente (PETROBRAS, 2021).

Baker (1970) considera que os efeitos danosos do óleo nas plantas dependem da

composição e da quantidade de óleo dispostos no ambiente, assim como das condições ambientais e as espécies atingidas. O manguezal pode sofrer diversos desequilíbrios em contato com o óleo diesel, resultando em degradações que podem ser extremamente danosas e delicadas (SOARES *et al.*, 2006; CETESB, 2012). Ao formar uma película sobre a superfície da água, o óleo diesel diminui os níveis de oxigênio dissolvido e se adere às raízes do mangue, possibilitando a obstrução das lenticelas nos rizóforos. O óleo diesel possui também alto potencial bioacumulativo em organismos aquáticos e sua baixa taxa de evaporação o faz permanecer no ambiente por vários dias, deixando algum resíduo que não evapora à temperatura ambiente. Devido a seu maior peso molecular, em caso de derramamento no meio ambiente, o óleo diesel se adsorve mais às partículas do solo e percola de maneira menos rápida que a gasolina. (HAYES *et al.*, 1992; DUKE *et al.*, 1998; FINOTTI *et al.*, 2001; PETROBRAS, 2021).

Em manguezais degradados há a alteração da sua condição natural padrão preexistente ao impacto, exigindo conhecimento dos efeitos gerados pelo fator degradador para que se utilize técnicas de recuperação adequadas ao sistema alterado (MOCHEL E FONSECA, 2019). Nos casos em que a recomposição das condições ambientais anteriormente existentes for demorada, em virtude dos danos causados pelo contato prolongado do óleo nos sítios de manguezais, pode haver a repercussão de outros impactos negativos além dos que ocorrem nas plantas, como a degradação do ambiente pela erosão, invasão de espécies oportunistas, mudanças nos fluxos hidrológico, entre outros (SILVA, 2006; MOCHEL E FONSECA, 2019). Neste caso, segundo Mochel e Fonseca (2019), a recuperação induzida das espécies diminui o prazo de recomposição da área afetada, diminuindo a taxa de mortalidade e auxiliando no crescimento saudável das mudas. Os autores consideram que a produção de mudas em um ambiente controlado, como um viveiro, é uma das técnicas para a recuperação induzida e produção de mudas saudáveis. Há ainda grande necessidade de amplas pesquisas, no Brasil, sobre os efeitos dos derivados de petróleo nos processos germinativos, bem como na estrutura das mudas das diversas espécies de manguezais, para que seja mais conhecida a repercussão deste tensor a longo prazo neste ecossistema.

O derramamento de óleo (petróleo bruto) que atingiu a mais extensa área de manguezais no Brasil, até o período desta pesquisa, foi identificado em agosto de 2019, e atingiu 11 estados das regiões Nordeste e Sudeste, ao longo 4.334 km da zona costeira. Além dos manguezais, foram afetados estuários, praias, lagunas e recifes de corais, provocando a perda de bens e serviços ecossistêmicos fundamentais para o equilíbrio ambiental e a sobrevivência, a economia

e a saúde de municípios e de comunidades tradicionais. Esse sinistro evidenciou tanto a vulnerabilidade dos grupos sociais que vivem da pesca artesanal, como a necessidade de políticas sanitárias e de saúde para essas comunidades (PENA et al 2020). Em 2020, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento publicou que a saúde de 360 mil pescadores artesanais do Nordeste brasileiro estava ameaçada pelo derrame de óleo (MAPA *apud* PENA et al 2020).

Martins e Mochel (2021) salientam a importância da gestão costeira bem implantada e implementada para atenuar os impactos socioambientais na Zona Costeira pelo fato de possibilitar diversas ações sustentáveis. Porém, nem todos os estados costeiros brasileiros possuem o seu Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC) ou Plano Municipal (PMGC) conforme lista os instrumentos do Plano Nacional (PNGC.). Esse fato dificulta a execução de planos e programas, agravando ainda mais os impactos ambientais, especialmente quando há desastres, como derramamento de óleo em áreas previamente impactadas por desmatamento, erosão, ocupação desordenada, entre outros. O PROCOSTA (2018), instituído pela Portaria nº 76/08, visa sanar o déficit de informações confiáveis em escala nacional para que se possam compreender melhor as situações de risco e vulnerabilidade da ZC, criando um Programa permanente de planejamento e gestão da zona costeira com caráter territorial (MMA, 2018).

4. CONCLUSÃO

Na zona costeira, o sistema de carga, descarga, refino e transporte de petróleo e derivados compartilham com os manguezais o estabelecimento em áreas estuarinas abrigadas, de baixa energia hidrodinâmica, tornando-os o ecossistema mais vulnerável aos riscos de derrames de óleo no Brasil. Embora os derrames de petróleo bruto causem danos severos aos manguezais, demais ecossistemas costeiros e à população humana, eles são bem menos frequentes do que os derrames com óleos combustíveis. Dentre esses, o óleo diesel, por sua ecotoxicidade, por ser o principal óleo utilizado diariamente, apresenta-se subestimado tanto na mídia (manchas pequenas não reportadas), como em estudos de natureza socioambiental. Aponta-se o óleo diesel como de interesse para a pesquisa sobre seus efeitos nos diversos compartimentos estruturais e funcionais do ecossistema manguezal, de modo a contribuir para a sua recuperação ecológica, bem como para o entendimento dos procedimentos e melhorias de políticas públicas e gestão da zona costeira brasileira.

RECONHECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, que financiou esta pesquisa. Ao Laboratório de Manguezais – LAMA, ao Centro de Recuperação de Manguezais – CERMANGUE pela estrutura e apoio para realização dos experimentos.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE BRASIL. **Principais acidentes com petróleo e derivados no Brasil**. Disponível: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/acidentes_ambientais/principais_acidentes_com_petroleo_e_derivados_no_brasil.html>. Acesso em ago. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA** [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial. – Brasília, DF: MMA, 2018.

_____. **Resolução ANP nº 65 de 09 de dezembro de 2011**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=115435>>. Acesso em 15 dez.2021.

_____. **Resolução ANP nº 50 de 23 de dezembro de 2013**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=263587>>. Acesso em 15 dez.2021.

_____. **Resolução CONAMA Nº 398 de junho de 2008**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo. Disponível em: <<http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONAMA-n%C2%BA-398-08-Plano-Emerg%C3%Aancia-Individual-para-polui%C3%A7%C3%A3o-por-%C3%B3leo.pdf>>. Acesso em ago. 2022.

BAKER, J. M. (1970). The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, v. 1, n. 1, p.27-44, Kidlington,1970.

CETESB. (2012). **Diesel**. FIT- Ficha de Informação Toxicológica. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. 2012. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Diesel.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2020.

CETESB (2013). **Principais acidentes internacionais**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/Principais-acidentes-internacionais.pdf>>. Acesso em 19 jan.2022.

CORRÊA, J.N; AZEVEDO, J.W; OLIVEIRA, A.; MOCHEL, F.R. (2021). Salinity assessment in the germination of laguncularia racemosa (L.) c. f. gaertn. for selecting mangrove restoring sites. In: **A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2** / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.263210410>.

DUKE, N.C.; ELLISON, J.; BURNS, K.A. (1998a). **Surveys of oil spill incidents affecting**

mangrove habitat in Australia: a preliminary assessment of incidents, impacts on mangroves, and recovery of deforested areas. *APPEA J.*, 646–654.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2019). **IMO 2020:** A nova regulamentação de combustíveis marítimo. Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ. Ago.2019.

FIGUEIRA, P. O. (2019). **Memórias do desastre ambiental do navio Vicuña (2004).** Faces da História, Assis-SP, v.6, nº1, p.120-140, jan.-jun., 2019.

FINOTTI, A. R., CAICEDO, N. O. L., RODRIGUEZ, M. T. R. (2001). **Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 6. N.2, p. 29-46.

HAYES, M. O.; HOFF, R.; MICHEL, J.; SCHOLZ, D.; SHIGENAKA, G. (1992). **Introduction to coastal habitats and biological resources for oil-spill response.** National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Seattle, WA (United States). Coastal Monitoring and Bioeffects Assessment Div., 1992.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2009/2014). **Relatório de Acidentes Ambientais – 2009 e 2014.** Brasília: IBAMA, 2009/2014. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/relatorios/acidentes-ambientais/relatorios-anuais-de-acidentes-ambientais>>. Acesso em 14 jan.2022.

ICMBIO. (2018). **Atlas dos Manguezais do Brasil** / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p.:il

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2021). **Óleo.** Disponível em: < <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/oil>>. Acesso em 10 dez.2021.

MARSICO, J.C.S. (2008). **Petróleo e gás na Bacia de Campos (RJ):** percepção dos impactos ambientais pela população. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ecologia, UFRJ, 2008, 75p.

MARTINS, J.C.S.; MOCHEL, F.R. (2021). Análise do gerenciamento costeiro brasileiro a partir dos impactos socioambientais e as tendências pós pandemia do coronavírus Sars Cov-2. 1671p a 1685p. **In: Terra - A Saúde Ambiental para a Vitalidade do Planeta** / Giovanni Seabra (Organizador). Ituiutaba: Barlavento, 2021. 1.896 p. ISBN: 978-65-87563-09-1

MATOS, D. L.; CUNHA, D. R.; CUTRIM, S. (2019). **Diagnóstico dos acidentes envolvendo derrame de óleo ao mar no complexo portuário de São Luís.** IV CIDESPOT - Congresso Internacional de Desempenho Portuário. Florianópolis, Brasil. 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/p/114805>>. Acesso em 14 jan.2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2016). **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas** / Pedro Walfir Martins e Souza Filho, organizador. - Brasília: MMA, SMCQ, 2016. 127 p. ISBN 978-85-63728-46-3.

MOCHEL, F.R, et. al. (2002). Degradação dos Manguezais na Ilha de São Luís (MA): processos naturais e impactos antrópicos. In: **Prost MT & Mendes AC (Org.). Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental.** Belém, MPEG. p. 114-131.

MOCHEL, F.R. (2011). Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: **Martins MB; Oliveira, TG (eds). Amazônia Maranhense.**

Diversidade e Conservação. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118.

MOCHEL, F.R. (2016). Manguezais da Amazônia Maranhense: conservação e recuperação ecológica. In: **Conferencia de La Tierra - paisajes, suelos y biodiversidad: desafíos para un buen vivir.** Garcia, M. e Seabra G. (orgs.), p. 602-618, Ed. Universidad Central de Chile, Santiago de Chile, 2016

MOCHEL, F.R.; FONSECA, I. L.A. (2019). Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão In: **Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2.** Mochel, Flávia Rebelo. (Org.). 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 2, p. 59-71.

NITAHARA, A. (2016). Após 16 anos, pescadores ainda não foram compensados por vazamento do Reduc. In.: **Agência Brasil.** Publicado em 19/01/2016. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/apos-16-anos-pescadores-ainda-nao-foram-compensados-por-vazamento-da-reduc>>. Acesso em ago.2022.

NOAA, 2014. **Oil spills in mangroves: planning & response considerations.** Disponível em: < <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/877> >. Acesso em 02 jan.2022.

OLIVEIRA, M.M. de. (2016). **Como fazer pesquisa qualitativa.** 7 ed. Revista e atualizada – Petrópolis, RJ: Vozes, 2016.

PAULA A.L.S, LIMA B.K.S, CARMO E.L., MAIA R.C. (2012). **Experiência com a produção de mudas de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia sp* para recuperação de um manguezal degradado no estuário do rio Acaraú- CE.** Publicação do VII CONNEPI.

PENA, P.G.L; NORTHROSS, A.L.; LIMA, M.A.G.; RÊGO, R.C.F. (2020). **Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão.** Cadernos de Saúde Pública. 2020, v. 36, n. 2. Doi: 10.1590/0102-311X00231019.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. (Petrobrás). **Óleo Diesel:** Informações Técnicas. (versão março/2021). Disponível em: < https://hmg.hotsitespetrobras.com.br/data/files/54/52/B9/F1/6942C710670F7FA700000000/Manual-de-Diesel_2021.pdf >. Acesso em dez. 2021.

POFFO, I.R.F. (2007). **Gerenciamento de riscos socioambientais no complexo portuário de Santos na ótica ecossistêmica.** Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Doi:10.11606/T.90.2007.tde-08042008-091817.

POFFO, I.R.F.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; NARDOCCI, A.C.; XAVIER, J.C.DE M. (2007). Análise temporal dos acidentes ambientais na região portuária de Santos (1980 – 2006). In. **Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos – SIBRADEN.** Santos, SP. 2007.

POFFO, I.R.F. (2010). **Percepção de riscos e comportamento da comunidade diante de acidentes ambientais em áreas portuárias de Santos e de São Sebastião.** 119 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

PORTOSMA. **Os maiores acidentes já registrados no complexo portuário do estado do Maranhão.** São Luís: PortosMA, 2018. Disponível em: <<http://www.portosma.com.br/fotos/trade/acidentes.php>>. Acesso em: 19 jan.2022.

SILVA, M.Y.B. (2006). **Influência do solo contaminado com óleo diesel na germinação, crescimento e morfoanatomia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs**

(Euphorbiaceae). Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná – UFPA, 2006, 97p.

SILVEIRA, S.D. (2014). **Produção de biodiesel de óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*) VIA esterificação seguida de transesterificação metílica com catalisador básico.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2014, 142p.

SOARES, M.L.G. (1997). **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil-análise de modelos.** Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 2 vol. 294 p.

SOARES, M.L.G., CHAVES, F.O., CORREA, F.M. E SILVA JR., C. M. G. (2003). **Diversidade Estrutural de Bosques de Mangue e sua Relação com Distúrbios de Origem Antrópica:** o caso da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro), Anuario do Instituto de Geociências – UFRJ, 26: 101 – 116.

SOARES, M.L.G, SILVA JUNIOR, C.M.G, CAVALCANTI, V.F, ALMEIDA, P.M.M, MONTEIRO, A.S., CHAVES, F.O., DUQUE ESTRADA, G.C, BARBOSA, B. (2006). Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): resultados de 5 anos de monitoramento. *Geochimica Brasiliensis*, 20 (1)038-061,2006. Disponível em <<https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/234>>.


SZKLO, A.; ULLER, V.C. (2012). **Fundamentos do refino de petróleo:** tecnologia e economia. Marcio Henrique P. Bonfá [organizadores]. – 3.ed., atual. e ampl. – Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 344p. ISBN 978-85-7193-302-6.

THOMAS, J. E. et al. (2001). **Fundamentos de engenharia de petróleo.** Rio de Janeiro: ed. Interciência: Petrobras. 2001.

THOMPSON, F.; THOMPSON, C.(org). 2020. **Biotechnology Marinha.** – Rio Grande: Ed. FURG, 2020. 855p.:il.

YOKOYA, N. S. (1995). **Distribuição e origem.** In: Yara Schaeffer-Novelli (Ed.). *Manguezal: Ecossistema entre a terra e o mar.* São Paulo: Caribbean ecological research, 1995, p. 9- 12.

IV. CAPÍTULO 2: EFEITOS DO ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO NA GERMINAÇÃO DE PROPÁGULOS DE MANGUE DE *Avicennia germinans* (L.) L. E *Laguncularia racemosa* C.F. GAERTN

Josélia Castro da Silva MARTINS¹ , Flávia Rebelo MOCHEL¹, Ilisandra ZANANDREA², James Werllen de Jesus AZEVEDO¹, Leonardo Gonçalves de LIMA¹, Denilson da Silva BEZERRA¹, Emily Gabrielle do Nascimento ABREU¹, Marcelle da Silva e SILVA¹, Aline Maria Silva LIMA¹

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil.

² Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Biologia (DEBIO/CCBS) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil.

* Autor correspondente: joselia.castro@discente.ufma.br;  <https://orcid.org/0000-0001-5247-4708>

ABSTRACT

The mangrove ecosystem is sensitive to oil. The negative action of oily substance spills can impair mangrove vegetation development processes. Since the 2000s, the Brazilian equatorial margin, more specifically the Pará-Maranhão Basin and the mouth of the Amazonas River, has been the target of public tenders and exploratory deepwater drilling for oil and natural gas extraction. In mangrove species, spread of propagules occurs during the tidal cycles. It is in this highly vulnerable phase of the plant that the presence of tensors in the water affects germination in *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa*, therefore becoming relevant for scientific research. This research aimed at analyzing the effects of diesel oil on the germination of propagules for two mangrove species: *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans*. The study analyzed the germination and external physical anomalies of the propagules, considering different percentages of diesel oil applied. The treatments included the control batch (without adding diesel oil) and five treatments with different oil percentages (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 3% and 4%). The tests performed included Germination (G%), Mean Germination Time (MGT), Mean Germination Speed (MGS), Germination Speed Index (GSI) and Mortality (M). The results showed that the *L. racemosa* propagules suffered the negative effects of diesel oil on germination on a larger scale than *A. germinans*, which presented higher incidence of external anomalies.

Keywords: Hydrocarbons, mangrove, germinability, ecophysiological responses

RESUMO

O ecossistema de manguezal apresenta sensibilidade ao óleo. A ação negativa de derramamentos de substâncias oleosas pode prejudicar os processos de desenvolvimento da vegetação de mangue. Desde os anos 2000, a margem equatorial brasileira, mais especificamente a Bacia Pará-Maranhão e a foz do Rio Amazonas, vem sendo alvo de licitações públicas e perfurações exploratórias em águas profundas para a extração de petróleo e gás natural. Nas espécies de manguezal a dispersão dos propágulos ocorre durante os ciclos das marés. É nessa fase, de alta vulnerabilidade da planta, que a presença de tensores na água afeta a germinação em *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* e, portanto, se tornam de

relevância para a pesquisa científica. Esta pesquisa teve por objetivo analisar os efeitos do óleo diesel na germinação de propágulos de duas espécies de mangue, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*. O estudo analisou a germinação e as anomalias físicas externas dos propágulos, considerando diferentes percentuais de óleo diesel aplicados. Os tratamentos incluíram o lote controle (sem adição de óleo diesel) e cinco tratamentos com diferentes percentuais de óleo (0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 3% e 4%). Os testes realizados incluíram germinabilidade (G%), tempo médio de germinação (TMG), velocidade média de germinação (VMG), índice de velocidade de germinação (IVG) e a mortalidade. Os resultados mostraram que os propágulos de *L. racemosa* sofreram os efeitos negativos do óleo diesel na germinação em maior escala do que a *A. germinans*, esta apresentou maior incidência de anomalias externas.

Palavras-Chave: Hidrocarbonetos, manguezal, germinabilidade, respostas ecofisiológicas

1. INTRODUÇÃO

Manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo, fornecedores de importantes serviços ecossistêmicos e que apresentam uma ampla conectividade com outros ecossistemas costeiros como recifes de corais, pradarias marinhas e, também, com a interface continente-oceano (Yokoya 1995; Mochel 2011; ICMbio 2018; Kristian e Oktorie 2018; Van Der Stocken 2019).

Em 2018, a cobertura mundial de manguezais foi estimada em 150.000 km² e cerca de 25% desse ecossistema foi danificado por ações humanas como, principalmente, desmatamento, poluição, ocupação da zona costeira, cultivo de camarão e por mudanças climáticas (Ferreira e Lacerda 2016; Kristian e Oktorie, 2018). O Brasil apresenta aproximadamente 10.020 km² de manguezais, sendo que 77,6% dessa área estão na zona costeira amazônica dos estados do Maranhão, Pará e Amapá (Diniz *et al.* 2019). Desde os anos 2000, a margem equatorial brasileira, mais especificamente a Bacia Pará-Maranhão e a foz do Rio Amazonas, vem sendo alvo de licitações públicas e perfurações exploratórias em águas profundas para a extração de petróleo e gás natural. O alerta de riscos para possíveis escapes de óleo advindos dessas operações nas frágeis e exuberantes áreas de manguezais do litoral amazônico, tem sido feito por pesquisadores e gestores ambientais (Silva Junior e Magrini 2014).

Os ecossistemas de manguezais, atualmente, entram cada vez mais em contato com óleos combustíveis presentes em seu ambiente e em seus compartimentos vegetativos e reprodutivos. Uma das principais formas de poluição costeira e marinha se dá por meio de acidentes com o óleo transportado em navios e embarcações ou utilizado como combustível,

causando sérios problemas à saúde humana e dos ecossistemas (Pena *et al.* 2020; Thompson e Thompon 2020). É na utilização como combustível que se verifica a introdução diária do óleo nas águas costeiras e estuarinas, a partir do escoamento dos postos de gasolina, oficinas, dos resíduos de indústrias, de motores de pequenas embarcações, entre outros.

As peculiaridades com que óleo afeta os manguezais dependem da quantidade do derramamento, do tipo do óleo e sua toxicidade, das condições ambientais como tipo de sedimentos predominantes, circulação das marés e condições climáticas preponderantes no momento do contato com o óleo. Os efeitos resultantes desse contato podem se caracterizar em agudos e crônicos, resultando em diferentes graus de degradação (Chequer *et al.* 2017; Soares *et al.* 2006). O óleo diesel é o combustível mais consumido no Brasil sendo quimicamente formado por um hidrocarboneto de cadeia longa ao qual é adicionado o enxofre como aditivo mais comum (Petrobras 2021).

As espécies arbóreas do manguezal têm como característica a reprodução vivípara e sua dispersão ocorre por meio das marés. O sucesso da dispersão depende de sua flutuabilidade e durabilidade, da hidrodinâmica e de sua mortalidade por predação e danos causados por caranguejos e insetos (Kathiresan e Bingham 2001; Noaa 2014; Hogarth, 2015). É nessa fase, de alta vulnerabilidade da planta, que a presença de tensores na água afeta a germinação em *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* e, portanto, se tornam de relevância para a pesquisa científica. A ação negativa de derramamentos de óleo cru que podem prejudicar o processo de germinação, assim como o crescimento, desenvolvimento e estabelecimento da plântula e tem sido relatada por alguns trabalhos (Duke *et al.* 1998; Chindah *et al.* 2011; Noaa 2014 e Chequer *et al.* 2017).

Verificou-se a ausência de estudos de germinação em *A. germinans* e *L. racemosa* utilizando o óleo diesel automotivo a partir de levantamentos de acidentes em florestas de manguezais com derramamento de óleo, bem como de pesquisas experimentais, em diferentes espécies de mangue (Duke *et al.* 1998; Soares *et al.* 2006; Chindah *et al.* 2007; Cetesb 2007, Chindah *et al.* 2011; Noaa 2014; Chequer *et al.* 2017). O objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos de diferentes percentuais de óleo diesel no processo de germinação nos propágulos de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*. Os autores esperam contribuir com a produção de mudas no processo de recuperação ecológica de manguezais degradados por resíduos de óleo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de coleta e estudo

As coletas dos propágulos de manguezais e água estuarina, foram realizadas no manguezal do Mangue Seco, município de Raposa, a noroeste do município de São Luís, Ilha do Maranhão (S 2° 27 '06,86 ", W 44 ° 09' 20,33" e S 2° 27 '21,81 ", W 44 ° 09' 45,76"), (Figura 1). O trabalho foi desenvolvido no laboratório CERMANGUE - Centro de Recuperação de Manguezais, Departamento de Oceanografia e Limnologia, da Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

As coletas e a seleção dos propágulos foram realizadas criteriosamente de acordo com as recomendações de Goforth e Thomas (1979) e Mochel e Fonseca (2019), optando-se pelos propágulos saudáveis com maior possibilidade de sucesso em seu desenvolvimento.

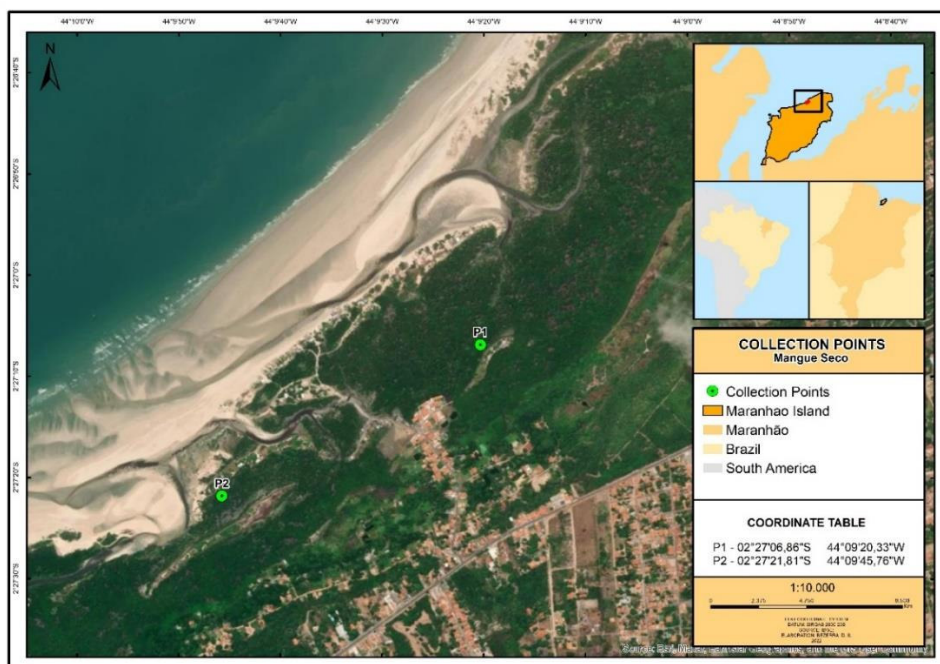


Figura 1 - Mapa da localização dos pontos de coleta dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans*, no manguezal do Mangue Seco, Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil

2.2 Procedimentos para germinação de *A. germinans* e *L. racemosa*

O óleo diesel automotivo (S-10) foi adquirido em posto de gasolina, transportado em galões plásticos de 5 litros e mantido no laboratório até o momento do experimento. Para observação do processo de germinação dos propágulos de *A. germinans* em óleo diesel, as amostras (propágulos) foram divididas em sete tratamentos e realizadas três repetições (total de 747

propágulos), definidos como: T₀ = controle (sem adição de óleo diesel) e T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ e T₆, sendo estes diferentes tratamentos com óleo diesel, respectivamente 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 3% e 4%, emulsificados em 500ml de água estuarina com salinidade de 28g/kg, medida com refratômetro de mão (Quimis Q767-3, Shanghai Precision & Scientific Instrument CO., Shanghai, China), acondicionados em cubetas de vidro. Os propágulos foram distribuídos nas cubetas de forma aleatória, não sendo agrupados por tamanho nem peso. Para *L. racemosa*, foram realizados os mesmos procedimentos, num total de 2.396 propágulos.

Para *A. germinans* foram considerados germinados os propágulos que apresentaram a emissão do hipocótilo plumoso, enquanto para *L. racemosa*, os propágulos germinados foram aqueles que apresentaram a protusão da raiz primária com no mínimo 1cm.

2.3 Testes de germinação

Para analisar a influência do óleo diesel sobre a germinação de propágulos de *A. germinans* e *L. racemosa* foram avaliadas as variáveis: germinabilidade ($G\%$) para informar o percentual de propágulos germinados no experimento; tempo médio de germinação (TMG ; dias) para medir o tempo; velocidade média de germinação (VMG ; dias⁻¹) e o índice de velocidade de germinação (IVG ; unidade adimensional) para medir a velocidade (Maguire 1962; Borghetti e Ferreira 2004). Utilizou-se as seguintes fórmulas: Germinabilidade: $\%G = (N/A) \times 100$, onde N é o número total de propágulos germinados em relação ao número de propágulos dispostos para germinar (A), dados expressos em porcentagem (%). Tempo médio de germinação: $T = \sum ni \cdot ti / \sum ni$, Onde: ni é o número de propágulos germinados por dia; ti = tempo de incubação; unidade dias. Velocidade média de germinação: $V = 1/t = \sum ni / \sum ni \cdot ti$, onde: t = é o Tempo médio de germinação; unidade em dias. O Índice de velocidade de germinação (IVG) é calculado pela fórmula: $IVG = (G_1/T_1) + (G_2/T_2) + (G_3/T_3) \dots + (G_i/T_i)$, onde: G₁ até G_i = número de propágulos germinados a cada dia; T₁ até T_i = número de dias após colocado para germinação; tempo (dias); unidade adimensional.

2.4 Percentual de mortalidade

Para analisar o percentual de mortalidade dos propágulos de *A. germinans* e *L. racemosa* foi utilizada a seguinte fórmula: Mortalidade (%): $M = (n/Nt) \times 100$, onde: n é o número de propágulos mortos por tratamento e Nt é o número de propágulos total por tratamento

2.5 Análise de dados

As análises estatísticas foram processadas no software Past 4.03 (Hammer *et al.* 2001). Análise de Variância (Anova, One-Way) foi utilizada para analisar os efeitos do óleo diesel na germinabilidade de cada espécie quanto a possíveis diferenças significativas nos tratamentos de óleo aplicados. O teste de Levene foi efetuado para avaliar os pressupostos estatísticos de homogeneidade e normalidade dos dados, atendidos esses pressupostos os dados foram avaliados através da análise de variância Anova. Os dados que apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos foram avaliados através do teste de Tukey para verificar quais tratamentos diferiam. Os dados estatísticos foram representados através de gráficos ou tabela.

Para dados não paramétricos, foi realizada à análise de variância não-paramétrica, aplicando-se o teste de Kruskal-Wallis seguido de Mann Whitney. Uma análise de ordenação (MDS) e agrupamento (Cluster), utilizando a distância euclidiana pelo método de ligação média, foi aplicada para avaliar a similaridade entre os tratamentos de óleo diesel, em relação aos dados de germinação (MDS) e dados de mortalidade (Cluster), a partir das repetições. A Análise de Componentes Principais (PCA), baseada em uma matriz de correlação, foi usada para verificar a associação de diferentes medidas fisiológicas de germinação com os tratamentos de óleo, entre as duas espécies. Para demonstrar a evidência estatística das associações dos grupos mais similares, foi realizado um teste de Permanova one way. Foram considerados valores a um nível crítico de significância de $\alpha=0,05$ (Zar 1998).

3. RESULTADOS

3.1 Efeito do óleo diesel automotivo sobre a germinação dos propágulos de *L. racemosa*

A análise estatística mostrou um resultado significativo na germinabilidade (%G) da espécie *L. racemosa* ($p<0,05$). A análise de variância (Anova one way) indicou diferença significativa entre os tratamentos com óleo diesel (Anova; $F=4,15$; $p=0,013$), sendo a germinabilidade mais elevada no tratamento controle- T_0 (Figura 2). O teste Tukey sinalizou que todos os demais tratamentos diferiram do tratamento controle. Ressalta-se que este comportamento ocorreu nas três repetições, sinalizando que a espécie é sensível ao contato com o óleo diesel no estágio germinativo.

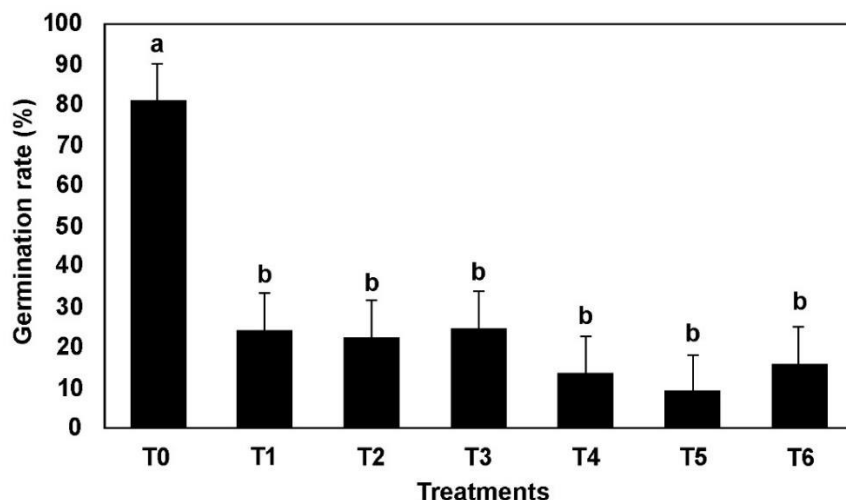


Figura 2 – Resultado para a Germinabilidade (%) da *L. racemosa* nos tratamentos com óleo diesel. – a e b representam diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância.

A análise de ordenação do MDS (Figura 3), mostrou a junção dos grupos formada com maior similaridade a partir do índice de germinabilidade da *L. racemosa*. Desta forma, dois grupos sobressaíram-se: um grupo com baixo percentual (BP) de óleo diesel (T₁, T₂ e T₃) e outro grupo com alto percentual (AP), sendo: T₄, T₅ e T₆. Percebe-se pela análise realizada, que nesta semelhança de grupos, houve, em um dos grupos uma germinação mais acentuada (T₁, T₂ e T₃) por conter percentuais de óleo menores, e, no outro os índices de germinação foram mais baixos (T₄, T₅ e T₆) por conter percentuais de óleo maiores. O tratamento controle (T₀) manteve-se à parte dos demais, por se apresentar significativamente diferente dos demais com o maior índice de germinação.

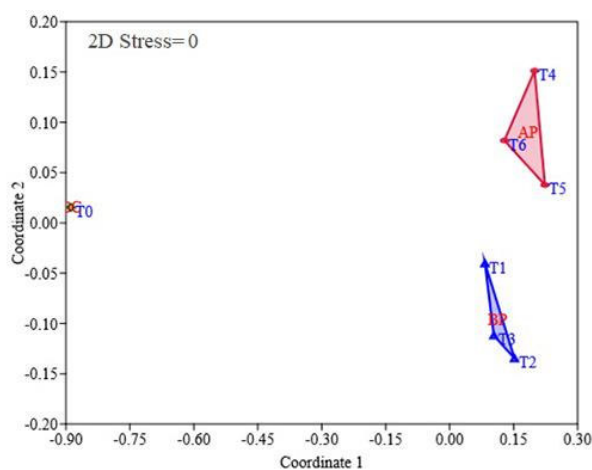


Figura 3 – Análise de ordenação (MDS) para a germinação em função dos tratamentos de óleo aplicados na espécie *L. racemosa*.

A análise de agrupamento do Cluster (Figura 4) destacou os grupos com maior similaridade. Os agrupamentos são aqueles cuja similaridade estão relacionados com o índice de mortalidade desta espécie por tratamento. Neste agrupamento nota-se a similaridade dos tratamentos T₁, T₂ e T₃ onde o índice de mortalidade foi mais baixa do que nos tratamentos T₄, T₅ e T₆ onde houve os maiores índices de mortalidade. O tratamento controle (T₀) sinalizou o menor índice de mortalidade dentre os demais grupos.

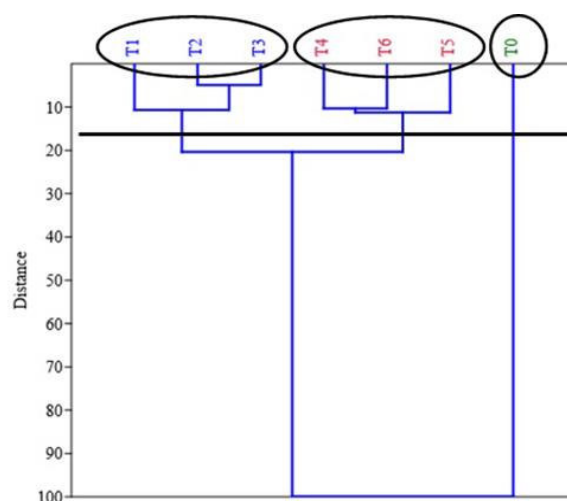


Figura 4 – Análise de agrupamento de Cluster com base na mortalidade ocorrida por tratamento com óleo diesel da espécie *L.racemosa*.

3.2 Efeito do óleo diesel automotivo sobre a germinação dos propágulos de *A. germinans*

Os resultados estatísticos para Germinabilidade (%G) da espécie *A. germinans* não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com/sem óleo diesel (Anova; $F=0,42$; $p=0,85$). Ou seja, não houve diferença de germinabilidade entre os propágulos do tratamento controle e os demais tratamentos com óleo diesel. Os resultados mostraram-se semelhantes nas três repetições. A princípio a germinação desta espécie parece não sofrer efeitos do óleo diesel com os percentuais utilizados nesta pesquisa.

3.3 Efeito do óleo diesel automotivo sobre as variáveis fisiológicas de germinação entre *L. racemosa* e *A. germinans*

Na Tabela 1 encontram-se os valores dos resultados das médias das medidas fisiológicas de germinação (elementos variáveis) para cada tratamento com óleo diesel aplicado nas duas espécies de mangue (*L. racemosa* e *A. germinans*), bem como de mortalidade.

Tabela 1 – Resultados dos efeitos do óleo diesel S10 na germinação dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans*, submetidos a diferentes percentuais de tratamento, a partir das variáveis aplicadas (germinabilidade - G%; mortalidade - M%, tempo médio de germinação - TMG; valor médio de germinação - VMG e índice de velocidade de germinação - IVG; mesma letra não difere entre si ao nível de probabilidade de 5%)

		Elementos variáveis				
Tratamento		G (%)	M (%)	TMG (dias)	VMG (dias)	IVG
<i>L. racemosa</i>	T ₀	80,8 _a	19,16 _a	5,21 _b	0,19 _b	94,08 _a
	T ₁	24,1 _b	75,93 _b	6,65 _b	0,15 _b	22,84 _b
	T ₂	22,2 _b	77,8 _b	6,21 _b	0,16 _b	26,81 _b
	T ₃	24,5 _b	75,47 _b	6,43 _b	0,16 _b	22,07 _b
	T ₄	13,2 _b	86,84 _b	6,1 _b	0,16 _b	9,42 _b
	T ₅	8,8 _b	91,23 _b	8,15 _b	0,12 _b	5,46 _b
	T ₆	15,4 _b	84,65 _b	6,54 _b	0,15 _b	9,2 _b
<i>A. germinans</i>	T ₀	98,1 _b	1,92 _b	1,65 _b	0,61 _b	74,9 _b
	T ₁	96,2 _b	3,85 _b	1,56 _b	0,64 _b	75,2 _b
	T ₂	95,1 _b	4,85 _b	2,04 _b	0,49 _b	61,8 _b
	T ₃	98,1 _b	1,94 _b	2,13 _b	0,47 _b	61,9 _b
	T ₄	98,2 _b	1,8 _b	2,28 _b	0,44 _b	69,1 _b
	T ₅	99,1 _b	0,9 _b	1,72 _b	0,58 _b	78,6 _b
	T ₆	96,4 _b	3,6 _b	1,98 _b	0,5 _b	75,8 _b

A taxa de mortalidade para *L. racemosa* apresentou resultado significativo ($p < 0,05$), (Anova, $F=4,88$; $p=0,006$). O teste Tukey mostrou que todos os demais tratamentos diferiram do tratamento controle. A menor taxa de mortalidade ocorreu no tratamento controle e nos demais tratamentos o percentual de mortalidade aumentou à medida que o percentual de óleo diesel também aumentou (Tabela 1). Isso reforça a hipótese de que esta espécie sofre efeito negativo (mortalidade) do óleo diesel no estágio de germinação. O mesmo não ocorreu com a espécie *A. germinans*, que apresentou baixa taxa de mortalidade em todos os tratamentos, não havendo diferença significativa entre eles (Anova, $p > 0,05$).

O índice de velocidade de germinação (IVG) também apresentou resultado significativo (Anova, $F=6,20$; $p=0,002$) para a espécie *L. racemosa*. O teste Tukey apontou que os demais

tratamentos apresentaram diferença em relação ao tratamento controle. O tratamento controle (T₀) apresentou a maior quantidade de propágulos germinados em menor tempo, o IVG nos demais tratamentos diminui com a presença do óleo diesel (Tabela 3). Os resultados do índice de velocidade de germinação para a espécie *A. germinans* não foram significativos (Anova, F= 0,25; p=0,95).

Para as demais variáveis fisiológicas de germinação (Tempo médio de germinação e velocidade média de germinação), em ambas as espécies, os resultados das análises estatísticas não apresentaram diferenças significativas referente aos percentuais de tratamentos com óleo diesel aplicados. O TMG em *L. racemosa* (Kruskal-Wallis; p=0,49), em *A. germinans* (Anova, F= 1,05; p=0,44). A VMG em *L. racemosa* (Kruskal-Wallis; p=0,49), em *A. germinans* (Anova, F= 1,05; p=0,44).

A Figura 5 mostra a Análise de Componentes Principais (PCA) em que os dados de medidas fisiológicas de G e IVG de *L. racemosa*, assim como, IVG e VMG de *A. germinans* tendem a associarem-se mais com o menor percentual de óleo utilizado neste experimento (T1), TMG e M de *A. germinans* e VMG de *L. racemosa* associam-se aos tratamentos T2 e T3, onde os percentuais de óleo foram mais baixos. Já os dados de M e TMG de *L. racemosa* estão mais associados a altos percentuais de óleo como os tratamentos T4, T5 e T6. Com relação ao grupo controle (GC), percebeu-se sua associação a todas as variáveis relacionadas a germinação, índice e velocidade de germinação, para as duas espécies de mangue.

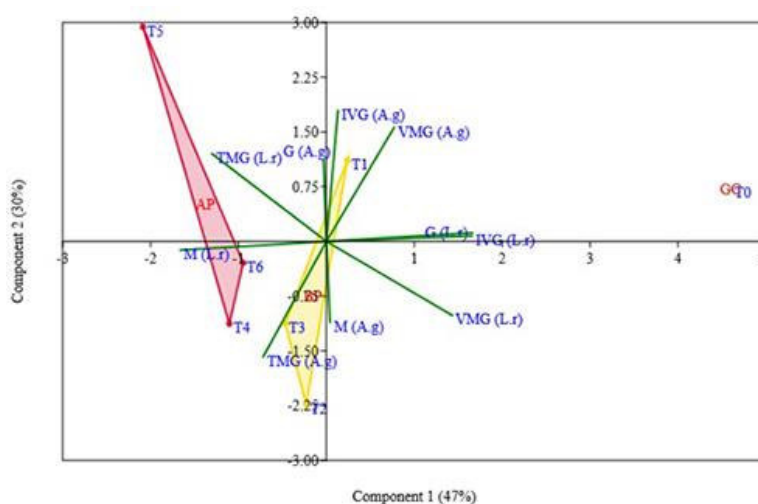


Figura 5 – Análise de componentes principais (PCA) mostrando a correlação entre as medidas fisiológicas de germinação dos propágulos de *L. racemosa* e *A. germinans* (germinabilidade - G%; mortalidade - M%, tempo médio de germinação - TMG; valor médio de germinação - VMG e índice de velocidade de germinação – IVG), em função dos percentuais de óleo diesel aplicados (0%; 0,5%; 1%; 2%; 3% e 4%).

A Permanova one way, indicou diferenças significativas ($F=99,09$; $p=0,01$) entre o grupo controle (GC) e os grupos baixo percentual (BP), (T_1 , T_2 e T_3) e alto percentual (AP), (T_4 , T_5 e T_6), evidenciando a influência do óleo diesel quando todas as variáveis são avaliadas de forma integrada.

3.4 Anomalias no experimento de germinação dos propágulos de *A. germinans* e *L. racemosa*

Durante o experimento de germinação de *A. germinans* e *L. racemosa*, alguns propágulos, tanto germinados como não germinados, apresentaram anomalias e deformidades no decorrer do experimento em vários tratamentos com óleo diesel. Na Figura 6, mostra-se um propágulo germinado em um dos tratamentos com óleo diesel que apresentou anomalias morfológica externa. Essas anomalias observadas foram necrose, decomposição parcial ou total do propágulo, manchas de óleo aderido ao cotilédone e incidência de fungos, tanto em propágulos não germinados quanto em germinados. As anomalias ocorreram em todos os tratamentos com óleo diesel, possivelmente indicando que apesar da alta germinabilidade em *A. germinans*, os propágulos germinados ou não germinados sofreram alguns efeitos físicos do óleo diesel.

A espécie *L. racemosa* apresentou um único tipo de anomalia: uma estrutura com aparência de raiz brotou da lateral do propágulo (Figura 7).



Figura 6 – Propágulo de *A. germinans* germinado com anomalias no tratamento com óleo diesel.

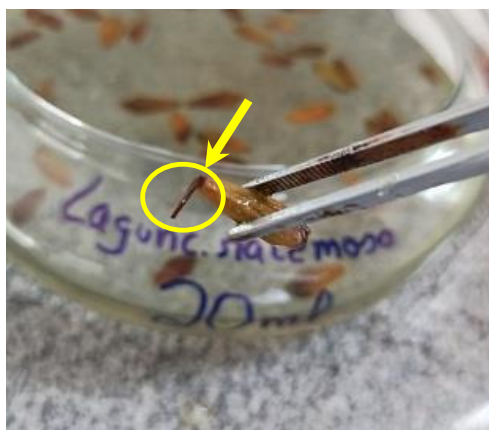


Figura 7 – Propágulo não germinado de *L. racemosa* com uma estrutura com aparência de raiz no tratamento T₆.

4. DISCUSSÃO

Os resultados dos experimentos realizados mostraram que *A. germinans* e *L. racemosa* responderam de formas diferentes quando expostas ao óleo diesel, concordando com Chindah *et al.* (2011) e Chequer *et al.* (2017) que também verificaram que as espécies de mangue apresentam diferentes respostas em contato com substâncias oleosas.

No experimento, a significativa redução no percentual de germinabilidade de *L. racemosa* concilia com as evidências de Baskin e Baskin (2014) quando os autores ressaltam que em condições desfavoráveis, o processo de germinação de sementes pode ser dificultado, e, os autores Zang *et al.* (2007), NOAA (2014) e Guedes *et al.* (2018) confirmam que os componentes do óleo (hidrocarbonetos e outros) representam condições desfavoráveis e inibem tanto o processo germinativo quanto o desenvolvimento de *L. racemosa* e de outras espécies de mangue.

Corrêa *et al.* (2021) e Nascimento, Zanandrea e Mochel (2021) com a *L. racemosa* submetida a um estresse salino, mostraram que a germinação desta espécie é sensível a altas concentrações salinas (60 e 75% ppt). Embora seja um estresse diverso do tensor utilizado nesta pesquisa, pode-se perceber que a germinabilidade da espécie apresenta vulnerabilidade a tensores negativos como a hipersalinidade e a exposição a poluentes ou contaminantes de hidrocarbonetos.

A inexistência de resultados significativos para o efeito do óleo diesel sobre a germinabilidade de *A. germinans*, nos percentuais utilizados nesta pesquisa, não permite afirmar que *A. germinans* possa apresentar sensibilidade na germinação com percentuais

maiores que 4%. Contudo, Cavalvanti, Andrade e Soares (2007) identificaram uma redução ou atraso na germinação dos propágulos de *Avicennia schaueriana*, uma das espécies do mesmo gênero de *Avicennia*, com aumento da solução salina.

Embora a germinação de *A. germinans* não tenha sofrido efeitos significativos, o mesmo não ocorreu na fisiologia externa, tendo a espécie apresentado diversos tipos de anomalias externas nos propágulos germinados e não germinados. Anomalias externas, como deterioração dos propágulos, na fase de germinação em contato com o tensor salino, também foram constatadas nos estudos de Cavalvanti, Andrade e Soares (2007), confirmando a suscetibilidade do gênero a anomalias fisiológicas externas quando expostas a um tensor. Isso poderá trazer consequências negativas no processo de crescimento da plântula, pode mesmo impedir seu desenvolvimento de forma saudável ou mesmo levar à sua morte precoce. O que só pode ser afirmado com a continuidade dos estudos.

As respostas do efeito do óleo na fase germinativa dos propágulos têm sido pouco investigadas, entretanto, após a fase de germinação, ou seja, no crescimento e desenvolvimento das mudas de *A. germinans*, autores obtiveram resultados significativos na mortalidade desta espécie (Proffitt, Devlin e Lindsay 1995; Chindah 2011;). Foi comprovado por Naidoo *et al.* (2010) que o óleo prejudica o desenvolvimento saudável e provoca anomalias em mudas de *Avicennia marina* e *Bruguiera gymnorhiza*. Ainda na pesquisa realizada por Proffitt, Devlin e Lindsay (1995) analisando os efeitos do óleo sobre o crescimento de *A. germinans*, o resultado obtido foi a morte de 100% das plântulas.

Recentemente, Budiadi *et al.* (2022) demonstrou que outra espécie do mesmo gênero, a *Avicennia marina*, possui baixa capacidade de regeneração ao ser exposta a tensores de estresse salino. Wang *et al.* (2022) também verificou que sob estresse de baixa temperatura a mesma espécie sofreu efeitos negativos no seu desenvolvimento ecofisiológico. O que leva a considerar que o gênero *Avicennia* seja sensível à exposição de tensores diversos na fase de crescimento e desenvolvimento das mudas, e que, possivelmente, quando o óleo entra em contato com os propágulos ainda na fase germinativa, essa sensibilidade pode ser agravada em razão das anomalias externas que o óleo diesel causa nesta fase inicial.

5. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa demonstraram que a *L. racemosa* sofre intenso efeito do óleo diesel no estágio de germinação dos propágulos, mesmo em baixos percentuais do tensor, o que nos leva a concluir que esta espécie de mangue seja bastante sensível à exposição de hidrocarbonetos, levando à morte um elevado percentual de propágulos, o que pode resultar em sério potencial de degradação desta espécie em áreas de mangues atingidas pelo contaminante. *A. germinans* não sofreu efeitos do óleo na germinação dos propágulos, com os percentuais utilizados nesta pesquisa, mas os efeitos foram visíveis na fisiologia externa (anomalias externas); sendo oportuno a realização de estudos em sua fisiologia interna (histologia vegetal), bem como na fase de crescimento, a partir das anomalias apresentadas e também juntos aos propágulos germinados aparentemente saudáveis, a fim de constatar se há anomalias internas e se a plântula apresentará efeitos do óleo diesel em seu desenvolvimento.

RECONHECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, que financiou esta pesquisa. Ao Laboratório de Manguezais – LAMA, ao Centro de Recuperação de Manguezais – CERMANGUE pela estrutura e apoio para realização dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. 2014. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. (2a ed.), San Diego, USA: Academic/Elsevier, 1602 p.
- BORGHETTI, F.; FERREIRA, A.G. 2004. Interpretação de resultados de germinação. Pp. 209–222. In: Ferreira AG; Borghetti F (Eds.) Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre, Artmed.
- BUDIADI, B.; WIDIYATNO, W.; NURJANTO, H.H.; HASANI, H.; JIHAD, A.N. 2022. Seedling Growth and Quality of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. under Growth Media Composition and Controlled Salinity in an Ex-Situ Nursery. *Forests* 2022, 13, 684. <https://doi.org/10.3390/f13050684>.
- CAVALCANTI, V.F.; ANDRADE, A.C.S.; SOARES, M.L.G. 2007. Germination of *Avicennia schaueriana* and *Laguncularia racemosa* from two physiographic types of mangrove forest. *Aquatic Botany*, Volume 86, Issue 3, 2007, Pages 285-290, ISSN 0304-3770, <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.10.008>.
- CHEQUER, L.; BITENCOURT, J.A.P.; WAITE, C.C.C.; SANTOS, E.S.; FRANCO, D.C.; ALVES, R.; CRAPEZ, M.A.C. 2017. Response of mangrove propagules to the presence of oil-

and hydrocarbon degrading bacteria during an experimental oil spill. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 2017;45(4): 814-821. Disponível em: doi:10.3856/vol45-issue4-fulltext-17. Acesso em 10 jan.2022.

CHINDAH, A.C.; BRAIDE, S. A; AMAKIRI, J.; ONOKURHEFE, J. 2007. Effect of crude oil on the development of mangrove (*Rhizophora mangle* L.) seedlings from Niger Delta, Nigeria. In: Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317-9152, Vol. 7, Nº. 1, 2007, págs. 181-194.

CHINDAH, A.C. *et al.* 2011. Effect of crude oil on the development of white mangrove seedlings (*Avicennia germinans*) in the Niger Delta, Nigeria. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 20, n. 2, p. 275-284, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. 2007. Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2007. 120 p.

CORRÊA, J.N; AZEVEDO, J.W; OLIVEIRA, A.; MOCHEL, F.R. 2021. Salinity assessment in the germination of *laguncularia racemosa* (L.) c. f. gaertn. for selecting mangrove restoring sites. In: A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2 / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.263210410>.

DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P.W.M. 2019. Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sens.* 2019, 11, 808. <https://doi.org/10.3390/rs11070808>

DUKE, N.C.; ELLISON, J.; BURNS, K.A. 1998. Surveys of oil spill incidentes affecting mangrove habitat in Australia: a preliminary assessment of incidents, impacts on mangroves, and recovery of deforested areas. *APPEA J.*, 646–654.

FERREIRA, A.C.; LACERDA, L.D. 2016. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, Volume 125, 2016, Pages 38-46, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011>.

GOFORTH J.R.; HW, JR THOMAS. 1979. Plantings of Red Mangroves (*Rhizophora mangle* L.) for Stabilization of Marl Shorelines in the Florida Keys. Pages 207-230. In: Cole, DP (ed) *Proceedings of conference on wetlands restoration and creation*, 6, Flórida. Hillsborough Community College.

GUEDES, F.A.F.; ROSSETTO, P.D.B.; GUIMARAES, F.; WILWERTH, M.W.; PAES, J.E.S.; NICOLAS, M.F.; REINERT, F.; PEIXOTO, R.S.; ALVES-FERREIRA, M. 2018. Characterization of *Laguncularia racemosa* transcriptome and molecular response to oil pollution. *Aquatic Toxicology* 205 (2018) 36-50, 10.1016/j.aquatox.2018.09.001.

HAMMER Ø; HARPER DAT; RYAN PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

HOGARTH, P.J. 2015. *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, 2015. Third edition. ISBN 978–0–19–871655–6.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. 2018. *Atlas dos Manguezais do Brasil*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p.:il

KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B. L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* Vol 40: 81-251 (2001).

KÖPPEN, W. 1900. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt.(Schluss). Geographische Zeitschrift 6: 657-679.

KRISTIAN, A.; OKTORIE, O. 2018. Study of Coastal Mangrove Conservation in the World. Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education. Vol 2, No. 1, (pp. 49-52), June 2018. <http://sjdgge.ppj.unp.ac.id>

MAGUIRE, J. D. 1962. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop science, 2(2), 176-177.

MOCHEL, F.R. 2011. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: Martins MB; Oliveira, TG (eds). Amazônia Maranhense. Diversidade e Conservação. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118.

MOCHEL, F.R.; FONSECA, I. L.A. 2019. Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão In: Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2. Mochel, Flávia Rebelo. (Org.). 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 2, p. 59-71.

NAIDOO, G.; NAIDOO, Y.; ACHAR, P. 2010. Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorrhiza* to oil contamination. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, V. 205, Issue 5, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.033>.

NASCIMENTO, A.D.; ZANANDREA, I.; MOCHEL, F.R. 2021. Germination of propagules in condition of pre-dispersion herbivory of *Laguncularia racemosa* (L.) C. C. Gaertn. (Combretaceae) under different saline concentration. International Journal of Biological and Natural Sciences. V.1, N.1, 2021. ISSN 2764-1813. Doi 10.22533/at.ed.8132116111.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. 2014. Oil spills in mangroves: planning & response considerations. (<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/877>). Acesso em 02 jan.2022.

PENA, P.G.L; NORTHROSS, A.L.; LIMA, M.A.G.; RÊGO, R.C.F. 2020. Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. Cadernos de Saúde Pública. 2020, v. 36, n. 2. Doi: 10.1590/0102-311X00231019.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS. 2021 Óleo Diesel: Informações Técnicas. (https://hmg.hotsitespetrobras.com.br/data/files/54/52/B9/F1/6942C710670F7FA700000000/Manual-de-Diesel_2021.pdf). Acesso em dez. 2021.

PROFFITT, C.E.; DEVLIN, D.J.; LINDSEY, M. 1995. Effects of oil on mangrove seedlings grown under different environmental conditions. Boletim de poluição marinha, v. 30, n. 12, pág. 788-793, 1995.

SILVA JUNIOR, O.M; MAGRINI, A. 2014. Exploração de hidrocarbonetos na foz do rio Amazonas: perspectivas de impactos ambientais no âmbito das áreas ofertadas na 11ª rodada de licitações da agência nacional do petróleo. Revista GeoAmazônia; Vol 2, n.4 (2014). Doi: 10.17551/2358-1778/geoamazonia.v2n4p146-158.

SOARES, M.L.G; SILVA JUNIOR, C.M.G; CAVALCANTI, V.F; ALMEIDA, P.M.M; MONTEIRO, A.S.; CHAVES, F.O.; DUQUE ESTRADA, G.C; BARBOSA, B. 2006. Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): resultados de 5 anos de monitoramento. Geochimica Brasiliensis, 20 (1)038-061,2006.

THOMPSON, F.; THOMPSON, C. 2020. Biotecnologia Marinha. – Rio Grande: Ed. FURG,

2020. 855p.:il.

VAN DER STOCKEN, T.; CARROLL, D.; MENEMENLIS, D.; SIMARD, M.; KOEDAM, N. 2019. Global-scale dispersal and connectivity in mangroves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(3), 915–922.

WANG, S.M.; WANG, Y.S.; SU, B.Y.; ZHOU, Y.Y; CHANG, L.F.; MA, X.Y.; LI, X.M. 2022. Ecophysiological Responses of Five Mangrove Species (*Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora stylosa*, *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia marina*, and *Kandelia obovata*) to Chilling Stress. *Frontiers in Marine Science Journal*. V.9. 2022. Doi=10.3389/fmars.2022.846566.

YOKOYA, N. S. 1995. Distribuição e origem. In: Yara Schaeffer-Novelli (Ed.). *Manguezal: Ecossistema entre a terra e o mar*. São Paulo: Caribbean ecological research, 1995, p. 9- 12.

ZAR, J.H. 1996. *Biostatistical analysis* 3rd edn. Practice Hall, New Jersey.

ZHANG, C.G.; LEUNG, K.K.; WONG, Y.S.; TAM, N.F.Y. 2007. Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution. *Environmental and Experimental Botany*, Volume 60, Issue 1, 2007, Pages 127-136, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.09.002>.

V. CAPÍTULO 3: EFEITOS DO ÓLEO DIESEL B S-10 NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *Rhizophora mangle* (L.)

Josélia Castro da Silva MARTINS¹, Flávia Rebelo MOCHEL¹, Ilisandra ZANANDREA², James Werllen de Jesus AZEVEDO¹, Leonardo Gonçalves de LIMA¹, Denilson da Silva BEZERRA¹, Emily Gabrielle do Nascimento ABREU¹, Marcelle da Silva e SILVA¹, Aline Maria Silva LIMA¹, Karine Sousa da SILVA², Arthur Baeta COUTINHO²

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil. ² Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Departamento de Biologia (DEBIO/CCBS) - Vila Bacanga, São Luís - Maranhão, 65065-545, Brasil.

RESUMO

Os ecossistemas de manguezais entram cada vez mais em contato com os contaminantes dos diversos tipos de óleos através dos derramamentos decorrentes de atividades portuárias nas zonas costeiras e outras atividades que lidam com derivados do petróleo. Os efeitos do óleo diesel S-10 nos atributos do crescimento da plântula como altura e diâmetro do caule, biomassa abaixo do solo e taxa de mortalidade da espécie de mangue *Rhizophora mangle*, foram testados por meio de uma única aplicação de diferentes volumes de óleo diesel diretamente no sedimento da muda. Foram 210 mudas e 03 repetições, distribuídas em experimento controle (sem adição de óleo diesel) e 06 diferentes tratamentos com óleo (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml). Esta pesquisa teve por objetivo analisar os efeitos que o óleo diesel pode causar na *R. mangle* em fase de crescimento e desenvolvimento. Os experimentos resultaram em mudas com altura e diâmetro significativamente alterados, raízes subdesenvolvidas, anomalias caulinares e foliares, mutações, alterações anatômicas e taxa de mortalidade significativas. Os resultados mostraram que a espécie de mangue *R. mangle* sofre efeitos negativos com a exposição ao óleo diesel B S-10. Os autores esperam contribuir com pesquisas para aprimoramento de técnicas de recuperação de áreas degradadas por derramamentos de óleo.

Palavras-Chave: Mangue vermelho; impacto; derramamento de óleo.

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are increasingly in contact with contaminants from different types of oils through spills resulting from port activities in coastal areas and other activities that deal with petroleum derivatives. The effects of S-10 diesel oil on seedling growth attributes such as height and stem diameter, belowground biomass and mortality rate of the mangrove species *Rhizophora mangle*, were tested by means of a single application of different volumes of diesel oil directly in the seedling sediment. There were 210 seedlings and 03 replications, distributed in a control experiment (without the addition of diesel oil) and 06 different treatments with oil (7.5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml and 50ml). This research aimed to analyze the effects that diesel oil can cause on *R. mangle* in the growth and development phase. The experiments resulted in seedlings with significantly altered height and diameter, underdeveloped roots, stem and leaf anomalies, mutations, anatomical alterations and significant mortality rate. The results showed that the mangrove species *R. mangle* suffers negative effects with exposure to B S-10 diesel oil. The authors hope to contribute with research to improve techniques for recovering

areas degraded by oil spills.

Keywords: Red mangrove; impact; oil spill.

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são habitats altamente produtivos, geradores de diversos benefícios e que se desenvolvem entre ambientes marinhos e continentais (MOCHEL 2011; SANTOS *et al.* 2011; FONSECA e MOCHEL 2016; VERÂNE *et al.* 2020). Por se tratar de ecossistemas costeiros estão entre os locais mais expostos a derramamentos de óleo devido à proximidade de atividades portuárias e à influência das marés que caracterizam o ambiente, e, dependendo da energia das ondas, o óleo pode propagar-se a longas distâncias espalhando-se e aderindo-se entre as raízes, caules, folhas e sedimentos, contaminando-os e danificando-os, além de que, por sua característica, o óleo pode persistir residualmente no ambiente por muito tempo (BAKER 1981; DUKE E BURNS 1999; SANTOS *et al.* 2011; AMIN *et al.* 2017; CONNOLLY *et al.* 2020).

Apresentando-se como ambientes altamente sensíveis à exposição ao óleo, os manguezais sofrem os efeitos e danos severos dos derramamentos de derivado de petróleo (DUKE e BURNS 1999; DUKE 2016; MMA 2016) que resultam, geralmente, em sufocamento das raízes, amarelamento e perda de folhas, mutações, anomalias, subdesenvolvimento da plântula, perda de biomassa, danos à reprodução e em muitos casos a morte (CHINDAH *et al.* 2007; NARDES *et al.* 2013; AMIN *et al.* 2017). Os componentes do óleo alteram as características do sedimento e uma vez alteradas as características comuns ao solo de manguezal, as plântulas sofrem modificações no seu desenvolvimento (GAITÁN *et al.* 2005; RATUCHNE *et al.* 2016; CHINDAH *et al.* 2007).

Os efeitos variam de acordo com a espécie de mangue, bem como a quantidade e o tipo de óleo que o atinge; isso porque cada tipo de óleo passa por um processo diferente que define a sua composição (GETTER *et al.* 1985; SANTOS *et al.* 2011; NARDES *et al.* 2013; HOFF e MICHEL 2014). O óleo diesel B S-10 é um óleo automotivo que possui diversos compostos químicos complexos como hidrocarbonetos, aromáticos, enxofre, nitrogênio, oxigênio, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno que acarretam prejuízos ao meio ambiente quando em contato com este através de derramamentos (CETESB, 2012; PETROBRAS, 2021).

A espécie de mangue deste estudo, *Rhizophora mangle*, é comumente chamada de

mangue vermelho. Pesquisas revelam que comparada às espécies de mangue preto e mangue branco, a *R. mangle* é a mais resiliente ao óleo, sofrendo efeitos em menor escala que as espécies citadas, quando em contato com o tensor (GETTER *et al.* 1985; ORGE *et al.* 2000).

Esta pesquisa teve por objetivo analisar os efeitos que o óleo diesel pode causar na espécie de mangue *Rhizophora mangle* em fase de crescimento e desenvolvimento, evidenciando os resultados na estrutura física (altura e diâmetro), biomassa abaixo do solo (raízes) e mortalidade. Os autores esperam, com os resultados obtidos, contribuir com pesquisas para aprimoramento de técnicas de recuperação de áreas degradadas por derramamentos de óleo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas dos propágulos de *R. mangle*, água estuarina e sedimento de mangue, para realização do experimento, foram realizadas no manguezal do Mangue Seco, município de Raposa, a noroeste do município de São Luís, Ilha do Maranhão (S 2° 27 '06,86 ", W 44 ° 09' 20,33" e S 2° 27 '21,81 ", W 44 ° 09' 45,76") - (Fig. 1). O clima da região é do tipo AW Tropical Chuvoso, segundo classificação de Köppen (1900), sendo que a estação de chuvas ocorre de janeiro a junho, com precipitação média de 1954mm³, e a estação seca ocorre de julho a dezembro. Na região encontramos restingas, dunas e manguezais (NASCIMENTO, ZANANDREA E MOCHEL, 2021). O trabalho foi desenvolvido no laboratório CERMANGUE - Centro de Recuperação de Manguezais, Departamento de Oceanografia e Limnologia, da Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

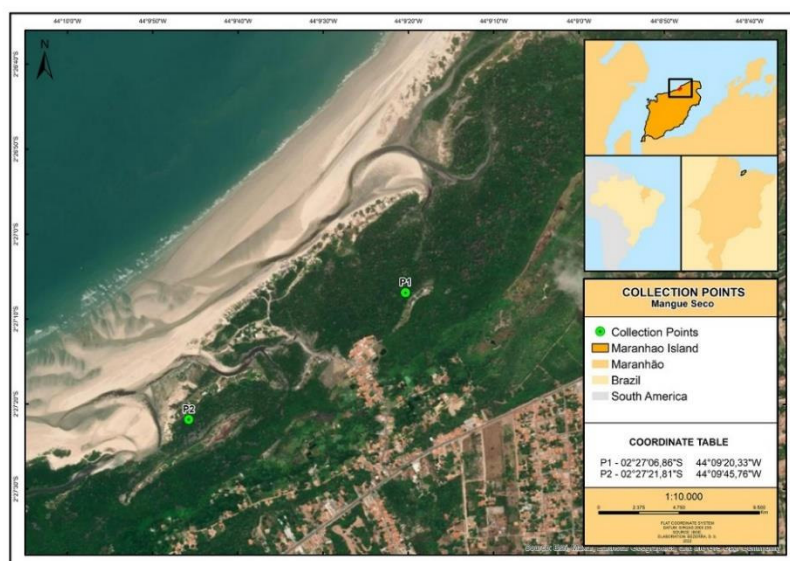


Figura 1 - Mapa da localização dos pontos de coleta dos propágulos de *R. mangle*, no manguezal do Mangue Seco, Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil.

2.1 Procedimentos para desenvolvimento de mudas de *R. mangle*

O sedimento coletado para o plantio dos propágulos de *R. mangle* foi homogeneizado, pesado em quantidades de 500g e colocados em sacos de muda de polietileno. Foi ainda separado uma parte deste sedimento para análise granulométrica. Os propágulos de *R. mangle* foram plantados diretamente nos sacos de muda contendo o sedimento previamente preparado e dispostos no viveiro, coberto com proteção solar (sombrite 75%), do laboratório CERMANGUE/UFMA.

As amostras foram separadas em 07 experimentos contendo 10 unidades cada, sendo: 01 experimento controle (sem adição de óleo diesel, 0ml) e 06 diferentes tratamentos com óleo diesel automotivo S-10 (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml), em 03 repetições, totalizando 210 mudas. Os volumes de óleo diesel foram aplicados diretamente no sedimento logo após o plantio dos propágulos.

As mudas foram regadas diariamente e alternadamente com água doce e água estuarina. Todas as mudas plantadas tiveram seu desenvolvimento estrutural (altura e diâmetro da base) medido com auxílio de paquímetro, escalímetro e trena. As variações de temperatura e umidade relativa do ar, no viveiro de mudas, foram acompanhadas durante todo o experimento de desenvolvimento de *R. mangle* com um termo-higrômetro digital (Incoterm mod.7429.02.0.00). O experimento foi monitorado diariamente durante 06 meses, finalizado quando as mudas atingiram, no tratamento controle, o crescimento inicial de plântula (geralmente no terceiro par de folhas), de acordo com Mochel (2016).

2.2 Análises granulométricas

Para os sedimentos mais grossos foi utilizado o método de peneiramento e para os sedimentos mais finos o método da pipetagem, ou, sedimentação pela Lei de Stokes (SUGUIO, 1973). Para a classificação do tamanho dos grãos foi utilizada a tabela Krumbein, Φ (fi), adaptada por Wentworth (FOLK, 1968) e apresentada na tabela 1, na metodologia de Suguio (1973). Os dados da análise granulométrica foram analisados pelo software SysGran 3.0 msi.

2.3 Análise da biomassa das raízes de *R. mangle* (biomassa abaixo do solo)

Após finalizados os experimentos com as plântulas de *R. mangle*, suas raízes foram destorroadas cuidadosamente com auxílio de pinceis de cerdas macias, em seguida foram lavadas com água e o amparo de bacias para que se evitasse a perda de alguma raiz mais fina, posteriormente foram colocadas para secar ao ar sobre tamizadores. As plântulas dadas como mortas não produziram raízes, portanto não foram contabilizadas para biomassa das raízes.

Foram realizados os cortes na base do caule, deixando-se somente as raízes. Ulteriormente foram tiradas a massa fresca de cada raiz, em balança digital de precisão de três casas decimais. Por fim, foram colocadas cada uma em sacos de papel e levadas para a estufa a uma temperatura de 70°C por cerca de 72h e após retirada a massa seca de cada raiz (VALCARCEL *et al*, 2007). Foi tirada a biomassa dos tratamentos controle (0ml de óleo), 30ml e 50ml de óleo diesel.

2.4 Análise da taxa de mortalidade

A taxa de mortalidade, para cada tratamento das mudas de *R. mangle*, foi calculada através da percentagem das mudas mortas em relação ao número inicial de mudas plantadas, utilizando o cálculo de taxa mortalidade (%): $M=(n/Nt) \times 100$. Onde: n= número de mudas mortas por tratamento e Nt= número de mudas total por tratamento

2.5 Análise anatômicas

Para as avaliações anatômicas, o material foi coletado, fixado em FAA (Formaldeído (5%) - Ácido acético (5%) - Álcool etílico (70%)) durante 48 horas e em seguida conservadas em álcool 70% para posterior análise.

Foram realizados cortes transversais das raízes, do pecíolo, limbo foliar e nervura central, e cortes paradérmicos da superfície foliar adaxial e abaxial. Para clarificação dos cortes utilizou-se hipoclorito de sódio 2%. As seções foram coradas com solução de safranina e azul de Toluidina 1%. Para a montagem das lâminas utilizou-se glicerina 50%, as quais foram visualizadas em microscópio óptico e fotografadas. Para a mensuração da espessura de órgãos e tecidos, e para a medida do tamanho dos estômatos foram utilizados quatro campos de três indivíduos por tratamento.

Nestas avaliações foi realizada comparação entre os diferentes tratamentos quanto à composição e espessura dos tecidos e órgãos (folhas e raízes), índice estomático, comprimento e largura dos estômatos, e formato das células. As determinações de espessura foram realizadas utilizando-se uma ocular micrométrica acoplada em microscópio óptico Zeiss. As mensurações foram obtidas com auxílio do software ImageJ. As escalas das figuras foram obtidas através da projeção de uma lâmina micrométrica fotografada/digitalizada nas mesmas condições ópticas das ilustrações. As análises anatômicas do presente trabalho foram realizadas no laboratório de Anatomia e Fisiologia Vegetal, localizado no Departamento de Biologia da UFMA.

O índice estomático foi calculado de acordo com a fórmula de CUTTER (1986): índice estomático (IE) = $[NE/(CE + NE)] \times 100$, em que NE é o número de estômatos e CE o número de células epidérmicas propriamente ditas. A funcionalidade estomática (FUN) considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos, foi calculada segundo Castro et al (2009).

Para a determinação do índice estomático, densidade e espessura foliar foram efetuadas cinco medições em diferentes cortes transversais, no terço médio de folhas de três indivíduos, com auxílio do programa Image J.

2.6 Análise de dados

As análises estatísticas foram processadas no software PAST 4.03 (HAMMER et al, 2001). A ANOVA Two-way foi utilizada para analisar os efeitos do óleo diesel no desenvolvimento estrutural (altura e diâmetro) das mudas de *R. mangle*, quanto a possíveis diferenças significativas no crescimento causadas pelo contato com o óleo aplicado. O teste Tukey foi realizado para verificar em quais tratamentos apresentaram diferenças significativas. Para analisar a taxa de mortalidade e a biomassa das raízes foi realizado o teste de LEVENE para avaliar os pressupostos estatísticos de homogeneidade e normalidade dos dados, e, atendidos esses pressupostos os dados foram avaliados através da análise de variância ANOVA One-way. Os dados que apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos foram avaliados através do teste de Tukey para verificar quais tratamentos diferiam. Foram considerados valores a um nível crítico de significância de $\alpha=0,05$ (ZAR, 1998).

3. RESULTADOS

3.1 Análise granulométrica

O resultado da análise granulométrica do sedimento em que os propágulos de *R. mangle* foram plantados classificou a composição do sedimento como sendo areia 71,09%, Silte 23,5%, argila 5,303% e cascalho 0,1082 %; portando o sedimento configura-se, em sua maior parte, como um solo formado por areia muito fina (3,6).

3.2 Altura da plântula

A análise estatística, ANOVA two way, mostrou um resultado significativo ($p < 0,05$) na altura das plântulas entre os tratamentos (ANOVA; $F=21,63$; $p=4,79E-16$). Os valores, do experimento controle, foram significativamente mais elevados que os demais tratamentos com óleo diesel. (Figura 2). As mudas de todos os tratamentos tenderam a crescer progressivamente durante os seis meses, contudo as mudas do experimento controle (0ml) tiveram um desenvolvimento maior que os demais tratamentos com óleo diesel. A altura no tratamento com 50ml de óleo foi mais acentuada que nos outros tratamentos. Isso pode ter ocorrido em função da não devida absorção do óleo pelo sedimento em decorrência do transbordamento do tensor quando de sua aplicação.

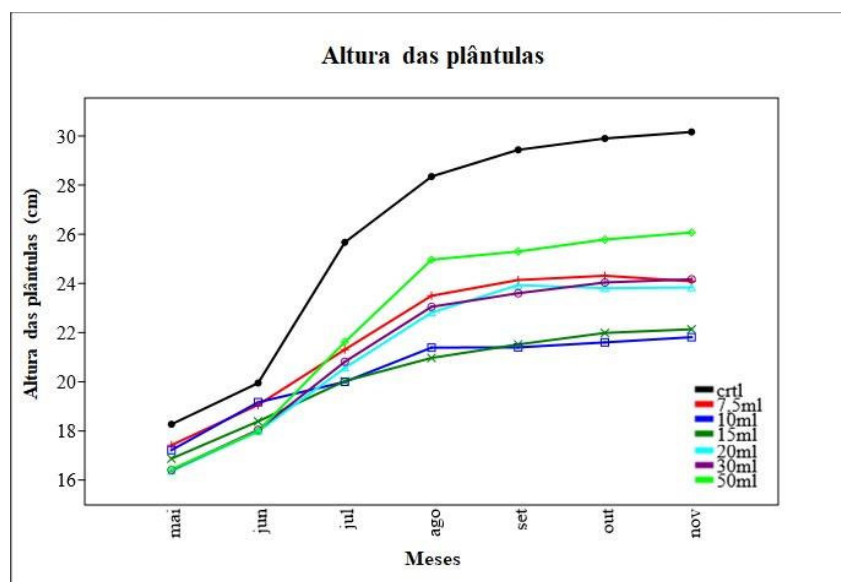


Figura 2 - Altura (em cm) de plântulas de *R. mangle* em função dos sete tratamentos com óleo diesel (de controle, que é 0ml, até 50mL de óleo diesel) e do tempo em meses (maio a novembro). Os diferentes volumes de óleo diesel aplicados estão destacados em uma escala de cores, onde o controle (ctrl – 0ml) está destacado em preto e o maior volume de óleo diesel (50m) está em verde.

3.3 Diâmetro do caule

O resultado da análise dos valores do diâmetro do caule das plântulas também foi significativo (ANOVA Two way; $F=7,548$; $p= 1,144E-06$). O teste Tukey apontou que o experimento controle foi diferente de todos os demais tratamentos (Figura 3). O diâmetro das mudas nos tratamentos com óleo diesel tendeu a diminuir progressivamente com o tempo, com exceção do experimento controle que aumentou.

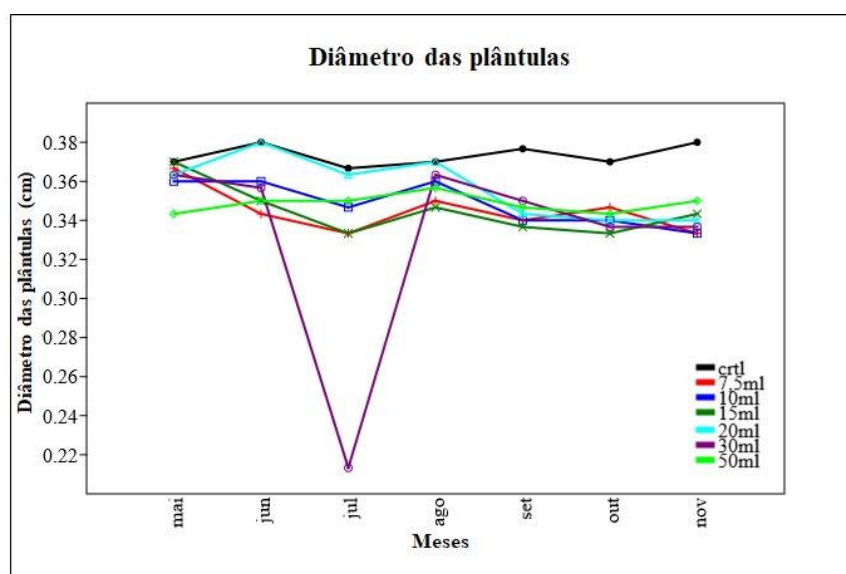


Figura 3 - Diâmetro (em cm) de plântulas de *R. mangle* em função dos sete tratamentos com óleo diesel (de controle, que é 0ml, até 50mL de óleo diesel) e do tempo em meses (maio a novembro). Os diferentes volumes de óleo diesel aplicados estão destacados em uma escala de cores, onde o controle (ctrl – 0ml) está destacado em preto e o maior volume de óleo diesel (50ml) está em verde.

No tratamento de 30ml houve uma queda brusca no diâmetro no mês de julho (Figura 3), o que pode ser explicado através de duas prováveis situações: a primeira é que exclusivamente neste experimento houve a ocorrência de mudas nas quais o cotiledone e parte do caule secaram completamente, havendo posteriormente a regressão no crescimento delas dando a impressão de que morreriam, contudo, após algum tempo houve uma mutação adaptativa das mudas, fazendo com que dois novos brotos (cotiledones) crescessem na lateral do caule, fazendo com que as mudas retomassem o seu desenvolvimento, sendo este evento tratado como uma anomalia externa provavelmente devido ao contato com o óleo diesel (vide figura 6-C em anomalias externas). A segunda situação provável é que tenha ocorrido um Outlier.

Em resumo, a altura e o diâmetro (desenvolvimento estrutural) das mudas de *R. mangle* do experimento controle (0ml), foram significativamente superiores às demais plântulas que foram tratadas com diferentes volumes de óleo diesel (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml). O que confirma a hipótese de que, durante a fase de crescimento e desenvolvimento as mudas de *R. mangle* sofrem os efeitos negativos do óleo diesel.

3.4 Taxa de mortalidade

A taxa de mortalidade das plântulas foi estatisticamente significativa (ANOVA One way, $F=3,9$; $p=0,02$) entre o experimento controle e os demais tratamentos. O resultado mostrou que o controle (0% de óleo) foi o experimento que apresentou menor percentual de mortes das plântulas (6,67%), isso nas três repetições; enquanto a maior taxa de mortalidade configurou no tratamento com 10ml de óleo, apresentando diferença significativa em relação ao tratamento controle (Figura 4).

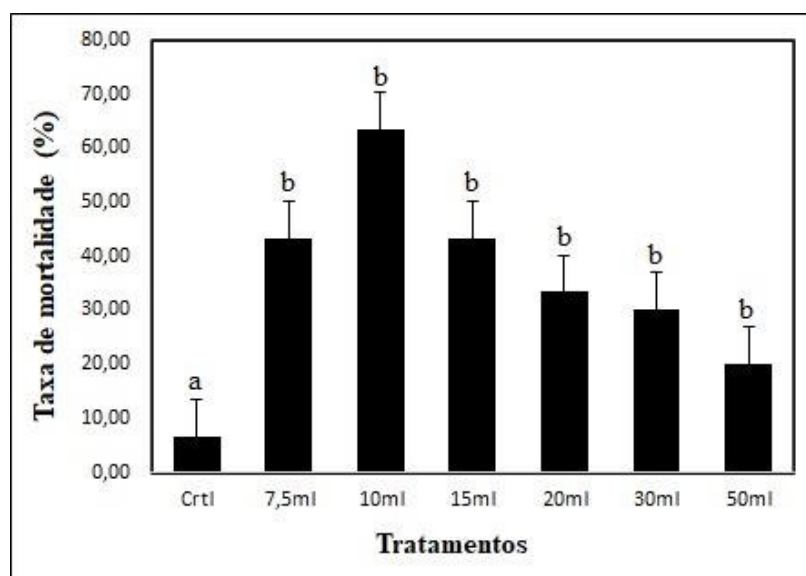


Figura 4 – A menor taxa de mortalidade ocorreu no experimento controle (6,67%). Os demais tratamentos com óleo diesel apresentaram taxas significativamente mais elevadas. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância.

3.5 Biomassa das raízes de *R. mangle* (biomassa abaixo do solo)

Os percentuais de óleo diesel adicionados diretamente no sedimento das mudas de *R. mangle* afetou significativamente o desenvolvimento da biomassa abaixo do solo (raízes). A Anova One-way apresentou uma diferença significativa entre os tratamentos controles e os

tratamentos com óleo diesel, tanto da massa fresca ($F=21,47$; $p=8,733E-08$), quanto da massa seca ($F=7,662$; $p=0,001$), (Figura 4). Isso evidencia o efeito do óleo diesel nos tratamentos com óleo (30ml e 50ml) em relação ao tratamento controle (0ml). Nota-se, através da Figura 5, que à medida que o volume de óleo diesel aumenta, diminui progressivamente a massa fresca e a massa seca das raízes.

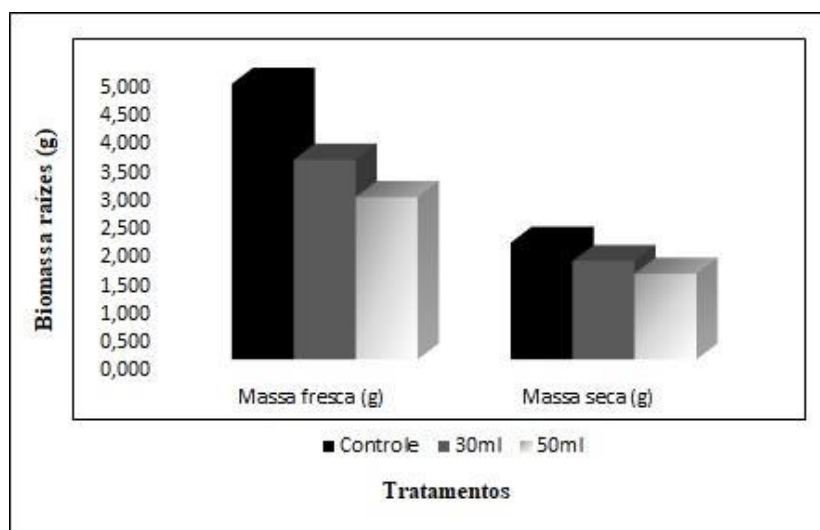


Figura 5 – Biomassa das raízes (biomassa abaixo do solo) de *R. mangle*. O gráfico apresenta a massa fresca (em gramas) e a massa seca (em gramas) das raízes por tratamento de óleo diesel.

3.6 Anomalias externas

Durante o tempo em que as mudas foram se desenvolvendo no viveiro, ocorreram diversas anomalias caulinares e foliares em algumas delas como necrose e clorose no caule e nas folhas, deformidade e queda das folhas, além de que algumas mudas não apresentaram desenvolvimento foliar no tempo devido (Figura 6). Outrossim, também houve incidência de herbivoria foliar e caulinar (Figura 7). Embora tenham ocorrido essas anomalias, o resultado estatístico (ANOVA, One-way; $F=0,34$; $p=0,91$) mostra que não houve diferença significativa entre os tratamentos. A Figura 8 mostra que à medida que o volume de óleo diesel foi aumentando em cada tratamento (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml), também maior foi a ocorrência dessas anomalias.

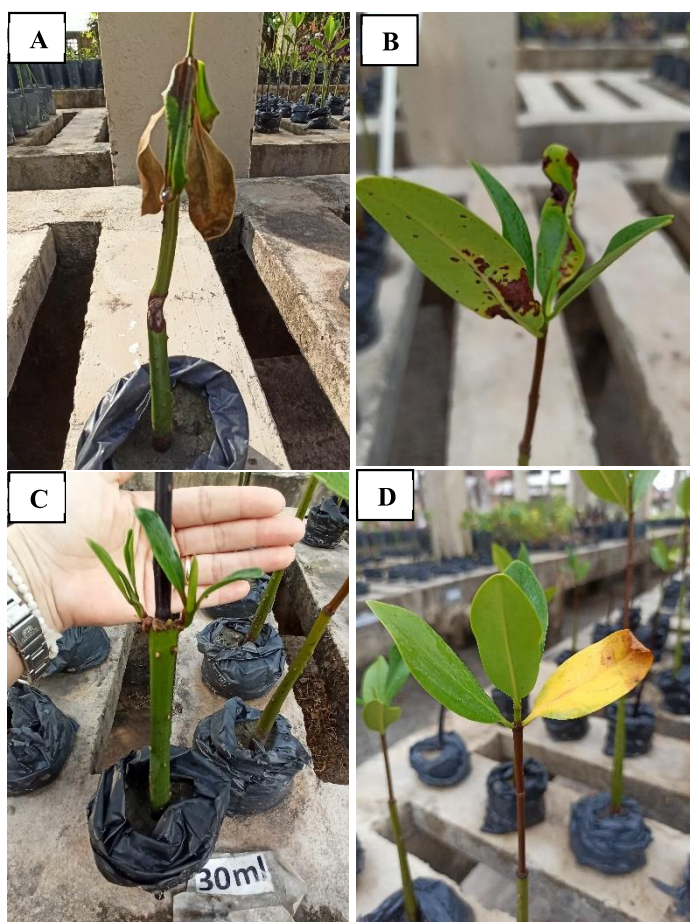


Figura 6 – A) Muda de *R. mangle* com necrose no caule, que acabou causando a morte da muda. B) Muda com necrose e má formação das folhas. C) Muda com necrose em parte do caule, o que causou uma mutação adaptativa. D) Muda com clorose e queda das folhas



Figura 7 – Muda *R. mangle* com herbivoria.

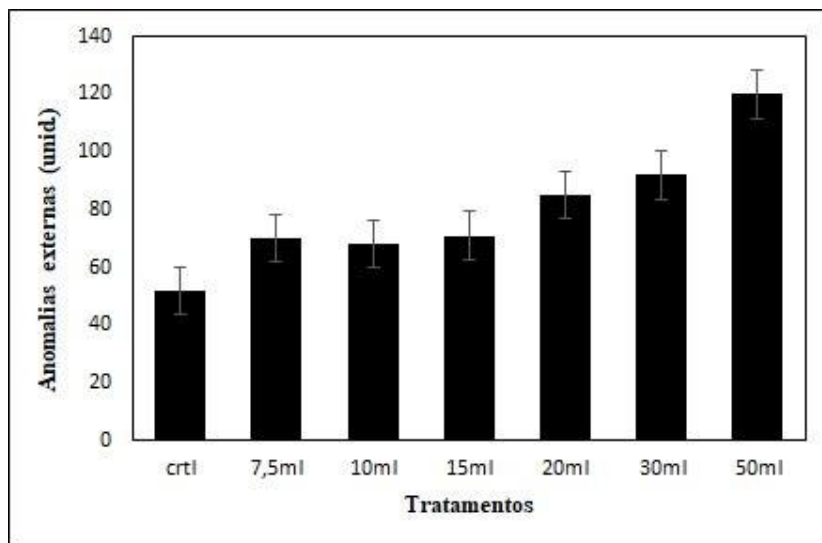


Figura 8 – Incidência de anomalias externas nas mudas de *R. mangle* por tratamento de óleo diesel.

3.7 Anatomia

As diferentes concentrações de óleo diesel presente no solo em que os propágulos foram cultivados causou diferentes alterações estruturais nas raízes das plantas. Uma dessas alterações foi a redução no diâmetro das raízes, diretamente proporcional ao aumento das concentrações do contaminante no solo, ou seja, quanto maior a concentração, menor o diâmetro radicular (Figura 9A, 9B, 9C e 9D). O diâmetro das raízes foi 18%, 45% e 51% menor nos tratamentos com 15 ml, 30 ml e 50 ml, respectivamente, quando comparadas ao controle (Tabela 1).

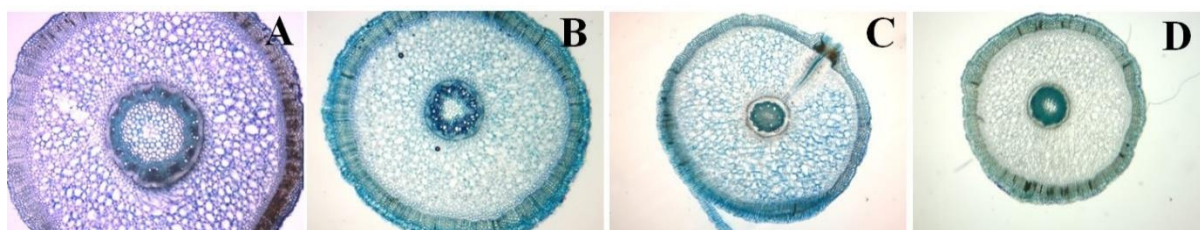


Figura 9 – Cortes transversais de raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 μ m. Redução no diâmetro das raízes.

Tabela 1– Parâmetros micromorfométricos das raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. Médias seguidas de uma mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Variáveis analisadas	Tratamentos			
	Controle	15 ml	30 ml	50 ml
Diâmetro da raiz	380,06 a	311,22 b	208,23 c	185,19 d
Número camadas epiderme	13,0 a	9,0 b	6,0 c	7,0 c
Número camadas córtex	21,0 a	16,0 b	13,0 c	11,0 c
Espessura epiderme	83,62 a	77,05 a	59,70 b	58,35 b
Espessura do córtex	163,69 a	129,58 b	92,39 c	74,96 d
Diâmetro do cilindro central	133,73 a	102,60 b	57,19 c	47,83 c

Essa redução no diâmetro das raízes se deve a diversas alterações, como diminuição do número de camadas de células da epiderme e do córtex, redução do diâmetro do cilindro central e redução do tamanho das células da epiderme e xilema nos tratamentos com maiores concentrações de óleo (Tabela 1). Além disso, verificou-se uma desorganização das células do cilindro central em todos os tratamentos com adição de óleo diesel (Figura 10B, 10C e 10D), o que não foi observado nas plantas controle (Figura 10A). Todos os tratamentos testados apresentaram grande quantidade de aerênquimas na região cortical das raízes. Houve diferença na espessura da endoderme nos diferentes tratamentos testados. Nas plantas controle o espessamento da endoderme foi maior que nos tratamentos com utilização do contaminante, sendo que à medida que a concentração do óleo aumentou, diminuiu a deposição de lignina na parede celular da endoderme, e aumentou a quantidade de células de passagem, principalmente nos tratamentos com 30 ml e 50 ml de óleo diesel (Figura 10C e 10D).

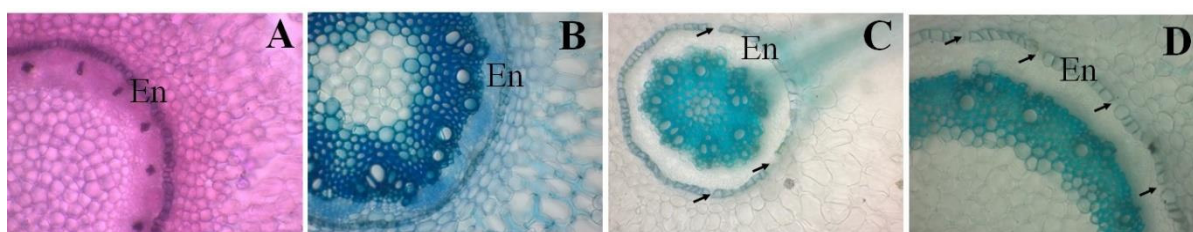


Figura 10 – Cortes transversais de raízes de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 μ m. Desorganização das células do cilindro central os tratamentos com adição de óleo diesel (10B, 10C e 10D).

Esse aumento na quantidade dessas células de passagem permite que maiores quantidades do contaminante e de sal cheguem ao cilindro central, e sejam levados até a parte aérea dessas plantas, o que pode influenciar vários processos fisiológicos, e prejudicar o seu crescimento e desenvolvimento.

As figuras 11A, 11B, 11C e 11D referem-se aos cortes paradérmicos e o formato da epiderme nas folhas de *R. mangle* e mostram que o índice estomático foi 42% e 48% menor, nas concentrações de 30 ml e 50 ml (Figuras 11C e 11D), respectivamente, quando comparadas ao controle (Figura 11A). Na tabela 2 seguem as variáveis foliares analisadas.

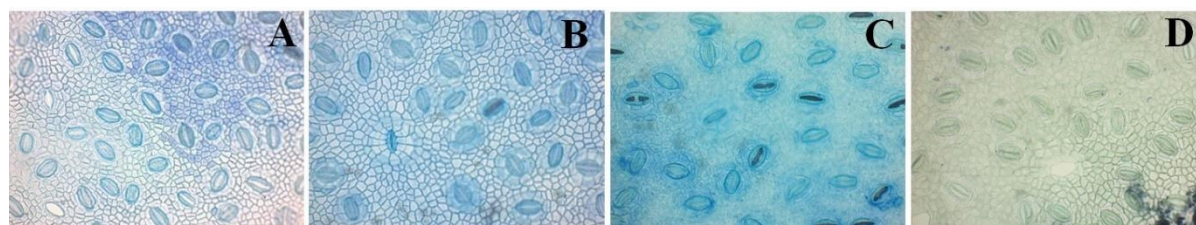


Figura 11 – Cortes paradérmicos e formato da epiderme nas folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 μ m. Índice estomático menor em C e D.

Tabela 2 – Parâmetros micromorfométricos das folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. Médias seguidas de uma mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Variáveis foliares analisadas	Tratamentos			
	Controle	15 ml	30 ml	50 ml
Número de camadas de células da hipoderme	3,0 a	4,0 a	3,0 a	4,0 a
Número camadas do parênquima lacunoso	8,0 a	9,0 a	9,0 a	9,0 a
Espessura do limbo foliar (μ m)	267,17 a	263,69 a	265,36 a	253,94 a
Espessura epiderme+hipoderme (μ m)	70,92 a	73,95 a	75,98 a	69,24 a
Espessura do mesofilo (μ m)	181,25 a	174,74 b	174,38 b	169,70 b
Comprimento dos estômatos (μ m)	55,16 a	54,15 a	51,07 b	51,37 b
Largura dos estômatos (μ m)	43,95 b	43,28 b	49,64 a	50,76 a
Funcionalidade dos estômatos	1,32 a	1,17 a	1,02 b	1,03 b
Índice estomático	3,64 a	4,34 a	2,12 b	1,87 c

Foi observado uma grande quantidade de esclereídes do tipo astroesclereíde, de tamanhos maiores nas folhas das plantas controle (Figura 12A), enquanto que nas plantas cultivadas na presença de óleo diesel o número e tamanho dessas esclereídes diminuiu à medida que aumentou a concentração do poluente no solo (Figura 12B, 12C e 12D), respectivamente 15ml, 30ml e 50ml de óleo diesel.

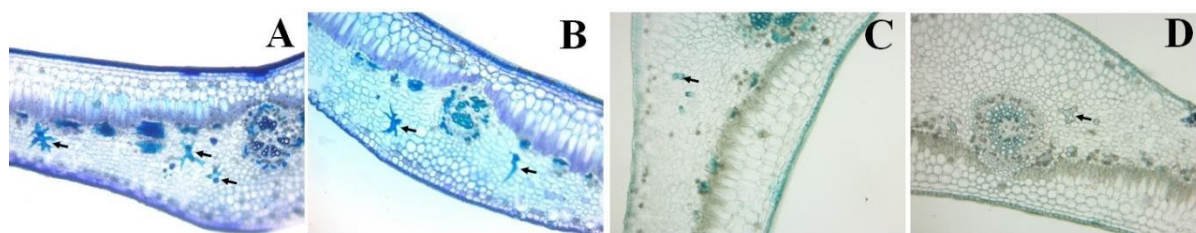


Figura 12 – Cortes das folhas de *Rhizophora mangle* cultivadas em solo contendo diferentes concentrações de óleo diesel. A: controle; B: 15 ml; C: 30 ml; D: 50 ml. Escala: 10 μ m. Quantidade de esclereídes do tipo astrosclereíde diminuíram nos tratamentos com óleo (B, C e D).

4. DISCUSSÃO

O contato das mudas de *R. mangle* em fase de germinação e crescimento (fase juvenis), com o óleo diesel através do sedimento, resultou em mudas com o desenvolvimento estrutural (altura e diâmetro) menor que as mudas sem contato com o tensor (experimentos controle). Este resultado é similar a outros estudos (CHINDAH *et al.* 2007; NARDES *et al.* 2013; AMIN *et al.* 2017), onde os autores relataram efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das mudas, tais como: altura, diâmetro e biomassa das raízes, dentre outros. A incidência de componentes do derivado de petróleo (óleo diesel) diretamente no sedimento da muda pode ter ocasionado a escassez de nutrientes necessários ao adequado ao seu desenvolvimento, causando um crescimento desacelerado à medida que o volume de óleo se concentrou no substrato e conseqüentemente nas raízes. Essa teoria também foi apresentada no estudo de Amin *et al.* (2017). Os autores, apoiados nos resultados e em estudos precedentes, assumem o fato de que os contaminantes de petróleo tendem a envolver o propágulo, através do sedimento, dificultando o processo de germinação e desenvolvimento da Rhizophoraceae.

Santos *et al.* 2011 afirma que os sedimentos agem como um depósito acondicionando poluentes e/ou contaminantes, potencializando a ação destes e afetando a saúde do ambiente. A concentração dos componentes do óleo diesel, através do sedimento, nas raízes causou um subdesenvolvimento delas. A diminuição da biomassa das raízes de *R. mangle* ocorreu à medida que o volume de óleo aumentou nos tratamentos, o que corrobora com trabalhos nos quais os autores consideram que o impacto do óleo nas espécies de mangue depende, também, da quantidade do óleo ao qual é exposto (SOARES *et al.* 2006; ZHANG *et al.*, 2007; HOFF e MICHEL 2002/2014). Em Hayes *et al.* (1992) é relatado que em áreas costeiras expostas a maiores quantidades de óleo na superfície, houve pouco ou nenhum crescimento de plantas desse ecossistema.

O contato do tensor nas mudas de *R. mangle*, em fase de desenvolvimento inicial, também causou diversas anomalias (necrose de caule e folhas, clorose e queda das folhas, má formação das folhas, mutações adaptativas) que, a princípio, admite-se que tenham sido efeitos negativos do óleo, tendo-se em vista que à proporção que aumentou a quantidade de óleo (7,5ml, 10ml, 15ml, 20ml, 30ml e 50ml) disperso no sedimento da muda, observou-se que a quantidade de anomalias também aumentou. Esses efeitos são tidos com agudos e crônicos e são encontrados narrados nos trabalhos de Hoff e Michel (2002/2014). A correlação entre as concentrações de hidrocarbonetos (óleo em sedimento) e mutações (anomalias) em espécie de mangue do gênero *Rhizophora* também foi relatada por Duke e Watkinson (2002). Os autores destacam ainda que a mutação foi considerada letal, tendo em vista a sobrevivência das mudas apenas por alguns meses.

Em meio às anomalias ocorridas, percebeu-se uma mutação adaptativa da espécie, que pode ter ocorrido devido à sua resiliência, um fator também observado por Sánchez-Arias *et al.* (2013) e Sampaio *et al.* (2019), que mencionam que a *R. mangle* tem manifestado alta capacidade de se adaptar e se recuperar dos impactos oriundos do óleo, e, por conta desse fator a espécie tem sido observada como bioindicador para avaliações de contaminações por derivados de petróleo. Ainda assim, o que se observa, em geral, no presente estudo é a interferência negativa dos compostos do óleo diesel a afetar as mudas de *R. mangle* submetidas ao sedimento contaminado. Semelhante observação também foi relatada por Fernández *et al.* (2011); o autor descreve que os hidrocarbonetos, pela sua composição, podem causar toxicidade às plantas, resultando em dificuldade de infiltração de água e a devida aeração ao crescimento.

Embora a taxa de mortalidade tenha sido mais elevada no tratamento de 10ml, os resultados das demais variáveis como altura, diâmetro e anomalias obtiveram respostas mais positivas e demonstrou, nas mudas sobreviventes, um melhor desempenho que as mudas dos tratamentos com maiores volumes de óleo aplicados. A ocorrência de mortalidade em experimento de mudas de *Rhizophoraceas* com óleo já foi narrada em trabalhos anteriores, o que ressalta a sensibilidade da espécie ao derivado de petróleo (DUKE *et al.* 2000; HOFF e MICHEL 2002/2014). Hoff e Michel (2002/2014) afirmam que espécies de mangue juvenis são mais propensas à morte quando expostos ao óleo. Os autores ressaltam ainda que as mudas podem sobreviver por um tempo a sedimentos oleados, mas apenas até o momento em que os propágulos contenham reservas de alimentos, após esgotadas essas reservas, o propágulo tende a morrer.

O sedimento deste estudo, formado por areia muito fina, proporcionou que o contaminante entrasse em contato imediato com o propágulo plantado, envolvendo-o e permanecendo aderido a ele, isso causou efeitos negativos no desenvolvimento das raízes (biomassa abaixo do solo), conforme foi observado nos resultados significativos da biomassa das raízes frescas e secas ao longo dos meses. Nesse sentido, Gaitán *et al.* (2005) e Ratuchne *et al.* (2016) reafirmam que as características do solo influenciam o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente das plantas. E, segundo Chindah *et al.* (2007) os níveis de óleo podem alterar a qualidade do sedimento, reduzir a porosidade e dificultar as trocas gasosas, e, conseqüentemente afetar a função fisiológica da planta. Duke e Burns (1999) também afirmam que as raízes são suscetíveis à contaminação do óleo à medida que este se instala no sedimento. Santos *et al.* (2011) reafirma que, “[...] diferentes sedimentos de mangue podem apresentar diferentes níveis de contaminação [...]”. Os autores chamam a atenção para o fato de que o sedimento pode agregar resíduos de óleo que podem retardar o completo desenvolvimento e função das raízes. Afetada a raiz, também é comprometido o crescimento da muda. E, de acordo com os resultados deste estudo na biomassa abaixo do solo, os autores Amin *et al.* (2017), também relatam que onde houve maior incidência de óleo utilizado no experimento foi onde resultou em maior redução da biomassa nas raízes.

A presença dessas esclereídes, com paredes altamente lignificadas, pode indicar maior proteção contra penetração de patógenos no sistema vascular, pois a lignificação proporciona uma maior resistência das paredes à ação de enzimas degradadoras, impede a difusão de toxinas dos microorganismos em direção ao hospedeiro, e restringe a colonização por patógenos (SILVA *et al.*, 2005).

A funcionalidade dos estômatos foi maior nas plantas controle e cultivadas na presença de 15 ml de óleo diesel (Tabela 2). Esta variável sugere o formato dos estômatos, uma vez que à medida que aumenta esta relação, mais elipsoide é o formato estomático e maior é a sua funcionalidade (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Neste trabalho, verificou-se que a funcionalidade dos estômatos das plantas cultivadas com maiores concentrações de óleo diesel (30 ml e 50 ml) foi menor que nas plantas controle, o que sugere interferência do contaminante nos processos foliares.

Certamente os componentes do óleo diesel, como o hidrocarboneto e outros, afetaram o crescimento e o desenvolvimento das mudas de *R. mangle*, no presente estudo, tornando-as subdesenvolvidas e comprometendo seu estabelecimento até a condição de árvore.

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a espécie de mangue *R. mangle* sofre efeitos negativos com a exposição ao óleo diesel B S-10. Esses efeitos vão se intensificando à medida que a quantidade de óleo diesel, disperso no sedimento, vai aumentando. O que confirma a suscetibilidade da espécie aos componentes do óleo diesel de acordo com a quantidade dispersa no ambiente. Isso dificulta o processo de recuperação de áreas degradadas pelo tensor. Esse estudo foi restrito à muda em crescimento e desenvolvimento inicial, portanto, recomenda-se que mais estudos sejam realizados até o estágio em que a plântula se estabeleça como uma árvore, pois, desta forma pode-se analisar os efeitos do óleo diesel a longo prazo. Mais pesquisas, nesta área, possibilitarão que mais técnicas para recuperação de áreas degradadas pelo contaminante sejam desenvolvidas e aperfeiçoadas.

RECONHECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, que financiou esta pesquisa. Aos Laboratório de Manguezais – LAMA, Centro de Recuperação de Manguezais – CERMANGUE, LEOG - Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica, pela estrutura e apoio para realização dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- AMIN, B.; NURRACHMI, I.; RUMIYATIN, R. (2017). **The effects of crude oil on growth and biomass of mangrove *Bruguiera sexangula* seedling in the intertidal area of Dumai city, Indonesia.** International Journal of Applied Environmental Sciences. V. 12, Nr. 3, 2017, pp.399-407, ISSN 0973-6077
- BAKER, J. M. (1981). Impact of the petroleum industry on the mangrove ecology. In: **Proceedings of the Seminar on the Petroleum Industry and the Nigerian Environment.** NNPC/FMW & H, Petroleum Training Institute, Warri, Nigeria, p.71-89.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. (2009). **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos.** Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CETESB. (2012). **Diesel.** FIT- Ficha de Informação Toxicológica. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. 2012. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Diesel.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2020.
- CHINDAH, A.C.; BRAIDE, S. A; AMAKIRI, J.; ONOKURHEFE, J. (2007). **Effect of crude oil on the development of mangrove (*Rhizophora mangle L.*) seedlings from Niger Delta, Nigeria.** In: Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317-9152, Vol. 7, Nº. 1, 2007, págs. 181-194.

- CONNOLLY, R.M.; CONNOLLY, F.N.; HAYES, M.A. (2020). **Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover**. Marine pollution bulletin, v. 153, p. 110965, 2020.
- DUKE, N. C.; BURNS, K. A. (1999). **Fate and effects of oil and dispersed oil on mangrove ecosystems in Australia. Townsville, Australia**. Australian Institute of Marine Science. <https://www.researchgate.net/publication/37629636>
- DUKE, N.C.; BURNS, K.A.; SWANNELL R.P.J.; DALHAUS, O.; RUPP, R.J. (2000). **Dispersant Use and a Bioremediation Strategy as Alternate Means of Reducing Impacts of Large Oil Spills on Mangroves: The Gladstone Field Trials**. Marine Pollution Bulletin, V.41, Issues 7–12, 2000, Pages 403-412.
- DUKE, N.C.; WATKINSON, A.J. (2002). **Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments**. Marine Pollution Bulletin, V. 44, Issue 11, 2002, Pages 1269-1276, ISSN 0025-326X, [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00221-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00221-7).
- DUKE, N.C. (2016). **Impactos de derramamento de óleo em manguezais: recomendações para operação planejamento e ação com base em uma revisão global**. Marine Pollution Bulletin, v. 109, n. 2, p. 700-715, 2016.
- FERNÁNDEZ, M.D.; PRO, J.; ALONSO, C.; ARAGONESE, P.; TARAZONA, J.V. (2011). **Terrestrial microcosms in a feasibility study on the remediation of diesel-contaminated soils**. Ecotoxicol Environ Saf 74:2133–2140.
- FOLK, R.L. (1968). **Petrolog of sedimentar rocks**. Hemphill's, Autins, 182p.
- FONSÊCA, I. L. A.; MOCHEL, F.R. (2016). **Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do Rio dos Cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil**. Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, São Luís, v. 26, n. 1, 2016. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/blabohidro/article/view/5441>. Acesso em: 31 jul. 2022
- GAITÁN, J.J.; PENÓN, E.A.; COSTA, M.C. (2005). **Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación com algunas propiedades del suelo**. Ciência Florestal 2005; 15(1): 33-41.
- GETTER, C. D.; BALLOU, T.G.; KOONS, C.B. (1985). **Effects of dispersed oil on mangroves synthesis of a seven-year study**. Marine Pollution Bulletin, v. 16, n. 8, p. 318-324, 1985.
- HAMMER Ø, HARPER DAT, AND RYAN PD (2001). **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.
- HAYES, M. O.; HOFF, R.; MICHEL, J.; SCHOLZ, D.; SHIGENAKA, G. (1992). **Introduction to coastal habitats and biological resources for oil-spill response**. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Seattle, WA (United States). Coastal Monitoring and Bioeffects Assessment Div., 1992.
- HOFF, R.; MICHEL, J. (2002/2014). **Oil spills in mangroves: planning & response considerations**. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Ocean Service, Office of Response and Restoration, 2002. Actualized in 2014.
- KÖPPEN, W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt.(Schluss). Geographische Zeitschrift 6: 657-679

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. (2016). **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas** / Pedro Walfir Martins e Souza Filho, organizador. - Brasília: MMA, SMCQ, 2016. 127 p. ISBN 978-85-63728-46-3.

MOCHEL, F.R. (2011). Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: **Martins MB; Oliveira, TG (eds). Amazônia Maranhense. Diversidade e Conservação**. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118.

MOCHEL, F.R. (2016). Manguezais da Amazônia Maranhense: conservação e recuperação ecológica. In: **Conferencia de La Tierra - paisajes, suelos y biodiversidad: desafíos para un buen vivir**. Garcia, M. e Seabra G. (orgs.), p. 602-618, Ed. Universidad Central de Chile, Santiago de Chile, 2016

NARDES, E.; DE CAMARGO, M.G.; LANA, P.C. (2013). **Efeitos de um derrame experimental de óleo bunker na sobrevivência e taxas de crescimento de plântulas de Laguncularia racemosa (Combretaceae)**. Revista Biotemas, v. 26, p. 1, 2013.

NASCIMENTO, A.D.; ZANANDREA, I.; MOCHEL, F.R. (2021). **Germination of propagules in condition of pre-dispersion herbivory of *Laguncularia racemosa* (L.) C. C. Gaertn. (Combretaceae) under different saline concentration**. International Journal of Biological and Natural Sciences. V.1, N.1, 2021. ISSN 2764-1813 DOI 10.22533/at.ed.8132116111.

ORGE, M.D.R. ; PORSCHE, I.J. ; COSTA, M.C. ; LIMA, J.S.; SOARES, S.E.D. ; JUSTINO, R. (2000). **Assessment of oil refinery waste on *Rhizophora mangle* L. seedling growth in mangroves of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil**. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 1 January 2000; 3 (4): 471-477. doi: <https://doi.org/10.1080/14634980008650683>

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRÁS. (2021). **Óleo Diesel B S-10**: Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ. 2021. Versão 13. Disponível em: <<https://www.vibraenergia.com.br/sites/default/files/pdfs/fispq-comb-oleodiesel-auto-oleodiesel-b-s10-petrobras-grid.pdf>>. Acesso em jan. 2022.

RATUCHNE, L. C.; KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; SCHAMNE, P.A. (2016). **Estado da Arte na Quantificação de Biomassa em Raízes de Formações Florestais**. Floresta e Ambiente [online]. 2016, v. 23, n. 3. ISSN 2179-8087. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.131515>.

SAMPAIO, C.J.S.; SOUZA, J.R.B.; DAMIÃO, A.O.; BAHIENSE, T.C.; ROQUE, M.R.A. (2019). **Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a diesel oil-contaminated mangrove by plant growth-promoting rhizobacteria**. 3 Biotech, v. 9, n. 4, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1686-8>

SÁNCHEZ-ARIAS, L. E.; REMOLINA, DARIO AVENDAÑO; ALVAREZ-LEÓN, R. (2013). **Evaluation of a recovery technique for mangrove soils affected by oil spills, using as indicator plantules of *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae)**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v. 8, n. 2, p. 79-88, 2013.

SANTOS, H.F.; CARMO, F.L.; PAES, J.E.S. *et al.* (2011). **Bioremediation of Mangroves Impacted by Petroleum**. Water Air Soil Pollut 216, 329-350. 2011. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0536-4>

- SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V.J. (2005). Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 183-194, 2005.
- SOARES, M.L.G, *et al.* (2006). **Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil):** resultados de 5 anos de monitoramento. *Geochimica Brasiliensis*, 20 (1)038-061,2006. Disponível em <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/234>.
- SUGUIO, K. (1973). Introdução a sedimentologia. Edgar Blucher, EDUSP, São Paulo, 357p.
- VALCARCEL, R.; VALENTE, F.D.W.; MOROKAWA, M.J.; CUNHA, F.V.N.; PEREIRA, C.R. (2007). **Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies.** *Revista Árvore*, vol. 31, núm. 5, setembro-outubro, 2007, pp. 923-930. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.
- VERÂNE, J.; SANTOS, N.C.P.; SILVA, V.L. *et al.* (2020). **Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove sediments using *Rhizophora mangle*.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111687, 2020.
- ZAR, J.H. (1996). **Biostatistical analysis 3rd edn.** Practice Hall, New Jersey.
- ZHANG, C.G.; LEUNG, K.K.; WONG, Y.S.; TAM, N.F.Y. (2007). **Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution.** *Environmental and Experimental Botany*, Volume 60, Issue 1, 2007, Pages 127-136, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.09.002>.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que as espécies de mangue *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*, sofrem diversos efeitos quando entram em contato com o óleo diesel ainda em fase de germinação e também de desenvolvimento inicial de seus propágulos. Ao analisar os resultados desses efeitos, constatou-se que cada espécie sofre efeitos diferentes que se intensificam dependendo da quantidade de óleo diesel à qual cada espécie é submetida.

A *L. racemosa* apresentou maior sensibilidade na fase de germinação de seus propágulos, resultando em maior índice de mortalidade destes. Esse resultado demonstrou que a espécie apresenta efeito agudo diante do tensor.

A *A. germinans* apresentou-se mais resistente ao óleo durante a germinação de seus propágulos, contudo, ela apresentou maior número de deformidades externas. Isso pode dificultar o processo de desenvolvimento da muda ou mesmo anula-la.

A *R. mangle*, no estágio de crescimento de suas mudas, apresentou um desenvolvimento estrutural (altura e diâmetro) decrescente à medida que o volume de óleo aumentou. Conforme o volume de óleo adicionado no sedimento das mudas foi aumentado, os

efeitos negativos também foram manifestados no aumento das anomalias externas, na diminuição da massa das raízes (biomassa abaixo do solo) frescas e secas e na taxa de mortalidade.

Recomenda-se que mais estudos sejam realizados para que se possa mensurar os efeitos a longo prazo para o desenvolvimento das três espécies até o estágio de seu estabelecimento no ambiente.

REFERÊNCIAS

BAKER, J. M. (1970). The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, v. 1, n. 1, p.27-44, Kidlington, 1970.

BEWLEY, J. D., BLACK, M. (1994). **Seeds: physiology of development and germination**. (2a ed.), New York: Plenum, 1994. 445.

CARNEIRO, A. S. L.; SANTOS, A. L. S.; BEZERRA, D. S.; AMARO, V. E.; COSTA, B. C. P.; BORGES, H. P.; AROUCHA, R. J. **Análise multitemporal da evolução de áreas de manguezais na ilha do Maranhão com dados de sensoriamento remoto**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 4918-4924. Internet. ISBN 978-85-17-00088-1. IBI: <8JMKD3MGP6W34M/3PSM3TR>. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3PSM3TR>

CENTRO DE APOIO CIÊNTIFICO EM DESASTRE – UFPR. (2004). **Explosão do navio Vicuña – Paranaguá e Litoral do Paraná – novembro/2004**. Disponível em: <[CETESB. \(2012\). **Diesel**. FIT- Ficha de Informação Toxicológica. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. 2012. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Diesel.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2020.](https://cenacid.ufpr.br/portal/missao/explosao-do-navio-vicuna-paranagua-e-litoral-do-parana-novembro2004/#:~:text=Explos%C3%A3o%20do%20navio%20Vicu%C3%B1a%20%E2%80%93%20Paranagu%C3%A1,quil%C3%B4metros%20do%20local%20da%20explos%C3%A3o.>>. Acesso em set.2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

CHEQUER, L.; BITENCOURT, J.A.P.; WAITE, C.C.C.; SANTOS, E.S.; FRANCO, D.C.; ALVES, R.; CRAPEZ, M.A.C. (2017). **Response of mangrove propagules to the presence of oil- and hydrocarbondegrading bacteria during an experimental oil spill**. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 2017;45(4): 814-821. Disponível em: doi:10.3856/vol45-issue4-fulltext-17. Acesso em 10 jan.2022.

CHINDAH, A.C.; BRAIDE, S. A; AMAKIRI, J.; ONOKURHEFE, J. (2007). **Effect of crude oil on the development of mangrove (*Rhizophora mangle L.*) seedlings from Niger Delta, Nigeria**. In: Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317-9152, Vol. 7, Nº. 1, 2007, págs. 181-194.

CORRÊA, J.N; AZEVEDO, J.W; OLIVEIRA, A.; MOCHEL, F.R. (2021). Salinity assessment in the germination of laguncularia racemosa (L.) c. f. gaertn. for selecting mangrove restoring sites. In: **A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2** / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.263210410>.

DUKE, N.C.; ELLISON, J.; BURNS, K.A. (1998a). **Surveys of oil spill incidentes affecting mangrove habitat in Australia: a preliminary assessment of incidents, impacts on mangroves, and**

recovery of deforested areas. APPEA J., 646–654.

FINOTTI, A. R., CAICEDO, N. O. L., RODRIGUEZ, M. T. R. (2001). **Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 6. N.2, p. 29-46.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. (1978). Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. *Mar. Tech. Soc. J.*, v. 2, n. 4, p. 18-27, 1978.

ICMBIO. (2018). **Atlas dos Manguezais do Brasil** / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p.:il

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2016). **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas** / Pedro Walfir Martins e Souza Filho, organizador. - Brasília: MMA, SMCQ, 2016. 127 p. ISBN 978-85-63728-46-3.

MOCHEL, F. R. (1997). Mangrove Ecosystems in São Luís Island, Maranhão, Brazil. In: KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. de L.; DIOP, E. H. S. **Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa.** Paris, UNESCO. 1997.

MOCHEL, F.R, *et. al.* (2002). Degradação dos Manguezais na Ilha de São Luís (MA): processos naturais e impactos antrópicos. In: PROST, M.T.R.C. e MENDES, A. (Org.). **Ecosistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 114-131.

MOCHEL, F.R. (2011). Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: **Martins MB; Oliveira, TG (eds). Amazônia Maranhense. Diversidade e Conservação.** Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118.

MOCHEL, F.R.; FONSECA, I. L.A. (2019). Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão In: **Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2.** Mochel, Flávia Rebelo. (Org.). 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 2, p. 59-71. NOAA, 2014. **Oil spills in mangroves: planning & response considerations.** Disponível em: < <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/877> >. Acesso em 02 jan.2022.

HOFF, R.; MICHEL, J. (2002/2014). **Oil spills in mangroves: planning & response considerations.** National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Ocean Service, Office of Response and Restoration, 2002. Actualized in 2014.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. (Petrobrás). **Óleo Diesel: Informações Técnicas.** (versão março/2021). Disponível em: < https://hmg.hotsitespetrobras.com.br/data/files/54/52/B9/F1/6942C710670F7FA700000000/Manual-de-Diesel_2021.pdf >. Acesso em dez. 2021.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M. L. G. & DE-ROSA, T. (2000). Brazilian mangroves. In: **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 3, n. 4, p. 561-570, 2000.

SOARES, M.L.G., CHAVES, F.O., CORREA, F.M. E SILVA JR., C. M. G. (2003). **Diversidade Estrutural de Bosques de Mangue e sua Relação com Distúrbios de Origem Antrópica:** o caso da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro), Anuario do Instituto de Geociências – UFRJ, 26: 101 – 116.

SOARES, M.L.G, SILVA JUNIOR, C.M.G, CAVALCANTI, V.F, ALMEIDA, P.M.M, MONTEIRO, A.S., CHAVES, F.O., DUQUE ESTRADA, G.C, BARBOSA, B. (2006).

Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): resultados de 5 anos de monitoramento. *Geochimica Brasiliensis*, 20 (1)038-061,2006. Disponível em <<https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/234>>.

SZKLO, A.; ULLER, V.C. (2012). **Fundamentos do refino de petróleo: tecnologia e economia.** Marcio Henrique P. Bonfá [organizadores]. – 3.ed., atual. e ampl. – Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 344p. ISBN 978-85-7193-302-6.

THOMPSON, F.; THOMPSON, C.(org). 2020. **Biotecnologia Marinha.** – Rio Grande: Ed. FURG, 2020. 855p.:il.

ZHANG, C.G.; LEUNG, K.K.; WONG, Y.S.; TAM, N.F.Y. (2007). **Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution.** *Environmental and Experimental Botany*, Volume 60, Issue 1, 2007, Pages 127-136, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.09.002>.

APÊNDICES

1) Quadro-Sumário das Normas da Revista Submetida (Artigo referente ao Capítulo 2)

Artigo 2: EFEITOS DO ÓLEO DIESEL AUTOMOTIVO NA GERMINAÇÃO DE PROPÁGULOS DE MANGUE DE <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. E <i>Laguncularia racemosa</i> C.F. GAERTN	
Revista	Revista Acta Amazônica
ISSN	1809-4392 versão online 0044-5967 versão impressa
Fator de impacto	1.126 (2020)
Meio de divulgação	Online e Impressa
Periodicidade	Trimestral
Site	https://acta.inpa.gov.br/
Diretrizes para autores	https://acta.inpa.gov.br/guia_ingles.php
Qualis CAPES 2013-2016	B1 na área de Ciências Ambientais
Indexadores	SciELO Brasil

2) Quadro-Sumário das Normas da Revista a Submeter (Artigo referente ao Capítulo 1)

Artigo 1:	
Revista	International Journal of Biological and Natural Sciences
ISSN	2764-1813
Fator de impacto	0,526
Meio de divulgação	Online
Periodicidade	Contínuo
Site	
Diretrizes para autores	
Qualis CAPES 2013-2016	B3
Indexadores	

3) E-mail com a Submissão do Artigo 2 na Revista



Acta Amazonica - Manuscript ID AA-2022-0234

Externa

Caixa de entrada



ter., 9 de ago.
09:23

Act Amaz Online <onbehalf@manuscriptcentral.com>

para mim, joselia_castro, flavia.mochel, james.werllen, ilisandra.zanandrea, lima.leonardo, aline.msl, mar

09-Aug-2022

Dear Mrs. Martins,

Your manuscript entitled "Efeitos do óleo diesel automotivo na germinação de propágulos de mangue de *Avicennia germinans* (L.) L. e *Laguncularia racemosa* C.F. Gaertn" has been submitted to Acta Amazonica.

Your manuscript ID is AA-2022-0234.

In due time the Editorial Office will inform you the Editor's Decision.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence.

If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/aa-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/aa-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Acta Amazonica.

With kind regards,

Acta Amazonica Editorial Office