



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ÍTALA GABRIELA TAVARES LIMA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DO ÓLEO CRU PESADO SOBRE AS
COMUNIDADES MACROBENTÔNICAS DE SUBSTRATOS CONSOLIDADOS
EM PERNAMBUCO (BRASIL)**

Recife

2022

ÍTALA GABRIELA TAVARES LIMA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DO ÓLEO CRU PESADO SOBRE AS
COMUNIDADES MACROBENTÔNICAS DE SUBSTRATOS CONSOLIDADOS
EM PERNAMBUCO (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Departamento de Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof Dr Ralf Schwamborn

Coorientador: Dr Edson Vasconcelos

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4 / 2222

L732a Lima, Ítala Gabriela Tavares.
Análise dos impactos do óleo cru pesado sobre as comunidades macrobentônicas de substratos consolidados em Pernambuco (Brasil) / Ítala Gabriela Tavares Lima. 2022.
82 f: figs., tabs., abrev. e siglas.

Orientador: Prof. Dr. Ralf Schwamborn.

Coorientador: Prof. Dr. Edson Regis Tavares Pessoa P. de Vasconcelos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife, 2022.

Inclui referências, apêndice e anexo.

1. Oceanografia. 2. Macrobentos. 3. Derrame de óleo. 4. Topo recifal. 5. Fotoquadrados. I. Schwamborn, Ralf (Orientador). II. Vasconcelos, Edson Regis Tavares Pessoa P. de (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022 - 403

ÍTALA GABRIELA TAVARES LIMA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DO ÓLEO CRU PESADO SOBRE AS
COMUNIDADES MACROBENTÔNICAS DE SUBSTRATOS CONSOLIDADOS
EM PERNAMBUCO (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Departamento de Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Aprovada em: 23 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Ralf Schwamborn (Orientador) - Presidente
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Dr Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de Vasconcelos (Coorientador)
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Prof^a Dr^a Sigrid Neumann Leitão – Titular Interna
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Prof Dr Ralf Tarciso Silva Cordeiro – Titular Externo
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

Prof Dr Jesser Fidelis de Souza Filho – Suplente Interno
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Prof Dr Carlos Daniel Pérez - Suplente Externo
(Universidade Federal de Pernambuco - UFPE)

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Lucyana e Aauto, graças aos senhores cheguei até aqui e esse é só o começo.

AGRADECIMENTOS

Todas as trajetórias de vida apresentam dificuldades, que tornam nossas conquistas especiais e únicas. Não ocorre diferente na trajetória acadêmica. Essa etapa da minha carreira acadêmica, tornou-se mais leve graças aos que andam ao meu lado. Agradeço primeiramente a Deus e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu persistisse, sem vocês não teria conseguido.

Ao meu querido orientador Prof Dr Ralf Schwamborn, agradeço o acolhimento, confiança, paciência e atenção no decorrer desses anos. Gratidão por estar comigo neste processo que foi ainda mais dificultado pela pandemia.

Ao Doutor Edson Vasconcelos, por ter aceitado ser meu coorientador e contribuir com a construção do trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia, minha gratidão e admiração às professoras e professores que contribuíram para minha formação.

A CAPES que forneceu minha bolsa de mestrado.

Aos projetos de análise de impacto do derrame de óleo CNPq e FACEPE, agradeço por disponibilizarem algumas diárias e a câmera utilizada para o desenvolvimento da presente pesquisa. Em especial aos coordenadores Prof Dr Gilvan Takeshi Yougi e Prof Dr Jesser Fidelis de Souza Filho.

Aos colegas e amigos que fiz no laboratório de zooplâncton marinho da UFPE: Richard Wonder, Claudeilton Santana, Kaio Henrique, Mikaella, Gabriel, Cynthia Lima, Cinthya Lima, Anne Costa, Morgana Loyola; Denise Costa; Glenda Mugrabe, Gabriela e todos os demais participantes que me aconselharam, ensinaram, ajudaram e deram conforto durante esta jornada, sou grata a todos.

Agradeço aos meus colegas de turma de mestrado e de profissão, em especial aos que foram mais próximos a mim: Kaio, Isaias, Davy e Rayssa. Da forma que podíamos, demos apoio uns aos outros, agradeço todo auxílio, espero encontrar vocês em experiências futuras.

Aos meus amados pais, Adauto e Lucyana agradeço por todo apoio e educação, obrigada por acreditarem em mim! Sou grata a minha grande e feliz família, minha tia Marluce, que tanto admiro, meus irmãos Márcia, Maristela, Felipe, Marília e Pollyanna,

meus cunhados Wellington, Paulo e Viviane, aos meus sobrinhos, Emilly, Sofia, M^a Vitória, Davi, Oscar e José. Agradeço a Deus todos os dias por ter todos vocês comigo, sorte grande a minha, amo vocês. A minha irmã Polly, dedico algumas palavras especiais, agradeço a você por ter me ajudado em todas as coletas, você foi minha ajudante mais dedicada, sem requisitar nada em troca, esteve presente em todos os momentos! Serei eternamente grata. Obrigada família, por cada abraço, isso tudo é por conta de vocês e para vocês.

RESUMO

Em agosto de 2019, o litoral Brasileiro foi palco de um dos maiores crimes ambientais marinhos registrados no país. O derrame de óleo cru pesado alcançou praticamente toda costa brasileira e seus diferentes habitats. Foram então iniciadas pesquisas para avaliar os níveis de impacto sociais e ambientais. Os *beachrocks* do litoral nordestino ficaram cobertos por óleo, apresentando resíduos do derrame impregnado nas rochas mesmo após 2 anos do impacto. O objetivo do presente estudo, foi identificar possíveis impactos nas comunidades macrobentônicas sésseis e semissésseis que vivem em substratos consolidados de praias atingidas em níveis distintos. As campanhas de coleta ocorreram em três praias do litoral Pernambucano: Itapuama, Carneiros e Pontal do Cupe, classificadas em alta, moderada e baixa intensidade de impacto, respectivamente. O critério adotado para classificação de impacto foi o percentual de óleo impregnado nas rochas. As áreas foram escolhidas por sua relevância socioeconômica e ambiental. Foi utilizado o método não destrutivo do fotoquadrado. A caracterização das áreas foi feita com o auxílio de uma fita métrica de 10 metros e registros fotográficos de um quadrado de PVC (50x50cm) a cada metro, resultando em 10 fotos por transecto. A rugosidade foi obtida com o auxílio de uma corrente de elos e uma trena. O software *Coral Point Count with Excel extensions* (CPCe), foi utilizado para caracterização da cobertura biótica e abiótica dos substratos. Para analisar os resultados, foram utilizados o programa computacional R e o software Primer 6. Apesar do forte padrão demonstrado no gradiente de distribuição demonstrado tanto nos descritores ecológicos, quanto nas manchas de óleo impregnadas nas rochas, foram necessárias análises multivariáveis, para a identificação do impacto do óleo sobre a comunidade bentônica. Os resultados indicam ainda que os resíduos de óleo monitorados, ao longo de um ano, estão sendo intemperizados. Por fim, a espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus* foi observada nas duas áreas com óleo impregnado. Identificou-se que apesar de as populações de *C. bisinuatus* terem sido afetadas pelo derrame de óleo, estas foram predominantes nas áreas com resíduos e estão se recuperando.

Palavras-chave: macrobentos; derrame de óleo; topo recifal; fotoquadrados.

ABSTRACT

In August 2019, the Brazilian coast was the scene of one of the largest marine environmental crimes recorded in the country. The heavy crude oil spill reached practically the entire Brazilian coastline and its different habitats. Research was then initiated to assess the social and environmental impact levels. The beachrocks of the northeastern coast were covered by oil, showing residues of the spill impregnated in the rocks even 2 years after the impact. The objective of this study was to investigate possible impacts on sessile and semi-sessile macrobenthic communities living on consolidated substrata of beaches affected at different levels. The collection campaigns took place in three beaches of the Pernambuco coast: Itapuaema, Carneiros and Pontal do Cupe, classified as high, moderate and low intensity of impact, respectively. The criterion adopted for the impact classification was the percentage of oil impregnated in the rocks. The areas were chosen for their socioeconomic and environmental relevance. The non-destructive phototranssect method was used. The characterization of the areas was done with the help of a 10 meter tape measure and photographic records of a PVC square (50x50cm) every meter, resulting in 10 photos per transect. The rugosity was obtained with the aid of a link chain and a tape measure. The software Coral Point Count with Excel extensions (CPCe), was used for characterization of biotic and abiotic coverage of the substrates. The R computer program and 'Primer 6' software were used to analyze the results. Despite the strong pattern shown in the distribution gradient demonstrated in both the ecological descriptors and the oil slicks impregnated in the rocks, multivariable analyses were necessary to identify the impact of oil on the benthic community. The results further indicate that the monitored oil residues, over the course of a year, are being weathered. Finally, the cirripedid species *Chthamalus bisinuatus* was observed in both oil-impregnated areas. It was identified that although *C. bisinuatus* populations were affected by the oil spill, they were predominant in the oiled areas and are recovering.

Keywords: macrobenthos; oil spill; reef tops; photoquadrats.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de localização da praia de Itapuama (Pernambuco - BR), classificada com alta intensidade de impacto. Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas; os transectos e quadrados	31
Figura 2 –	Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Onde, A) Mão manchada com óleo viscoso, em 17/09/2020 e B) Fração densa de um fragmento de óleo no fundo de uma poça d'água e fração menos densa na camada superficial da água, em 10/07/2021	32
Figura 3 –	Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Manchas de óleo impregnadas nas rochas por toda região estudada, em Itapuama. Fotos tiradas em 16/08/2020 e 17/09/2020	32
Figura 4 –	Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Manchas de óleo cru pesado impregnado nas rochas. Fotos tiradas em, 14/11/2020, 16/08/2020; 17/09/2020	33
Figura 5 –	Mapa de localização da praia de Carneiros (Pernambuco - BR). Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas do topo recifal, os transectos e quadrados; o retângulo destaca a região em que ainda é possível visualizar óleo impregnado na rocha	35
Figura 6 –	Caracterização do impacto, onde A) e B) Evidenciam período agudo do impacto ambiental, no ano de 2019, com manchas de óleo recém impregnadas nas rochas da área A1; C) Mãos de voluntário, em 2019, no período da limpeza do óleo cru pesado e D) Fragmento de óleo encontrado na faixa de areia, zona “do deixa”, em junho de 2021. Todas as fotos foram registradas na área classificada, neste trabalho, com moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR)	36
Figura 7 –	Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo impregnadas nos beachrocks, após um ano do derrame, em	

	novembro de 2020, na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR)	37
Figura 8 –	Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo impregnadas nos beachrocks, no qual, A) Exemplo de fotoquadrado na área A1 e B) Mancha de óleo impregnada brilhosa, após raspagem para coleta de amostra de óleo. Foto de outubro de 2020. Na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR)	38
Figura 9 –	Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo em destaque impregnado nos beachrocks, em agosto de 2020. Na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR)	38
Figura 10 –	Mapa de localização da praia Pontal do Cupe (Pernambuco – BR). Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas do topo recifal, bem como os transectos e quadrados	39
Figura 11 –	Topo recifal emerso entremarés, na área de estudo classificada com baixo nível de impacto, praia Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 15/11/2020 e 17/10/2020, respectivamente	40
Figura 12 –	Topo recifal da área com baixo nível de impacto por óleo cru, na praia do Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). A- Atividade turística nas piscinas naturais e pisoteio no topo recifal emerso, 17/10/2020 e 19/09/2020; B- Atividade turística com pisoteio no topo recifal e atividade de pesca artesanal, em 15/11/2020 e 11/06/2021	41
Figura 13 –	Caracterização do impacto por óleo cru pesado, no Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). A) Manchas de óleo retiradas por voluntários e agentes da prefeitura logo após a chegada do óleo na praia, em 19 de outubro de 2019; B) Óleo impregnado no pé de uma banhista, meses após o derrame no ano de 2020; C) Atividade de limpeza do óleo no período do derramamento, outubro de 2019	42
Figura 14 –	Área coberta (%) por óleo cru pesado presente nos fotoquadrados, presente nas três áreas de estudo. Onde, Alta: Alta intensidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas (Itapuama, Pernambuco – BR); Mod.: Intensidade moderada de óleo no ambiente (Carneiros,	

	Pernambuco – BR); Baixa: Baixa intensidade de óleo cru pesado (Pontal do Cupe, Pernambuco – BR)	47
Figura 15 –	Amostras de óleo cru pesado, retiradas das rochas, em novembro de 2020. A) Área com alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR) e B) Área com intensidade moderada de impacto (Carneiros, Pernambuco - BR)	49
Figura 16 –	Percentual de cobertura viva, mancha de óleo e substrato, para as três áreas de estudo; onde Baixa: região classificada com baixa intensidade de óleo cru pesado, Mod.: moderada intensidade de óleo cru pesado e Alta: alta intensidade de óleo cru pesado. Os táxons representados são aqueles que tiveram porcentagem superior a 3% de cobertura total, em “Outros” são os demais táxons. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe	50
Figura 17 –	Boxplot da área de cobertura viva para todas as áreas de estudo. Onde, Alta: A intensidade de óleo cru pesado alta (Itapuama); Mod.: Intensidade de óleo cru pesado foi classificada como moderada (Carneiros); Baixa: Intensidade de óleo cru pesado baixa (Pontal do Cupe). As áreas de estudo estão situadas no litoral sul de Pernambuco - Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe	51
Figura 18 –	Representação gráfica dos índices ecológicos da cobertura viva macrobentônica sésil presente nas áreas com diferentes intensidades de impacto, Alta – Alta intensidade de óleo cru pesado (Itapuama), Mod. – Intensidade moderada (Carneiros), Baixa – Intensidade baixa (Pontal do Cupe). A) Refere-se ao índice de diversidade de Shannon (H') e B) Índice de equitabilidade de Pielou (J'). As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe	52
Figura 19 –	Percentual de cobertura de <i>Chthamalus bisinuatus</i> vivos e mortos (espaços vazios), presentes na zona afetada e Referência da área de Mod. intensidade de impacto	54

- Figura 20 – Percentual de cobertura dos táxons predominantes, *Chthamalus bisinuatus* (*Cht. b.*), *Brachidontes* (*Bra.*), *Palythoa caribaeorum* (*Paly. c.*), *Petalconchus* (*Peta.*) e *Palisada perforata* (*Pali. p.*). Assim como o percentual de cobertura de substrato (Subs.) e manchas de óleo (M. de óleo), presentes nas áreas de estudo classificadas de acordo com a intensidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas, onde, A) Alta - Intensidade de óleo cru pesado alta (Itapuama); B) Mod. - Local com nível de impacto moderado (Carneiros) e C) Baixa - Intensidade de óleo cru pesado baixo (Pontal do Cupe). As áreas de estudo estão situadas no litoral sul de Pernambuco - Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe 55
- Figura 21 – Relação linear entre a área de cobertura (%) *Chthamalus bisinuatus*, a área de cobertura de óleo cru pesado e a linha de tendência, para área de estudo com intensidade de impacto considerada Alta (Praia de Itapuama, Pernambuco, Brasil) 56
- Figura 22 – Escalonamento multidimensional (MDS), com os dados de cobertura viva, evidenciando as três áreas de estudo, por cor - Alta (Itapuama, Pernambuco - Brasil), Mod. (Carneiros, Pernambuco - Brasil) e Baixa (Pontal do Cupe, Pernambuco - Brasil); assim como, as zonas dos substratos consolidados, diferenciadas por símbolos fechados e abertos - Zona 1, próximo à costa e Zona 2, próximo a face do mar, respectivamente 57
- Figura 23 – Processo de intemperismo do óleo cru pesado impregnado na área de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). A) 15/01/2021, B) 12/02/2021 e C) 17/05/2022, mesma localização em diferentes meses 58
- Figura 24 – Imagens evidenciando manchas de óleo impregnado nas rochas por setas amarelas; espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus*, vivas por setas azuis e mortas por setas vermelhas. Na área de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em, 17/09/2020 e 16/08/2020 59

Figura 25 –	Imagens demonstrando a espécie de cirripédio, <i>Chthamalus bisinuatus</i> , viva (setas azuis) próximas e sobre manchas de óleo cru pesado impregnado nas rochas (setas amarelas). Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 14/10/2020, 11/06/2021, 15/01/2021 e 14/11/2020, respectivamente	59
Figura 26 –	Biofilme por cima de fragmento de óleo coletado como amostra para análises químicas, na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 07/01/2022	60
Figura 27 –	Imagens de uma rocha e zoom da mesma, no qual é possível visualizar espaços vazios da espécie <i>Chthamalus bisinuatus</i> morta, na área apontada por setas vermelhas e manchas de óleo cru, apontadas por setas amarelas. Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 17/09/2020	61
Figura 28 –	Imagens de uma rocha e zoom da mesma, no qual é possível visualizar espécimes de <i>Chthamalus bisinuatus</i> vivas. Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR)	61
Figura 29 –	Caracterização do impacto, coleta de amostra de óleo cru pesado, na região de alta intensidade de impacto	62
Figura 30 –	Fragmentos de óleo na faixa de areia na área de baixo nível de impacto (Pontal do Cupe, Pernambuco - BR)	62
Figura 31 –	Fragmentos de óleo encontrados na área de baixa intensidade de impacto (Pontal do Cupe, Pernambuco - BR). A) Amostras devidamente armazenadas em pote inox para posterior análise de toxicidade e B) Fragmentos de óleo encontrados na faixa de areia. Fotos tiradas em 11/06/2021	63
Figura 32 –	Diferença entre populações de <i>Chthamalus bisinuatus</i> presentes nas Zonas Referência x Afetada, na área Mod. (Carneiros, Pernambuco – BR). Em que, A) Evidencia a população de <i>C. bisinuatus</i> na Zona Referência e B) População de <i>C. bisinuatus</i> na Zona Afetada, ou seja, com resíduos de óleo cru	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultados de Mann-Whitney para área de cobertura viva, diversidade e equitabilidade dos táxons estudados, assim como para rugosidade dos substratos e porcentagem de óleo presente nas rochas. As comparações foram feitas com combinação par-a-par, para as três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo ainda presente no ambiente, Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cup; Valores de p	48
Tabela 2 –	Valores de máximo, mínimo e média, da área de cobertura viva, diversidade (Índice de Shannon) e equitabilidade (Índice de Pielou) dos táxons amostrados. Os dados correspondem às três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas; Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. Coletas realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021, para Carneiros e Pontal do Cupe	50
Tabela 3 –	Percentual da média, mínimo e máximo do óleo cru pesado impregnado nas rochas, por quadrados. Os dados correspondem às três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas; Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021, para Carneiros e Pontal do Cupe	53
Tabela 4 –	Percentual da média, mínimo e máximo da espécie <i>Chthamalus bisinuatus</i> vivas e mortas (espaços vazios), presentes na área de estudo	

com Mod. intensidade de impacto (Carneiros - Pernambuco, Brasil).

As coletas foram realizadas de julho de 2020 a agosto de 2021

53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	<i>Analysis of variance</i> (Análise de variância)
APACC	Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais
BR	Brasil
CPCe	<i>Coral Point Count with Excel extensions</i> (Contagem de pontos de corais com Excel e extensões)
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
MDS	<i>Multidimensional scaling</i> (Escalonamento multidimensional)
Mod.	Área de estudo classificada com moderada quantidade de óleo (Carneiros - PE)
ONG	Organização Não Governamental
PE	Pernambuco
PERMANOVA	<i>Permutational multivariate analysis of variance</i> (Permutação multivariada para análise de variância)
SD	<i>Standard deviation</i> (Desvio padrão)
SIMPER	<i>Similarity percentages Analysis</i> (Análise de Porcentagem de Similaridade)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	DERRAMES DE ÓLEO CRU PESADO NO MUNDO	21
1.2	DERRAME DE ÓLEO CRU PESADO NO BRASIL (2019)	22
1.3	SUBSTRATOS CONSOLIDADOS DE PERNAMBUCO E O DERRAME DE ÓLEO	22
1.4	ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS DE SUBSTRATOS CONSOLIDADOS ENTREMARÉS	23
1.5	POSSÍVEIS IMPACTOS DO ÓLEO NAS COMUNIDADES MACROBENTÔNICAS	24
1.6	IMPACTOS JÁ RELATADOS NOS ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS, APÓS DERRAME DE ÓLEO NO BRASIL, 2019	25
1.7	MONITORAMENTO DE ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS SÉSSEIS EM ÁREAS AFETADAS POR DERRAME DE ÓLEO	26
2	HIPÓTESE	28
3	OBJETIVOS	29
3.1	OBJETIVO GERAL	29
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
4	ÁREAS DE ESTUDO	30
4.1	AFLORAMENTOS ROCHOSOS DE ITAPUAMA (Alta)	30
4.2	TOPO RECIFAL EMERSO DE CARNEIROS (Moderada)	33
4.3	TOPO RECIFAL EMERSO DO PONTAL DO CUPE (Baixa)	39
5	METODOLOGIA	43
5.1	CARACTERIZAÇÃO RECIFAL	43
5.1.1	Identificação do impacto	43
5.1.2	Caracterização da cobertura viva por Zonas	43
5.1.3	Coleta de dados biológicos	43
5.1.4	Método fotoquadrado	43
5.1.5	Coleta de espécimes macrobentônicos	44
5.1.6	Rugosidade	45
5.2	IDENTIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS	45

5.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
6	RESULTADOS	47
7	DISCUSSÃO	64
7.1	INTEMPERISMO DO ÓLEO CRU PESADO NAS ÁREAS DE ESTUDO	64
7.2	CHTHAMALUS BISINUATUS x DERRAMES DE ÓLEO	65
7.3	GRADIENTE DE DIVERSIDADE NAS ÁREAS DE ESTUDO	67
8	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS	70
	ANEXO A – TABELA DE COMPOSIÇÃO DOS ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS E OS TIPOS DE PAVIMENTOS ENCONTRADOS NOS TOPOS RECIFAIS DO BAIXA: BAIXA INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO, PONTAL DO CUPE; MOD.: INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO MODERADA, CARNEIROS; ALTA: ALTA INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO, ITAPUAMA. CAMPANHAS DE COLETAS REALIZADAS DE AGOSTO DE 2020 A AGOSTO DE 2021, PARA ITAPUAMA E JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021 PARA CARNEIROS E PONTAL DO CUPE	78
	ANEXO B – TABELA COM DADOS ESTATÍSTICOS PARA <i>CHTHAMALUS BISINUATUS</i> EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE ÓLEO NAS ÁREAS EM QUE AINDA HÁ PRESENÇA DE ÓLEO IMPREGNADO NAS ROCHAS; ONDE MOD. REPRESENTA A ÁREA COM INTENSIDADE MODERADA DE ÓLEO (CARNEIROS, PERNAMBUCO – BR) E ALTA REFERE-SE A ÁREA COM INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO ALTA (ITAPUAMA, PERNAMBUCO – BR)	79
	ANEXO C – TABELA COM RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS PARA <i>CHTHAMALUS BISINUATUS</i> VIVAS E MORTAS, COMPARANDO ZONA AFETADA (COM RESÍDUOS DE ÓLEO IMPREGNADO) E ZONA REFERÊNCIA (SEM RESÍDUO DE ÓLEO IMPREGNADO),	

PRESENTES NA ÁREA DE MODERADA INTENSIDADE DE IMPACTO (CARNEIROS, PERNAMBUCO – BR)	79
ANEXO D – TABELA DE SIMILARIDADE ENTRE AS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA), MOD. (CARNEIROS) E BAIXA (PONTAL DO CUPE) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; M. S. – MÉDIA DA SIMILARIDADE; SIM./DP. – DESVIO PADRÃO DA SIMILARIDADE; CONT. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021	79
ANEXO E – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA) E MOD. (CARNEIROS) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021	80
ANEXO F – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE MOD. (CARNEIROS) E BAIXA INTENSIDADE DE IMPACTO (PONTAL DO CUPE). A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021	81
ANEXO G – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA) E BAIXA (CARNEIROS) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA	

**DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA
ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA
DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE
JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021**

82

1 INTRODUÇÃO

1.1 DERRAMES DE ÓLEO CRU PESADO NO MUNDO

Derrames de óleo no ambiente marinho vêm sendo intensificados com a evolução do transporte marítimo, aliada a globalização econômica extremamente dependente do petróleo e seus produtos (ZHANG *et al.*, 2021). As principais causas dos derrames, consistem em falha humana e defeitos mecânicos em plataformas offshore, que ocorrem durante o transporte, uso, exploração e armazenamento do petróleo e seus derivados (CRONE; TOLSTOY, 2010; CAKIR; SEVGILI; FISKIN, 2021; GHORBANI; BEHZADAN, 2021).

Nesse sentido, diversos casos de derrames de óleo em grande escala foram relatados nas últimas décadas, por exemplo: o encalhe e vazamento do super petroleiro Torrey Canyon na costa do Reino Unido, em 1967 (119.000 toneladas de óleo derramado); o petroleiro *Sea Empress*, no ano de 1996, no Reino Unido (72.000 toneladas); o derramamento de óleo de *Prestige* na Espanha, em 2002 (mais de 60.000 toneladas); e a explosão da plataforma *Deepwater Horizon*, em 2010, que derramou cerca de 600.000 toneladas de óleo no Golfo do México. Todos acarretaram danos ao ecossistema marinho e até hoje são feitos estudos com o intuito de quantificar os prejuízos ambientais (LAW, 2011; WELLS, 2017; SALIHOGLU; BAL BEŞİKÇI, 2021).

Dessa forma, sabe-se que esses eventos são recorrentes e quando alcançam a costa podem causar efeitos negativos diretos tanto a saúde humana, como dos organismos que habitam ecossistemas costeiros, prejudicando, por consequência, fatores socioeconômicos na região atingida (WANG *et al.*, 2020; DE OLIVEIRA ESTEVO *et al.*, 2021). Com o objetivo de avaliar esses danos, identificou-se que as consequências nas comunidades marinhas atingidas variam em função das seguintes variáveis: tempo de exposição; quantidade/composição do óleo e características fisiológicas das espécies comumente encontradas no local (BARRON *et al.*, 2020).

O Brasil, por sua vez, também apresenta casos recorrentes de derrames de óleo, como o vazamento ocorrido na praia de Tramandaí, em 2012 (MARQUES *et al.*, 2017). Assim como o vazamento de óleo na Baía de Guanabara, responsável por despejar 1.300m³ de óleo nas águas, em janeiro de 2000 (SOARES-GOMES *et al.*, 2010). Mesmo com a evolução de tecnologias que visam mitigar acidentes do tipo, a costa brasileira

continua sendo testemunha desses e outros incidentes, bem como o derrame de grandes proporções mais recente ocorrido no ano de 2019, que atingiu principalmente o litoral nordestino (ZACHARIAS; FORNARO, 2020).

1.2 DERRAME DE ÓLEO CRU PESADO NO BRASIL (2019)

Desde agosto de 2019 até março de 2020, chegaram ao litoral Brasileiro toneladas de óleo cru pesado de origem venezuelana, culminando em um dos maiores desastres marinhos já relatados no país (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020; MAGRIS; GIARRIZZO, 2020). Ainda com causas e responsáveis desconhecidos, os esforços de voluntários no período podem ter sido significativos para atenuar os impactos ao meio ambiente, frente a negligência governamental (SOARES *et al.*, 2020). Mesmo com esse esforço, danos aos organismos marinhos e prejuízos a comunidade pesqueira já são relatados, reforçando a importância de estudos relativos aos efeitos de curto, médio e longo prazo (ARAÚJO; RAMALHO; MELO, 2020; SOARES *et al.*, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2021).

A catástrofe ambiental atingiu cerca de 3km de área costeira, estima-se que mais de 7.000 toneladas do óleo cru pesado foram espalhadas por correntes marinhas ao longo do litoral brasileiro e coletadas, alcançando cerca de 900 praias (IBAMA, 2020). Segundo Zacharias e colaboradores (2021), estima-se que o volume de óleo total derramado tenha sido entre 5.000 - 12.500m³, volume este considerado o maior que atingiu a costa brasileira desde 2004. Após a fase crítica do derrame, foi identificada uma quantidade significativa de óleo encalhada em afloramentos rochosos e topos recifais no litoral nordestino, análises químicas comprovam que o óleo presente nas rochas é o mesmo do derrame (LOURENÇO *et al.*, 2020).

1.3 SUBSTRATOS CONSOLIDADOS DE PERNAMBUCO E O DERRAME DE ÓLEO

Os substratos consolidados favorecem a fixação dos organismos bentônicos, estes atuam modificando os substratos sob o qual sobrevivem. São exemplos de substratos consolidados, de zona intertidal, presentes no litoral de Pernambuco: 1 - Os recifes de arenito ou *beachrocks*, estes apresentam cirripédios, algas e corais compondo diferentes zonas do topo recifal; 2- Os recifes coralinos, por sua vez, são caracterizados por alto endemismo e baixa diversidade de fauna de corais; 3- Por fim, os afloramentos rochosos, estes apresentam cirripédios como organismo predominante (LEÃO; KIKUCHI; TESTA, 2003; GUIMARÃES *et al.*, 2017; GUIMARÃES; MARIANO; SÁ, 2017).

Cada um dos tipos de substratos citados poderá responder de forma distinta a um evento de derrame de óleo, visto que a fauna/flora presente, junto a composição da rocha, pode interferir na adesão e permanência do óleo (BARRON *et al.*, 2020). Pode-se exemplificar isto com o trabalho de Hayakawa (2018), que observou estudos acerca dos impactos do óleo cru pesado, após derrame no mar do Japão em 1997. Os estudos selecionados foram feitos através de monitoramento visual e por marcadores de áreas oleadas com diferentes morfodinâmicas. Dentre os resultados, o autor verificou que áreas com sedimento grosso e rochosas tiveram uma taxa de intemperismo do óleo mais lenta, quando comparadas a áreas com predominância de sedimento fino (HAYAKAWA, 2018).

1.4 ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS DE SUBSTRATOS CONSOLIDADOS ENTREMARÉS

Os organismos macrobentônicos que vivem sobre os substratos consolidados são engenheiros ecossistêmicos, alterando o substrato enquanto realizam suas atividades fisiológicas e interações ecológicas durante seu ciclo de vida (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1996; MEADOWS; MEADOWS; MURRAY, 2012). Dentre esses organismos, estão as espécies de coral que excretam carbonato de cálcio durante o crescimento, outro exemplo são as algas calcáreas (DRAKE *et al.*, 2020). O resultado desta dinâmica é uma complexa estrutura tridimensional, culminando na formação de diversos micro habitats (HOLMES, 2008). Inúmeras espécies marinhas utilizam esses ecossistemas em pelo menos uma fase de suas vidas, para alimentação, moradia, reprodução, entre outros (FISHER *et al.*, 2015).

Além dessas contribuições ecológicas, os recifes costeiros possuem elevado valor socioeconômico, visto que influenciam consideravelmente na alimentação da população mundial, bem como são importantes na subsistência de populações costeiras (SPALDING *et al.*, 2017). Esses organismos são utilizados como matéria prima para produção de fármacos; são atores importantes para atração turística; possuem espécies relevantes para estudos de teias tróficas, entre outros (WOODHEAD *et al.*, 2019). Dessa forma, os organismos presentes nos substratos entremarés do tipo arenítico, coralíneo e de rochas com origem vulcânica possuem considerável relevância econômica, social e ambiental.

O macrobentos de regiões entremarés, possui características fisiológicas peculiares, visto que é constantemente submetido a bruscas variações de salinidade, temperatura, dessecação, entre outros (SEBENS, 1991; COUTINHO; BERNARDINO,

2017). Por serem sésseis ou de mobilidade reduzida, possuem contato direto com o substrato e quando ocorre um impacto a comunidade bentônica é atingida diretamente (GOULART, 2003). Por isso, muitos desses organismos podem ser utilizados como bioindicadores de qualidade ambiental, como é o caso do gênero de macroalga *Ulva* (LIU *et al.*, 2019) ou ainda para avaliação do impacto em geral como é o caso da espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus* que possui resistência à estressores antrópicos (GUSMAO *et al.*, 2021).

Dessa forma, ações antrópicas como o despejo de matéria orgânica; acidificação e aquecimento dos oceanos, devido ao aquecimento global; pisoteio em excesso nos topos recifais, com o turismo ou pesca predatória; bem como derrames de óleo no mar, são os maiores fatores do declínio de diversidade e abundância dos ecossistemas consolidados do entremarés (NYSTRÖM, 2000; HILL; WILKINSON, 2004). Esses estressores podem alterar a configuração trófica associada, prejudicando as funções biológicas dos organismos (HUGHES *et al.*, 2017).

1.5 POSSÍVEIS IMPACTOS DO ÓLEO NAS COMUNIDADES MACROBENTÔNICAS

O óleo derramado pode causar danos à vida marinha de diversas formas, por exemplo: quando o óleo está em suspensão, as manchas de óleo dificultam a passagem de luz solar, impossibilitando assim que macroalgas e zooxantelas realizem fotossíntese (LOYA; RINKEVICH, 1980). Além disso, devido à elevada viscosidade do óleo cru pesado, as manchas muitas vezes grudam nos substratos de zona intertidal (como rochas de origem vulcânica, recifes de arenito, recifes de corais, entre outros.) e, por consequência, nos organismos macrobentônicos (RAIMONDI *et al.*, 2019; CRAVEIRO *et al.*, 2021). Assim, podem comprometer diretamente as funções vitais básicas desses organismos.

Outra forma mais complexa ocorre durante o intemperismo das manchas de óleo, o processo inicia a partir do momento em que o petróleo é exposto ao meio ambiente (GROS *et al.*, 2014). Inicialmente a fração volátil começa dispersar na atmosfera, enquanto os componentes mais pesados são dispersos na coluna d'água e ficam propensos a afundar, muitas vezes chegando ao fundo oceânico quando associados a neve marinha (VALENTINE *et al.*, 2014).

Durante o intemperismo, o óleo libera os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), esses são alguns dos contaminantes mais comuns existentes e amplamente distribuídos no mundo (STOGIANNIDIS; LAANE, 2015; NELSON *et al.*, 2016; BAGBY *et al.*, 2017). Os HPAs possuem elevada toxicidade, podendo causar efeitos letais e/ou comprometer as funções endócrinas, imunológicas, prejudicar os sentidos (como olfato) e deixar os organismos mais suscetíveis a predadores (STIEGLITZ *et al.*, 2016; JOHANSEN *et al.*, 2017; SCHLENKER *et al.*, 2019).

Esses compostos também podem causar prejuízos crônicos, ao afetar o desenvolvimento larval, gerando uma prole com defeitos genéticos (LEWIS *et al.*, 2020); ou ainda quando entram na teia alimentar e ocorrem os processos de bioacumulação e/ou biomagnificação, com potencial de alterar a estrutura de comunidades marinhas (CAMPELO *et al.*, 2021). Além disso, sabe-se que diferentes táxons podem responder de forma distinta à contaminação por óleo cru pesado (ROBERTS; JOHNSTON; POORE, 2008).

1.6 IMPACTOS JÁ RELATADOS NOS ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS, APÓS DERRAME DE ÓLEO NO BRASIL, 2019

Após alcançar a região costeira, as manchas de óleo cru pesado foram em grande parte removidas, porém uma quantidade significativa ficou aderida a substratos consolidados e nos organismos macrobentônicos (CRAVEIRO *et al.*, 2021; FIGUEIREDO *et al.*, 2021). Foram realizadas coletas para avaliação do impacto durante a fase aguda.

Craveiro e colaboradores (2021) analisaram macroalgas e sua epifauna nas regiões afetadas, constataram em sua pesquisa um aumento das populações de *Branchiomma luctuosum* e *Janaira gracilis*. No qual, indica que a redução temporária da diversidade de espécies favoreceu a introdução destas espécies epifaunais consideradas oportunistas, havendo assim alteração na composição da comunidade estudada.

Em adição, foi relatado o impacto do derrame sobre a população do poliqueta simbiótico *Branchiosyllis* sp. associado à esponja *Cinachyrella* sp. (LIRA *et al.*, 2021). Neste artigo foram feitas coletas logo após o derrame de óleo, período no qual foi possível observar fragmentos de óleo na superfície corporal desses organismos. Além disso, identificaram gotículas de óleo junto ao sedimento encontrado no interior dos espécimes de *Cinachyrella* sp. coletados, indicando que houve ingestão de óleo. Por fim, foi

constatado que ocorreu uma acentuada diminuição da abundância de *Branchiosyllis* sp., sem mudança no tamanho médio dos indivíduos, evidenciando que as mortes provavelmente foram em decorrência de um impacto antropogênico. Dessa forma, é possível correlacionar o aumento da mortalidade dos poliquetas estudados, a contaminação por óleo cru pesado.

Magalhães e colaboradores (2022) detectaram os níveis de HPAs em táxons de relevância pesqueira. Verificaram que a presença de HPAs nos tecidos corporais desses organismos, apresentou uma tendência decrescente, com moluscos apresentando maior concentração, seguido dos crustáceos e por fim os peixes. A comunidade pesqueira foi fortemente afetada no período do derrame, devido à incerteza quanto à qualidade desses recursos pesqueiros. Porém, foi constatado que dentre os organismos coletados, menos de 3% das amostras apresentaram concentrações elevadas de HPAs, isso demonstra uma baixa probabilidade desses recursos causarem danos à saúde humana. Esse estudo demonstra, então, a importância de investimento e uma comunicação célere entre o governo e a comunidade científica, para que sejam obtidas respostas seguras para sociedade e as consequências sejam atenuadas.

Outro estudo, realizado por Gusmão e colaboradores (2021), utilizou a craca *Chthamalus bisinuatus* como espécie alvo para análise de impacto por derrames de óleo. Foi observado que a *Chthamalus bisinuatus* permaneceu em locais afetados pelo derrame, crescendo, inclusive, por cima de manchas de óleo aderidas a rochas areníticas. Ou seja, apesar de haver uma diminuição dos seus indivíduos, constatada pela presença de indivíduos mortos, havia a presença de populações composta por adultos e juvenis. Além disso, essas populações são estáveis o suficiente para servir de habitat para caracóis, indicando que esses organismos foram (até o momento) resistentes à toxicidade de óleo.

1.7 MONITORAMENTO DE ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS SÉSSEIS EM ÁREAS AFETADAS POR DERRAME DE ÓLEO

Durante um evento de derrame de óleo é possível monitorar o percurso das manchas com o auxílio de imagens de satélite, através das quais pode-se traçar as possíveis rotas do óleo transportado por correntes oceânicas (KOLOKOUSSIS; KARATHANASSI, 2018; RAJENDRAN *et al.*, 2021). Ao alcançar a costa, diversos estudos podem ser aplicados para avaliação dos níveis de impacto em comunidades macrobentônicas.

Para realizar esse monitoramento, normalmente é feita a identificação dos táxons presentes, esses organismos são acompanhados ao longo de um período de tempo ou os dados são comparados com dados pretéritos. No entanto, existe uma etapa que antecede a identificação, que é a coleta desses organismos. A coleta pode ser feita através de raspagem, na qual o pesquisador deve coletar esses organismos, armazenar, transportar ao laboratório e realizar as identificações (SINOPOLI *et al.*, 2020). Esse método é promissor para identificação de organismos ao menor nível taxonômico possível.

Outro método que pode ser utilizado é o transecto com identificação em campo, no qual os organismos são identificados *in loco*, seguindo uma fita métrica, com ou sem quadrados, estendida nos topos recifais emersos ou imersos (LOYA, 1978; URBINA-BARRETO *et al.*, 2021). Esse método permite que os resultados sejam obtidos de forma rápida, porém exige agilidade e experiência do pesquisador.

Por fim, há o vídeo/fotoquadrado, no qual podem ser posicionados quadrados ao longo de uma fita métrica que são registrados para posterior identificação (RAMOS *et al.*, 2010; FASSBENDER *et al.*, 2021; ROELFSEMA *et al.*, 2021). Esse método de coleta de dados é promissor, visto que é um método não destrutivo, além disso, a identificação pode ser feita com cautela e precisão. Devido a isso, esse método é amplamente utilizado para monitoramento do macrobentos sésil afetado por estressores antrópicos, inclusive em estudos de impacto após um derrame de óleo (MORAIS *et al.*, 2021). Coletas pontuais podem ser feitas para contribuir na identificação dos organismos, bem como para testes químicos para avaliação de toxicidade, por exemplo.

Apesar da ampla aceitação e utilização desta metodologia, inexitem, até o momento, estudos publicados aplicando o método dos fotoquadrados quantitativos em topos recifais tropicais, impactados por óleo cru.

2 HIPÓTESE

O presente estudo testou a hipótese do efeito persistente do óleo cru nas comunidades bentônicas, em sua cobertura, diversidade e composição, mesmo após um ano do evento de chegada do óleo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetiva identificar abundância e diversidade das comunidades macrobentônicas sésseis e sedentárias em topos recifais rasos de Pernambuco, avaliando os possíveis impactos após o aporte de óleo cru pesado em outubro de 2019.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a diversidade e abundância das comunidades macrobentônicas presentes nas áreas afetadas pelo óleo cru pesado, a partir de dados quanti e qualitativos;
- b) Avaliar se há distinção populacional significativa entre as áreas com diferentes intensidades de impacto;
- c) Averiguar se existem espécies (ou grupos taxonômicos) viáveis para estudo de áreas impactadas por óleo cru e de áreas não impactadas, em topos recifais no nordeste do Brasil.

4 ÁREAS DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na costa sul de Pernambuco – Brasil, situada na província biogeográfica do Atlântico Sudoeste Tropical (SPALDING *et al.*, 2007). Foram estabelecidas três áreas de estudo: Itapuama, Carneiros e Pontal do Cupe. Todas as áreas de estudo tiveram impacto direto do derrame de óleo cru pesado, ocorrido em outubro de 2019 no litoral brasileiro.

A escolha das áreas e determinação do critério de classificação, foi obtido a partir dos dados divulgados no período do derrame em noticiários, contatos com a comunidade pesqueira e acompanhamento de aparecimento de óleo disponível no site do IBAMA (<<https://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-localidades-atingidas>>). Dessa forma, após escolher as possíveis áreas de estudo, foi feita uma coleta piloto para averiguar as informações prévias.

Durante a coleta piloto foi possível observar que as três áreas de estudo apresentaram níveis de impacto distintos, corroborando com as informações prévias. Com isso, a quantidade de óleo impregnado nas rochas expostas durante a maré baixa foi adotada como critério de classificação para realização deste estudo. Assim, a praia de Itapuama foi classificada com intensidade de impacto **Alta**, devido a elevada quantidade de óleo impregnado visível. A praia de Carneiros, por sua vez, teve intensidade de impacto **Moderada (Mod.)**, visto que havia resquícios de óleo em apenas um trecho do topo recifal. Enquanto o Pontal do Cupe foi classificado como **baixa** intensidade de impacto, tendo em vista que não havia óleo visível no topo recifal emerso da zona entremarés.

As coletas foram mensais, ocorrendo durante as marés de Sízígia, durante o período de lua cheia. Com relação ao clima da região, ocorrem duas estações bem definidas, uma seca de setembro a fevereiro e uma estação chuvosa de março a agosto (PASSOS *et al.*, 2021). As áreas possuem diferenças morfodinâmicas que forneceram um conhecimento diferenciado e comparativo acerca do processo de intemperismo do óleo que chegou à costa brasileira.

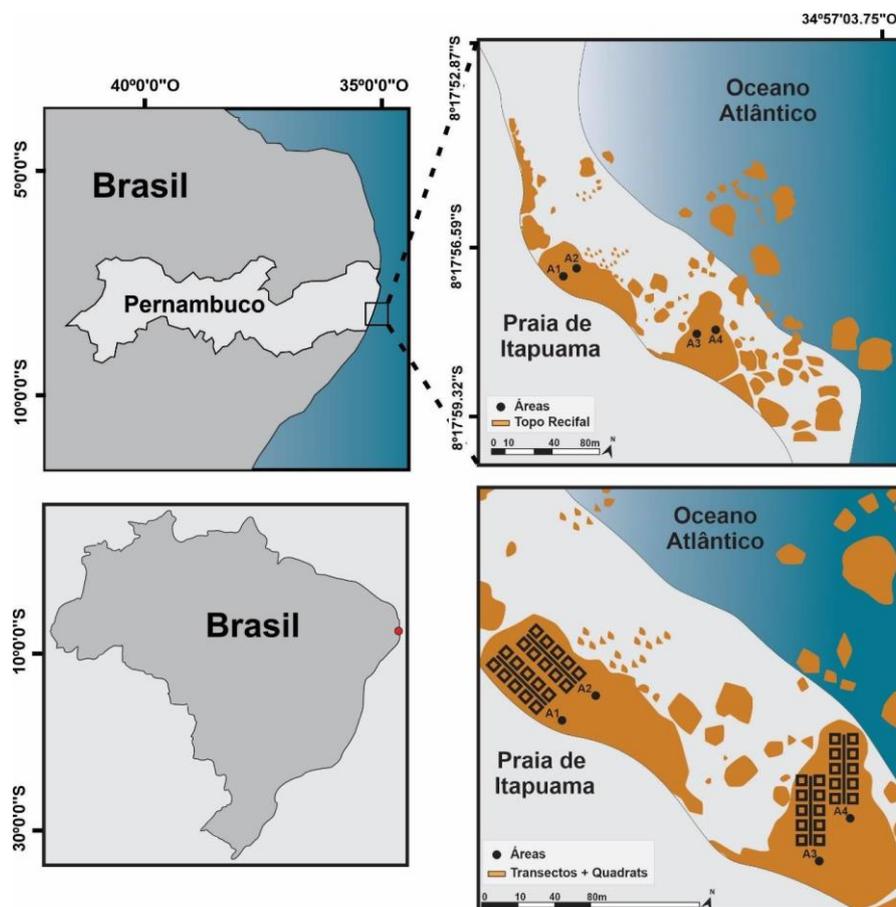
4.1 AFLORAMENTOS ROCHOSOS DE ITAPUAMA (Alta)

A praia de Itapuama (Figura 1) tem limites com a praia de Xaréu e do Paiva, pertencentes ao município do Cabo de Santo Agostinho, no qual está situado o Porto de Suape, assim como importantes complexos industriais (HOLANDA *et al.*, 2020).

Segundo o Projeto Orla (CPRH, 2010), Itapuama possui uma faixa de conformação linear e outra região caracterizada como enseada. Toda faixa costeira da praia possui cerca de 2km de extensão, com afloramentos rochosos de origem vulcânica, apresentando uma comunidade macrobentônica associada particular e relativamente abundante.

A região tem grande importância turística, especialmente por ser uma área que permite a prática de surf, além disso, a pesca artesanal é de grande importância econômica e de subsistência para a população local. A praia de Itapuama foi intensamente impactada pelo aporte de óleo cru pesado no decorrer do segundo semestre de 2019, atualmente ainda possui material impregnado nas rochas. Os transectos foram posicionados de forma a caracterizar a cobertura viva presente na área de estudo, dividindo quatro áreas: A1, A2, A3 e A4 (Figura 1).

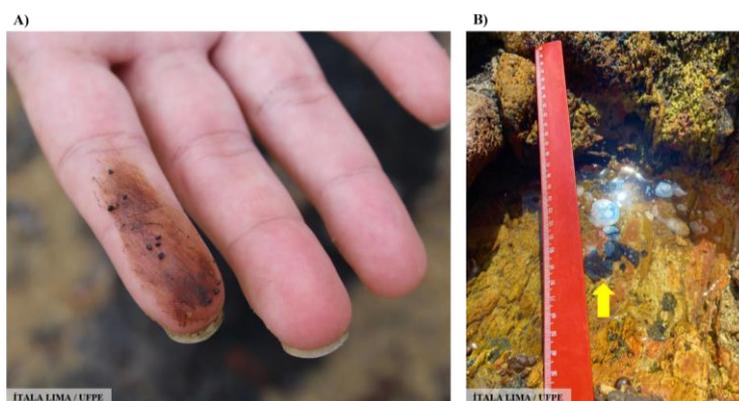
Figura 1 – Mapa de localização da praia de Itapuama (Pernambuco - BR), classificada com alta intensidade de impacto. Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas; os transectos e quadrados.



Fonte: o autor, 2022.

Assim como identificado por BONTEMPO FILHO e colaboradores, foi possível observar manchas de óleo no ambiente durante os 12 meses de coleta. O material oleoso ainda estava viscoso e de difícil limpeza um ano após o derrame, como é possível observar na Figura 2 A. Bem como dois anos após o derramamento, evidenciado por um fragmento encontrado na água (Figura 2 B).

Figura 2 – Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Onde, A) Mão manchada com óleo viscoso, em 17/09/2020 e B) Fração densa de um fragmento de óleo no fundo de uma poça d'água e fração menos densa na camada superficial da água, em 10/07/2021.



Fonte: o autor, 2022.

Nas Figuras 3 e 4, observa-se a caracterização do impacto em diferentes meses e como as manchas eram encontradas nas rochas ao longo das campanhas de coleta. Esse material foi coletado e armazenado mensalmente, para posterior análise química.

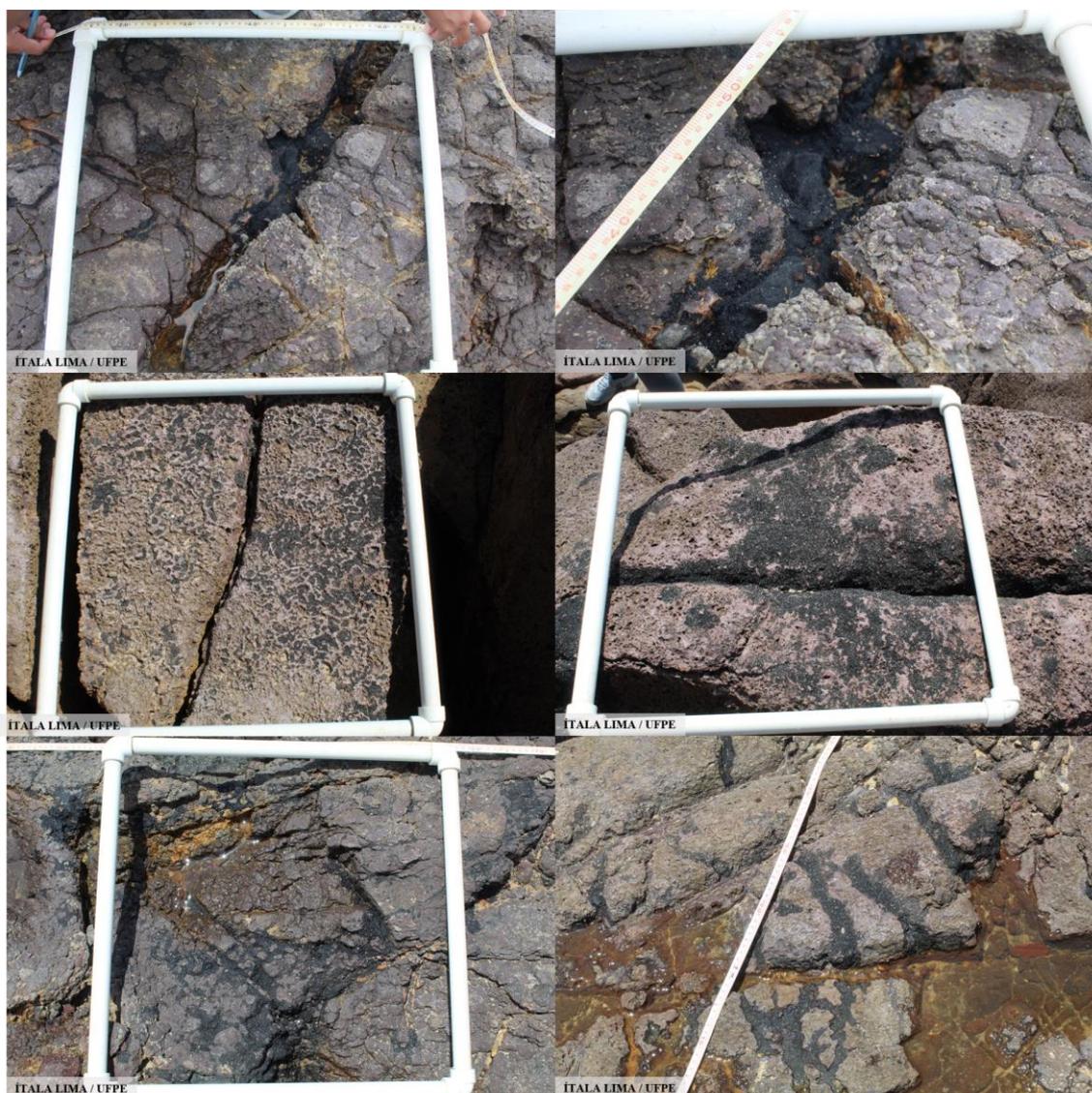
Figura 3 – Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Manchas de óleo impregnadas nas rochas por toda região estudada, em Itapuama. Fotos tiradas em 16/08/2020 e 17/09/2020.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 4 – Caracterização do impacto por óleo cru pesado na praia de Itapuama (Pernambuco - BR), com alta intensidade de impacto. Manchas de óleo cru pesado impregnado nas rochas.

Fotos tiradas em, 14/11/2020, 16/08/2020; 17/09/2020.



Fonte: o autor, 2022.

4.2 TOPO RECIFAL EMERSO DE CARNEIROS (Moderada)

A região costeira do município de Tamandaré possui uma faixa litorânea com cerca de 9km de extensão, subdividida em três grandes áreas: Baía de Tamandaré, Campas e Carneiros. Na praia dos Carneiros está situada uma grande parte do complexo recifal existente em Tamandaré, compreendendo três linhas recifais paralelas à costa (MAIDA; FERREIRA, 1997).

A Praia dos Carneiros (Figura 5), está situada no município de Tamandaré entre as coordenadas 8° 42' 21.01'' a 8° 42' 08.46''S e 35° 04' 39.97'' a 35° 04' 39.1''O. Em

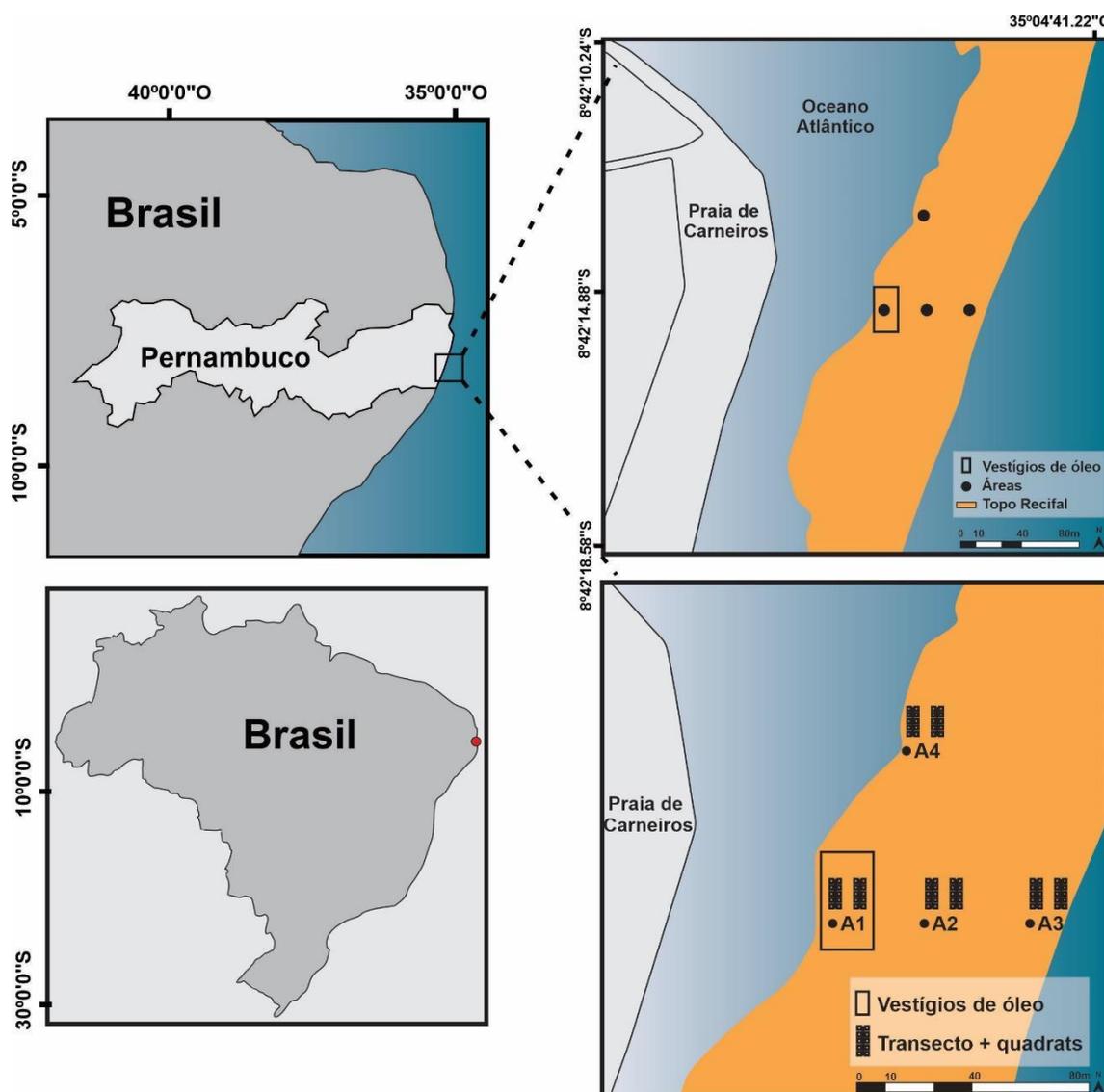
Carneiros, são observados *beachrocks* típicos, também conhecidos como recifes de arenito (NEUMANN *et al.*, 2003). O substrato consolidado de Carneiros está localizado na zona intertidal, no qual é possível visualizar um padrão de organismos (ouriços do mar, corais escleractíneos, algas marinhas, corais moles, cirripédios, mexilhões, moluscos vermetídeos, entre outros); influenciado por fatores ambientais: ação das ondas, exposição ao ar, variação da maré; bem como fatores antrópicos, como o pisoteio (CORREIA *et al.*, 2018).

Desse modo, é possível verificar uma clara zonação de organismos bentônicos no topo do recife, na faixa mais próxima à linha de costa há predomínio de cirripédios e fica mais tempo exposta no período entremarés; Seguida por uma faixa central habitada por mexilhões e cirripédios; Por fim, a região próxima a face do mar, está sempre úmida com os respingos das ondas, favorecendo assim a presença de uma maior variedade de organismos, como: espécies de macroalgas, corais, moluscos vermetídeos, entre outros.

Essas espécies desempenham serviços ecossistêmicos importantes para vida marinha. Toda região costeira de Carneiros faz parte da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), unidade de conservação com plano de manejo estabelecido no dia 1º de fevereiro de 2013, segundo a Portaria nº 144 do ICMbio, que protege cerca de 120 km de extensão de praias e mangues. A pesca artesanal e turismo são os principais mantenedores da economia local.

A região do topo recifal entremarés fotografada no presente trabalho, localiza-se em frente ao restaurante: Bora Bora. Esta região foi dividida em quatro áreas, cada qual com réplicas para identificação dos organismos presentes. As áreas: A1, A2 e A3 foram posicionadas para identificar os indivíduos presentes no topo recifal. Dentre elas, a área A1 foi destacada com um retângulo, visto que ainda é possível visualizar óleo cru pesado impregnado nos *beachrocks* (Figura 7, 8 e 9). A área A4 foi selecionada como “Referência”, em que os organismos são submetidos a condições morfodinâmicas e ambientais similares a região A1 (oleada), com a finalidade de comparar as áreas Referência e impactada já que possuem a mesma composição macrobentônica (Figura 5).

Figura 5 – Mapa de localização da praia de Carneiros (Pernambuco - BR). Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas do topo recifal, os transectos e quadrados; o retângulo destaca a região em que ainda é possível visualizar óleo impregnado na rocha.



Fonte: o autor, 2022.

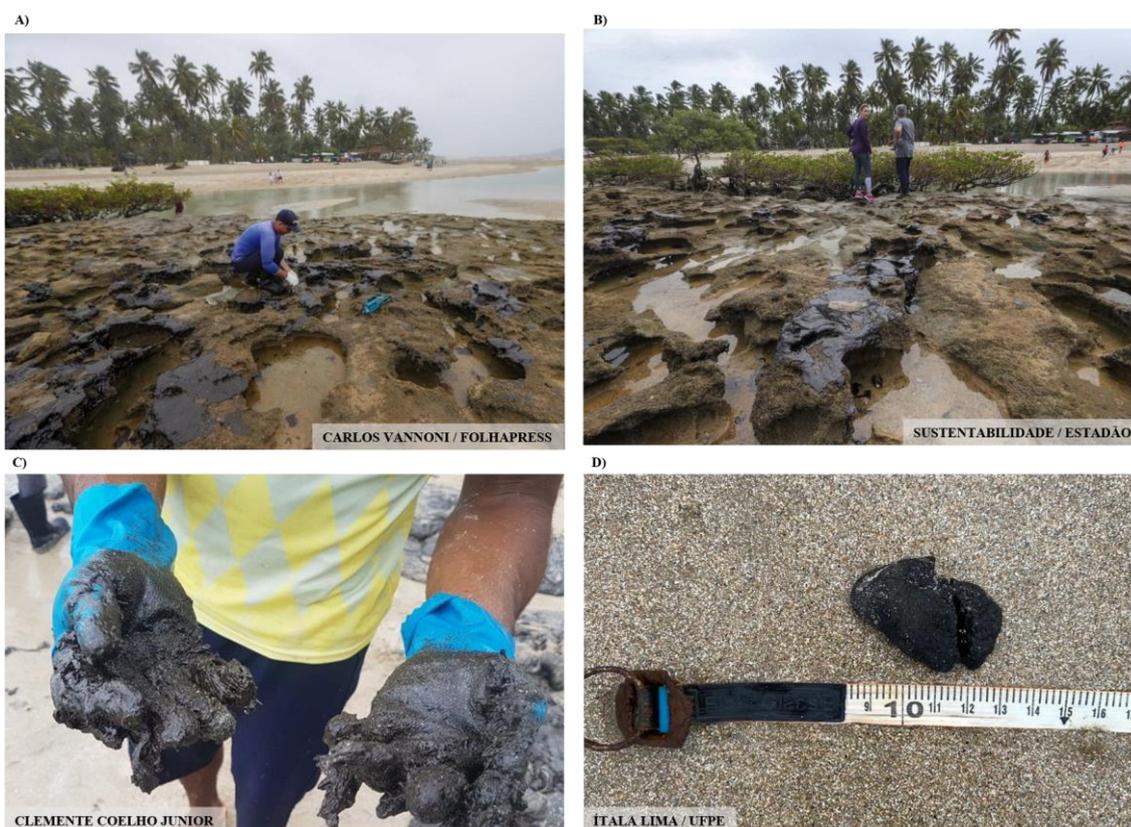
A praia de Carneiros foi classificada com nível de impacto moderado, visto que as manchas de óleo impregnadas nos *beachrocks* no período do derrame (Figura 6 A e B), foram registradas ao longo das campanhas de coleta, entre 2020-2021 (Figura 7, 8 e 9).

Já que a persistência de óleo no ambiente foi considerada como critério para classificação adotada no presente trabalho, Carneiros foi classificada como moderada visto que tem manchas em menor quantidade que Itapuama e o material impregnado está

presente como uma impressão nos *beachrocks* (Figura 9). Por isso, não foi possível realizar a coleta de óleo em grandes quantidades na praia de Carneiros.

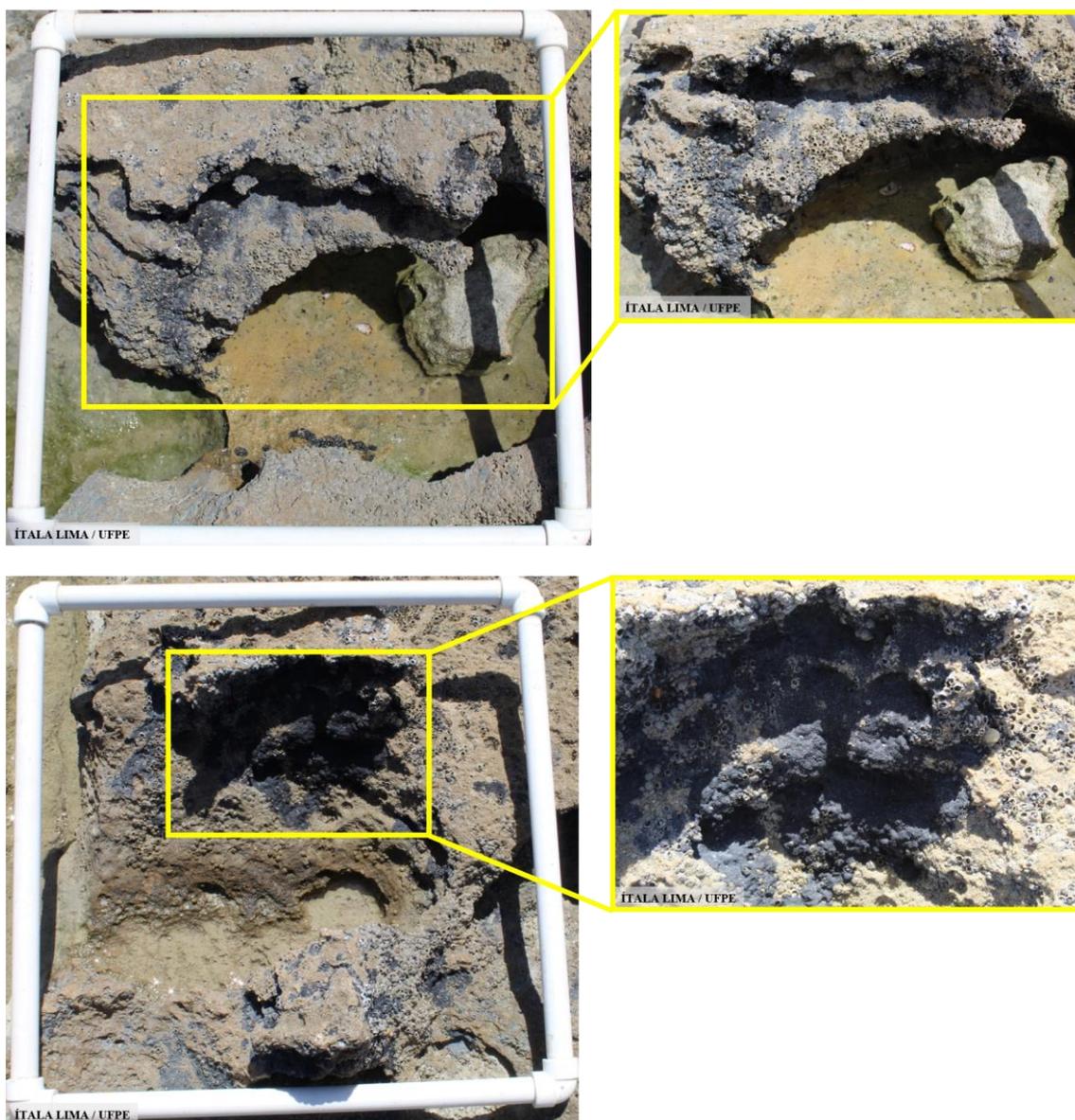
Graças aos esforços significativos de voluntários, foram retiradas toneladas de óleo na praia de Carneiros (Figura 6 C). Porém, nos meses chuvosos de coleta (2021) foi possível observar pequenos fragmentos de óleo na faixa de areia, conforme exemplo na Figura 6 D, esses fragmentos foram coletados em potes de alumínio e entregues para identificar se seriam provenientes do mesmo material do óleo derramado.

Figura 6 – Caracterização do impacto, onde A) e B) Evidenciam período agudo do impacto ambiental, no ano de 2019, com manchas de óleo recém impregnadas nas rochas da área A1; C) Mãos de voluntário, em 2019, no período da limpeza do óleo cru pesado e D) Fragmento de óleo encontrado na faixa de areia, zona “do deixa”, em junho de 2021. Todas as fotos foram registradas na área classificada, neste trabalho, com moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR).



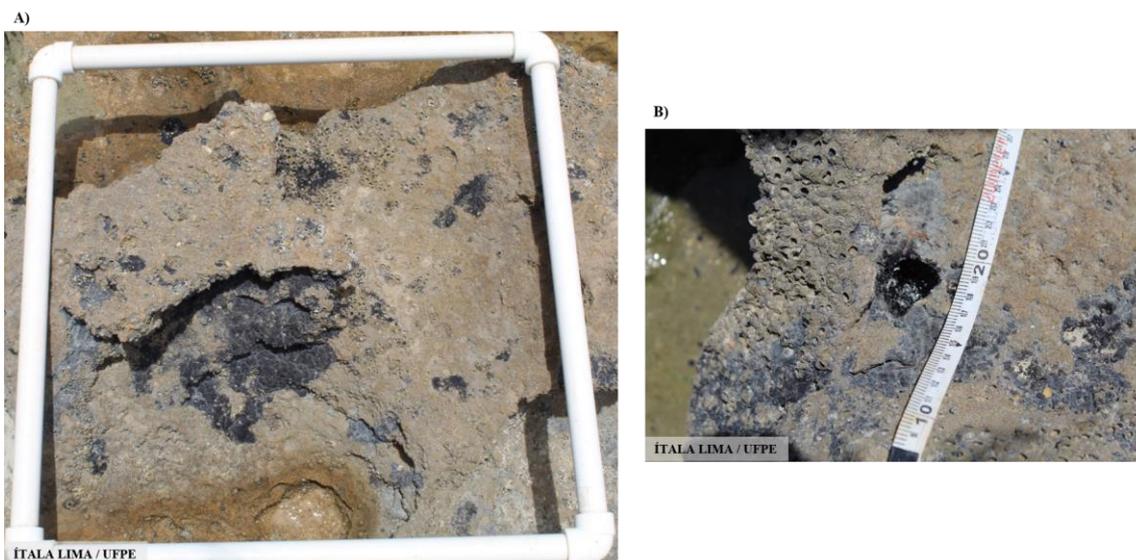
Fonte: A) Carlos Vannoni – Folhapress, 2019; B) Sustentabilidade – Estadão, 2019; C) Clemente Coelho Júnior, 2019; D) O autor, 2022.

Figura 7 – Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo impregnadas nos beachrocks, após um ano do derrame, em novembro de 2020, na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR).



Fonte: o autor, 2022.

Figura 8 – Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo impregnadas nos beachrocks, no qual, A) Exemplo de fotoquadrado na área A1 e B) Mancha de óleo impregnada brilhosa, após raspagem para coleta de amostra de óleo. Foto de outubro de 2020. Na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 9 – Caracterização de impacto por derrame de óleo cru pesado, manchas de óleo em destaque impregnado nos beachrocks, em agosto de 2020. Na área de moderada intensidade de impacto, praia de Carneiros (Pernambuco - BR).

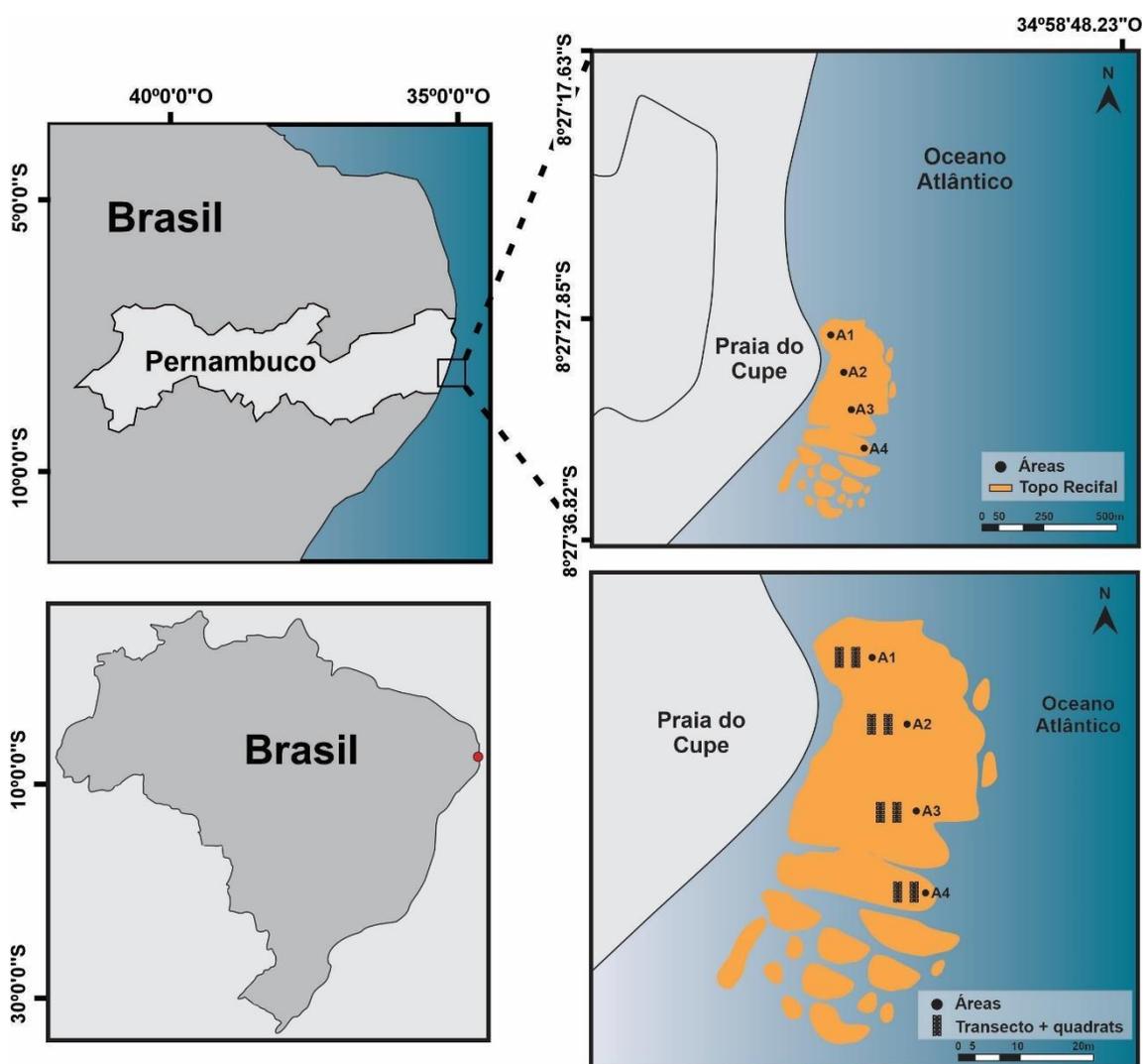


Fonte: o autor, 2022.

4.3 TOPO RECIFAL EMERSO DO PONTAL DO CUPE (Baixa)

O Pontal do Cupe (Figura 10), situado entre as coordenadas $8^{\circ} 27' 50''$ a $8^{\circ} 27' 17''$ S e $34^{\circ} 59' 17''$ a $34^{\circ} 58' 48''$ O, no município de Ipojuca, faz divisa com as praias do Cupe ao sul e de Muro Alto ao norte. Apresenta um recife em franja de águas rasas que fornece proteção à costa, reduzindo cerca de 50% a energia das ondas que incidem na região costeira e amplificando assim a importância relativa da maré (MALLMANN *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2019).

Figura 10 – Mapa de localização da praia Pontal do Cupe (Pernambuco – BR). Evidenciando as áreas (A1, A2, A3, A4) fotografadas do topo recifal, bem como os transectos e quadrados.



Fonte: o autor, 2022.

O topo recifal do Pontal do Cupe fica completamente exposto durante a baixa-mar das marés de sizígia (Figura 11 A e B), formando piscinas naturais de águas claras (PREFEITURA DE IPOJUCA, 2020). As piscinas são delimitadas por uma estrutura

recifal habitada por espécies de corais endêmicas do Brasil, diversas espécies de macroalgas, crustáceos, peixes, moluscos e até vertebrados de grande porte como tartarugas (SIQUEIRA *et al.*, 2021). Esses e outros organismos utilizam os recifes para moradia, reprodução, proteção, dentre outros (FISHER *et al.*, 2015). Além da importância ecológica, são relevantes do ponto vista turístico e para pesca de subsistência, como é possível visualizar na Figura 12 A e B (SPALDING *et al.*, 2017).

Foram estabelecidas 4 áreas do topo recifal (A1, A2, A3 e A4), objetivando realizar a caracterização dos organismos macrobentônicos presentes na região, respeitando as zonas do topo recifal e realizando réplicas em cada área (Figura 10).

Figura 11 – Topo recifal emerso entremarés, na área de estudo classificada com baixo nível de impacto, praia Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 15/11/2020 e 17/10/2020, respectivamente.

A)



B)



Fonte: o autor, 2022.

Figura 12 – Topo recifal da área com baixo nível de impacto por óleo cru, na praia do Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). A- Atividade turística nas piscinas naturais e pisoteio no topo recifal emerso, 17/10/2020 e 19/09/2020; B- Atividade turística com pisoteio no topo recifal e atividade de pesca artesanal, em 15/11/2020 e 11/06/2021.

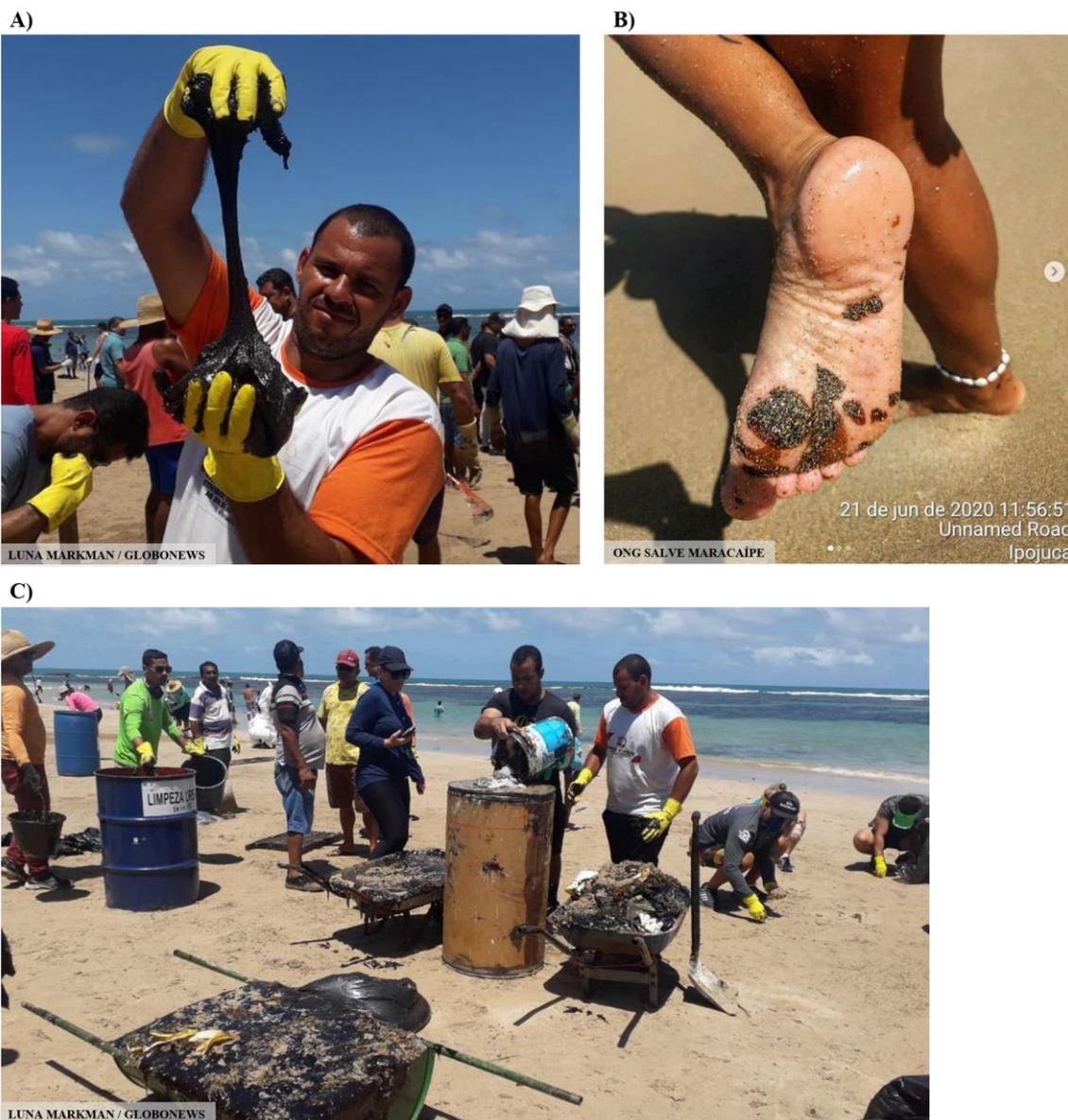


Fonte: o autor, 2022.

Nesta localidade, foram retiradas toneladas de óleo por voluntários e agentes da prefeitura no período em que o óleo chegou à costa (Figura 13 A e C). A Organização Não Governamental (ONG) Salve Maracaípe, divulgou vídeos registrados em 23 de outubro de 2019, que mostram a presença de óleo cru pesado no fundo do mar, tanto na areia, como preso na base do topo recifal, que fica sempre imersa.

Com relação ao óleo, o Pontal do Cupe foi classificado como área com baixa intensidade de impacto, isso porque, durante os meses seguintes ao derrame não foram feitos registros do óleo no topo recifal entremarés. A exceção de ocorrência de óleo se deu durante os meses de coleta, no qual moradores e turistas relataram a presença do óleo na areia, mesmo após este não estar facilmente visível, visto que ao caminhar na areia o material impregnava nos pés, os relatos coincidem com os meses de chuva intensa (Figura 13 B).

Figura 13 – Caracterização do impacto por óleo cru pesado, no Pontal do Cupe (Pernambuco - BR). A) Manchas de óleo retiradas por voluntários e agentes da prefeitura logo após a chegada do óleo na praia, em 19 de outubro de 2019; B) Óleo impregnado no pé de uma banhista, meses após o derrame no ano de 2020; C) Atividade de limpeza do óleo no período do derramamento, outubro de 2019.



Fonte: A) Luna Markman – Globonews; B) ONG Salve Maracáipe; C) Luna Markman – Globonews.

5 METODOLOGIA

5.1 CARACTERIZAÇÃO RECIFAL

5.1.1 Identificação do impacto:

As áreas de estudo e as localizações exatas dos transectos foram escolhidas e caracterizadas a partir de fotos e vídeos aéreos obtidos durante o evento de impacto (disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-galeria>>). As áreas foram comparadas em função do nível de impacto direto, além disso, uma coleta piloto foi realizada para identificar as regiões ainda oleadas e uma área que não houvesse óleo no ambiente.

5.1.2 Caracterização da cobertura viva por Zonas

Foram estabelecidas Zonas nos topos recifais para que fosse possível identificar a cobertura viva das áreas estudadas. Os transectos foram posicionados nessas zonas com réplicas para cada uma delas.

Na área de Moderada intensidade de impacto foram estabelecidas duas Zonas comparativas. A Zona Afetada corresponde a porção do topo recifal em que ainda é possível visualizar resquícios de óleo. A Zona Referência, por sua vez, está situada na mesma altura da Zona Afetada, possui a mesma estrutura de comunidades biológicas, porém não possui mais óleo impregnado nas rochas. Estas áreas foram determinadas para realizar uma comparação entre as populações de organismos e avaliar possíveis impactos.

5.1.3 Coleta de dados biológicos

As coletas foram realizadas de julho de 2020 a agosto de 2021 para as áreas de moderada e baixa intensidade de impactos, em que o mês de julho de 2020 corresponde a coleta piloto (Carneiros e Pontal do Cupe, Pernambuco - Brasil). Para área de alta intensidade de impacto foram feitas amostragens de agosto de 2020 a agosto de 2021.

5.1.4 Método fotoquadrado

Bem como já aplicado anteriormente no Brasil (DIAS *et al.*, 2018) e mais especificamente no litoral nordestino (SANTOS *et al.*, 2015), o método não destrutivo do

fotoquadrado permite avaliar possíveis impactos das áreas costeiras oleadas em outubro de 2019. Dessa forma, este trabalho utilizou o método do fotoquadrado para monitorar as praias com Alta (Itapuama), Moderada (Carneiros) e Baixa (Pontal do Cupe), intensidade de óleo cru.

Programas de monitoramento de recifes de coral como Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN) e o Reef Check indicam métodos padronizados, eficazes e ecológicos de monitoramento, possibilitando reunir dados de pesquisadores por todo mundo, dentre esses métodos, um dos mais indicados é utilizando transectos, tanto com vídeos, como fotos (HILL; WILKINSON, 2004; FREIWALD; NEUMANN, 2017). Devido a isso, a coleta de dados foi realizada através do método não destrutivo fotoquadrado, com metodologia adaptada de Rogers (1994) e Hill & Wilkinson (2004), utilizando uma fita métrica (trena), quadrados de PVC e uma câmera fotográfica (Cannon T100).

As campanhas de coleta foram realizadas mensalmente no decorrer de um ano, através de transectos de 10 metros de comprimento com quadrado de PVC 50x50 cm. Os registros foram aleatórios posicionando o quadrado de PVC rente a fita métrica. Foi registrado um quadrado por metro.

Foram dispostos mensalmente 8 transectos nas praias de Carneiros e Pontal do Cupe, enquanto na praia de Itapuama foram realizados 4 transectos, por campanha de coleta, ao longo de cada transecto foram fotografados 10 quadrados totalizando 80 fotografias mensais para as praias de Carneiros (Moderada) e Pontal do Cupe (Baixa), cada; e 40 fotoquadrados para Itapuama (Alta). Contabilizando 200 fotos para todas as áreas. O quantitativo de transectos difere devido às diferenças de tamanho/extensão das estruturas consolidadas estudadas, a quantidade foi escolhida com a cautela de caracterizar a cobertura viva de todas áreas de estudo.

5.1.5 Coleta de espécimes macrobentônicos

Foram realizadas as coletas de pequenos fragmentos de macroalgas, que foram congelados, para posterior análise de identificação. Essas amostras foram coletadas em regiões próximas aos transectos, visando não alterar a estrutura das comunidades

presentes nas áreas das fotos. Essa etapa teve finalidade auxiliar na identificação dos organismos.

5.1.6 Rugosidade

A rugosidade da camada coralina foi medida usando corrente com 2 metros de comprimento e elos de tamanho 32 mm x 8.9 mm, além de uma fita métrica. Em cada transecto de 10 metros, foram feitas 5 medições de rugosidade com 2 metros de distância entre elas. Posteriormente, foi realizada a razão de comprimento da corrente e comprimento linear (GLEASON *et al.*, 2018; VALLÈS *et al.*, 2019).

5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS

As imagens foram analisadas a partir do software CPCe: Coral Count Point with Excel Extensions (KOHLENER; GILL, 2006). A identificação dos espécimes foi realizada ao menor nível taxonômico possível à limitação do método.

Posteriormente, foi criado um banco de dados a partir do levantamento das espécies presentes nas imagens, para isso foram elaboradas categorias utilizando o software CPCe. Em cada fotografia foram definidos 30 pontos, dispostos aleatoriamente pelo software, dos quais, cada ponto foi caracterizado visualmente e alocado nas categorias criadas no banco de dados (KOHLENER; GILL, 2006).

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos, após identificação dos organismos no software CPCe, foram transformados e submetidos aos testes de Shapiro-Wilk para testar a normalidade da distribuição dos dados e Bartlett para testar a homogeneidade de variâncias. Foi observado que os dados foram não normais e heterogêneos, portanto, utilizou-se os testes não paramétricos Mann-Whitney, com correção de Bonferroni, e ANOVA Kruskal Wallis (ZAR, 1996). Os testes foram aplicados para cobertura viva e percentual de cobertura do óleo cru pesado. Para avaliar a diversidade das áreas estudadas, foram aplicados os Índices ecológicos de diversidade de Shannon (H') e equitabilidade de Pielout (J') para os dados de cobertura viva.

Foi utilizada a função *adonis*, por meio do programa computacional R, para aplicar o teste de PERMANOVA. Posteriormente foi elaborado um gráfico de

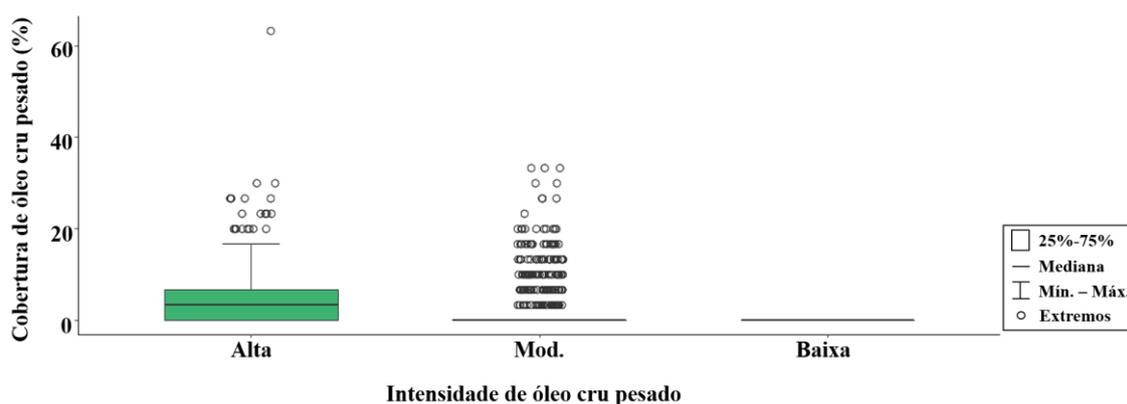
escalonamento multidimensional (MDS), para representar graficamente a matriz triangular obtida com a similaridade de Bray-Curtis com os dados previamente transformados com a quarta raiz. Por fim, foi aplicado o SIMPER, no Software Primer 6, para identificar os táxons que mais contribuíram nas similaridades das amostras do conjunto de dados analisado (CLARKE; WARWICK, 2001).

O nível de significância adotado para os testes estatísticos foi de 5% ou 0,05. Enquanto os testes Shapiro-Wilk, Bartlett, Mann-Whitney, ANOVA Kruskal Wallis e PERMANOVA foram realizados no Software R, o MDS e SIMPER foram realizados no Software Primer 6.

6 RESULTADOS

Mesmo após 1 ano do derrame, ainda foi possível observar e coletar amostras de óleo impregnado nas rochas em duas das áreas estudadas (Alta e Moderada). Os fotoquadrados da área classificada como Alta intensidade de impacto apresentaram os maiores percentuais de cobertura de óleo cru pesado, em seguida está a área de Moderada intensidade, esta apresentou cobertura de óleo em apenas um trecho do topo recifal (Figura 14). Não foi visto resquícios de óleo cru pesado impregnado na porção emersa do topo recifal de Baixa intensidade de impacto, por isso, os percentuais desta área foram de 0 % (Figura 14).

Figura 14 – Área coberta (%) por óleo cru pesado presente nos foto-quadrados, presente nas três áreas de estudo. Onde, Alta: Alta intensidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas (Itapuama, Pernambuco – BR); Mod.: Intensidade moderada de óleo no ambiente (Carneiros, Pernambuco – BR); Baixa: Baixa intensidade de óleo cru pesado (Pontal do Cupe, Pernambuco – BR).



Fonte: o autor, 2022.

Houve um efeito significativo do fator área sobre as variáveis estudadas (ANOVA Kruskal Wallis). Os resultados obtidos por meio do teste Mann-Whitney par a par, foram significativos, indicando que as áreas possuem diferenças comprovadas estatisticamente (Tabela 1). Essas diferenças foram evidentes para todos os fatores analisados: cobertura viva, diversidade, equitabilidade, rugosidade e cobertura de óleo.

Tabela 1 – Resultados de Mann-Whitney para área de cobertura viva, diversidade e equitabilidade dos táxons estudados, assim como para rugosidade dos substratos e porcentagem de óleo presente nas rochas. As comparações foram feitas com combinação par-a-par, para as três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo ainda presente no ambiente, Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe. Valores de p.

ÁREAS	COBERTURA VIVA	DIVERSIDADE (H')	EQUITABILIDADE (J')	RUGOSIDADE	ÓLEO
Mod. x Baixa	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	3.42E-05	< 2.2e-16
Mod. x Alta	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	1.36E-13	< 2.2e-16
Baixa x Alta	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16

Fonte: o autor, 2022.

Na área de estudo classificada com alta intensidade de óleo cru pesado (Itapuama, Pernambuco – BR) foram feitas coletas de amostras de óleo, no qual cerca de três recipientes foram coletados mensalmente durante 12 meses de coleta (Figura 15 A). Nesta região, houve predomínio da espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus* (11,6%) e do gênero *Brachidontes* de mexilhão (3,26%) (Figura 20); além destes táxons, foram encontrados a espécie *Echinolittorina ziczac*, turf e biofilme (Anexo A e Figura 16). A porcentagem de substrato foi de 78,02% e a de óleo cru pesado foi 4,4% (Figura 16).

Já na região com moderada intensidade de óleo cru pesado (Carneiros, Pernambuco – BR), só foi possível realizar coletas de amostras de óleo durante 3 meses (Figura 15 B). Foram encontrados 1 gênero e 3 espécies de cirripédios; 4 espécies e um gênero de cnidários; 2 gêneros e 3 espécies de moluscos; 2 famílias, 4 gêneros e 4 espécies de macroalgas, assim como *turf*, algas coralinas incrustantes e biofilme; 1 representante do táxon porífera, *Cliona* sp. e espécimes de *Echinometra lucunter* (Anexo A e Figura 16). Dos quais, os mais representativos foram: biofilme ocupando 26,89% da cobertura total, *Chthamalus bisinuatus* (14,75%), *Brachidontes* (11,29%), *Petalocochus* (5,93%), *turf* (5,51%), *Palisada perforata* e *Palythoa caribaeorum* com 4,44% (Figura 16). Enquanto o substrato representou 23,37% e manchas de óleo cru pesado 2,4% do percentual de cobertura total (Figura 16).

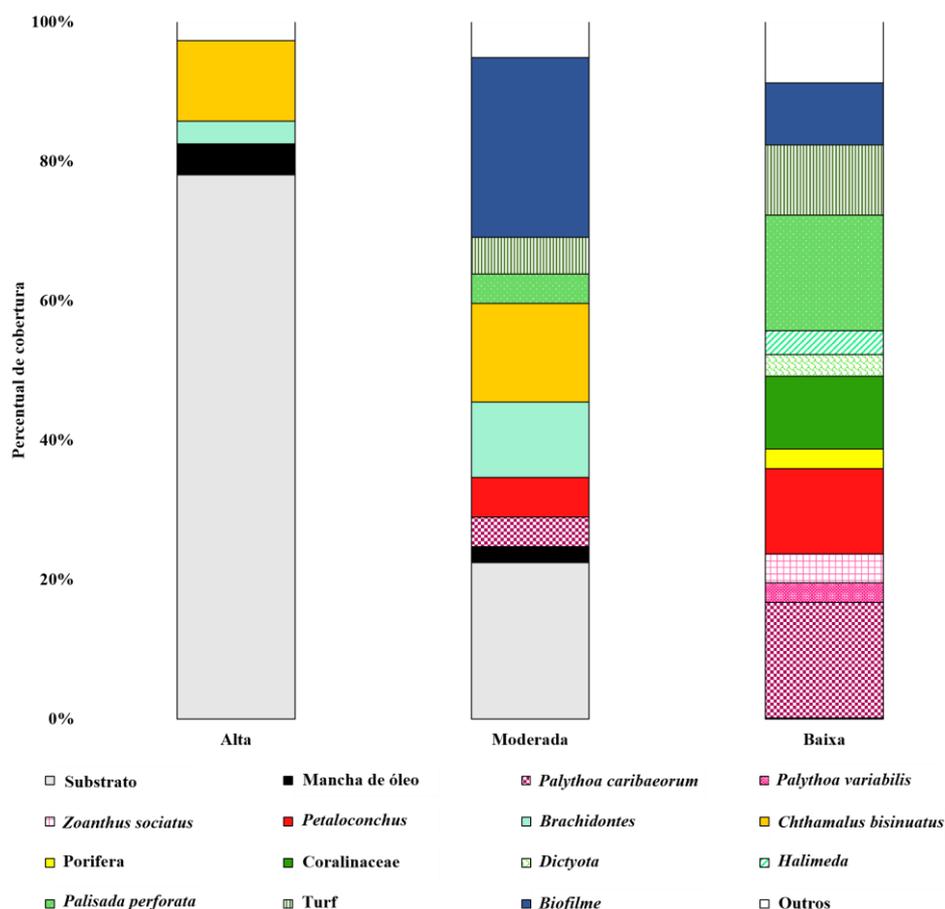
Figura 15 – Amostras de óleo cru pesado, retiradas das rochas, em novembro de 2020. A) Área com alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR) e B) Área com intensidade moderada de impacto (Carneiros, Pernambuco - BR).



Fonte: o autor, 2022.

Na área de intensidade de óleo cru pesado baixa (Pontal do Cupe, Pernambuco – BR), foram descritos 1 gênero e 1 espécie de cirripédio; 1 gênero e 3 espécies de cnidários, 2 gêneros e uma espécie de moluscos; 1 família 7 gêneros e 6 espécies de macroalgas. Assim como, turf, algas coralinhas incrustantes e biofilme. Também foi observado o táxon de porífera, *Cliona* sp. e a espécie de ouriço *Echinometra lucunter* (Anexo – A e Figura 16). Dentre eles, os mais representativos foram, *Palythoa caribaeorum* e *Palisada perforata* com 17,83% cada, *Petalconchus* (13,17%), *Corallinaceae* (11,24%), turf (10,84%), biofilme (9,56%), *Zoanthus sociatus* (4,43%), *Halimeda* (3,68%), *Dictyota* (3,3%), *Palythoa variabilis* (3,07%) e Porífera (3,04%), correspondentes a cobertura viva. Enquanto o substrato e manchas de óleo cru pesado ocuparam 0% da cobertura total (Figura 16).

Figura 16 – Percentual de cobertura viva, mancha de óleo e substrato, para as três áreas de estudo; onde Baixa: região classificada com baixa intensidade de óleo cru pesado, Mod.: moderada intensidade de óleo cru pesado e Alta: alta intensidade de óleo cru pesado. Os táxons representados são aqueles que tiveram percentagem superior a 3% de cobertura total, em “Outros” são os demais táxons. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe.



Fonte: o autor, 2022.

As médias de cobertura viva total das áreas foram menores nas áreas em que ainda há óleo cru presente, a região com alta intensidade do óleo apresentou 17,07% de cobertura viva, na região moderada a média foi de 66,74% e na área de baixa intensidade de óleo foi de 91,27 % (Tabela 2 e Figura 17). Nas áreas de Alta e Baixa intensidade de impacto, foi observado que, quando na presença de óleo, havia menor percentual de cobertura viva, quando comparada à área de Baixa intensidade de impacto em que não foi mais possível visualizar óleo impregnado nos *beachrocks*.

Tabela 2 – Valores de máximo, mínimo e média, da área de cobertura viva, diversidade (Índice de Shannon) e equitabilidade (Índice de Pielou) dos táxons amostrados. Os dados correspondem às três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo cru pesado impregnado

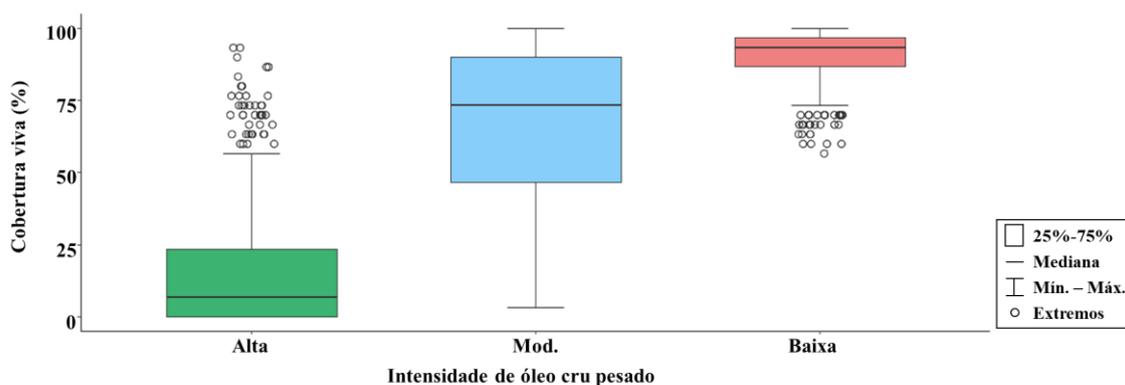
nas rochas; Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. Coletas realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021, para Carneiros e Pontal do Cupe.

ÁREAS	COBERTURA VIVA					DIERSIDADE (H')				EQUITABILIDADE (J')			
	n	Média (%)	Mediana	sd	Min. - Máx. (%)	Média	Mediana	sd	Min. - Máx.	Média	Mediana	sd	Min. - Máx.
Alta	14400	17.07	6.67	22.21	0 - 93.33	0.22	0	0.31	0 - 1.10	0.04	0	0.06	0 - 0.21
Mod.	28800	66.74	73.33	26.53	3.33 - 100	0.89	0.90	0.37	0 - 2.01	0.13	0.13	0.05	0 - 0.29
Baixa	30000	91.27	93.33	8.25	56.67 - 100	1.52	1.57	0.40	0.15 - 2.33	0.22	0.23	0.06	0.02 - 0.34

Fonte: o autor, 2022.

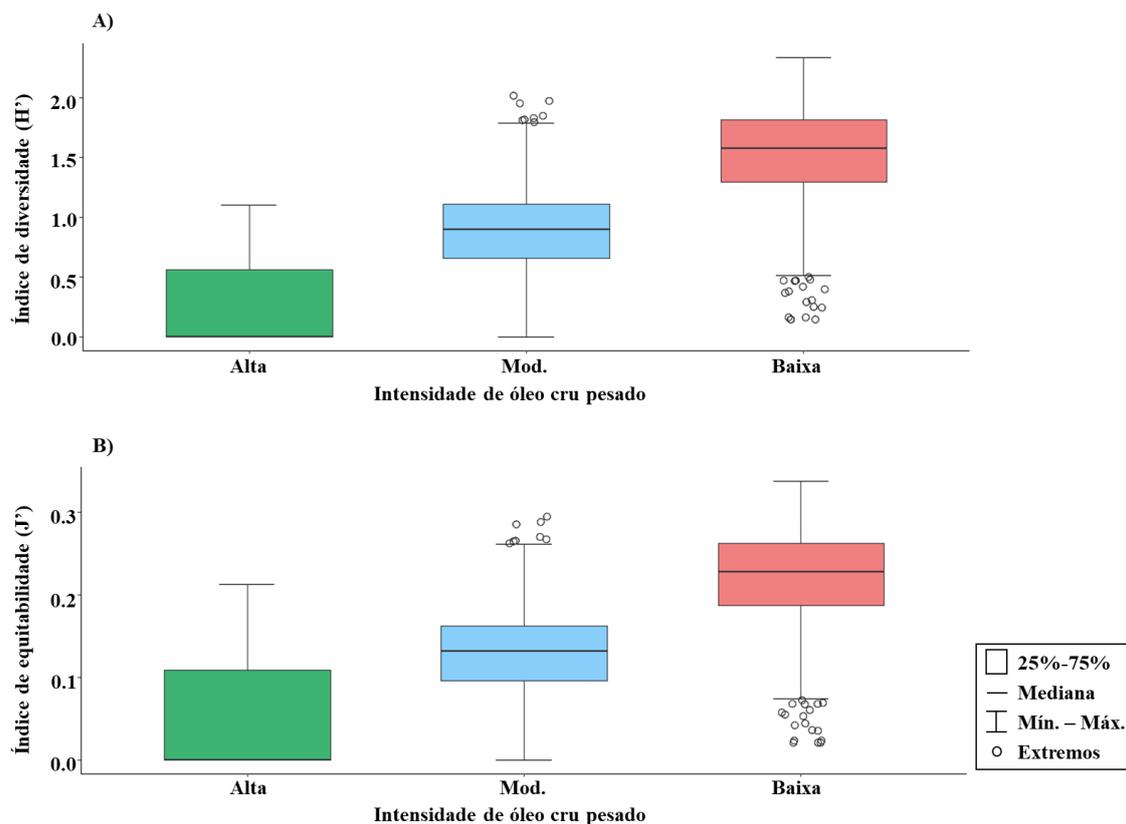
Com relação aos índices ecológicos, o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') foi de 0,22 para área de intensidade alta de óleo, 0,89 na região moderada e 1,52 na de baixa intensidade (Tabela 2 e Figura 18 A). Sabe-se que quanto maior é o valor do Índice de Shannon indica maior grau de incerteza e admite-se uma maior diversidade das amostras. Foi visto então que os valores de diversidade aumentaram de forma inversamente proporcional à presença de óleo cru no ambiente. Os Índices de Equitabilidade de Pielou (J') calculados foram proporcionais aos valores de diversidade de Shannon, no qual a maior uniformidade das amostras foi para a região de baixa intensidade do óleo (Tabela 2 e Figura 18 B).

Figura 17 – Boxplot da área de cobertura viva para todas as áreas de estudo. Onde, Alta: A intensidade de óleo cru pesado alta (Itapuama); Mod.: Intensidade de óleo cru pesado foi classificada como moderada (Carneiros); Baixa: Intensidade de óleo cru pesado baixa (Pontal do Cupe). As áreas de estudo estão situadas no litoral sul de Pernambuco - Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 18 – Representação gráfica dos índices ecológicos da cobertura viva macrobentônica sésil presente nas áreas com diferentes intensidades de impacto, Alta – Alta intensidade de óleo cru pesado (Itapuama), Mod. – Intensidade moderada (Carneiros), Baixa – Intensidade baixa (Pontal do Cupe). A) Refere-se ao índice de diversidade de Shannon (H') e B) Índice de equitabilidade de Pielou (J'). As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe.



Fonte: o autor, 2022.

A presença de óleo cru pesado nas amostras coletadas ao longo de 12 meses, iniciando um ano após o derrame resultou em uma média de 4,28% para área com alta presença de óleo cru, 2,16% na região moderada e 0% na área de baixa intensidade (Tabela 03 e Figura 14). As médias de rugosidade foram de 1,79%, 1,67% e 1,58% para as áreas de alta, moderada e baixa intensidade, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Percentual da média, mínimo e máximo do óleo cru pesado impregnado nas rochas, por quadrados. Os dados correspondem às três áreas de estudo, classificadas de acordo com a quantidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas; Alta: Quantidade de óleo alta (Itapuama); Mod.: Quantidade de óleo moderada (Carneiros); Baixa: Quantidade de óleo baixa (Pontal do Cupe), Pernambuco, Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021, para Carneiros e Pontal do Cupe.

ÁREAS	ÓLEO CRU PESADO					RUGOSIDADE				
	n	Média (%)	Mediana	sd	Mínimo - Máximo (%)	n	Média (m)	Mediana	sd	Mínimo - Máximo (m)
Alta	14400	4.28	3.33	6.51	0 - 63.33	200	1.79	1.85	0.18	0.8 - 2
Mod.	28800	2.16	0	5.23	0 - 33.33	200	1.67	1.69	0.18	1.15 - 2
Baixa	30000	0	0	0	0 - 0	200	1.58	1.62	0.22	0.75 - 1.97

Fonte: o autor, 2022.

Na área Moderada, foi estabelecida uma Zona Referência que possui composição de organismos similar a Zona Afetada, que por sua vez, ainda apresenta resíduos de óleo impregnado no topo recifal emerso. Dessa forma foi visto que o percentual médio de *C. bisinuatus* vivas na área Moderada foi de 12,67% na Zona Afetada e 31,43% na Referência, as Zonas pertencem à mesma faixa da zonação. O percentual médio de *C. bisinuatus* mortas, ou seja, espaços vazios, foi 1.22% na Zona Referência e 5,61% na Zona Afetada (Tabela 4 e Figura 19).

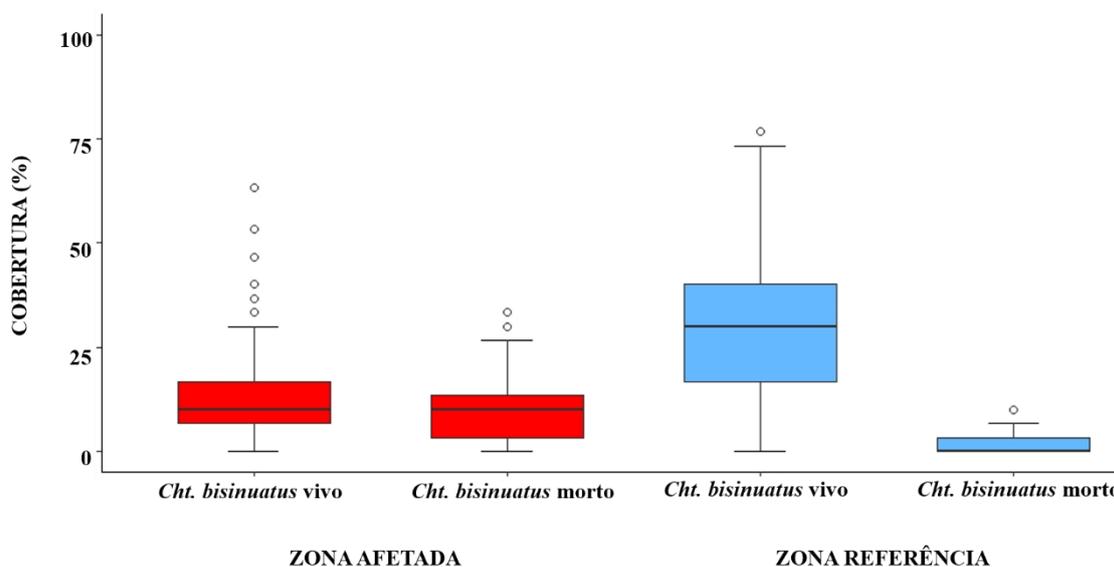
Tabela 04 – Percentual da média, mínimo e máximo da espécie *Chthamalus bisinuatus* vivas e mortas (espaços vazios), presentes na área de estudo com Mod. intensidade de impacto (Carneiros - Pernambuco, Brasil). As coletas foram realizadas de julho de 2020 a agosto de 2021.

ZONAS	CHT. BISINUATUS VIVAS					CHT. BISINUATUS MORTAS				
	n	Média (%)	Mediana	sd	Mín. – Máx. (%)	Média (%)	Mediana	sd	Mín. – Máx. (%)	
Afetada	200	12.67	10	17.33	0 – 63.33	5.61	3.33	6.62	0 - 33.33	
Controle	200	31.43	30	18.05	0 – 76.67	1.22	0	2.17	0 - 10	

Fonte: O autor, 2022.

Os resultados podem ser analisados graficamente na Figura 19, no qual os boxplots evidenciam as diferenças encontradas entre Zona Afetada x Zona Referência. A análise estatística por meio do teste Mann-Whitney comprova que há diferença significativa entre as populações de *C. bisinuatus* estudadas (Anexo – C).

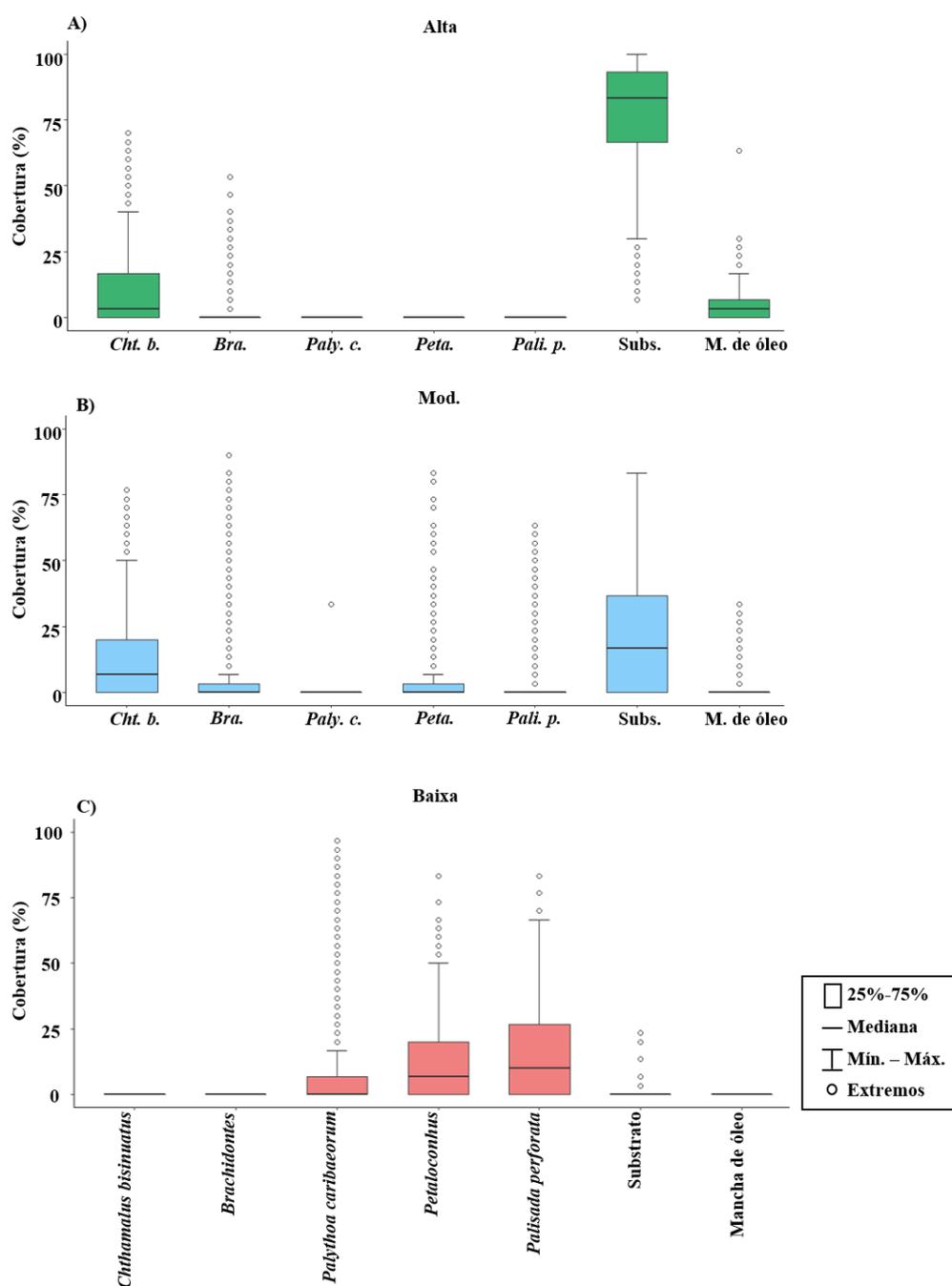
Figura 19 – Percentual de cobertura de *Chthamalus bisinuatus* vivos e mortos (espaços vazios), presentes na zona afetada e Referência da área de Mod. intensidade de impacto.



Fonte: o autor, 2022.

Dentre os organismos predominantes, a espécie *Chthamalus bisinuatus* está presente nas áreas em que ainda há óleo cru no ambiente, enquanto na área em que não é possível visualizar óleo nos *beachrocks* entremarés não houve ocorrência registrada. Na área moderada ainda houve ocorrência dos gêneros *Brachidontes* e *Petalochuchus* sp. Nas áreas que ainda estão com óleo, a cobertura de substrato foi elevada. A região com menor nível de impacto visível teve como táxons predominantes as espécies de cnidário *Palythoa caribaeorum* e de macroalga *Palisada perforata*; assim como de frágeis vermetídeos do gênero *Petalochuchus* sp. (Mollusca: Gastropoda: Vermitidae) - Figura 20.

Figura 20 – Percentual de cobertura dos táxons predominantes, *Chthamalus bisinuatus* (Cht. b.), *Brachidontes* (Bra.), *Palythoa caribaeorum* (Paly. c.), *Petaloconchus* (Peta.) e *Palisada perforata* (Pali. p.). Assim como o percentual de cobertura de substrato (Subs.) e manchas de óleo (M. de óleo), presentes nas áreas de estudo classificadas de acordo com a intensidade de óleo cru pesado impregnado nas rochas, onde, A) Alta - Intensidade de óleo cru pesado alta (Itapuama); B) Mod. - Local com nível de impacto moderado (Carneiros) e C) Baixa - Intensidade de óleo cru pesado baixo (Pontal do Cupe). As áreas de estudo estão situadas no litoral sul de Pernambuco - Brasil. As coletas foram realizadas de agosto de 2020 a agosto de 2021, para Itapuama e julho de 2020 a agosto de 2021 para Carneiros e Pontal do Cupe.

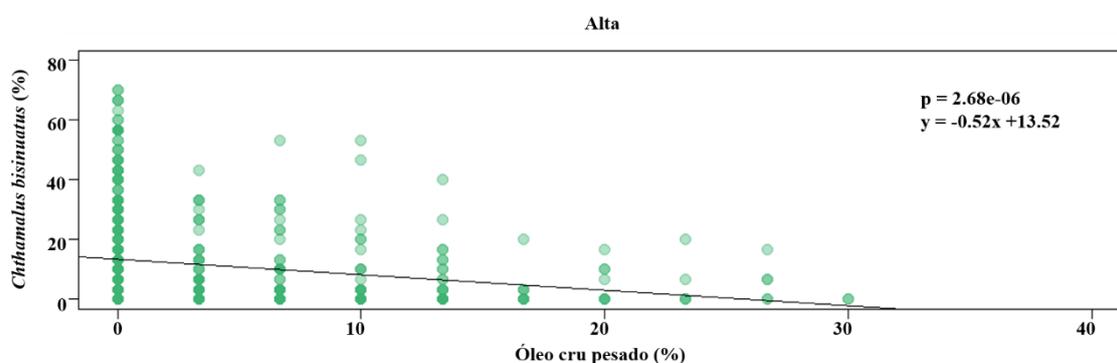


Fonte: o autor, 2022.

O cirripédio *Chthamalus bisinuatus*, que apresentou ocorrência nas áreas Alta e Moderada, apresentou uma linha de regressão decrescente quando os percentuais de *C. bisinuatus* vivos foram plotados em função da presença de óleo cru pesado nos fotoquadrados (Anexo A e Figura 21).

Esta análise demonstra que existe uma associação altamente significativa ($p < 0,05$) entre *C. bisinuatus* vivos e o impacto do óleo cru pesado, com menores coberturas deste cirripédio em imagens com maior cobertura de resquícios de óleo cru pesado.

Figura 21 – Relação linear entre a área de cobertura (%) *Chthamalus bisinuatus*, a área de cobertura de óleo cru pesado e a linha de tendência, para área de estudo com intensidade de impacto considerada Alta (Praia de Itapuama, Pernambuco, Brasil).



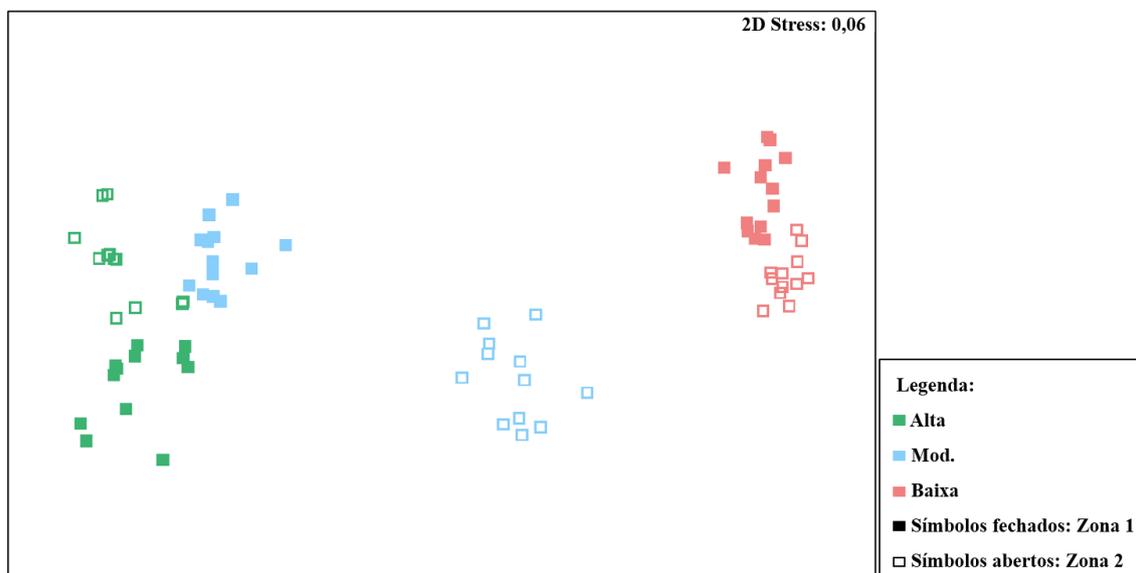
Fonte: o autor, 2022.

O gráfico de escalonamento multidimensional (MDS) demonstrou que há diferença entre as áreas de estudo (Figura 22). As três áreas ficaram bem diferenciadas entre si, demonstrando uma sequência (gradiente) de maior para menor intensidade de impacto. Para viabilizar a comparação visual no gráfico MDS, os transectos próximos à costa foram classificados como Zona 1 e àqueles próximos a face do mar como Zona 2.

A região de baixa intensidade, cor rosa, foi a que apresentou maior diferença, em relação às demais áreas. A área Moderada ficou caracterizada por dois grupos de estações, muito diferentes entre si, sendo a Zona 1 mais semelhante às amostras da região de alta intensidade, enquanto que as amostras da Zona 2 da área Moderada formaram um grupo isolado.

Em todas as áreas foi observada uma clara diferenciação entre a Zona 1 e a Zona 2 (símbolos abertos e fechados). O MDS apresentou um valor de estresse baixo de 0,06, demonstrando uma boa representação das similaridades.

Figura 22 – Escalonamento multidimensional (MDS), com os dados de cobertura viva, evidenciando as três áreas de estudo, por cor - Alta (Itapuama, Pernambuco - Brasil), Mod. (Carneiros, Pernambuco - Brasil) e Baixa (Pontal do Cupe, Pernambuco - Brasil); assim como, as zonas dos substratos consolidados, diferenciadas por símbolos fechados e abertos - Zona 1, próximo à costa e Zona 2, próximo a face do mar, respectivamente.



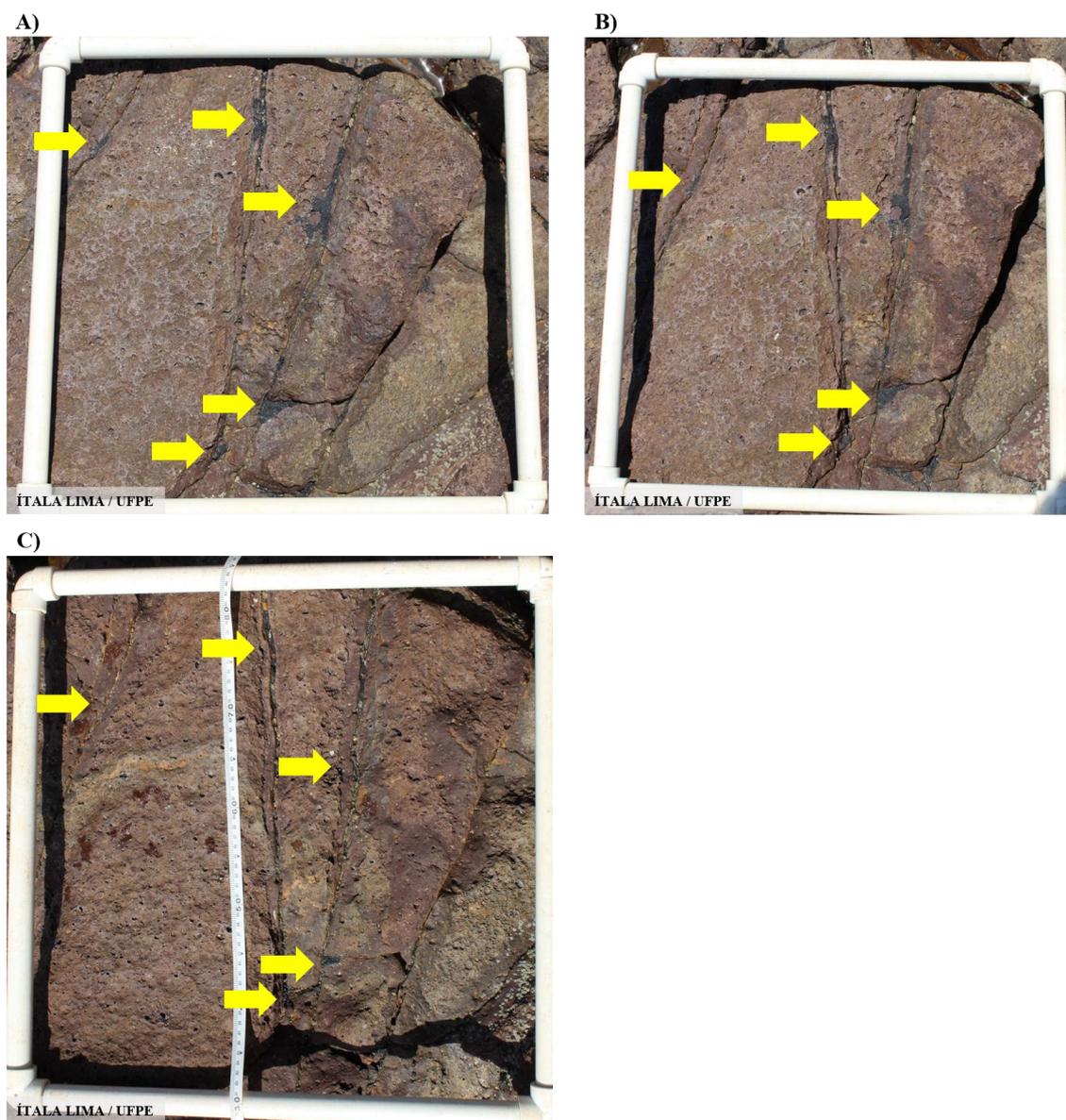
Fonte: o autor, 2022.

Na área de Alta intensidade de impacto, foi delimitada uma região com resíduos de óleo impregnado para realizar o monitoramento em diferentes meses de estudo (Figura 23 A, B e C). O objetivo dos registros foi de avaliar o processo de intemperismo natural, por efeito da ação das ondas, dos ventos, incidência solar, e de organismos marinhos; sem interferência antrópica. O resíduo de óleo impregnado foi sinalizado com setas amarelas e as figuras 23 A e B possuem 1 mês de diferença enquanto a figura 23 C mostra o processo de intemperismo após mais de um ano.

Em adição, ainda na área de Alta intensidade de impacto, as figuras 24 e 25 demonstram que a espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus*, apresenta maior quantidade de espaços vazios (setas vermelhas) do que organismos vivos (setas azuis) quando comparado aos trechos da superfície não oleada. Dessa maneira, é possível observar na figura 24, espaços vazios onde antes havia organismos vivos coincidindo com áreas ainda oleadas (indicadas por setas amarelas). No entanto, indivíduos juvenis também são vistos sobrevivendo sobre essas manchas, assim como indivíduos adultos próximos ao óleo impregnado (Figura 24 e Figura 25).

Além disso, durante a coleta de amostras de óleo para posterior análise química, eventualmente foram observadas camadas de biofilme sobre as manchas de óleo cru pesado (Figura 26).

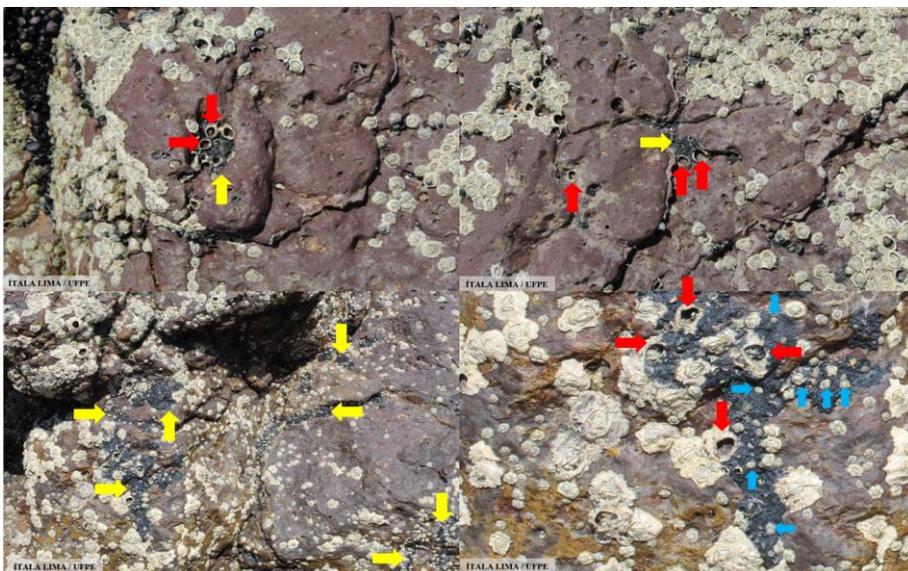
Figura 23 – Processo de intemperismo do óleo cru pesado impregnado na área de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). A) 15/01/2021, B) 12/02/2021 e C) 17/05/2022, mesma localização em diferentes meses.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 24 – Imagens evidenciando manchas de óleo impregnado nas rochas por setas amarelas; espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus*, vivas por setas azuis e mortas por setas vermelhas.

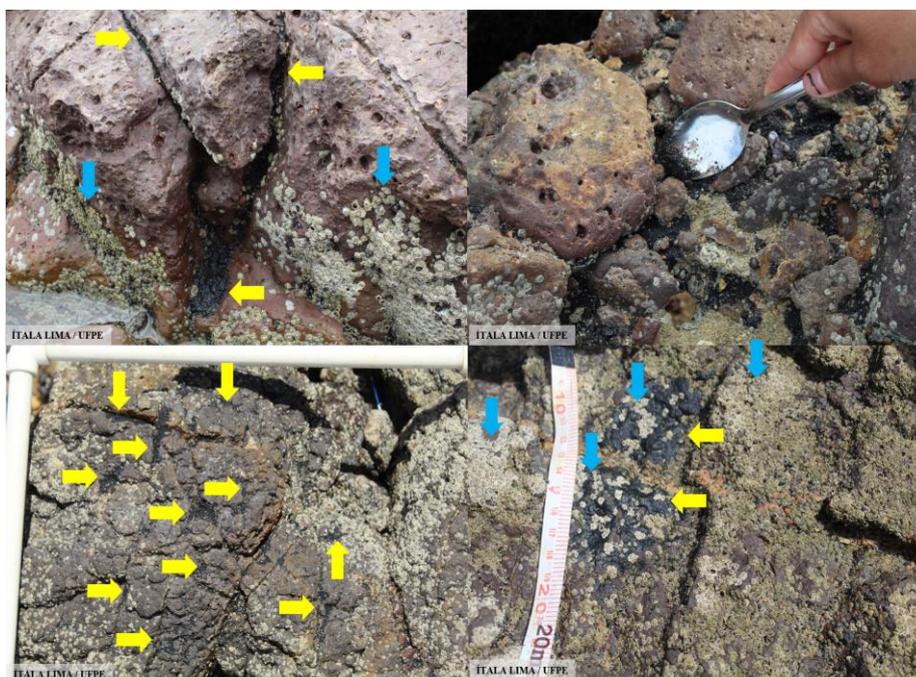
Na área de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em, 17/09/2020 e 16/08/2020.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 25 – Imagens demonstrando a espécie de cirripédio, *Chthamalus bisinuatus*, viva (setas azuis) próximas e sobre manchas de óleo cru pesado impregnado nas rochas (setas amarelas).

Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 14/10/2020, 11/06/2021, 15/01/2021 e 14/11/2020, respectivamente.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 26 – Biofilme por cima de fragmento de óleo coletado como amostra para análises químicas, na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 07/01/2022.



Fonte: o autor, 2022.

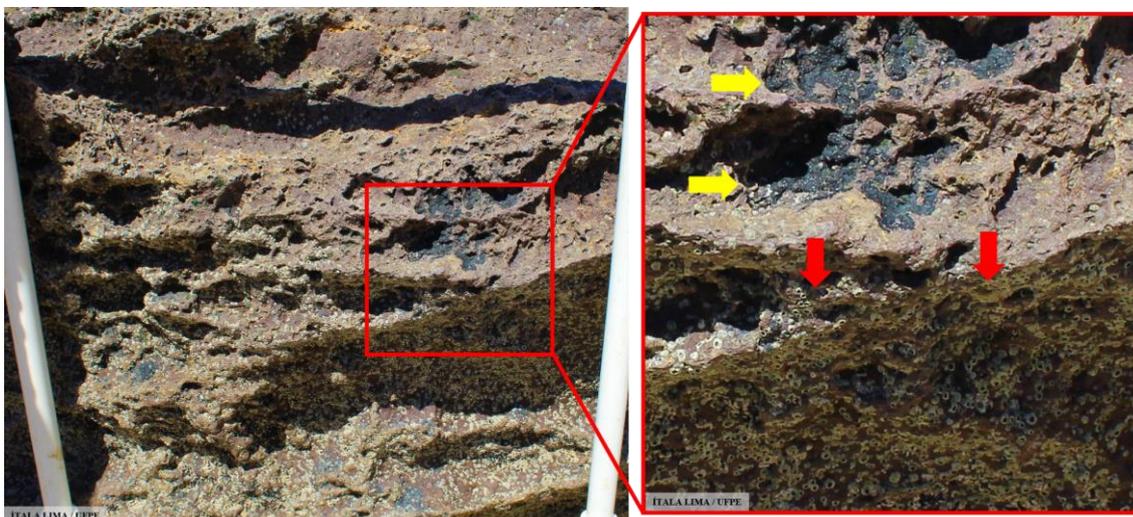
Nas figuras 27 e 28 é possível observar outra comprovação do processo intemperismo de óleo, na área de Alta intensidade de impacto. Os registros foram feitos no mesmo local, porém com quase 2 anos de diferença. Quando ainda havia presença de resíduos de óleo (Figura 27, setas amarelas), havia uma grande quantidade de espaços vazios. Após 2 anos, foi feito o registro no mesmo local, no qual observou-se que o óleo foi completamente intemperizado e uma maior quantidade da espécie *C. bisinuatus* viva.

Já na figura 29 é possível observar como o óleo era encontrado na área de Alta intensidade de impacto, um ano após o derramamento.

Na área de baixa intensidade de impacto foram observados pequenos fragmentos de óleo na faixa de areia, nos meses chuvosos. Os fragmentos foram coletados e armazenados para posterior análise química (Figuras 30 e 31).

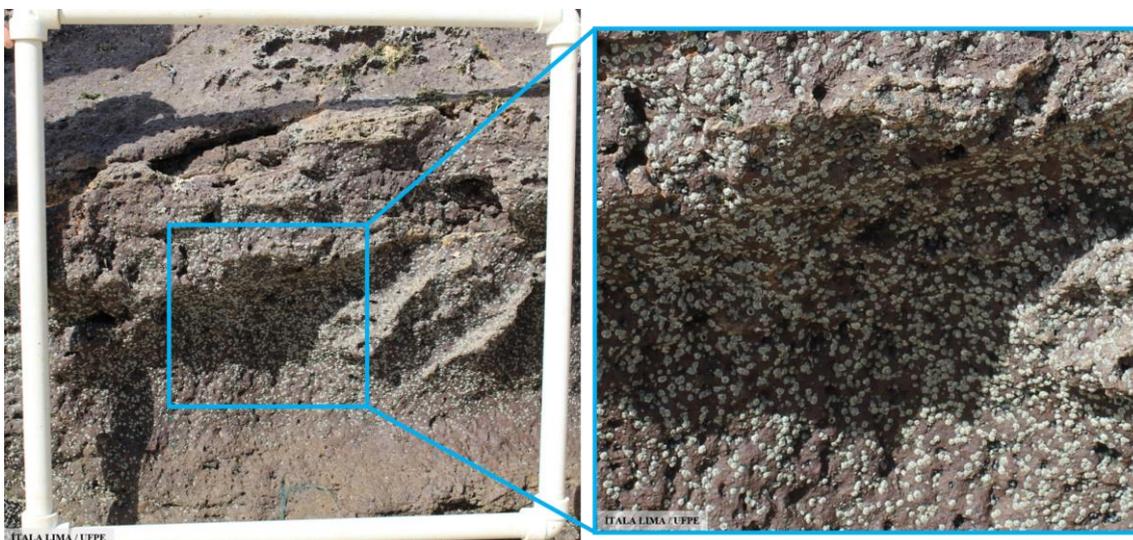
A figura 32 A e B exemplifica as zonas afetada e Referência, respectivamente. É possível visualizar a quantidade de *Chthamalus bisinuatus* vivas na zona Referência em comparação com os espaços vazios na zona com resquícios de óleo impregnado no topo recifal emerso.

Figura 27 – Imagens de uma rocha e zoom da mesma, no qual é possível visualizar espaços vazios da espécie *Chthamalus bisinuatus* morta, na área apontada por setas vermelhas e manchas de óleo cru, apontadas por setas amarelas. Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 17/09/2020.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 28 – Imagens de uma rocha e zoom da mesma, no qual é possível visualizar espécimes de *Chthamalus bisinuatus* vivos. Na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 17/05/2022.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 29 – Caracterização do impacto, coleta de amostra de óleo cru pesado, na região de alta intensidade de impacto (Itapuama, Pernambuco - BR). Foto tirada em 11/06/2021.



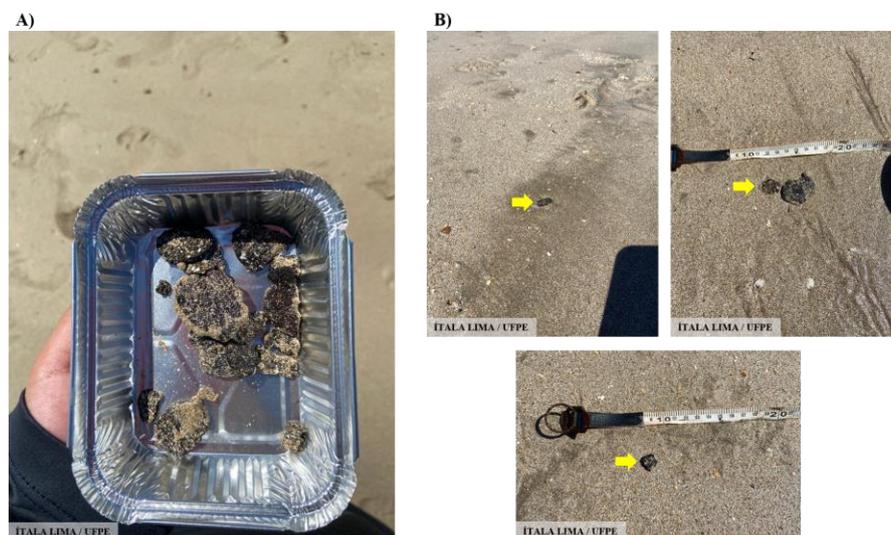
Fonte: o autor, 2022.

Figura 30 – Fragmentos de óleo na faixa de areia na área de baixo nível de impacto (Pontal do Cupe, Pernambuco - BR). Fotos tiradas em 11/06/2021.



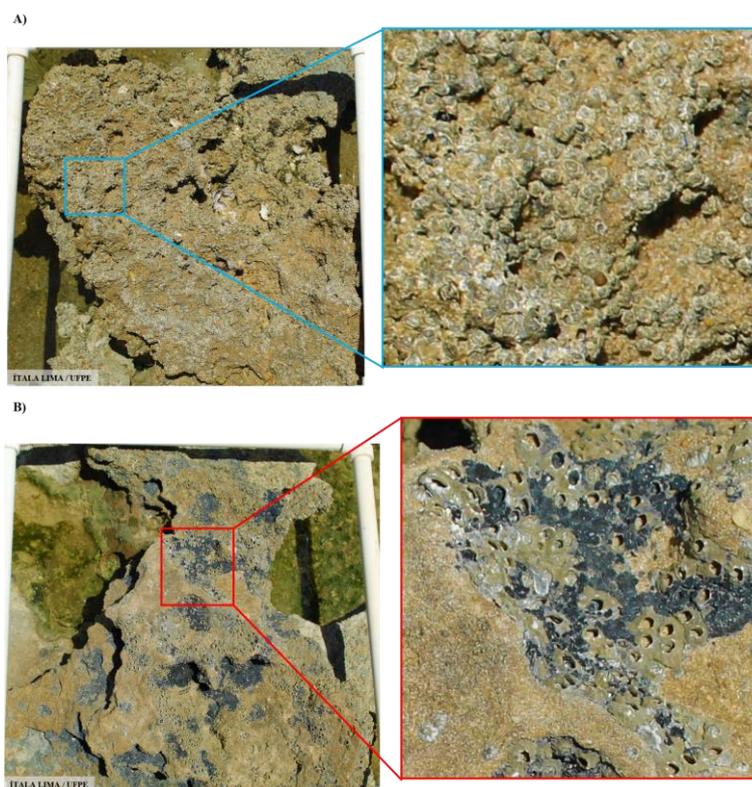
Fonte: o autor, 2022.

Figura 31 – Fragmentos de óleo encontrados na área de baixa intensidade de impacto (Pontal do Cupe, Pernambuco - BR). A) Amostras devidamente armazenadas em pote inox para posterior análise de toxicidade e B) Fragmentos de óleo encontrados na faixa de areia. Fotos tiradas em 11/06/2021.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 32 – Diferença entre populações de *Chthamalus bisinuatus* presentes nas Zonas Referência x Afetada, na área Mod. (Carneiros, Pernambuco – BR). Em que, A) Evidencia a população de *C. bisinuatus* na Zona Referência e B) População de *C. bisinuatus* na Zona Afetada, ou seja, com resíduos de óleo cru.



Fonte: o autor, 2022.

7 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que o derrame de óleo afetou negativamente as comunidades macrobentônicas sésseis nas áreas de maior intensidade de impacto (Figuras 19 e 21). Apesar disso, os resultados também indicam uma recuperação gradativa dos organismos (Figuras 27 e 28). Percebeu-se ainda um gradiente entre a porcentagem de óleo incrustado nas rochas e a presença de organismos vivos.

7.1 INTEMPERISMO DO ÓLEO CRU PESADO NAS ÁREAS DE ESTUDO

O método do fotoquadrado aplicado, ao longo de 1 ano, foi satisfatório para caracterização tanto das comunidades macrobentônicas, como da cobertura de óleo nas áreas de estudo (Figura 14 e Tabela 03). As coletas iniciaram um ano após o derrame de óleo e ainda foi possível visualizar resíduos nas rochas. O fotoquadrado é indicado para analisar áreas impactadas por derrame de óleo ou pisoteio, por exemplo, visto que é um método não destrutivo (FINLAYSON *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2015). Além disso, é uma ferramenta eficaz para identificar os organismos sésseis e sedentários de topos recifais (DIAS *et al.*, 2018).

Uma revisão de literatura avaliou estudos de derrames de óleo e indicou que áreas rochosas, de regiões entremarés, afetadas por derrames de óleo, levam cerca de 3 a 4 anos para recobrar a qualidade ambiental e recuperar os índices de riqueza e abundância (SELL *et al.*, 1995). Por isso, identificar a redução de resíduos de óleo e a potencial exposição às substâncias tóxicas, auxiliam no entendimento de avaliação da recuperação dos locais afetados (HAYWORTH *et al.*, 2011).

Nesse sentido, foi possível identificar no presente trabalho que o material impregnado nas rochas está sendo intemperizado, como possível verificar na área de Alta intensidade de impacto – Itapuama/PE (Figuras 23, 27 e 28). Esse resultado também foi visto no estudo de Bontempo Filho e colaboradores (2022), que avaliaram 3 praias afetadas pelo mesmo derrame de óleo e identificaram que está ocorrendo um intenso processo de intemperismo dos resíduos de óleo remanescentes, mas que na praia de Itapuama, ainda é encontrada uma quantidade considerável de resíduos nas superfícies rochosas, devido a composição do substrato e possivelmente persistirá por mais tempo do que o esperado com relação às outras áreas.

A taxa de intemperismo do óleo varia de acordo com a composição do mesmo e das condições ambientais em que é submetido após o derrame. No caso das regiões tropicais, a temperatura atua como fator preponderante no processo, visto que temperaturas mais quentes aceleram as taxas de intemperismo, possibilitando uma degradação mais rápida do óleo (SUKUMARAN *et al.*, 2014). A temperatura elevada, combinada à ação das ondas podem então ser os fatores essenciais nesse processo de intemperismo das áreas estudadas, visto que não ocorre mais a limpeza mecânica.

Como os derrames de óleo são imprevisíveis ocorrendo por vezes em locais sem estudos pretéritos, Finlayson e colaboradores (2015), indicam a escolha de áreas comparativas e longos períodos de amostragem, possibilitando assim uma avaliação de impacto mais robusta, embasada na comparação temporal e espacial. Por esse motivo, o presente estudo abordou três praias com diferentes intensidades de impacto, conforme comprovado estatisticamente por meio dos resultados de Mann-whitney (Tabela 01), assim como diferentes zonas foram estabelecidas nessas áreas de estudo. Essas áreas foram então classificadas de acordo com a permanência do óleo no ambiente, assim como métricas múltiplas foram adotadas para estudar o nível de recuperação das comunidades macrobentônicas sésseis das áreas de estudo.

Destaca-se ainda que as áreas foram classificadas no presente estudo com relação aos resíduos de óleo impregnados na porção emersa durante o pico de maré baixa (marés de sizígia). Dessa forma, são necessárias investigações para os organismos e persistência do óleo na porção sempre imersa das regiões, para que se possa ter uma compreensão mais refinada do impacto.

7.2 *CHTHAMALUS BISINUATUS* x DERRAMES DE ÓLEO

Os cirripédios são alguns dos organismos mais abundantes em costões rochosos de zonas entremarés, além disso, são facilmente identificáveis e possuem um ciclo de vida bem relatado que pode refletir as condições ambientais (SKINNER *et al.*, 2007). Por isso, espécies de cirripédios, incluindo a *Chthamalus bisinuatus*, são utilizados para análise em áreas impactadas por estressores ambientais e antrópicos (DA SILVA *et al.*, 1997; ALMEIDA *et al.*, 2014; DIAS *et al.*, 2018). Nesse sentido, a espécie *C. bisinuatus* vem sendo documentada como abundante nos costões rochosos entremarés do litoral brasileiro e Pernambucano (FARRAPEIRA, 2010; ZAMPROGNO *et al.*, 2012; SAUCSEN-WEISHEIMER *et al.*, 2021). No presente estudo, essa espécie foi encontrada

nas áreas de alta e moderada intensidade de impacto (Figura 16 e Figura 20) e pôde ser estudada no presente trabalho.

Estudos indicam ainda que diversos fatores físicos e biológicos atuam controlando a dinâmica de populações de cirripédios, podendo afetar o recrutamento, desenvolvimento e até levar à morte dos espécimes (JENKINS *et al.*, 2008; LEAL *et al.*, 2020; FREUCHET *et al.*, 2015; BARBOSA *et al.*, 2016). Além disso, a persistência do material oleoso pode exercer influência na recuperação da *C. bisinuatus*, visto que esses organismos são invertebrados sésseis, impossibilitando a dispersão para uma área livre de óleo. Isso explica a relação inversamente proporcional obtida nos resultados entre a quantidade de *C. bisinuatus* vivos e o percentual de cobertura de óleo cru pesado ($p < 0,05$), na área de **Alta** intensidade de impacto (Figura 21). Dessa forma, quando as manchas de óleo estavam presentes nos foto transectos, era possível visualizar uma maior quantidade de *C. bisinuatus* mortos, ou seja, espaços vazios (Figura 24 e Figura 27).

Isso também ocorreu na área de **Moderada** intensidade de impacto. Foram comparadas duas áreas do topo recifal, escolhidas por terem condições físicas e composição biológica semelhantes das quais: a Zona Afetada ainda apresenta resquícios de óleo nas rochas e a Zona Referência não há indícios do óleo cru pesado impregnado (Tabela 05). A área com óleo encalhado apresentou maior percentual de *C. bisinuatus* adultos mortos, quando comparada a área Referência, como é possível observar na Tabela 04, Figura 19 e Figura 32 A e B9. Os resultados dos testes estatísticos comprovam a diferença entre as populações de *C. bisinuatus* vivas e mortas entre a área afetada x Referência (Anexo C).

Entretanto, também foi observado que a taxa de mortalidade nas áreas oleadas não foi de 100%, visto que ainda foi possível observar indivíduos vivos, em diferentes estágios de vida, nos foto transectos (Figuras 24 e 25). Somado a isso, foi escolhida uma área oleada para ser registrada no início e ao final das campanhas de coleta possibilitando assim uma comparação visual. Foi então observado, na área de **Alta** intensidade de impacto, um aumento considerável da população de *C. bisinuatus* vivos 1 ano e 8 meses após feito o primeiro registro, além do desaparecimento do óleo impregnado (Figuras 27 e 28). Vale ressaltar que os estudos iniciaram 1 ano após o derramamento de óleo cru pesado. Essa observação corrobora com o estudo de impacto do mesmo derrame, feito em um costão rochoso no estado da Bahia/BR, por Gusmão e colaboradores (2021).

Portanto, coincidindo com estudos anteriores, a *C. bisinuatus* mostrou-se um bom organismo indicador de impacto para o derrame de óleo (LOPES *et al.*, 1997; COUTINHO & ZALMON, 2016; DIAS *et al.*, 2018; GUSMÃO *et al.*, 2021). Sabe-se que essa espécie é favorecida em áreas de costões rochosos entremarés que ficam mais tempo expostas durante a baixa-mar (ZAMPROGNO 2012; LEAL, 2020). Este fato condiz com os resultados vistos no gráfico de MDS, no qual o grupo da Zona 1 da área **Moderada** está mais próximo da área de **Alta** intensidade de impacto, indicando similaridade entre essas áreas. Isso porque, a Zona 1 da área **Moderada** fica mais próxima a costa e mais tempo exposta na baixa mar, favorecendo o estabelecimento de população de *C. bisinuatus* que possui maior resistência a essas condições físicas. Enquanto a área de **Alta** intensidade de impacto possui grupos da Zona 1 e 2 próximos, o que pode ser explicado pela composição do substrato rochoso, que dificulta o estabelecimento de outros organismos, além de ambas as zonas ficarem expostas durante a baixa mar durante um tempo similar - Projeto Orla (CPRH, 2010).

Dessa forma, foi visto no presente estudo que as populações de *C. bisinuatus* foram afetadas pelo derrame, porém, apresentam indícios de que estão em processo de recuperação. Com isso, são necessários estudos de longo prazo, aliado a pesquisas de toxicidade, aplicados a esses organismos, para melhor entender a resistência das populações de cirripédios em derrames de petróleo e fornecer respostas seguras acerca dos efeitos crônicos.

7.3 GRADIENTE DE DIVERSIDADE NAS ÁREAS DE ESTUDO

No presente estudo, foram estudadas populações sésseis e semissésseis de substratos duros intertidais. Os resultados dos testes estatísticos comprovam que as áreas de estudo apresentam composições biológicas distintas (Figura 22 e Tabela 01). Sabe-se que substratos duros de zonas intertidais podem ser biologicamente ricos, favorecendo o estabelecimento de grandes grupos taxonômicos, tais como: algas, líquens, esponjas, crustáceos, moluscos e equinodermos. Essa composição poderá diferir entre áreas ou ainda no mesmo topo recifal, neste último caso gerando a chamada zonação, influenciada por variações diárias e sazonais (SATYAM; THIRUCHITRAMBALAM, 2018).

Nesse sentido, ao analisar o gráfico MDS (Figura 22) a área **Moderada** apresentou uma zonação mais evidente do que as áreas de **Alta** e **Baixa** intensidade de impacto. Isso porque, o topo recifal de Carneiros apresenta uma área do topo recifal que fica mais tempo exposta durante a baixa mar, outra área intermediária e por fim, a área

sempre úmida, ou seja, próximo a face do mar e recebendo respingos das ondas, assim também foi observado por Correia e colaboradores (2018). Cada zona é então habitada por organismos que se beneficiam das condições físicas e interações ecológicas a que são submetidas.

Em contrapartida, as áreas classificadas como **Alta** e **Baixa** intensidade de impacto (Itapuama – PE e Pontal do Cupe – PE, respectivamente) apresentaram distribuição de populações sésseis e semissésseis mais homogênea quando comparada a área **Moderada**.

Assim como esperado, os *beach rocks* da área de **Alta** intensidade de impacto apresentaram a espécie *Chtamalus bisinuatus* contribuindo com 50,55% para composição biológica presente e diferenciação da área, seguido por Biofilme, *Echinolittorina ziczac* e *Mytilus edulis*. Somado a isso essa área apresentou composição menos diversa do que as demais, isso é comum ao tipo de substrato estudado, que combinado ao tempo de exposição durante a oscilação de marés, dificultam o estabelecimento de outros organismos e explicam o elevado percentual de substrato exposto demonstrado graficamente na figura 20 A (SAUCSEN-WEISHEIMER *et al.*, 2021).

Por fim, a área de **Baixa** intensidade de impacto, apresentou a maior taxa de diversidade entre as áreas estudadas (média: 1,52). O topo recifal da área fica menos tempo exposto durante a maré baixa e possui composição arenítica/coralínea com a presença de poças que ficam cheias mesmo no pico de maré baixa, fornecendo um ambiente propício ao estabelecimento de táxons como a alga *Palisada perforata*, o molusco vermetídeo *Petalococonchus* e o coral mole *Palythoa caribaeorum*. Vale ressaltar que o percentual de substrato exposto foi praticamente 0% para esta área (Figura 20 C).

Dessa forma, o gradiente de diversidade entre as áreas apresenta como fatores predominantes as diferenças morfodinâmicas e formação dos substratos particulares de cada área de estudo. Por isso, se faz necessário adotar diversas análises para que seja possível determinar como derrames de óleo afetam as populações de áreas atingidas fornecendo uma análise global e identificando quais populações foram afetadas.

8 CONCLUSÕES

- Os resíduos de óleo cru pesado impregnados nos substratos consolidados, presentes nas áreas de **Alta** e **Moderada** intensidade de impacto, estão sendo intemperizados.
- A comunidade macrobentônica exposta a diferentes graus de exposição ao óleo, apresenta um gradiente de distribuição e similaridade, que em níveis intermediários é influenciada pela exposição a umidade.
- A espécie de cirripédio *Chthamalus bisinuatus* demonstrou-se um bom organismo para estudos acerca do derramamento de óleo cru pesado que atingiu o litoral brasileiro em 2019.
- Os resultados indicam que as populações atingidas das áreas de **Alta** e **Moderada** intensidade de impacto estão se recuperando.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. *et al.* Dispersant Corexit 9500A and chemically dispersed crude oil decreases the growth rates of meroplanktonic barnacle nauplii (*Amphibalanus improvisus*) and tornaria larvae (*Schizocardium* sp.). **Marine Environmental Research**, v. 99, p. 212-217, 2014.
- ARAÚJO, M.E.; RAMALHO, C.W.N.; MELO, P.W. Artisanal fishers, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, 2020.
- BAGBY, S.C. *et al.* Persistence and biodegradation of oil at the ocean floor following *Deepwater Horizon*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 1, p. E9–E18, 2017.
- BARBOSA, A.C.C. *et al.* Local biological drivers, not remote forcing, predict settlement rate to a subtropical barnacle population. **Marine Ecology Progress Series**, v. 543, p. 201-208, 2016.
- BARRON, M.G. *et al.* Long-Term Ecological Impacts from Oil Spills: Comparison of Exxon Valdez, Hebei Spirit, and Deepwater Horizon. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 11, p. 6456–6467, 2020.
- BONTEMPO F., EDUARDO B. *et al.* Temporal monitoring of contamination in three sandy beaches from the 2019 oil spill near Cabo de Santo Agostinho, Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, 2022.
- CAKIR, E.; SEVGILI, C.; FISKIN, R. An analysis of severity of oil spill caused by vessel accidents. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 90, p. 102662, 2021.
- CAMPELO, R.P.S. *et al.* Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, 2021.
- CLARKE, K.R.; WARWICK, R.M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2 ed. PRIMER-E, **Plymouth**, p. 176, 2001.
- CORREIA, J.R. *et al.* Substrate zonation as a function of reef morphology: a case study in Carneiros Beach, Pernambuco, Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 81, p. 1-9, 2018.
- COUTINHO, M.S.; BERNARDINO, A.F. Spatial and seasonal changes in benthic macrofauna from two dissipative sandy beaches in eastern Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 4, p. 666–677, 2017.
- COUTINHO, R. *et al.* Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 27-36, 2016.
- CRAVEIRO, N. *et al.* Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**,

v. 165, 2021.

CRONE, T.J.; TOLSTOY, M. Magnitude of the 2010 Gulf of Mexico Oil Leak. **Science**, v. 330, n. 6004, p. 634–634, 2010.

DA SILVA, E. M. *et al.* Impact of petroleum pollution on aquatic coastal ecosystems in Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 16, n. 1, p. 112-118, 1997.

DE OLIVEIRA E. *et al.* Immediate social and economic impacts of a major oil spill on Brazilian coastal fishing communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 164, 2021.

DE OLIVEIRA, O.M.C. *et al.* Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111597, 2020.

DIAS, G.M. *et al.* Environmental heterogeneity at small spatial scales affects population and community dynamics on intertidal rocky shores of a threatened bay system. **Ocean & coastal management**, v. 164, p. 52-59, 2018.

DRAKE, J.L. *et al.* How corals made rocks through the ages. **Global Change Biology**, v. 26, n. 1, p. 31–53, 2020.

FARRAPEIRA, C.M.R. Shallow water Cirripedia of the northeastern coast of Brazil: the impact of life history and invasion on biogeography. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 210-219, 2010.

FASSBENDER, N. *et al.* Reef benthos of Seychelles - A field guide. **Biodiversity Data Journal**, v. 9, p. 1–189, 2021.

FIGUEIREDO M., *et al.* On the Impact of Brazil's Largest Recent Oil Spill on Regional Oceans. **Sustainable Marine Structures**, v. 3, n. 2, 2021.

FINLAYSON, K. *et al.* Recovery of a subtropical rocky shore is not yet complete, four years after a moderate sized oil spill. **Marine Pollution Bulletin**, v. 93, n. 1-2, p. 27-36, 2015.

FISHER, R. *et al.* Species richness on coral reefs and the pursuit of convergent global estimates. **Current Biology**, v. 25, n. 4, p. 500–505, 2015.

FREIWALD, J.; NEUMANN, A. Reef Check California: Citizen Scientist monitoring of rocky reefs and kelp forests: Creating a baseline for California's North Coast MPAs. 2017.

FREUCHET, F.; TREMBLAY, R.; FLORES, A.A.V. Interacting environmental stressors modulate reproductive output and larval performance in a tropical intertidal barnacle. **Marine Ecology Progress Series**, v. 532, p. 161-175, 2015.

GHORBANI, Z.; BEHZADAN, A.H. Monitoring offshore oil pollution using multi-class convolutional neural networks. **Environmental Pollution**, v. 289, p. 117884, nov.

2021.

GLEASON, D.F. *et al.* The role of larval supply and competition in controlling recruitment of the temperate coral *Oculina arbuscula*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 506, p. 107-114, 2018.

GOULART M.D.C. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, 2003.

GROS, J. *et al.* First day of an oil spill on the open sea: Early mass transfers of hydrocarbons to air and water. **Environmental Science and Technology**, v. 48, n. 16, p. 9400–9411, 2014.

GUIMARÃES, T. *et al.* Beachrocks of Southern Coastal Zone of the State of Pernambuco (Northeastern Brazil): Geological Resistance with History. **Geoheritage**, v. 9, n. 1, p. 111–119, 2017.

GUIMARÃES, T.; MARIANO, G.; SÁ, A. Revista Brasileira de Geografia Física Inventário e avaliação qualitativa como subsídio à geoconservação e ao geoturismo: Litoral Sul do Estado de Pernambuco (Nordeste-Brasil), **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2017.

GUSMAO, J.B. *et al.* The barnacle *Chthamalus bisinuatus* is the only sessile invertebrate colonizing oil patches on beachrocks one year after a massive oil spill on the Northeastern Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 112952, 2021.

HAYAKAWA, K. Oil Spills and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. In: *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. Singapore: **Springer Singapore**, p. 213–223, 2018.

HAYWORTH, J.S.; CLEMENT, T.P.; VALENTINE, J.F. Deepwater Horizon oil spill impacts on Alabama beaches. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 12, p. 3639-3649, 2011.

HILL, J.; WILKINSON, C. Methods for ecological monitoring of coral reefs. **Australian Institute of Marine Science, Townsville**, p. 117, 2004.

HOLANDA, T.F. *et al.* Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, praia do Paiva, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020.

HOLMES, G. Estimating three-dimensional surface areas on coral reefs. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 365, n. 1, p. 67–73, 2008.

HUGHES, T.P. *et al.* Coral reefs in the Anthropocene. **Nature**, v. 546, n. 7656, p. 82–90, 2017.

IBAMA. Manchas de Óleo Litoral do Nordeste. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>>. Acesso em: 10 fev, 2021.

JENKINS, S.R. *et al.* Comparative ecology of North Atlantic shores: do differences in players matter for process? **Ecology**, v. 89, n. sp11, p. S3-S23, 2008.

JOHANSEN, J.L. *et al.* Oil exposure disrupts early life-history stages of coral reef fishes via behavioural impairments. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 8, p. 1146–1152, 17 ago, 2017.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Organisms as Ecosystem Engineers. In: *Ecosystem Management: Selected Readings*. New York, NY: **Springer New York**, p. 130–147, 1996.

KOHLER, K.E.; GILL, S.M. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. **Computers & geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1259-1269, 2006.

KOLOKOUSSIS, P.; KARATHANASSI, V. Oil spill detection and mapping using sentinel 2 imagery. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 6, n. 1, 2018.
LAW, R.J. The Sea Empress Oil Spill, 1996. In: *Oil Spill Science and Technology*. Elsevier, p. 1109–1117, 2011.

LEAL, I. *et al.* Response of tropical and subtropical chthamalid barnacles to increasing substrate temperatures. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 524, p. 151281, 2020.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. **Latin American Coral Reefs**, p. 9–52, 2003.

LEWIS, J.P. *et al.* Changes in Reef Fish Community Structure Following the Deepwater Horizon Oil Spill. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5621, 9 dez. 2020.

LIRA, A.L.O. *et al.* Effects of contact with crude oil and its ingestion by the symbiotic polychaete *Branchiosyllis* living in Poríferas (*Cinachyrella* sp.) following the 2019 oil spill on the tropical coast of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 801, 2021.

LIU, Y. *et al.* Effect of oil spill stress on fatty acid stable carbon isotope composition of *Ulva pertusa*. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 1443–1451, 2019.

LOPES, C.F. *et al.* Coastal Monitoring Program of São Sebastião channel: assessing the effects of ‘Tebar V’ oil spill on rocky shore populations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 34, n. 11, p. 923-927, 1997.

LOURENÇO, R.A. *et al.* Mysterious oil spill along Brazil’s northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, p. 111219, 2020.

LOYA, Y. Plotless and transect methods. In: **Monographs on Oceanic**, p. 197–218, 1978.

LOYA, Y.; RINKEVICH, B. Effects of Oil Pollution on Coral Reef Communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 3, n. 3, p. 167–180, 1980.

MAGALHÃES, K.M. *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery

resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: Short-term environmental health and seafood safety. **Marine Pollution Bulletin**, v. 175, 2022.

MAGRIS, R.A.; GIARRIZZO, T. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, p. 110961, 2020.

MAIDA, M.; FERREIRA, B.P. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brazil, CEP 50739-540. In: **Proc 8th Int Coral Reef Sym**, p. 263-274, 1997.

MALLMANN, D. et al. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-189, 2014.

MARQUES, W.C. et al. Numerical modeling of the Tramandaí beach oil spill, Brazil- Case study for January 2012 event. **Applied Ocean Research**, v. 65, p. 178-191, 2017.

MARTINS, K. A. et al. The role of coral reefs in coastal protection: analysis of beach morphology. **Journal of Coastal Research**, v. 92, n. SI, p. 157-164, 2019.

MEADOWS, P.S.; MEADOWS, A.; MURRAY, J.M.H. Biological modifiers of marine benthic seascapes: Their role as ecosystem engineers. **Geomorphology**, v. 157-158, p. 31-48, 2012.

MORAIS, J. et al. Dangerous demographics in post-bleach corals reveal boom-bust versus protracted declines. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2021.

NELSON, R.K. et al. Applications of Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography (GC × GC) in Studying the Source, Transport, and Fate of Petroleum Hydrocarbons in the Environment. Second Edi ed. **Elsevier Inc.**, 2016.

NEUMANN, V.H. et al. Beachrocks da Praia dos Carneiros, próximos à desembocadura do Rio formoso, Tamandaré-PE: arenitos de praia com intercalações da alga codiácea do gênero *Halimeda*. In: **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário dos Países de Línguas Ibéricas**, 2003.

NYSTRÖM M. et al. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. **Trends in ecology & evolution**, v. 15, n. 10, p. 413-417, 2000.

PASSOS T., PENNY D., SANDERS C., DE FRANÇA E. et al. Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil. **Mar Pollut Bull**, 166: 112219, 2021.

PROJETO, ORLA. Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima. **Plano de intervenção na orla marítima do Cabo de Santo Agostinho**, 2010.

RAIMONDI, P. et al. Assessment of potential impacts to rocky intertidal community

following the Refugio. **NOOA.GOV**, 2019.

RAJENDRAN, S. *et al.* Monitoring oil spill in Norilsk, Russia using satellite data. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–20, 2021.

RAMOS, C.A.C. *et al.* Quantification of reef benthos communities and variability inherent to the monitoring using video transect method. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 162, n. 1–4, p. 95–101, 2010.

RIBEIRO, L.C.D.S. *et al.* Blue water turns black: economic impact of oil spill on tourism and fishing in Brazilian Northeast. **Current Issues in Tourism**, v. 24, n. 8, p. 1042–1047, 2021.

ROBERTS, D.A.; JOHNSTON, E.L.; POORE, A.G.B. Contamination of marine biogenic habitats and effects upon associated epifauna. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, n. 6, p. 1057–1065, 2008.

ROELFSEMA, C. *et al.* Benthic and coral reef community field data for Heron Reef, Southern Great Barrier Reef, Australia, 2002–2018. **Scientific Data**, v. 8, n. 1, p. 1–7, 2021.

ROGERS, C.S. *et al.* Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. **Virgin Islands National Park**, 1994.

SALIHOGU, E.; BAL BEŞİKÇİ, E. The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a maritime accident: A case study of Prestige. **Ocean Engineering**, v. 219, p. 108223, 2021.

SANTOS, G.S. *et al.* The Impact of Trampling on Reef Macrofauna in Northeastern Brazil: How Effective are Current Conservation Strategies? **Environmental Management**, v. 56, n. 4, p. 847–858, 2015.

SANTOS, G.; LIRA, S.M.A.; SCHWAMBORN, R. Análise das comunidades macrobentônicas sésseis, com ênfase na interação entre o cnidário *zoanthus sociatus* (ellis, 1768) e macroalgas, no topo de um recife de águas rasas do nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, 2015.

SATYAM, K.; THIRUCHITRAMBALAM, G. Habitat ecology and diversity of rocky shore fauna. In: Biodiversity and climate change adaptation in tropical islands. **Academic Press**. p. 187-215, 2018.

SAUCSEN-WEISHEIMER, A.; LANA, P.; FLORES, A.A.V. Salinity gradients and interspecific competition determine the distribution of chthamalid barnacles in a subtropical estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 262, p. 107587, 2021.

SCHLENKER, L.S. *et al.* Damsels in Distress: Oil Exposure Modifies Behavior and Olfaction in Bicolor Damselfish (*Stegastes partitus*). **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 18, p. 10993–11001, 17 set. 2019.

SEBENS, K.P. Habitat structure and community dynamics in marine benthic systems.

In: BELL, S. S.; MCCOY, E. D.; MUSHINSKY, H. R. (Ed.). *Habitat Structure: The physical arrangement of objects in space*. Dordrecht: **Springer Netherlands**. p. 211–234, 1991.

SELL, D. *et al.* Scientific criteria to optimize oil spill cleanup. In: **International Oil Spill Conference**. American Petroleum Institute. p. 595-610, 1995.

SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. **Bell system technical journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

SINOPOLI, M. *et al.* Assessing the effect of the alien seaweed *Caulerpa cylindracea* on infralittoral rocky benthic invertebrate community: Evidence from a Mediterranean Marine Protected Area. *Regional Studies in Marine Science*, v. 38, p. 101372, 2020.

SIQUEIRA, S.C.W. *et al.* Understanding the coastal erosion vulnerability influence over sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting in NE of Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 47, p. 101965, 2021.

SKINNER, L.F.; SIVIERO, F.N.; COUTINHO, R. Comparative growth of the intertidal barnacle *Tetraclita stalactifera* (Thoracica: Tetraclitidae) in sites influenced by upwelling and tropical conditions at the Cabo Frio region, Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, 2007.

SOARES, M. de O. *et al.* Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, n. February, 2020.

SOARES-GOMES, A. *et al.* Changes and variations of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in fish, barnacles and crabs following an oil spill in a mangrove of Guanabara Bay, Southeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 8, p. 1359–1363, 2010.

SPALDING, M. *et al.* Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. **Marine Policy**, v. 82, p. 104–113, ago. 2017.

STIEGLITZ, J.D. *et al.* Impacts of *Deepwater Horizon* crude oil exposure on adult mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) swim performance. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 10, p. 2613–2622, 2016.

STOGIANNIDIS, E.; LAANE, R. Source Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Using Their Molecular Indices: An Overview of Possibilities. In: WHITACRE, D. M. (Ed.). *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Cham: **Springer International Publishing**. p. 49–133, 2015.

SUKUMARAN, S. *et al.* Impact of ‘Chitra’ oil spill on tidal pool macrobenthic communities of a tropical rocky shore (Mumbai, India). **Estuaries and coasts**, v. 37, n. 6, p. 1415-1431, 2014.

URBINA-BARRETO, I. *et al.* Which Method for Which Purpose? A Comparison of Line Intercept Transect and Underwater Photogrammetry Methods for Coral Reef Surveys. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, 2021.

VALENTINE, D.L. *et al.* Fallout plume of submerged oil from *Deepwater Horizon*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 45, p. 15906–15911, 2014.

VALLÈS, H.; OXFORD, H.A.; HENDERSON, A. Switching between standard coral reef benthic monitoring protocols is complicated: proof of concept. **PeerJ**, v. 7, p. e8167, 2019.

VERÃO 2020: PORTO DE GALINHAS É O 9º DESTINO DO PAÍS MAIS PROCURADO PELOS TURISTAS. Ipojuca/PE, 2020. IPOJUCA, PREFEITURA DO IPOJUCA. <https://www.ipojuca.pe.gov.br/2020/01/18/verao-2020-porto-de-galinhas-e-o-9o-destino-do-pais-mais-procurado-pelos-turistas/>. Acessado em abril de 2022.

WANG, Y. *et al.* Environmental impact and recovery of the Bohai Sea following the 2011 oil spill. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 114343, 2020.

WELLS, P.G. The iconic Torrey Canyon oil spill of 1967 - Marking its legacy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 115, n. 1–2, p. 1–2, 2017.

WOODHEAD, A.J. *et al.* Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology*, p. 1365- 2435.13331, 2019.

ZACHARIAS, D.C.; FORNARO, A. Brazilian offshore oil exploration areas: an overview of hydrocarbon pollution. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 15, n. 5, p. 1, 2020.

ZACHARIAS, D.C.; GAMA, C.M.; FORNARO, A. Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112125, 2021.

ZAMPROGNO, G.C.; FERNANDES, F.C.; FERNANDES, L.L. Temporal and spatial variation of rocky shores intertidal benthic communities in Southeast Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 102, p. 375-383, 2012.

ZAR, J.H. Biostatistical analysis, **Prentice Hall, Biostatistical analysis**, 3rd ed. Prentice Hall 1996, N. J, v. 3, 1996.

ZHANG, W. *et al.* Governance of global vessel-source marine oil spills: Characteristics and refreshed strategies. **Ocean & Coastal Management**, v. 213, p. 105874, 2021.

ANEXO A – TABELA DE COMPOSIÇÃO DOS ORGANISMOS MACROBENTÔNICOS E OS TIPOS DE PAVIMENTOS ENCONTRADOS NOS TOPOS RECIFAIS DO BAIXA: BAIXA INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO, PONTAL DO CUPE; MOD.: INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO MODERADA, CARNEIROS; ALTA: ALTA INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO, ITAPUAMA. CAMPANHAS DE COLETAS REALIZADAS DE AGOSTO DE 2020 A AGOSTO DE 2021, PARA ITAPUAMA E JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021 PARA CARNEIROS E PONTAL DO CUPE.

TÁXONS	BAIXA	MOD.	ALTA
ARTHROPODA			
Balanidae (Leach, 1817)	X	X	
<i>Chthamalus bisinuatus</i> (Pilsbry, 1916)		X	X
<i>Chthamalus proteus</i> (Dando & Southward, 1980)		X	
<i>Tetraclita stalactifera</i> (Lamarck, 1818)	X	X	
CNIDARIA			
<i>Palythoa caribaeorum</i> (Duchassaing & Michelotti, 1860)	X	X	
<i>Palythoa variabilis</i> (Duerden, 1898)	X	X	
<i>Millepora alcicornis</i> (Linnaeus, 1758)		X	
<i>Siderastrea</i> (Blainville, 1830)	X	X	
<i>Zoanthus sociatus</i> (Ellis, 1768)	X	X	
MOLLUSCA			
<i>Echinolittorina ziczac</i> (Gmelin, 1791)		X	X
<i>Fissurellidae</i> (d'Orbigny, 1839)	X	X	
<i>Isognomon bicolor</i> (C. B. Adams, 1845)	X	X	
<i>Mytilus edulis</i> (Linnaeus, 1758)		X	X
<i>Petalochonchus</i> (H. C. Lea, 1843)	X	X	
CHLOROPHYTA			
<i>Anadyomene stellata</i> (Wulfen) C. Agardh, 1823	X		
<i>Bryopsis</i> J. V. (Lamouroux, 1809)		X	
<i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J. Agardh, 1873	X	X	
Cladophoraceae (Wille, 1884)		X	
<i>Dictyosphaeria versluysii</i> (Weber-van Bosse, 1905)	X	X	
<i>Halimeda</i> (J. V. Lamouroux, 1812)	X	X	
RHODOPHYTA			
Algas coralinas incrustantes	X	X	
Corallinaceae (Lamouroux, 1812)	X	X	
<i>Chondracanthus</i> (Delaroche, 1811)	X		
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel, 1934	X	X	
<i>Gelidium</i> (J. V. Lamouroux, 1813)	X	X	
<i>Gracilaria</i> sp. (Greville, 1830)	X		
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K W Nam, 2007	X	X	
PHAEOPHYTA			
"Turf"	X	X	X
OCHROPHYTA			
<i>Dictyota</i> (J. V. Lamouroux, 1809)	X	X	
<i>Colpomenia</i> (Endlicher) Derbès & Solier, 1851	X		
<i>Padina</i> (Adanson, 1763)	X	X	
<i>Sargassum</i> (C. Agardh, 1820)	X		

TÁXONS	BAIXA	MOD.	ALTA
MICROALGA			
Biofilme	X	X	X
PORIFERA			
<i>Cliona</i> sp. (Grant, 1826)	X	X	
ECHINODERMATA			
<i>Echinometra lucunter</i> (Linnaeus, 1758)	X	X	
PAVIMENTO			
Areia	X	X	X
Beachrocks	X	X	
Rochas vulcânicas			X
Seixo	X	X	X
OUTROS			
Alga arribada		X	
Craca morta	X	X	X
GEPA = <i>Gelidiella acerosa</i> + <i>Palisada perforata</i>	X	X	
Molusco vermetídeo	X	X	
Resquício de óleo cru pesado		X	X

ANEXO B – TABELA COM DADOS ESTATÍSTICOS PARA *CHTHAMALUS BISINUATUS* EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE ÓLEO NAS ÁREAS EM QUE AINDA HÁ PRESENÇA DE ÓLEO IMPREGNADO NAS ROCHAS; ONDE MOD. REPRESENTA A ÁREA COM INTENSIDADE MODERADA DE ÓLEO (CARNEIROS, PERNAMBUCO – BR) E ALTA REFERE-SE A ÁREA COM INTENSIDADE DE ÓLEO CRU PESADO ALTA (ITAPUAMA, PERNAMBUCO – BR).

Áreas	Summary (p-value)	Cor.test (p-value)	Spearman (p-value)	Spearman (rho)
Mod.	0.05086	0.05086	0.01746	0.07670215
Alta	2.69E-06	2.69E-06	5.10E-08	-0.2454767

ANEXO C – TABELA COM RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS PARA *CHTHAMALUS BISINUATUS* VIVAS E MORTAS, COMPARANDO ZONA AFETADA (COM RESÍDUOS DE ÓLEO IMPREGNADO) E ZONA REFERÊNCIA (SEM RESÍDUO DE ÓLEO IMPREGNADO), PRESENTES NA ÁREA DE MODERADA INTENSIDADE DE IMPACTO (CARNEIROS, PERNAMBUCO – BR).

Zona afetada	<i>C. bisinuatus</i> vivas	<i>C. bisinuatus</i> mortas	Mancha de óleo
X			
Zona Referência			
Bartlett	3.23E-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16
Kruskal.test	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16
Mann-whitney	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16

ANEXO D – TABELA DE SIMILARIDADE ENTRE AS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA), MOD. (CARNEIROS) E BAIXA (PONTAL DO CUPE) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; M. S. – MÉDIA DA SIMILARIDADE; SIM./DP. – DESVIO PADRÃO DA SIMILARIDADE; CONT. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021.

	A. M.	M. S.	Sim./dp.	Cont. %	Cont. C. %
Itapuama					
<i>Chthamalus bisinuatus</i>	2,86	38,68	7,94	50,55	50,55

	A. M.	M. S.	Sim./dp.	Cont. %	Cont. C. %
Biofilme	1,59	16,27	1,50	21,26	71,81
<i>Echinolittorina ziczac</i>	1,10	11,04	1,39	14,43	86,24
<i>Mytilus edulis</i>	1,35	9,81	0,80	12,82	99,06
Carneiros					
Biofilme	2,44	16,75	3,40	26,55	26,55
<i>Chthamalus bisinuatus</i>	2,07	13,48	1,72	21,38	47,93
Turf	1,56	9,80	2,73	15,53	63,46
<i>Echinolittorina ziczac</i>	1,17	7,23	1,39	11,47	74,93
<i>Mytilus edulis</i>	1,31	4,66	1,14	7,38	82,31
<i>Petalocochus</i>	0,95	2,36	0,69	3,74	86,05
<i>Palisada perforata</i>	0,81	1,61	0,52	2,56	88,61
<i>Echinometra lucunter</i>	0,62	1,56	0,65	2,48	91,09
Cupe					
<i>Palisada perforata</i>	1,96	6,86	4,57	8,94	8,94
Biofilme	1,72	6,25	8,48	8,14	17,08
Turf	1,75	6,20	6,42	8,07	25,15
<i>Petalocochus</i>	1,78	6,14	4,14	7,99	33,14
Corallinaceae	1,66	5,42	2,73	7,05	40,19
<i>Palythoa caribaeorum</i>	1,56	4,90	2,15	6,38	46,57
<i>Palythoa variabilis</i>	1,30	4,85	10,32	6,32	52,89
<i>Zoanthus sociatus</i>	1,36	4,68	4,02	6,09	58,98
<i>Halimeda</i>	1,31	4,51	5,51	5,87	64,85
<i>Dictyosphaeria versluysii</i>	1,13	4,03	5,60	5,24	70,09
Porifera	1,14	3,53	2,49	4,59	74,68
<i>Caulerpa racemosa</i>	0,95	2,96	1,90	3,85	78,54
<i>Gelidium</i>	0,93	2,92	2,68	3,81	82,35
Coralinas incrustantes	0,90	2,91	4,87	3,79	86,13
<i>Gelidiella acerosa</i>	0,84	2,41	1,62	3,14	89,27
<i>Cliona sp.</i>	0,51	1,29	1,00	1,68	90,95

ANEXO E – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA) E MOD. (CARNEIROS) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021.

	A. M.	A. M.	Méd. Diss.	Diss. Desv. P.	Contrib. %	Contrib. C %
Carneiros x Itapuama						
Turf	1,56	0,34	6,35	1,70	13,92	13,92
<i>Mytilus edulis</i>	1,31	1,35	5,37	1,22	11,79	25,72
Biofilme	2,44	1,59	4,29	1,11	9,42	35,14
<i>Petalocochus</i>	0,95	0,00	3,62	1,13	7,94	43,08
<i>Chthamalus bisinuatus</i>	2,07	2,86	3,27	1,72	7,18	50,26
<i>Palisada perforata</i>	0,81	0,00	2,90	0,93	6,36	56,62

	A. M.	A. M	Méd. Diss.	Diss. Desv. P.	Contrib. %	Contrib. C %
<i>Echinolittorina ziczac</i>	1,17	1,10	2,55	0,96	5,60	62,22
<i>Echinometra lucunter</i>	0,62	0,00	2,37	1,11	5,20	67,42
<i>Gelidiella acerosa</i>	0,52	0,00	1,86	0,95	4,07	71,49
<i>Gelidiella acerosa</i> + <i>Palissada perforata</i>	0,43	0,00	1,53	0,92	3,36	74,85
Fissurellidae	0,33	0,00	1,51	0,86	3,31	78,16
Coralinas incrustantes	0,40	0,00	1,45	0,85	3,17	81,33
<i>Isognomon</i>	0,32	0,00	1,20	0,79	2,64	83,96
<i>Tetraclita stalactifera</i>	0,21	0,00	0,85	0,63	1,86	85,83
Molusco vermitídeo geral	0,19	0,00	0,80	0,64	1,75	87,58
<i>Gelidium</i>	0,22	0,00	0,79	0,67	1,73	89,31
Corallinaceae	0,18	0,00	0,65	0,55	1,42	90,73
Dissimilaridade Média	45,58					

ANEXO F – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE MOD. (CARNEIROS) E BAIXA INTENSIDADE DE IMPACTO (PONTAL DO CUPE). A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021.

	A. M.	A. M	Méd. Diss.	Diss. Desv. P.	Contrib. %	Contrib. C %
Carneiros x Cupe						
<i>Chthamalus bisinuatus</i>	2,07	0,00	5,44	2,53	8,32	8,32
<i>Palythoa caribaeorum</i>	0,04	1,56	3,92	2,30	6,00	14,32
Corallinaceae	0,18	1,66	3,84	2,33	5,88	20,20
<i>Palissada perforata</i>	0,81	1,96	3,40	1,34	5,21	25,41
<i>Zoanthus sociatus</i>	0,07	1,36	3,31	2,99	5,06	30,48
<i>Halimeda</i>	0,02	1,31	3,27	3,75	5,00	35,48
<i>Palythoa variabilis</i>	0,08	1,30	3,14	3,60	4,80	40,28
<i>Echinolittorina ziczac</i>	1,17	0,00	3,10	2,07	4,75	45,03
<i>Mytilus edulis</i>	1,31	0,00	3,02	1,60	4,63	49,66
<i>Petalocochus</i>	0,95	1,78	2,84	1,27	4,35	54,01
<i>Dictyosphaeria versluisii</i>	0,14	1,13	2,58	2,52	3,95	57,97
Porifera	0,17	1,14	2,55	1,92	3,91	61,88
<i>Caulerpa racemosa</i>	0,04	0,95	2,35	2,14	3,60	65,48
<i>Gelidium</i>	0,22	0,93	1,93	1,66	2,95	68,43
Biofilme	2,44	1,72	1,83	2,11	2,80	71,23
Coralinas incrustantes	0,40	0,90	1,68	1,48	2,57	73,80
<i>Gelidiella acerosa</i>	0,52	0,84	1,62	1,30	2,48	76,28
<i>Echinometra lucunter</i>	0,62	0,53	1,46	1,35	2,24	78,52
<i>Dictyota</i>	0,02	0,59	1,46	0,74	2,24	80,76
<i>Cliona sp.</i>	0,02	0,51	1,28	1,45	1,96	82,72
Anadyomene	0,00	0,49	1,25	1,48	1,91	84,63
Fissurellidae	0,33	0,55	1,17	1,21	1,80	86,43

	A. M.	A. M	Méd. Diss.	Diss. Dev. P.	Contrib. %	Contrib. C %
<i>Isognomon</i>	0,32	0,43	1,11	1,13	1,70	88,13
Turf	1,56	1,75	1,08	1,39	1,65	89,78
<i>Gelidiella acerosa</i> + <i>Palissada perforata</i>	0,43	0,19	1,05	1,02	1,60	91,38
Dissimilaridade Média	65,31					

ANEXO G – TABELA DE DISSIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO DE ALTA (ITAPUAMA) E BAIXA (CARNEIROS) INTENSIDADE DE IMPACTO. A. M. – ABUNDÂNCIA MÉDIA; MÉD. DISS. – MÉDIA DA DISSIMILARIDADE; DISS. DESV. P. – DESVIO PADRÃO DA DISSIMILARIDADE; CONTRIB. % - CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE; CONTRIB. C. % - CONTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DA ESPÉCIE. AS COLETAS FORAM REALIZADAS DE JULHO DE 2020 A AGOSTO DE 2021.

	A. M.	A. M	Méd. Diss.	Diss. Dev. P.	Contrib. %	Contrib. C %
Itapuama x Cupe						
<i>Chthamalus bisinuatus</i>	2,86	0,00	8,79	12,48	9,79	9,79
<i>Palissada perforata</i>	0,00	1,96	6,03	4,52	6,72	16,51
<i>Petalocochus</i>	0,00	1,78	5,49	4,13	6,12	22,63
Corallinaceae	0,00	1,66	5,08	3,32	5,65	28,28
<i>Palythoa caribaeorum</i>	0,00	1,56	4,83	2,58	5,38	33,66
Turf	0,34	1,75	4,45	2,29	4,95	38,62
<i>Zoanthus sociatus</i>	0,00	1,36	4,19	4,20	4,67	43,28
<i>Mytilus edulis</i>	1,35	0,00	4,09	1,29	4,55	47,84
<i>Halimeda</i>	0,00	1,31	4,01	4,99	4,47	52,30
<i>Palythoa variabilis</i>	0,00	1,30	4,01	9,01	4,46	56,76
Porifera	0,00	1,14	3,48	2,79	3,88	60,64
<i>Dictyosphaeria versluisii</i>	0,00	1,13	3,48	5,51	3,87	64,52
<i>Echinolittorina ziczac</i>	1,10	0,00	3,36	2,04	3,74	68,26
<i>Caulerpa racemosa</i>	0,00	0,95	2,94	2,44	3,28	71,53
<i>Gelidium</i>	0,00	0,93	2,83	2,94	3,15	74,68
Coralinas incrustantes	0,00	0,90	2,74	3,49	3,05	77,74
<i>Gelidiella acerosa</i>	0,00	0,84	2,56	2,15	2,85	80,58
Biofilme	1,59	1,72	1,88	1,20	2,09	82,67
<i>Dictyota</i>	0,00	0,59	1,74	0,74	1,94	84,62
Fissurellidae	0,00	0,55	1,69	1,35	1,89	86,50
<i>Echinometra lucunter</i>	0,00	0,53	1,59	1,19	1,78	88,28
<i>Cliona sp.</i>	0,00	0,51	1,58	1,52	1,76	90,04
Dissimilaridade Média	89,79					