
Projeto de Caracterização Ambiental (PCA)

Bloco C-M-541 / Bacia de Campos

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

23 DE DEZEMBRO DE 2020

Preparado para:

Total E&P do Brasil

Preparado por:

Paula Vieira Castellões

Julio Pellegrini

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666
www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2020

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO.

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 03

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 04

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 05

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Equipe técnica

Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Registro no Conselho de Classe: AOCEANO 666

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 210325

Responsável pela(s) Seção(ões): todas

Assinatura:



Leonardo Maturo Marques da Cruz

Registro no Conselho de Classe: AOCEANO 1237

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 252527

Responsável pela(s) Seção(ões): análise de dados

Assinatura:



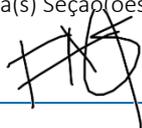
Francisco Alves dos Santos

Registro no Conselho de Classe: AOCEANO 2380

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 459094

Responsável pela(s) Seção(ões): análise de dados

Assinatura:



Paula Vieira Castellões

Registro no Conselho de Classe: 29.526/02D

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 216354

Responsável pela(s) Seção(ões): todas (Responsável Técnica)

Assinatura:



Tiago Cardoso Miranda

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 637144

Responsável pela(s) Seção(ões): logística de mobilização/desmobilização e de atividades de campo

Assinatura:



Pedro Marques São Thiago

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 1452979

Responsável pela(s) Seção(ões): logística de mobilização/desmobilização e de atividades de campo

Assinatura:



Rafael do Rego Barros Lapagesse Alves Corrêa

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 7192805

Responsável pela(s) Seção(ões): atividades de campo (coordenação) e suporte técnico

Assinatura:



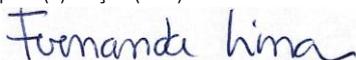
Fernanda Bastos Ramos de Lima

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 7499374

Responsável pela(s) Seção(ões): atividades de campo (coordenação) e suporte técnico

Assinatura:



André Meija Grijó

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5509318

Responsável pela(s) Seção(ões): atividades de campo e suporte técnico

Assinatura:



Luiza Peiter de Barros Barreto

Registro no Conselho de Classe: sem registro

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 7437543

Responsável pela(s) Seção(ões): meteo-oceanografia e suporte técnico

Assinatura:



Santiago Gonzalez Bravo

Registro no Conselho de Classe: Oceanógrafo – profissional sem registro de classe

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 7744957

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Os cadastros técnicos (CTFs) da equipe técnica são apresentados no **Anexo I** e a Anotação de Responsabilidade Técnica apresentada no **Anexo II** deste relatório.

Sumário

Controle de revisão.....	2
Equipe técnica.....	3
Sumário.....	5
1. Apresentação	8
2. Introdução	10
3. Objetivos	11
4. Metas	11
5. Metodologia	12
5.1. Mapeamento e Imageamento do Fundo Marinho	12
5.1.1 Mapeamento do Fundo Marinho	12
5.1.2 Imageamento do Fundo Marinho.....	13
5.2. Qualidade da Água e do Sedimento e Biotas Associadas.....	15
5.2.1 Estratégia Amostral e Registros de Amostragens	15
5.2.2 Metodologias de Amostragem	19
5.2.2.1 Perfilagens de CTD.....	19
5.2.2.2 Amostragens de Água.....	19
5.2.2.3 Amostragens de sedimento.....	25
5.2.2.4 Amostragens de Biota Planctônica	28
5.2.2.5 Amostragem de Biota Bêntica	30
5.2.2.6 Controle e Garantia de Qualidade	32
5.2.3 Parâmetros Seleccionados e Metodologia Analítica	34
5.2.4 Organização e Análise de Dados.....	34
5.2.4.1 Banco de Dados de Caracterização Ambiental	40
5.2.4.2 Diretrizes Norteadoras	41
5.2.4.3 Referências Consideradas.....	42
5.2.4.4 Relatórios Padronizados por Parâmetro.....	49
5.2.4.5 Análises Estatísticas	51

5.2.4.5.1	Qualidade da Água e Biota Associada	53
5.2.4.5.2	Qualidade do Sedimento e Biota Associada	55
6.	Resultados e Discussão.....	56
6.1.	Mapeamento e Imageamento do Fundo	56
6.2.	Qualidade da Água e do Sedimento e Biotas Associadas.....	57
6.2.1	Meteo-oceanografia	57
6.2.1.1	Condições Meteo-ocenográficas	57
6.2.1.2	CTD	59
6.2.2	Qualidade da Água e Biota Associada.....	62
6.2.2.1	OD e pH	62
6.2.2.2	Sólidos Suspensos, Dissolvidos e Totais e Transparência	63
6.2.2.3	Carbono, Nitrogênio e Fósforo Totais.....	64
6.2.2.4	Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos.....	65
6.2.2.5	Elementos-Traço.....	67
6.2.2.6	Sulfetos	69
6.2.2.7	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs)	70
6.2.2.8	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Outros	71
6.2.2.9	Fenóis Totais e BTEX	72
6.2.2.10	Clorofila_a e Feofitina_a.....	73
6.2.2.11	Análise Integrada dos Parâmetros Abióticos	73
6.2.2.12	Fitoplâncton.....	75
6.2.2.13	Zooplâncton.....	78
6.2.2.14	Ictioplâncton.....	79
6.2.2.15	Síntese da Qualidade Ambiental.....	81
6.2.3	Qualidade do Sedimento e Biota Associada	82
6.2.3.1	Granulometria e Teor de Carbonatos.....	83
6.2.3.2	Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo Totais	84
6.2.3.3	Metais Totais	87

6.2.3.4	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs)	92
6.2.3.5	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Outros	94
6.2.3.6	Biomarcadores.....	96
6.2.3.6.1	<i>Whole Oil</i>	96
6.2.3.6.2	Biomarcadores Saturados e Aromáticos.....	103
6.2.3.6.3	Classificação de Origem	118
6.2.3.7	Radionuclídeos	120
6.2.3.8	Fauna Bêntica	123
6.2.3.9	Síntese da Qualidade Ambiental.....	128
7.	Considerações e Conclusões	129
8.	Equipes e Instituições.....	135
9.	Referências.....	138
10.	Anexos.....	161

1. Apresentação

O presente relatório do Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) do Bloco C-M-541 foi elaborado visando atender às expectativas do IBAMA em receber um relatório completo, mas enxuto e objetivo, ainda atendendo às necessidades historicamente exigidas em relatórios dessa natureza. É estruturado:

- listando as metodologias analíticas utilizadas e comparando os limites de detecção e quantificação dos métodos;
- avaliando o enquadramento quanto às diretrizes norteadoras consideradas, antes do início de quaisquer atividades da Total na área do Bloco C-M-541;
- comparando os resultados obtidos à luz do que já se conhece para a região, com base em dados secundários (descrição técnico-metodológica das referências consideradas para comparação, conforme usualmente solicitado nos diagnósticos ambientais nos processos de licenciamento);
- apresentando dados tabelados, graficados e analisados estatisticamente, como anexos para consulta, caso seja de interesse do leitor, dinamizando a apresentação e discussão de resultados no relatório;
- padronizando a forma de apresentação de resultados (tabelados e graficados) em relatórios padronizados, por parâmetro, que incluem a comparação com os resultados da literatura selecionados;
- contando com tabelas de banco de dados já nos formatos padronizados do BDCA; e
- relatórios completos e detalhados de avaliação das biotas planctônica e bêntica, apresentados em anexo, com inclusão, no corpo do relatório, apenas de suas conclusões e informações relevantes, como ocorrência de espécies oportunistas, invasoras, ameaçadas, raras, endêmicas, indicadoras e de interesse econômico e científico (quando pertinente).

Notar-se-á que os parâmetros de qualidade da água e a grande maioria dos parâmetros de qualidade do sedimento foram tratados de forma objetiva, avaliando principalmente seu enquadramento e sua variação à luz do esperado para a região (com base nos dados secundários selecionados para comparação). Parâmetros mais recentemente incluídos no conjunto a ser analisado para caracterização e monitoramento ambiental, tais como biomarcadores e radionuclídeos no sedimento, foram tratados com maior detalhamento, gráficos ilustrativos e discussões mais abrangentes. No caso de biomarcadores, principalmente por se tratar de uma avaliação qualitativa, que necessita de uma análise mais aprofundada para que os seus objetivos sejam alcançados, buscou-se estender a discussão para além da geração de razões que potencialmente indiquem alguma fonte alóctone, chegando-se a discutir a origem dos hidrocarbonetos encontrados, mesmo que a nível traço.

As conclusões deste relatório são apresentadas, também, de forma inovadora, estando organizadas como lacunas a serem preenchidas, considerando as “perguntas” levantadas na Nota Técnica nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC (SEI 4142461), agrupadas para facilitar o entendimento e visando garantir que todos os tópicos sejam respondidos.

Além disso, os dados e relatórios deste PCA serão devidamente carregados e publicados no BDCA. Por ora, são apresentadas, nos anexos do presente relatório, as planilhas de dados, com estrutura previamente definida pelo BDCA, que organizam os dados do projeto de forma a serem mais facilmente acessados e correlacionados pelo sistema.

Estas inovações, frente aos relatórios de Projetos de Caracterização Ambiental que vinham sendo protocolados até então, visam atender às solicitações (1) da Nota Técnica nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC (SEI 4142461), que define as diretrizes para implementação de PCAs e PMAs; (2) do Ofício nº 962/2019/COEXP/CGMAC/DILIC (SEI 6657161), referente ao Banco de Dados de Caracterização Ambiental (BDCA); (3) do Termo de Referência da atividade (SEI 7284259); e (4) dos esclarecimentos da Coordenadora Katia Adriana de Souza (COEXP/CGMAC/DILIC/IBAMA), por email em 28/09/2020, sobre se a inserção de dados no BDCA, de fato, substituiria a utilização das planilhas de dados para projetos de monitoramento ambiental constantes do EAP do Bloco C-M-541.

Esperamos, assim, contribuir com o processo de uniformização dos procedimentos para caracterização ambiental e proteção ao ambiente marinho.

Equipe da PROOCEANO

2. Introdução

O Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) do Bloco C-M-541, Bacia de Campos faz parte dos compromissos assumidos pela TOTAL E&P do Brasil (TOTAL), como operadora (40%, em parceria com as empresas Qatar Petróleo com 30% e Petronas com 30%) do Bloco C-M-541, localizado na Bacia de Campos, a aproximadamente 180 km da costa do estado do Rio de Janeiro, em relação ao município de Campos dos Goytacazes, e em lâminas d'água de cerca de 3.000 metros (**Figura 1**). Foi tecnicamente aprovado pela COEXP/CGMAC/DILIC em 12/07/2020, através do Parecer Técnico (PT) nº 161/2020 (SEI nº 7953949). Para sua execução, foi emitida a Autorização de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico - ABIO nº 1298/2020 (7969718), válida até 19/07/2021 (**Anexo III**).

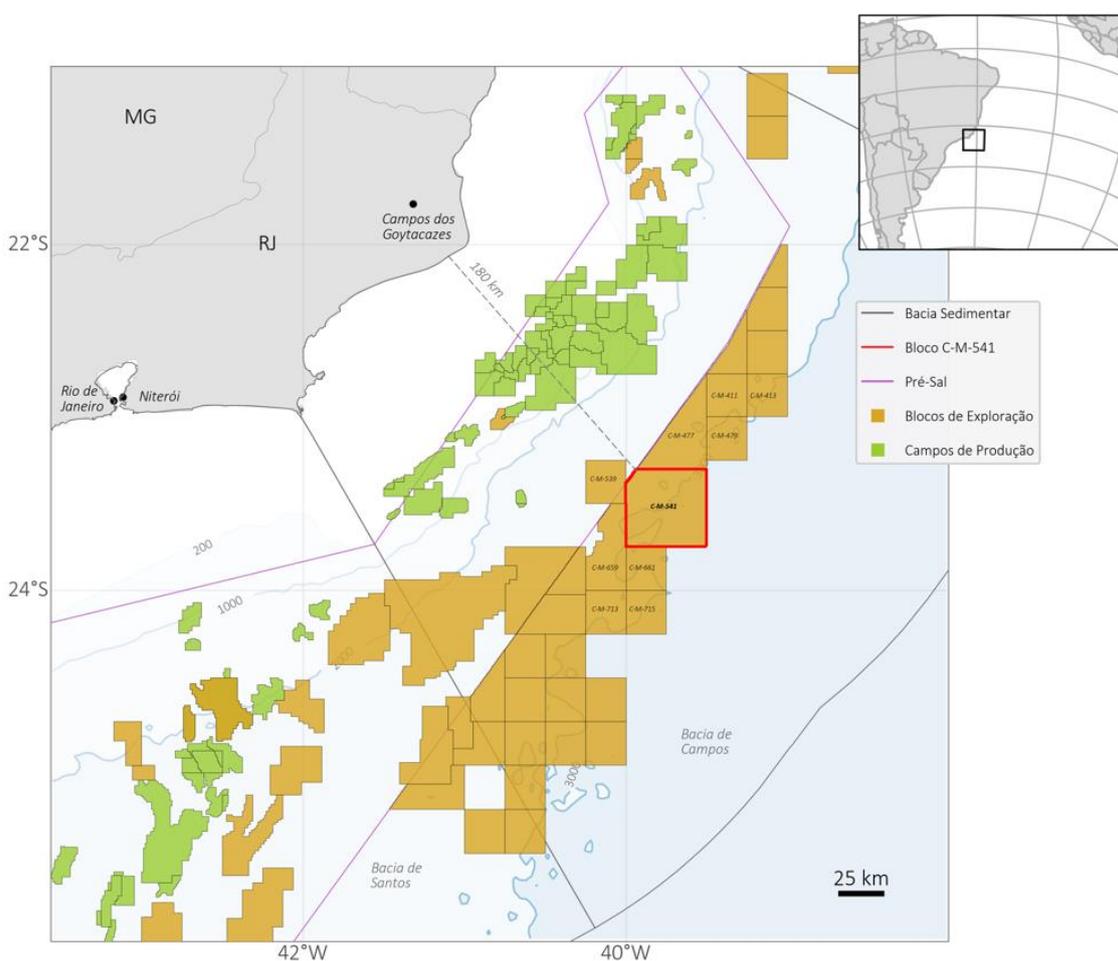


Figura 1: Localização do Bloco C-M-541, na porção Sul da Bacia de Campos. Fonte: PROOCEANO.

Os dados primários obtidos com objetivo de caracterização ambiental da área do Bloco C-M-541 e avaliação de possível passivo ambiental deixado pela perfuração do poço 1-BRSA-125-RJS, em 2002, visam embasar o diagnóstico ambiental da Atividade de Perfuração no Bloco C-M-541 (Processo nº 02001.004543/2020-73).

Em função do desenho amostral proposto neste PCA foram previstos dois relatórios, com conteúdo diferentes, sendo o presente correspondente ao primeiro deles, cujo conteúdo, abaixo indicado, foi definido no próprio texto do projeto aprovado pelo PT nº 161/2020-COEXP/CGMAC/DILIC:

- Relatório de Caracterização Ambiental do Bloco (atendendo à NT 01/2019), para subsidiar o licenciamento ambiental da atividade de perfuração no Bloco C-M-541 (**presente relatório**)
 - malha de caracterização ambiental
 - malha de avaliação de passivo
 - análise estatística integrada
 - comparação com dados disponíveis no BDCA para a região
 - comparação com dados disponíveis na literatura e em relatórios de projetos ambientais realizados em áreas adjacentes

Para que não haja necessidade de retrabalho de análise do conteúdo, não haverá reapresentação de conteúdo nos relatórios previstos. A organização dos conteúdos desta forma visa facilitar sua análise e a utilização dos resultados, enquanto respeitando os objetivos do Projeto, levando em consideração a malha amostral proposta.

3. Objetivos

O projeto possui como objetivo principal caracterizar as condições ambientais preexistentes à realização de quaisquer atividades de exploração e produção de óleo e gás no Bloco C-M-541 pela TOTAL, bem como fornecer subsídios para avaliar os possíveis impactos gerados pela atividade. Os principais objetivos específicos são:

- caracterizar a área do bloco
- verificar possíveis passivos no entorno de um poço já perfurado na área;
- gerar dados de controle (locais) para eventual monitoramento futuro, no entorno das locações previstas para serem perfuradas.

4. Metas

Este projeto prevê o cumprimento das seguintes metas principais:

- Realização de uma campanha de caracterização ambiental, com amostragens de água em 9 (nove) estações, em pelo menos 5 estratos de profundidade, para caracterização da qualidade da água e da biota planctônica associada;

- Realização, nesta mesma campanha, de amostragens de sedimento, em triplicata, em 48 (quarenta e oito) pontos de amostragem, para caracterização da cobertura do sedimento, qualidade e biota associada;
- Discussão acerca dos resultados da campanha ambiental, caracterizando-os espacialmente e considerando a literatura disponível para a região, ou região adjacente, assim como normas e resoluções, tanto nacionais como internacionais, que disponham sobre parâmetros de qualidade ambiental; e
- Avaliação da área do Bloco, através do reprocessamento de dados sísmicos, para averiguar e, eventualmente, mapear a ocorrência de bancos de corais e/ou de algas calcárias ou outras formações biogênicas.

5. Metodologia

Considerando as “Diretrizes para implementação de Projetos de Caracterização Ambiental - PCA”, apresentadas na NOTA TÉCNICA Nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC, são apresentadas as metodologias de dois diferentes esforços de caracterização ambiental:

- inspeção de fundo para verificação e mapeamento de formações biogênicas e
- caracterização ambiental da qualidade da água e do sedimento e biotas associadas.

5.1. Mapeamento e Imageamento do Fundo Marinho

Conforme diretrizes da Nota Técnica Nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC, “com relação à ocorrência de bancos de algas, de corais e outras comunidades relevantes de fundo marinho, estas deverão ter sua ocorrência mapeada e documentada através de Multibeam, AUV, reprocessamento de dados sísmicos ou outras técnicas apropriadas em toda a área do bloco ou região de interesse”. Ademais, “as áreas com potencial de ocorrência de bancos de algas, corais e outras comunidades relevantes do fundo marinho...”, conforme resultado do mapeamento, “...deverão ter sua caracterização detalhada através de fotografias submarinas georreferenciadas, com ROV ou drop câmera, com a descrição de sua dimensão e características biológicas”.

A TOTAL executou esforços de reprocessamento de dados sísmicos, visando mapear formações biogênicas que, eventualmente, existissem na área do bloco e realizou imageamentos de alta qualidade (através de ROV) nos mesmos pontos definidos para caracterização ambiental da qualidade do sedimento e biotas associadas, de toda a área do bloco.

5.1.1 Mapeamento do Fundo Marinho

O reprocessamento foi realizado pela equipe de Geologia da Total, sob a responsabilidade da geóloga Bianca Fernandez. Foram utilizadas as camadas rasas dos dados sísmicos, correspondentes ao fundo do mar e gerados mapas de batimetria e de amplitude. Foram utilizados dados de reprocessamento SHAZ, que forneceram pontos de grade de alta resolução, com, no mínimo, 60hz a

-6db (6,25mX6,25mX3ms). A conversão de tempo/profundidade foi realizada utilizando o modelo de velocidade URP_SHAZ_RAW_PSTM_VINT.

5.1.2 Imageamento do Fundo Marinho

Antes do início das amostragens de sedimento, foram realizados esforços para filmar o fundo marinho, objetivando um melhor conhecimento das características do relevo e sua cobertura e, também, para identificar de forma conclusiva a presença, ou não, de ambientes coralíneos de águas profundas ou bancos de algas ou de moluscos, possibilitando evitar amostragens em locais com ocorrência de formações biogênicas, em atendimento a NOTA TÉCNICA Nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC.

Foram realizadas duas estratégias de imageamento utilizando um ROV: o imageamento de 8 radiais, a partir do ponto central (200 m e 400 m), e o imageamento de círculos distantes 100 e 250 m do ponto central, como apresentado na **Tabela 1** e na **Figura 2**. Em função do caráter de cada estação ou conjunto de estações, estratégias diferentes quanto ao tamanho das radiais e às circunferências percorridas pelo ROV foram adotadas.

Tabela 1: Estratégias de imageamento das estações.

locação	estações	coordenadas do ponto central		radiais	circunferências		situação
		S	W		completa	parcial*	
Poço 1-BRSA-125-RJS	1 a 10	23°23'19,930"	39°59'18,82"	8 de 200 m	100 m e 250 m	-	imageada
MAROLO	11 a 26	23°28'27,188"	39°45'19,006"	-	-	-	não imageada
UBAIA	27 a 42	23°39'24,301"	39°55'26,269"	-	-	-	não imageada
-	43	23°43'50,540"	39°58'13,24"	8 de 200 m	100 m	200 m	imageada
-	44	23°26'53,137"	39°54'44,307"	8 de 200 m	100 m	200 m	imageada
-	45	23°33'22,130"	39°50'05,200"	8 de 200 m	100 m	200 m	imageada
-	46	23°30'49,028"	39°42'46,781"	8 de 400 m	100 m	400 m	originalmente imageada como Marolo 1
-	47	23°44'05,310"	39°45'08,590"	8 de 200 m	100 m	200 m	imageada
-	48	23°23'24,641"	39°42'12,596"	8 de 200 m	100 m	200 m	imageada

* imageamento parcial da circunferência de 200 m, que corresponde à ligação entre os limites externos de radiais adjacentes para continuidade do trajeto percorrido pelo ROV visando completar o previsto, conforme ilustrado na **Figura 2**.

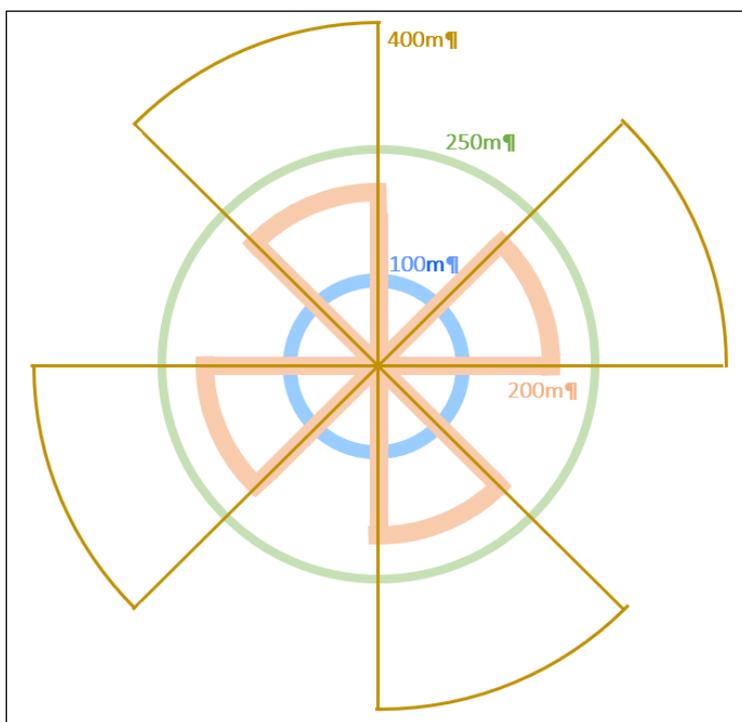


Figura 2: Esquemas das diferentes estratégias de traçado de imageamento por ROV realizadas, descritas conforme Tabela 1.

Ainda antes do início da campanha oceanográfica para obtenção de amostras para caracterização ambiental, as filmagens previstas foram realizadas (relatórios apresentados no **Anexo XIII_A**). Estes esforços foram executados pela empresa Oceaneering para a TOTAL E&P do Brasil, a bordo da embarcação PSV Siem Giant, entre 21/02/2020 e 24/03/2020. Todos os imageamentos previstos foram executados, à exceção das locações Ubaia 1 e # 46, onde as profundidades constatadas se mostraram maiores que 3.000 m, diferente do que se observa nos mapas batimétricos disponíveis quando do planejamento das atividades. Devido a este fato, o ROV utilizado na operação, que tinha limite de capacidade de mergulho de até 3.000 m, não pôde realizar o imageamento destes. Mesmo o altímetro do equipamento, que mede a altitude em relação ao assoalho marinho e tem alcance de 30 m, não conseguiu identificar o fundo nessas locações. A realização das amostragens de sedimento previstas para estes conjuntos de estações sem o imageamento prévio do assoalho marinho foi autorizada pelo Parecer Técnico nº 130/2020-COEXP/CGMAC/DILIC emitido em 08/06/2020.

Após a emissão do PT 130/20, no entanto, identificou-se a necessidade de realocar as estações Marolo 1 e Ubaia1. As estações foram reposicionadas (6 km e 1,8 km, respectivamente) para regiões mais profundas, o que impossibilitaria o imageamento destas estações também. Após a relocação das estações, que passaram a se chamar Marolo e Ubaia, como a estação 46 encontrava-se muito próxima da nova locação de Marolo, esta foi deslocada para a posição original Marolo 1, que já havia sido imageada sem problemas. Ubaia foi deslocada, também para profundidade que não permitiria o imageamento.

5.2. Qualidade da Água e do Sedimento e Biotas Associadas

Para avaliação da qualidade da água e do sedimento e biotas associadas, foi realizada uma campanha oceanográfica a bordo da embarcação Normand Swift (**Figura 3**), devidamente mobilizada para a realização das amostragens ambientais prevista neste PCA. Este esforço foi realizado em três pERNADAS (entre 19/07 e 06/08, 07/08 e 26/08 e 27/08 e 17/09/2020).



Figura 3: Normand Swift, a embarcação utilizada durante a campanha.

5.2.1 Estratégia Amostral e Registros de Amostragens

De forma a atender aos diferentes objetivos do projeto, foi elaborada uma malha amostral composta por 48 estações, distribuídas estrategicamente em 4 conjuntos. São eles:

- **Malha de Caracterização Ambiental** – composta por 9 estações completas (4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48) abrangendo toda a área do bloco, onde foram avaliadas qualidade da água e do sedimento e biotas associadas;
- **Malha de Possível Passivo no Entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS (poço perfurado pela Petrobras em 2002)** – composta por 10 estações (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10) distribuídas em duas radiais com cinco estações em cada (a 100 m e a 250 m da cabeça do poço), onde foram avaliadas a qualidade do sedimento e biotas associadas, visando dimensionar o possível passivo deixado pela perfuração desse poço;
- **Malha de Geração de Dados Controle para possibilitar monitoramento futuro na locação Marolo** – composta por 16 estações (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26), sendo a primeira na locação prevista para Marolo e as demais dispostas em 5 radiais com três estações cada (a 100 m, 250 m e 500 m da locação), onde foram avaliados a qualidade do

sedimento e biotas associadas, gerando dados que poderão embasar eventuais comparações e monitoramento futuros de impactos ambientais de diferentes naturezas; e

- **Malha de Geração de Dados Controle para possibilitar monitoramento futuro na locação Ubaia** – composta por 16 estações (27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42), sendo a primeira na locação prevista para Ubaia e as demais dispostas em 5 radiais com três estações cada (a 100 m, 250 m e 500 m da locação), onde foi avaliada a qualidade do sedimento e biotas associadas, gerando dados que poderão embasar eventuais comparações e monitoramento futuros, de impactos ambientais de diferentes naturezas.

A **Figura 4** ilustra a distribuição geográfica da malha amostral completa do projeto (com coordenadas das estações amostradas apresentadas na **Tabela 2**, e no **Anexo VI_B**).

Vale ressaltar que todas as amostragens em cada estação ocorreram dentro de um raio de 100 m no entorno dessas coordenadas, considerando as características técnico-metodológicas de cada tipo de amostragem, conforme será descrito nos itens:

- **5.2.2.1** Perfilagens de CTD
- **5.2.2.2** Amostragens de Água
- Erro! Fonte de referência não encontrada. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**
- **5.2.2.4** Amostragens de Biota Planctônica

As estações completas, onde foram realizadas amostragens de água e sedimento, e as estações de sedimento (onde apenas amostragens de sedimento foram realizadas) são representadas pelos pontos azuis e pretos, respectivamente, enquanto o quadrado laranja indica a localização do poço 1-BRSA-125-RJS.

Os registros das atividades de campo realizadas, com data, hora, coordenadas, profundidades local e de amostragem, dentre outras informações, são apresentados no **Anexo VIII**.

No presente relatório serão apresentados e discutidos os resultados da **Malha de Caracterização Ambiental**, onde foram realizados esforços completos de caracterização da qualidade da água e do sedimento e biotas associadas (em 9 estações: 4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48) e da **Malha de Possível Passivo** no Entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS, onde foram obtidas amostras de sedimento (em 10 estações: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10). Note-se que a estação 4 faz parte das duas malhas. Seus resultados serão discutidos tanto para a caracterização ambiental geral da área do bloco, quanto seus resultados de sedimento farão, também, parte da avaliação de Possível Passivo no Entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS.

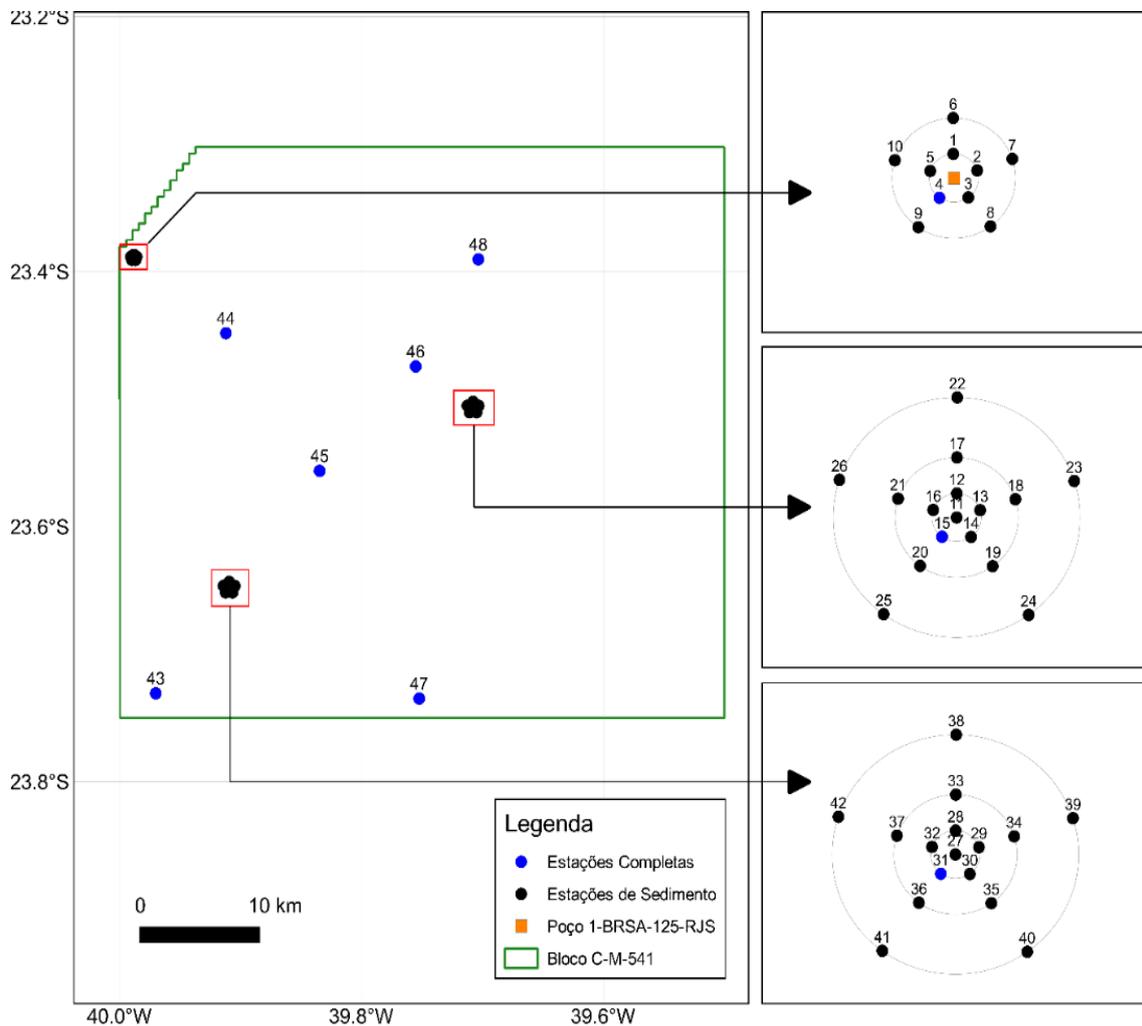


Figura 4: Malha amostral completa do Projeto de Caracterização Ambiental do Bloco C-M-541, na Bacia de Campos. As estações completas, onde foram realizadas amostragens de água e sedimento, e as estações só com amostragens de sedimento são representadas pelos pontos azuis e pretos, respectivamente. O quadrado laranja indica a localização do poço 1-BRSA-125-RJS. Datum: SIRGAS 2000.

Tabela 2: Coordenadas das estações amostrais para o PCA do Bloco C-M-541, na Bacia de Campos (SIRGAS 2000), coordenadas geográficas e UTM (meridiano central -39; zona 24K).

estação	coordenadas geográficas		coordenadas UTM		localização
	S	W	m S	m E	
1	23°23'16,8"	39°59'18,96"	7413181,699	398975,191	entorno do poço 1-BRSA-125-RJS (já existente)
2	23°23'18,96"	39°59'15,36"	7413115,969	399077,842	
3	23°23'22,56"	39°59'16,8"	7413004,973	399037,722	
4	23°23'22,56"	39°59'20,76"	7413004,203	398925,307	
5	23°23'18,96"	39°59'22,2"	7413114,639	398883,669	
6	23°23'11,76"	39°59'18,6"	7413336,772	398984,349	
7	23°23'17,52"	39°59'10,32"	7413161,234	399220,614	

estação	coordenadas geográficas		coordenadas UTM		localização
	S	W	m S	m E	
8	23°23'26,52"	39°59'13,56"	7412883,814	399130,531	
9	23°23'26,52"	39°59'24"	7412881,784	398834,166	
10	23°23'17,52"	39°59'27,24"	7413157,944	398740,290	
11 (MAROLO)	23°30'23,4"	39°42'28,44"	7400230,943	427725,567	
12	23°30'20,16"	39°42'28,44"	7400330,585	427725,076	
13	23°30'22,32"	39°42'24,84"	7400264,660	427827,504	
14	23°30'25,92"	39°42'26,28"	7400153,746	427787,209	
15	23°30'25,92"	39°42'30,24"	7400153,193	427674,899	
16	23°30'22,32"	39°42'31,68"	7400263,704	427633,512	
17	23°30'15,12"	39°42'28,08"	7400485,633	427734,522	
18	23°30'20,88"	39°42'19,8"	7400309,648	427970,227	
19	23°30'29,88"	39°42'23,04"	7400032,415	427879,697	
20	23°30'29,88"	39°42'33,48"	7400030,956	427583,610	
21	23°30'20,88"	39°42'36,72"	7400307,283	427490,352	
22	23°30'7,2"	39°42'28,08"	7400729,201	427733,322	
23	23°30'18,36"	39°42'11,52"	7400388,298	428204,680	
24	23°30'36,72"	39°42'18"	7399822,763	428023,669	
25	23°30'36,36"	39°42'38,88"	7399830,916	427431,447	
26	23°30'18,36"	39°42'45"	7400383,619	427255,135	
27 (UBAIA)	23°38'52,08"	39°54'34,92"	7384470,558	407220,705	
28	23°38'48,84"	39°54'34,92"	7384570,204	407220,070	
29	23°38'51"	39°54'31,32"	7384504,422	407322,488	
30	23°38'54,6"	39°54'32,76"	7384393,444	407282,395	
31	23°38'54,6"	39°54'37,08"	7384392,665	407160,002	
32	23°38'51"	39°54'38,16"	7384503,188	407128,698	
33	23°38'43,8"	39°54'34,92"	7384725,210	407219,083	
34	23°38'49,56"	39°54'26,28"	7384549,618	407465,000	
35	23°38'58,56"	39°54'29,52"	7384272,238	407374,964	
36	23°38'58,56"	39°54'39,96"	7384270,354	407079,184	
37	23°38'49,56"	39°54'43,2"	7384546,565	406985,622	
38	23°38'35,88"	39°54'34,56"	7384968,855	407227,732	
39	23°38'47,04"	39°54'18"	7384628,609	407699,098	
40	23°39'5,4"	39°54'24,48"	7384062,781	407519,091	
41	23°39'5,04"	39°54'45,36"	7384070,084	406927,467	
42	23°38'47,04"	39°54'51,48"	7384622,568	406750,537	
43	23°43'50,52"	39°58'13,08"	7375251,168	401102,246	
44	23°26'53,16"	39°54'44,28"	7406579,063	406814,856	
45	23°33'21,96"	39°50'5,28"	7394669,890	414800,828	
46	23°28'27,12"	39°45'19,08"	7403782,332	422867,193	
47	23°44'5,28"	39°45'8,64"	7374931,614	423315,081	
48	23°23'24,72"	39°42'12,6"	7413108,929	428111,897	

localização
MAROLO e seu
entorno (poço
com perfuração
prevista)

localização UBAIA
e seu entorno
(poço com
perfuração
prevista)

estações de
caracterização
ambiental sem
radiais

5.2.2 Metodologias de Amostragem

Nesta seção são descritos os métodos de Perfilagens de CTD, Amostragens de Água, Amostragem de **Biota Bêntica** e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que foram empregados durante a campanha de caracterização ambiental no Bloco C-M-541.

5.2.2.1 Perfilagens de CTD

O instrumento utilizado para medições de temperatura, condutividade e pressão foi o modelo ACMPlus 7000, da marca FSI (*Fallmouth Scientific, Inc.*). Em todos os lançamentos o instrumento foi configurado para realizar medições em modo contínuo, a uma frequência de 1 Hz. O instrumento é protegido por uma gaiola de aço inoxidável e conectado a uma poita de 100 kg. Para medição, o equipamento é colocado a uma profundidade de 5 metros por aproximadamente 3 minutos para estabilização dos sensores (**Figura 5b**) e em seguida baixado a uma velocidade de 0,5 m/s até próximo ao fundo para amostrar toda a coluna d'água.

Os perfis de CTD foram realizados em todas as estações da **Malha de Caracterização Ambiental**, conforme previsto no projeto. A partir dos dados coletados foi possível delimitar as profundidades de ocorrência das massas d'água e então definir as profundidades de amostragem de água conforme descrito no item a seguir.

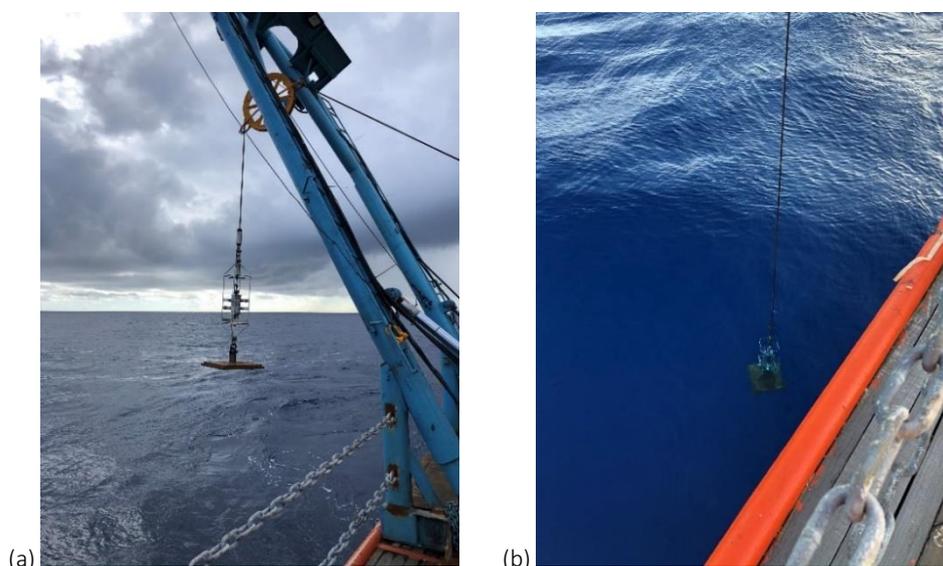


Figura 5: A figura a ilustra o CTD sendo lançado para fora da embarcação com o auxílio do A-Frame, enquanto a figura b ilustra o momento em que os sensores do equipamento estão sendo estabilizados a uma profundidade de 5 metros, aproximadamente.

5.2.2.2 Amostragens de Água

As amostragens de água para análise dos parâmetros bio-físico-químicos foram realizadas através do lançamento de garrafas de Niskin (**Figura 6a e b**) em todas as estações da **Malha de Caracterização Ambiental**. Os cinco estratos de amostragem definidos através dos perfis de CTD foram:

subsuperfície (5 a 10 m de profundidade), acima da termoclina, entre 50 e 225 m de profundidade, ACAS (Água Central do Atlântico Sul) entre 400 e 500 m de profundidade, AIA (Água Intemediária Antártica) entre 850 e 900 m de profundidade, e APAN (Água Profunda do Atlântico Norte) entre 2500 e 3000 m de profundidade.

O volume de 10L coletado por cada garrafa (Figura 7a e b), foi subamostrado para a análise de cada parâmetro nas diferentes profundidades.

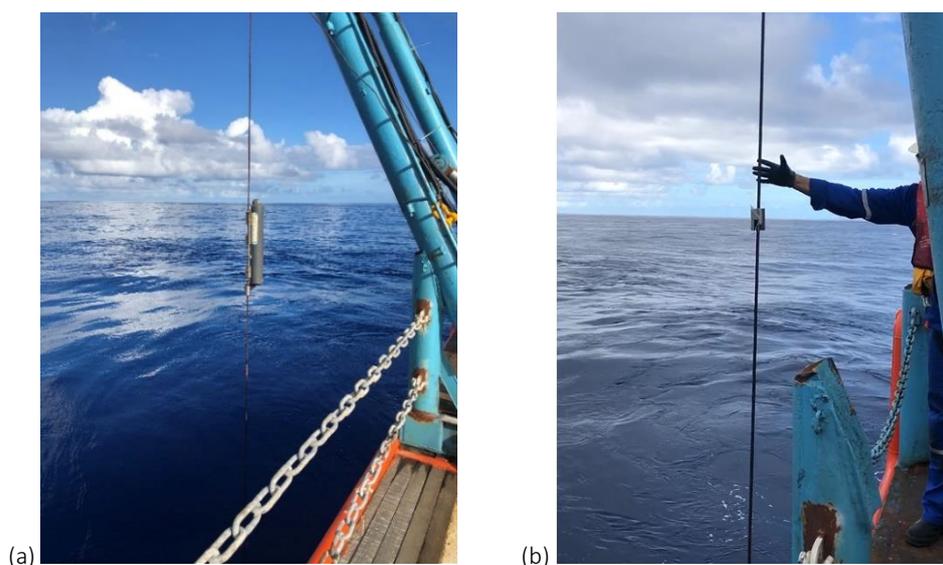


Figura 6: Garrafa de Niskin sendo lançada para fora da embarcação pelo A-Frame (a) até a profundidade desejada. Um mensageiro enviado da embarcação (b) percorre todo o cabo até atingir e acionar a garrafa, fazendo com que ela aprisione em seu interior uma amostra de água na profundidade em que se encontrava.



Figura 7: Estação de subamostragem (a) contendo três garrafas de Niskin enquanto um membro da equipe técnica da Prooceano realiza a retirada de alíquota para análise de fenóis (b).

A **Tabela 3**, apresenta os parâmetros subamostrados, seus respectivos volumes e os procedimentos de preservação e conservação das amostras, por parâmetro, ou conjunto de parâmetros. As subamostragens foram realizadas de acordo com as diretrizes descritas em CETESB (2011) e ANVISA (2019), formalizados através de instruções técnicas da PROOCEANO.

Tabela 3: Ordem de subamostragem dos parâmetros que foram avaliados através das alíquotas retiradas das garrafas de Niskin, seus preservantes e métodos de conservação utilizados.

parâmetro	volume (mL)	preservação/fixação	conservação
OD e PH	100	-	-
BTEX	40	8 gotas de HCl 50%	refrigeração a até 4°C
TSS e pigmentos clorofilianos	2000	-	congelamento (< -6°C)
HTP e SVOC	1000	-	refrigeração a até 4°C
Fenóis	1000	H ₂ SO ₄	refrigeração a até 4°C
Metais totais	250	HNO ₃	refrigeração a até 4°C
Nutrientes e TDS	200	-	congelamento (< -6°C)
Nitrogênio e Fósforo Totais	60	-	congelamento (< -6°C)
Sulfetos	60	1 mL de acetato de zinco	refrigeração a até 4°C
COT	40	-	refrigeração a até 4°C
Fitoplâncton	2000	formaldeído (solução final 2%)	temperatura ambiente e em local arejado e abrigado do Sol

As medidas de oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH) foram realizadas *in situ*, com o auxílio de equipamentos portáteis da marca Instrutherm, previamente calibrados e recalibrados a bordo sempre que necessário. Os modelos utilizados a bordo foram PH-1700 e MO-910, para medições de PH e OD, respectivamente (**Figura 8a**). Ambas as medições foram realizadas em uma alíquota de 100 mL de cada garrafa (**Figura 8b**).

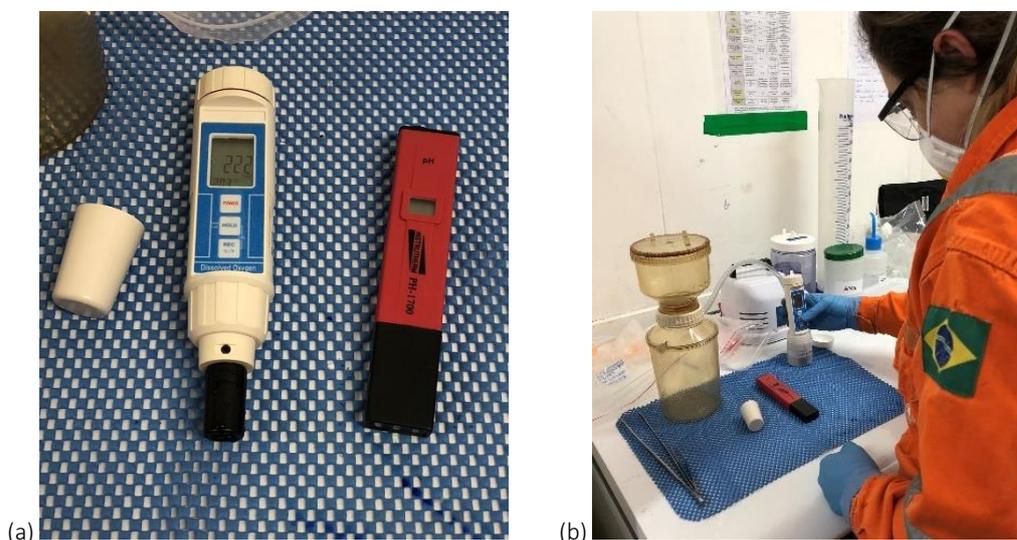


Figura 8: Instrumentos (a) utilizados para medição de oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH) – à esquerda e à direita, respectivamente - e medição de OD (b) de uma alíquota de 100 mL de água extraída da garrafa de Niskin.

As análises de benzeno, tolueno, etil-benzeno e os xilenos (BTEX) foram realizadas a partir de dois frascos de 40 mL preenchidos com cuidado para evitar a formação de bolhas. Ao término da retirada destas alíquotas, os frascos foram identificados com o código correspondente ao estrato e estação. Em seguida foram acondicionados em plástico bolha e conservados refrigerados.

Para Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) e pigmentos clorofilianos, foi extraído da garrafa e acondicionado em frasco escuro um volume de dois litros para filtração e análise. Deste volume, um litro foi separado em proveta e filtrado (**Figura 9a**) com o auxílio de um filtro de fibra de vidro previamente pesado. Ao término da filtração o filtro foi acondicionado em placa de Petri (**Figura 9b**) e identificado com a informação correspondente à estação e profundidade. Em seguida, o volume de um litro dedicado aos pigmentos clorofilianos foi filtrado ao abrigo da luz através de um filtro GF/F e, após a filtração, o filtro foi armazenado em criotubo, envolto em papel alumínio (**Figura 10**). Tanto a placa de Petri contendo o filtro de TSS quanto o criotubo foram identificados com a informação correspondente e congelados. Do volume proveniente da filtração foi retirada uma alíquota de 200 mL, para Nutrientes e Totais de Sólidos Dissolvidos (TDS).

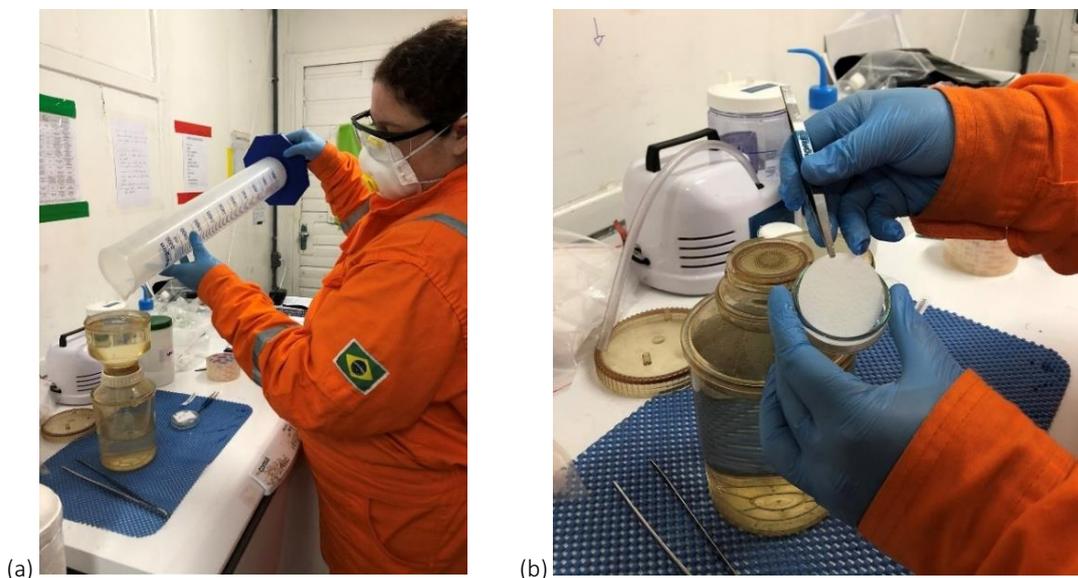


Figura 9: Filtração do volume de 1 L separado em proveta graduada (a) para a análise de total de sólidos em suspensão (TSS). Após filtração filtro de fibra de vidro previamente pesado foi removido do sistema de filtração com o auxílio de uma pinça e reposicionado na placa de Petri de origem (b).

Para a análise dos hidrocarbonetos (HTP e SVOC) e de fenóis, foram preenchidos um frasco de vidro âmbar e um frasco de polietileno - contendo H_2SO_4 , respectivamente. As amostras foram identificadas e conservadas refrigeradas (**Figura 11**), com controle constante de temperatura e verificação/registro a cada 6h de todos os refrigeradores e freezers (conforme especificação de conservação).



Figura 10: Filtração do volume de 1 L separado em proveta graduada (a) para a análise de pigmentos clorofilianos. Após filtração filtro GF/F foi removido do sistema de filtração com o auxílio de uma pinça, dobrado e inserido em criotubo envolto em papel alumínio (b).



Figura 11: As amostras de água foram mantidas refrigeradas até serem entregues aos laboratórios responsáveis para análise.

A medição da transparência da água foi realizada durante o dia, com o Disco de Secchi, em todas as estações da **Malha de Caracterização Ambiental**. O lançamento foi realizado manualmente através da popa da embarcação (**Figura 12a**), com o auxílio de um cabo graduado a cada 50 centímetros. O Disco de Secchi foi afundado continuamente até o seu desaparecimento total. Após anotar esta profundidade, o disco é afundado mais um pouco. Posteriormente, o disco é levantado até sua completa visualização. A transparência da água é definida pela médias das profundidades obtidas quando o operador perde o equipamento de vista (**Figura 12b**) e quando volta a visualizá-lo após iniciar o recolhimento (**Figura 12c**).

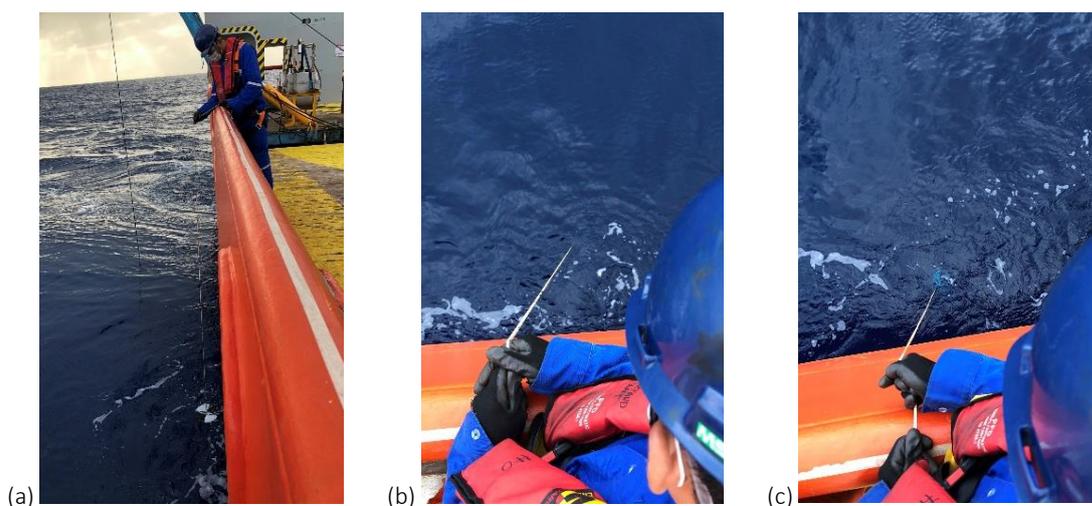


Figura 12: Avaliação da transparência da água: vista lateral do lançamento do disco de Secchi (a), momento em que o operador perde contato visual com o equipamento (b) durante a descida e então inicia o recolhimento até que o veja novamente (c).

5.2.2.3 Amostragens de sedimento

Para as amostragens de sedimento foi utilizado o Box-Corer (50 x 50 x 50 cm), um equipamento robusto (pesado) o suficiente para penetrar no sedimento e obter amostras com a camada superficial do sedimento preservada. Foram realizadas amostragens de sedimento em todas as 48 estações, em triplicata (três amostragens válidas de sedimento por estação), para a caracterização ambiental da área do Bloco C-M-541 (quaisquer que fossem as malhas).

A **Figura 1313** ilustra os momentos da recuperação do Box-Corer. Quando o equipamento chega à superfície, os ganchos com cabos guias são conectados ao equipamento com o auxílio de tubos de alumínio de 3 m de comprimento (**Figura 133a** e **Figura 133b**) para controlar o seu balanço, tornando a operação mais segura e diminuindo consideravelmente o risco de acidentes. Em seguida o equipamento é direcionado e apoiado em seu suporte para que a equipe técnica faça a avaliação da amostra coletada (**Figura 133c**).

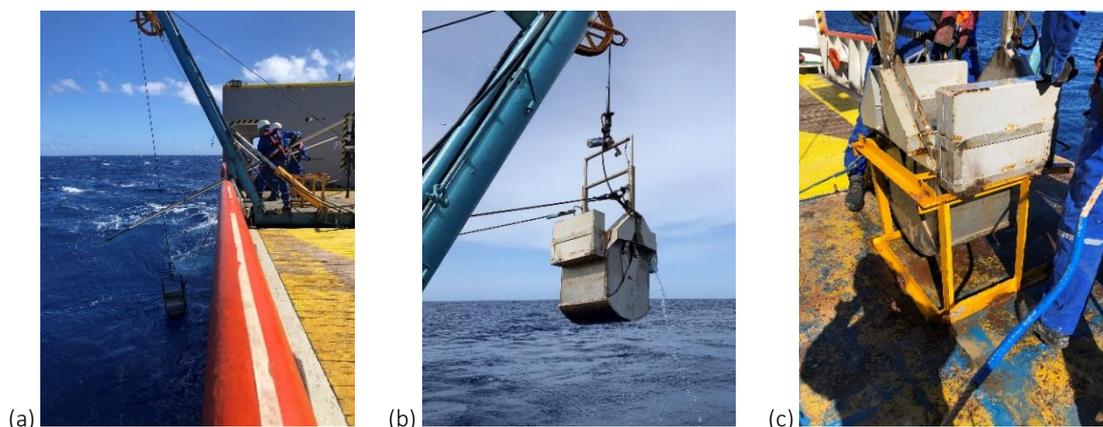


Figura 133: Momentos da recuperação do Box-Corer, com o auxílio de ganchos (a) os cabos guias são conectados ao equipamento para controlar o seu balanço (b) e diminuindo consideravelmente o risco de acidentes, até o equipamento ser apoiado em seu suporte para avaliação da amostra obtida (c).

A **Figura 144** mostra diferentes momentos da amostra obtida, desde sua chegada no convés, ainda com água sobrenadante, até o término da subamostragem dos parâmetros no sedimento coletado pelo Box-Corer. Em todas as estações, após o sifonamento da água sobrenadante e antes da retirada das alíquotas para as diferentes análises a serem realizadas no sedimento marinho, independente dos esforços de imageamento submarino, foi realizado o registro fotográfico da amostra obtida e considerada válida (vide registros apresentados no **Anexo XIV_B**). Da mesma forma, quaisquer características que pudessem ser importantes para a posterior interpretação dos resultados obtidos e diagnóstico ambiental da área foram registradas e, sempre que possível, fotografadas.

Junto com os registros fotográficos, uma descrição da aparência dos sedimentos foi feita a bordo imediatamente após a amostragem e durante as subamostragens. As observações visuais consistiram da descrição de: natureza (areia, lama ...), textura (grossa, fina ...), compactação, homogeneidade (presença / ausência de camada superficial oxigenada), presença / ausência de fauna / flora viva ou morta, presença / ausência de detritos antrópicos e potencial cor ou odor

devido à fermentação e presença de qualquer substância como matéria orgânica ou óleo, por exemplo (vide registros apresentados no **Anexo XIV_B**).



Figura 144: Etapas de tratamento da amostra de sedimento coletada com box-corer após chegada ao convés. Amostra ainda com água sobrenadante (a), amostra com os corers de PVC para macrofauna e meio fauna inseridos após sifonamento da água sobrenadante (b) e amostra após subamostragem dos parâmetros selecionados (c) com apenas o corer de macrofauna no sedimento.

Equipamentos como box corer, presos por um cabo de aço, quando lançados na água para amostragem, estão sujeitos à ação das correntes marinhas. Para diminuir o efeito de deriva causado pelas correntes é necessário que, junto aos equipamentos ou na extremidade do cabo, seja utilizado um peso (poita). Em atividades em regiões de grande lâmina d'água que envolvam amostragens de sedimento ou mesmo com poita (peso extra), é esperada uma deriva significativa do equipamento em relação à posição da embarcação.

Para garantir que as amostragens fossem realizadas dentro do raio máximo de erro admitido pelo projeto (100 m), conferindo precisão ao posicionamento do equipamento, durante as amostragens de sedimento foi utilizado o Sistema USBL (*Ultra-short Baseline*), que é um conjunto de equipamentos (central de controle, *transceiver* e *transponder*) que permite o rastreamento de alvos na coluna d'água e sua localização precisa, através de ondas acústicas. O *transceiver* (**Figura 155a**) é colocado na água na lateral da embarcação através de um *pole over the side*. O *transponder* (**Figura 155b**) é colocado preso ao cabo de aço, próximo ao equipamento de amostragem.

A central de controle, instalada no contêiner laboratório, recebe as informações do *transceiver* e do sistema de posicionamento da própria embarcação, onde é possível monitorar as coordenadas exatas do equipamento durante a amostragem (**Figura 166a**). A Erro! Fonte de referência não encontrada. apresenta um print da tela do software Ranger 2, utilizado para fazer a integração de todos os equipamentos na central de controle. Na coluna esquerda são fornecidas as coordenadas e profundidades dos equipamentos em relação ao *transceiver*. No mapa, ao lado da coluna, é possível visualizar a posição da embarcação, seu rumo (*heading*), inclinação (*pitch*) e rotação (*roll*). É possível, ainda, personalizar a exibição com a inserção de novos pontos, medição de distâncias em tempo real do *transponder* até o ponto (ou em relação à embarcação) e outras.

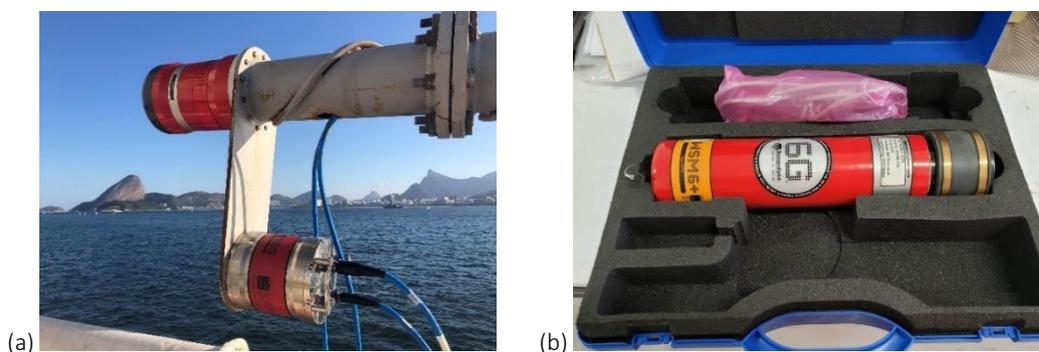


Figura 155: *Transceiver*, localizado na extremidade do *Pole over the side* (a) e *transponder* utilizado durante as amostragens de sedimento (b).



Figura 166: Uso do Sistema USBL para monitoramento e registro das coordenadas de amostragem: (a) Técnicos da Prooceano operando a central de controle do USBL, instalada no contêiner laboratório; (b) Print de tela do *software* Ranger 2. Na coluna esquerda é possível se obter as coordenadas da embarcação e do *transponder* (BCN 2307), além de suas profundidades em relação ao *transceiver*. No lado direito é possível ver um mapa com suas localizações.

A partir do monitoramento da posição do *transponder*, foi possível posicionar a embarcação para que as amostragens de sedimento fossem realizadas dentro do raio de erro estipulado em projeto de (50 m nas estações 1, 2, 3, 4 e 5, no entorno próximo do poço 1-BRSA-125-RJS, e 100 m em todas as demais estações). O raio de erro corresponde ao limite dentro do qual as amostragens são realizadas podem ser consideradas como representativas de uma determinada estação. Considerando que o Sistema USBL tem um erro de precisão de cerca de 8 m em atividades em águas profundas (3.000 m de lâmina d'água, como no caso do Bloco C-M-541) mesmo após a devida calibração, de forma conservadora, foi considerado que o erro máximo aceito, na prática, durante a campanha, seria de 40 m e 90 m, garantindo que as amostragens ocorressem dentro dos raios de erro previstos em projeto, mesmo considerando o erro de precisão do próprio equipamento (Anexo XIV_A).

A Tabela 5, apresenta os parâmetros subamostrados, os procedimentos de tratamento e conservação de cada subamostra para análises de variáveis abióticas. A subamostragem dos parâmetros retirados da amostra obtida com o box-corer foi realizada de acordo com as diretrizes de ELEFThERIOU & MCINTYRE (2005), PRZESLAWSKI *et al.* (2018) e MDNR (2007).

Tabela 4: Ordem de subamostragem dos parâmetros avaliados através das alíquotas retiradas de cada uma das amostras de sedimento obtidas com box-corer, seus preservantes e métodos de conservação.

parâmetro	frasco/volume	preservação/fixação	conservação
TPH Total	lata alumínio/100g	sem preservação	congelamento(< -6°C)
SVOC	vidro/100 mL	sem preservação	refrigeração a até 4°C
Biomarcadores	vidro/500 mL	sem preservação	refrigeração a até 4°C
Nitrogênio Total			
Fósforo Total	2 vidros/100 mL	sem preservação	refrigeração a até 4°C
Metais Totais			
Radionuclídeos Ra ²²⁶ e Ra ²²⁸	tubo Falcon/50 mL	sem preservação	refrigeração a até 4°C
Granulometria			
Carbonatos			
Matéria Orgânica Total (MOT)	plástico/100 mL	sem preservação	congelamento(< -6°C)
Carbono Orgânico Total (COT)			
Meiofauna bêntica	plástico/100 mL	formaldeído tamponado (10%)	temperatura ambiente e em local arejado e abrigado do Sol
Macrofauna bêntica	4 plásticos/1000 mL	formaldeído tamponado (10%)	temperatura ambiente e em local arejado e abrigado do Sol

5.2.2.4 Amostragens de Biota Planctônica

As amostras de fitoplâncton, foram obtidas através de subamostras das amostras de água obtidas pelas garrafas de Niskin (nas cinco profundidades amostradas). A alíquota para fitoplâncton foi drenada da garrafa de Niskin para garrafas PET de 2L, contendo 100 mL de formaldeído P.A. previamente tamponado com tetraborato de sódio que, ao serem preenchidas, geraram solução final à uma concentração de 2%. Estas garrafas se encontravam identificadas por uma etiqueta adesiva na parte externa e por um pedaço de papel vegetal escrito a lápis no seu interior, com sua informação específica. As amostras foram acondicionadas na parte externa da embarcação, em local arejado, a temperatura ambiente e abrigado.

As coletas de amostras de zooplâncton foram realizadas, preferencialmente no período noturno, através de arrastos verticais de cerca de 200 m de profundidade até a superfície. Foi utilizada uma rede cilíndrico-cônica simples de 60 cm de diâmetro de boca e 200 cm de comprimento, com 200 µm de abertura de malha (**Figura 17**). Para avaliação do volume de água filtrado, foi acoplado, entre o centro e o aro da boca da rede, um fluxômetro previamente aferido.

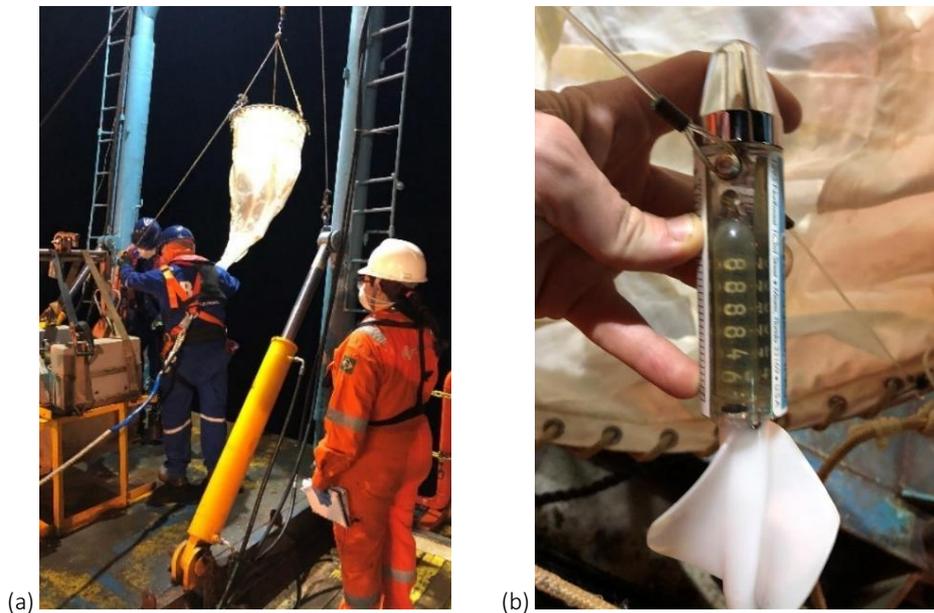


Figura 17: Equipamentos utilizados para amostragem da biota zooplanctônica (rede cilíndrico-cônica de aro simples (a) com fluxômetro acoplado ao aro da rede (b)).

Após cada arrasto, a rede foi lavada com água salgada e as amostras concentradas nos copos das redes, sendo então acondicionadas em frascos de 500 mL de capacidade e fixadas com formol, previamente neutralizado com bórax, diluído a 4% em água do mar. Com o intuito de evitar contaminação das amostras, toda a água utilizada para concentração e fixação das mesmas foi previamente filtrada em rede de malha de 100 μm , no caso da água dos pissetes, ou passada pela malha da própria rede de coleta (de fora para dentro), no caso da mangueira de água salgada (**Figura 18**).



Figura 18: Rede cilindro cônica de aro simples (utilizada para amostragem de zooplâncton) sendo lavada após ser recuperada (a) para concentrar os organismos coletados no copo da rede (b).

As coletas de amostras de ictioplâncton foram realizadas através de arrastos oblíquos, preferencialmente no período noturno, com redes cilíndrico-cônicas, de 60 cm de diâmetro de boca e 200 cm de comprimento, de 330 μm e 500 μm de abertura de malha, em armação bongô, da superfície até cerca de 200 m de profundidade, retornando à superfície (**Figura 19**). Um depressor hidrodinâmico de cerca de 30 kg foi fixado ao centro da armação bongô. Visando garantir a máxima obliquidade do arrasto, em torno de um ângulo de 45°, o cabo foi fornecido e recolhido durante o arrasto em quantidade suficiente para chegar a 200 m de profundidade, com a embarcação em movimento a uma velocidade média de 1,4 m/s, a fim de preservar a integridade dos organismos coletados. Para avaliação do volume de água filtrado, foi acoplado, entre o centro e o aro da boca de cada rede, um fluxômetro previamente aferido.

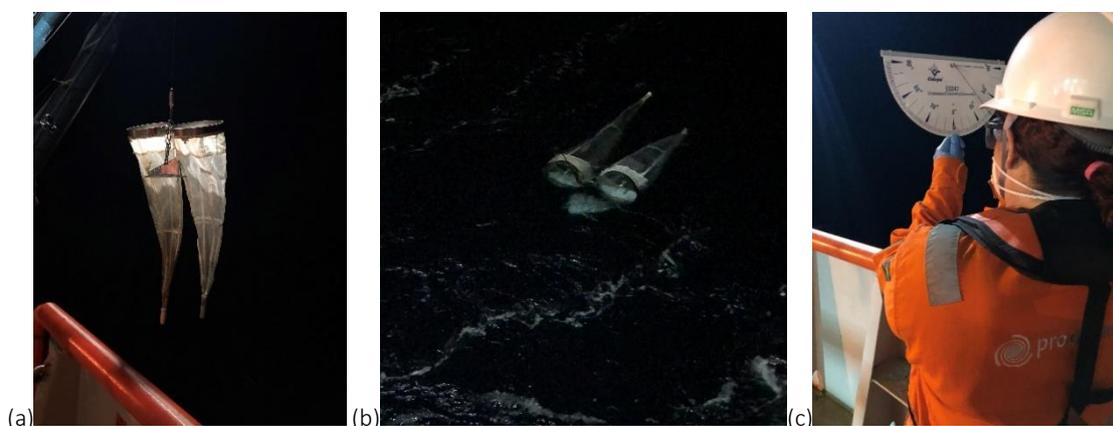


Figura 19: Lançamento do arranjo bongô em arrasto oblíquo (a) com o auxílio do A-Frame até ficar submerso (b). Ao longo do arrasto, a equipe técnica monitorou a angulação do cabo com o auxílio de um clinômetro (c).

Os mesmos procedimentos de lavagem das redes e concentração descritos para as amostras zooplâncton foram seguidos para as amostras obtidas pelas redes de 330 μm e 500 μm .

5.2.2.5 Amostragem de Biota Bêntica

Amostra para análise da meiofauna bêntica foi obtida de todos os box-corers com amostras válidas (3 amostras (réplicas) em cada uma das 48 estações de amostragem). Para tanto foi utilizado um corer de PVC com 2 cm de diâmetro interno e 13 a 15 cm de altura, com marcação externa de 10 cm. Este foi cravado no sedimento até que a marcação que corresponde a 10 cm de profundidade (em sua lateral) coincidissem com a superfície do sedimento (**Figura 20a**). Todo o conteúdo do corer foi imediatamente transferido para um pote de 100 mL. Um êmbolo foi utilizado para garantir que todo o conteúdo do corer fosse transferido para o pote, com auxiliado de formoldeído tamponado, já diluído a solução final a 10% em água salgada previamente passada em malha de 0,063 μm , vertido através de um pissete (**Figura 20b**). Com toda a amostra no pote, este foi completado com formoldeído já diluído a solução final a 10% em água salgada previamente filtrada.

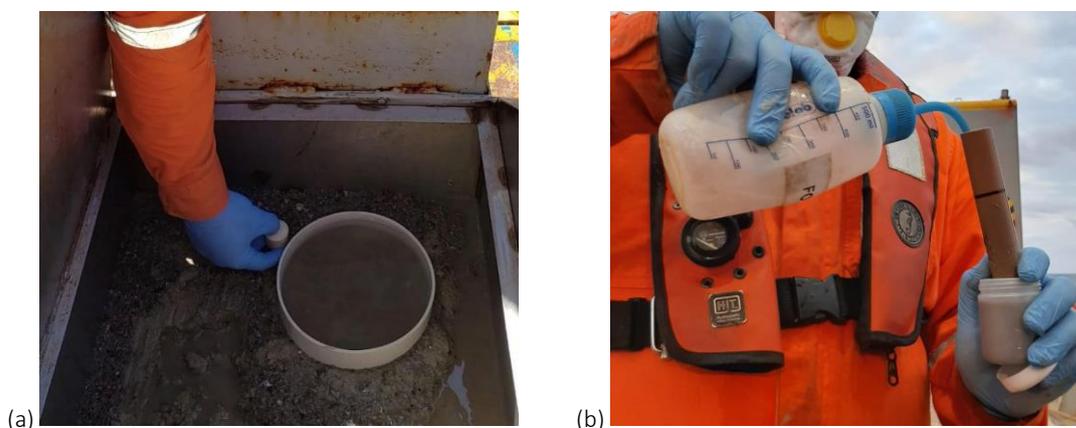


Figura 20: Corer de meio fauna sendo retirado do Box-Corer (a) e sendo em seguida acondicionado em pote de plástico de 100 mL (b).

Para obtenção de amostra para análise da macrofauna bêntica, também em todos os box-corers com amostras válidas (3 amostras (réplicas) em cada uma das 48 estações de amostragem), foi utilizado um corer de PVC com 20 cm de diâmetro interno e 13 a 15 cm de altura, com marcação externa de 10 cm, cravado no sedimento até que a marcação que corresponde a 10 cm de profundidade (em sua lateral) coincidisse com a superfície do sedimento. Embora o corer de macrofauna devesse ser cravado no sedimento ainda com alguma água sobrenadante (cerca de 1 a 2 cm), a retirada da amostra para análise da macrofauna sempre era a última alíquota retirada do box-corer, já que sua retirada desestrutura todo o restante da amostra. A retirada era auxiliada por uma pá larga, que era cravada no sedimento por baixo do corer de PVC, garantindo que todo o conteúdo dos 10 cm superficiais fosse devidamente aproveitado. O conteúdo do corer era então colocado em uma bandeja (**Figura 21a**) e seu conteúdo transferido cuidadosamente para frascos plásticos de 1000 mL de capacidade (**Figura 21b**), que deveriam receber amostras até 75% de sua capacidade sendo então completados com formoldeído tamponado, já diluído à solução final a 10%, em água salgada previamente filtrada em malha de 0,063 μm . O conteúdo final da bandeja era também colocado em um dos potes com amostra, com o auxílio de um pissete preenchido com formoldeído tamponado já diluído (solução final a 10%) em água salgada previamente filtrada em malha de 0,063 μm . Foram utilizados 4 frascos plásticos de 1000 mL por amostra, devidamente identificados e acondicionados em um saco plástico único, lacrado para facilitar a posterior organização e identificação de frascos de cada amostra (144 amostras).

Demais componentes da fauna que, porventura viessem a ser coletados (animais maiores que pudessem ser observados), foram acondicionados em potes específicos, identificados com a respectiva informação da amostra, mas considerados como informação acessória, quando o caso.



Figura 21: Corer de macrofauna sendo apoiado em uma bandeja (a) para ser acomodado em potes de 1 L (b).

5.2.2.6 Controle e Garantia de Qualidade

Para controle e garantia de qualidade (*Quality Assurance e Quality Control QA/QC*), as premissas, os equipamentos e as metodologias (de amostragem, de subamostragem e de análise dos diferentes parâmetros físicos, químicos e biológicos) previstos em projeto, além das melhores práticas, foram respeitados, com especial atenção a:

- equipamentos utilizados, adequados para operação até, no mínimo, 4000 m de profundidade;
- equipamentos reserva, disponíveis a bordo para uso imediato, ou peças para substituição em caso de falhas ou necessidade de manutenção durante a campanha;
- calibração de equipamentos em geral e do sistema de posicionamento dos equipamentos em relação à embarcação, prévia à utilização no projeto;
- recalibração de equipamentos de medição in situ (pHmetro, oxímetro) durante a realização das atividades de campo (após a realização de 30 medições, ou sempre que o(s) operador(es) do equipamento julgar(em) necessário);
- área de erro máximo no entorno de cada estação, equivalente a 50 m para as estações da radial de 100 m da **Malha de Possível Passivo** no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS e a 100 m de raio a partir das coordenadas previstas em projeto para as demais estações.
- critérios de validação/invalidação de amostras, sendo os principais listados na **Tabela 5**;
- registros detalhados das atividades de campo executadas, conforme planilhas previstas nos procedimentos operacionais e instruções técnicas PROOCEANO;
- registros fotográficos das atividades de campo realizadas, incluindo amostras obtidas e procedimentos de subamostragem e tratamento, acondicionamento, preservação e conservação de amostras;

- etiquetagem e identificação das amostras obtidas, incluindo etiquetas em papel vegetal, escritas a lápis, para as amostras biológicas (fitoplâncton, zooplâncton, ictioplâncton, meiofauna bêntica e macrofauna bêntica);
- acondicionamento, preservação e conservação de amostras até sua chegada aos laboratórios onde as análises foram realizadas;
- preenchimento correto de cadeias de custódia que acompanharam as amostras durante todo o trajeto, da embarcação até os laboratórios; e
- respeito às metodologias analíticas previstas e limites analíticos para cada parâmetro que permitam sua quantificação (LQM, limite de quantificação do método) em concentrações, no mínimo, iguais às diretrizes norteadoras nacionais e internacionais indicadas para cada parâmetro.

O profissional designado como Coordenador de Bordo do Projeto foi responsável por garantir que o previsto em projeto, considerando em especial as melhores práticas e os pontos de relevância acima elencados, fossem respeitados. Foi responsável também pela validação das amostragens e amostras obtidas, fazendo a conferência minuciosa das amostras e garantindo acondicionamento correto e seguro, acompanhado das respectivas cadeias de custódia na saída do porto em direção aos laboratórios.

Tabela 5: Motivos técnicos que podem levar à invalidação de amostragens e amostras obtidas.

amostragens	motivos para invalidação de amostragem ou amostra
CTD	perfilagem com geração de dados nitidamente não condizentes com o esperado tecnicamente
	sensores não calibrados antes de iniciadas as perfilagens
	outras falhas de funcionamento do equipamento
água	existência de alguma mancha de óleo na superfície do mar que pudesse contaminar as garrafas, na descida, ou na subida do equipamento (exceção caso seja esperada alguma mancha oriunda de exsudação natural de óleo)
	mal fechamento de garrafa(s)
	obtenção de volume insuficiente de amostra para a subamostragem necessária de uma mesma profundidade
zooplâncton	outras falhas de funcionamento do equipamento
	malha de rede do copo, ao final da rede, com qualquer tipo de problema ocasionado pelo arrasto
	contagem de fluxômetro não condizente com o esperado para o arrasto realizado
ictioplâncton	outras falhas de funcionamento do equipamento
	redes enroladas uma na outra, no cabo ou no depressor
	malha de rede do copo, ao final de cada rede, com qualquer tipo de problema ocasionado pelo arrasto
	contagem de fluxômetro não condizente com o esperado para o arrasto realizado

amostragens	motivos para invalidação de amostragem ou amostra
	angulação do arrasto superior a 60°±5°
	velocidade da embarcação superior a 2 nós
	outras falhas de funcionamento do equipamento
sedimento	amostra sem água sobrenadante na caixa do box-corer, ou com a superfície do sedimento perturbada (avaliação visual)
	caixa do amostrador com fechamento inapropriado devido às características do substrato
	obtenção de volume insuficiente de amostra para que o previsto em projeto possa ser respeitado
	outras falhas de funcionamento do equipamento

5.2.3 Parâmetros Seleccionados e Metodologia Analítica

Os parâmetros abióticos seleccionados para avaliar cada um dos compartimentos considerados (meteoceanografia, água, sedimento e biotas planctônica e bêntica), bem como seus respectivos métodos analíticos e limites de detecção e/ou quantificação são apresentados no **Anexo VII**. As metodologias analíticas de fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton seguiram o previsto em projeto e são detalhadamente descritas nos relatórios específicos apresentados no **Anexo XII_A**. Da mesma forma, as metodologias analíticas de meiofauna e macrofauna bênticas seguiram o previsto em projeto e são detalhadamente descritas no relatório específico apresentado no **Anexo XVI_A**.

Note-se que as planilhas apresentadas no **Anexo VII** foram preenchidas considerando as informações disponibilizadas pelos laboratórios responsáveis pelas análises de cada parâmetro. Para alguns parâmetros foram apresentados limite de detecção (concentração a partir da qual se detecta a presença daquele parâmetro analisado) e limite de quantificação (concentração a partir da qual se confia na quantificação daquele parâmetro na amostra analisada), enquanto para outros foram apresentados apenas um ou outro. Para efeito de esclarecimento, no texto deste relatório, quando for descrito que um parâmetro não foi detectado significa que ele foi analisado, porém, estava em concentração inferior ao detectável pelo método analítico empregado, e quando for descrito que um determinado parâmetro não foi quantificado significa que ele foi analisado e que estava em concentração inferior ao quantificável pelo método analítico empregado.

5.2.4 Organização e Análise de Dados

Neste item, dedicado à organização e à análise dos dados gerados pelo PCA do Bloco C-M-541 são detalhadas as comparações e análises de dados executadas, desde comparações diretas com diretrizes norteadoras e referências (dados pretéritos), até análises matemáticas básicas e estatísticas. As tabelas a seguir (**Tabela 6** e **Tabela 7**) resumem, para os compartimentos água e sedimento, o tratamento dado a cada parâmetro (componente), abiótico ou biótico, analisado.

Tabela 6: Resumo das análises de dados utilizadas, neste relatório, por parâmetro de qualidade da água e biota associada. Referências referem-se a dados pretéritos para a região de estudo.

#	parâmetros (componentes) água	comparações diretas		análise matemática básica					análise estatística univariada		análise estatística multivariada			
		diretriz norteadora	referências	mínimo	mediana	máximo	média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)	Correlação de Pearson	ANOVA	PCA	DistLM-dbrDA
1	temperatura		X								X	X	X	X
2	salinidade		X								X	X	X	X
3	pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	OD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	transparência													
6	TSS		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	TDS		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	ST		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
9	nitrito	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	nitrato	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	amônia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	nitrogênio total		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
13	ortofosfato		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
14	fósforo total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	silicato		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	sulfetos	X												
17	Al		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
18	As	X	X											
19	Ba	X	X											
20	Be	X												
21	Cd	X	X											
22	Pb	X	X											
23	Co													
24	Cu		X											
25	Cr	X	X											
26	Sn													
27	Fe		X											
28	Mn	X	X											
29	Hg	X	X											
30	Mo													
31	Sb													
32	Ni	X	X											
33	Ag	X												

#	parâmetros (componentes) água	comparações diretas		análise matemática básica				análise estatística univariada		análise estatística multivariada		
		diretriz norteadora	referências	mínimo	mediana	máximo	média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)	Correlação de Pearson	ANOVA PCA
34	Se	X										
35	Tl	X										
36	V	X	X									
37	Zn	X	X									
38	HTPs total		X									
39	Σ16HPA prioritários		X									
40	HPAs alquilados		X									
41	COSV		X									
42	BTEX total		X									
43	fenóis		X									
44	clorofila_a		X	X	X	X	X	X	X			
45	feofitina_a		X	X	X	X	X	X	X			
46	Diatomáceas		X					X	X	X	X	
47	Dinoflagelados		X					X	X	X	X	
48	Cianobactérias		X					X	X	X	X	
49	Silicoflagelados		X									
50	Cocolitoforídeos		X					X	X	X	X	
51	fitopkt_outros		X					X	X	X	X	
52	fitopkt_diversidd		X					X	X	X	X	
53	fitopkt_equitab		X					X	X	X	X	
54	Cnidaria		X									
55	larva de Cnidaria		X									
56	Mollusca		X									X
57	larva de Mollusca		X									X
58	Annelida		X									X
59	larva de Annelida		X									X
60	Crustacea: Cladocera		X									X
61	Crustacea: Copepoda		X									X
62	Crustacea: Ostracoda		X									X
63	Crustacea: Mysida		X									X
64	Crustacea: Amphipoda		X									X
65	Crustacea: Isopoda		X									X
66	Crustacea: Decapoda		X									X
67	larva de Crustacea		X									X
68	Chaetognatha		X									X

#	parâmetros (componentes) água	comparações diretas		análise matemática básica			análise estatística univariada		análise estatística multivariada				
		diretriz norteadora	referências	mínimo	mediana	máximo	média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)	Correlação de Pearson	ANOVA	PCA
69	Appendicularia		X										X
70	Doliolida		X										X
71	Salpida		X										X
72	larva de Echinodermata		X										X
73	larva de Peixe		X										X
74	zoopkt_outras larvas		X										X
75	zoopkt_outros		X										X
76	zoopkt_diversidd		X										X
77	zoopkt_equitab		X										X
78	ictiopkt_ovos		X										X
79	ictiopkt_larvas		X										X

Parâmetros que não ocorreram em concentrações passíveis de detecção pelos métodos utilizados (sulfetos, antimônio – Sb, prata - Ag, arsênio - As, bário - Ba, berílio - Be, cádmio - Cd, cobalto - Co, cromo - Cr, cobre - Cu, ferro - Fe, mercúrio - Hg, manganês - Mn, molibdênio - Mo, níquel - Ni, chumbo - Pb, selênio - Se, estanho - Sn, tálio - Tl, vanádio - V e zinco - Zn, HTP, HPAs, COSVs, fenóis e BTEX em água e cascalho, Sb, As, Be, Cd, Sn, Hg, Mo, Ag, Se e Tl no sedimento) não foram analisados matematicamente ou participaram das análises estatísticas. Comparações com dados pretéritos foram feitas apenas para aqueles parâmetros com dados disponíveis para a região de estudo. Os resultados dos parâmetros sulfeto, Sb, Be, Co, Sn, Mo, Ag, Se e Tl na água e Sb, Be, B, Sn, Mo, Ag e Tl no sedimento, não detectados nas amostras analisadas, são os primeiros registros para esta região da Bacia de Campos (conforme apresentado no item 5.2.4.3 deste relatório), discutidos considerando outras referências para a costa brasileira e/ou outras áreas regiões no mundo.

Tabela 7: Resumo das análises de dados utilizadas, neste relatório, por parâmetro de qualidade do sedimento e biota associada.

#	parâmetros (componentes) SEDIMENTO	comparações diretas		análise matemática básica				análise estatística univariada		análise estatística multivariada			
		diretriz norteadora	referências	mínimo	mediana	máximo	média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)	Correlação de Pearson	ANOVA	PCA
1	cascalho		X										
2	areias		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	lama		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	carbonatos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	MOT		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	COT		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	NT		X	X	X	X	X	X	X				
8	PT		X	X	X	X	X	X	X				
9	C:N		X	X	X	X	X	X	X				
10	C:P		X	X	X	X	X	X	X				
11	N:P		X	X	X	X	X	X	X				
12	Al		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	As	X	X										
14	Ba	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	Be												
16	Cd	X	X										
17	Pb	X	X	X	X	X	X	X	X				
18	Co		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	Cu	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	Cr	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	Sn												
22	Fe		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	Mn		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24	Hg	X	X										
25	Mo												
26	Sb												
27	Ni	X	X	X	X	X	X	X	X				
28	Se		X										
29	Ag	X											
30	Tl												
31	V		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32	Zn	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
33	HTP total		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	Σ16HPA prioritários	X	X	X	X	X	X	X	X				

#	parâmetros (componentes) SEDIMENTO	comparações diretas		análise matemática básica				análise estatística univariada		análise estatística multivariada			
		diretriz norteadora	referências	mínimo	mediana	máximo	média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)	Correlação de Pearson	ANOVA	PCA
35	HPAs alugilados		X										
36	COSV		X										
37	Biomarcadores		X										
38	Ra-226		X	X	X	X	X	X	X	X			
39	Ra-228		X	X	X	X	X	X	X	X			
40	MEIO_Nematoda		X								X		X
41	MEIO_Crustacea: Copepoda		X								X		X
42	MEIO_Polychaeta		X								X		X
43	MEIO_Oligochaeta		X										
44	MEIO_Acaro		X								X		X
45	MEIO_Crustacea: Syncarida		X										
46	MEIO_Crustacea: Peracarida		X										
47	MEIO_Crustacea: Eucarida		X										
48	MEIO_outros		X								X		X
49	MEIO_diversidd		X								X		X
50	MACRO_Porifera		X										
51	MACRO_Cnidaria		X										
52	MACRO_Annelida: Polychaeta		X								X		X
53	MACRO_Mollusca: Gastropoda		X										
54	MACRO_Mollusca: Bivalvia		X								X		X
55	MACRO_Mollusca: Cephalopoda		X										
56	MACRO_Mollusca: outros		X										
57	MACRO_Crustacea: Tanaidacea		X								X		X
58	MACRO_Crustacea: Cumacea		X								X		X
59	MACRO_Crustacea: Amphipoda		X								X		X
60	MACRO_Crustacea: Isopoda		X								X		X
61	MACRO_Crustacea: Decapoda		X										
62	MACRO_Crustacea: outros		X								X		X
63	MACRO_Echinodermata		X								X		X
64	MACRO_Sipuncula		X										
65	MACRO_Bryozoa		X										
66	MACRO_outros		X								X		X
67	MACRO_diversidd		X								X		X
68	MACRO_equitab		X								X		X

5.2.4.1 Banco de Dados de Caracterização Ambiental

O Banco de Dados de Caracterização Ambiental (bdca.com.br) é um sistema que permite o armazenamento, consulta, e compartilhamento de dados ambientais coletados através de quaisquer projetos que gerem dados acerca de qualidade de água, biota planctônica, cobertura do fundo, qualidade do sedimento, biota benthica e nectônica em ambiente marinho, além da possibilidade de inclusão de dados chave para o entendimento sinérgico e ecológico destes (como dados meteocceanográficos). Ele está preparado tanto para receber dados oriundos de Projetos de Caracterização Ambiental (PCAs) e Projetos de Monitoramento Ambiental (PMAs) executados dentro de processos de licenciamento ambiental e pós-licença, nos âmbitos Federal e Estadual, como também de projetos de pesquisa com as mais diversas estruturas e características.

Mais do que apenas um Banco para armazenar os dados, o sistema do Banco de Dados de Caracterização Ambiental oferece uma plataforma de simples utilização para a inclusão, revisão e visualização desses dados de forma intuitiva. O sistema conta com uma interface de busca detalhada que torna possível correlacionar resultados de parâmetros obtidos por diferentes projetos e esforços, traçando de forma rápida um panorama geral desses dados.

Assim que os dois relatórios previstos para este PCA do Bloco C-M-541 estiverem fechados e forem submetidos ao IBAMA, de forma semelhante, este projeto será devidamente publicado no BDCA. Por ora, o projeto já foi criado dentro do **BDCA** sob o **código NLEU175518**, e são apresentadas nos anexos do presente relatório as planilhas de dados, com estrutura previamente definida pelo BDCA que organizam os dados do projeto de forma a serem facilmente acessados e correlacionados pelo sistema, sendo

- P001 – Malha amostral – coordenadas de projeto (**Anexo VI_B**),
- P002A – Identificação de amostras, (**Anexo VIII_B**),
- P003 – Oceanografia (**Anexo X_B**),
- P004 – Qualidade da água (**Anexo XI_B**),
- P005B.1 – Biota planctônica – fitoplâncton – quantitativo (**Anexo XII_B**),
- P005B.2 – Biota planctônica – fitoplâncton – qualitativo (**Anexo XII_B**),
- P005C.1 – Biota planctônica – zooplâncton – quantitativo (**Anexo XII_B**),
- P005C.2 – Biota planctônica – zooplâncton – qualitativo (**Anexo XII_B**),
- P005D.1 – Biota planctônica – ictioplâncton – quantitativo (**Anexo XII_B**),
- P005D.2 – Biota planctônica – ictioplâncton – qualitativo (**Anexo XII_B**),
- P006 – Avaliação visual da cobertura do fundo (**Anexo XIII_B**),
- P007 – Qualidade do sedimento (**Anexo XV_B**),
- P008A.1 – Biota benthica – meiofauna – quantitativo (**Anexo XVI_B**),
- P008A.2 – Biota benthica – meiofauna – qualitativo (**Anexo XVI_B**),
- P008B.1 – Biota benthica – macrofauna – quantitativo (**Anexo XVI_B**) e
- P008B.2 – Biota benthica – macrofauna – qualitativo (**Anexo XVI_B**).

5.2.4.2 Diretrizes Norteadoras

Foram considerados como diretrizes norteadoras:

- Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005 (alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011, e complementada pela Resolução nº 393, de 2009), dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, sendo consideradas a diretrizes para águas salinas classe 1, **para avaliação da qualidade da água;**
- Resolução CONAMA Nº 454, de 01 de novembro de 2012 (que revogou as Resoluções nº 344 de 2004 e nº 421 de 2010), estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, indicando valores de referência (em unidade de material seco) nível 1 (limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota) e nível 2 (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota), para água salina/salobra, **para avaliação da qualidade do sedimento;**
- Valores de referência norte-americanos – NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) Screening Quick Reference Tables (*SQuiRTs*) (BUCHMAN, 2008), que apresenta valores de referência para efeitos agudo (nível mais alto para uma exposição média de 1 hora, a não ser excedida mais de uma vez a cada 3 anos) e crônico (nível mais alto para uma exposição média de 4 dias, a não ser excedida mais de uma vez a cada três anos), sendo consideradas as diretrizes para águas marinhas superficiais **para avaliação da qualidade da água**, e que apresenta valores de TEL (*Threshold Effect Level* - limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente) e PEL (*Probable Effect Level* - limite acima do qual podem ser observados efeitos na biota), **para avaliação da qualidade do sedimento;**
- Valores de referência canadenses para a proteção da vida aquática (*Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life* (CCME, 2015; *Canadian Council of Ministers of the Environment*) (com visita à sua página web à época da comparação dos resultados), que apresenta valores de referência para efeitos de curto¹ e longo prazo², sendo consideradas as diretrizes para proteção da vida aquática em ambiente marinho **para avaliação da qualidade da água**, e que apresenta valores de referência para a proteção dos ecossistemas marinhos (ISQG = *Interim Sediment Quality Guideline* = concentração definida quando os dados disponíveis não permitem maior precisão, sendo um valor seguro, conservador, para os ecossistemas

¹ **Efeito de curto prazo:** estimativa do limite inferior de efeitos letais para organismos aquáticos. Fornece orientação sobre os impactos de situações severas, porém transitórias (por exemplo, eventos de derramamento em ambientes aquáticos receptores e liberações não frequentes de substâncias de curta duração / não persistentes). Não protege a vida aquática contra efeitos adversos. Pode ser considerado como efeito agudo.

² **Efeito de longo prazo:** estimativas que se destinam a proteger as espécies e o estágio de vida mais sensíveis contra efeitos subletais e letais para exposições indefinidas. Pode ser considerado como efeito crônico.

marinhos) e PEL (*Probable Effect Level* - limite acima do qual podem ser observados efeitos na biota), **para a avaliação da qualidade do sedimento.**

No caso de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) não existem diretrizes norteadoras nem para a água nem para o sedimento. A CONAMA 357/2005 prevê que óleos e graxas estejam virtualmente ausentes em amostras de águas salinas classe 1, mas a análise de óleos e graxas compreende uma gama de compostos muito maior que aqueles avaliados pela análise de HTP. Mesmo as diretrizes internacionais consideradas (norte-americana e canadense) não apresentam valores norteadores para esse parâmetro. Para auxiliar na avaliação dos resultados de HTP no sedimento, serão utilizados os valores sugeridos por VOLKMAN *et al.* (1992), uma publicação sobre hidrocarbonetos naturais, antropogênicos e de petróleo em sedimentos aquáticos, considerando também as contribuições de LAW (1981), ZHENG *et al.* (2000) e READMAN *et al.* (2002).

Comparações com as principais diretrizes norteadoras (CONAMA 357/2005 para água e BUCHMAN (2008) para sedimento) são apresentadas nas tabelas e figuras padronizadas (**Anexo XI_C** e **Anexo XV_C**).

5.2.4.3 Referências Consideradas

Não apenas para discutir os resultados obtidos, mas para que o presente relatório realmente cumpra seu papel no Estudo Ambiental de Perfuração (EAP) da Atividade de Perfuração Marítima no Bloco C-M-541 – Bacia de Campos, funcionando como diagnóstico ambiental da qualidade da água e do sedimento e biotas associadas (planctônica e bêntica) foram utilizadas informações disponíveis na literatura (dados secundários) para a comparação regional e local com os dados primários obtidos neste PCA, apresentadas em ordem cronológica de realização:

- **Programa REVIZEE – Programa de Avaliação Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva**, destinado a fornecer dados técnico-científicos consistentes e atualizados (à época), essenciais para subsidiar o ordenamento do setor pesqueiro nacional. Realizado entre 1994 e 2004, o Programa adotou, como estratégia básica, o envolvimento da comunidade científica nacional, especializada em pesquisa oceanográfica e pesqueira, atuando de forma multidisciplinar e integrada, por meio de Subcomitês Regionais de Pesquisa (SCOREs). Do Score Central, foram considerados os resultados de hidroquímica (REZENDE *et al.*, 2006) obtidos na Operação Central III (primavera de 1998) e na Operação Central IV (outono de 2000), com ênfase nos dados obtidos na porção sul das malhas amostrais, já na Bacia de Campos.
- **Projeto MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima**, um projeto de monitoramento ambiental desenvolvido por iniciativa de Centros de Pesquisa das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em parceria com a indústria de óleo e gás, representada pelo Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP). O projeto foi conduzido entre 2001 e 2003 na Bacia de Campos, em águas rasas e em águas profundas submetidas aos efeitos do descarte de cascalhos de perfuração, impregnados com fluido sintético não aquoso (TOLDO JR *et al.*, 2004; TOLDO JR & ZOUAIN, 2009). No entorno do

poço Eagle (região de talude, entre 810 e 970 m de profundidade local) foi avaliado o sedimento de 48 estações, distribuídas de forma concêntrica radial nas distâncias de 50, 100, 150, 300 e 500 m do poço, com mais 3 estações de controle 2500 m ao Norte e outras 3 estações de controle 2500 m ao Sul (total de 54 estações), antes (abril de 2001), um mês após (julho de 2001) e um ano após o término da perfuração (junho de 2002), através de amostragens com box-corer (0,25 m²) (TOLDO JR & AYOUP-ZOUAIN, 2004, CORREA *et al.*, 2009 e POZEBON *et al.*, 2009).

- Projeto de **Caracterização Ambiental de Águas Profundas da Bacia de Campos**, coordenado pelo CENPES/PETROBRAS, com a participação de oito universidades brasileiras, considerando a caracterização hidroquímica de massas d'água oceânicas, em 2002 e 2003, associadas aos campos petrolíferos de Albacora Leste (6 estações, localizadas entre 1230 e 1730 m de profundidade, com amostragens por garrafas de Niskin em 11 diferentes profundidades) e Barracuda e Caratinga (6 estações, localizadas entre 700 e 1100 m de profundidade, com amostragens por garrafas de Niskin em 9 diferentes profundidades), situados, respectivamente, ao Norte e ao Sul da Bacia de Campos (PEDROSA *et al.*, 2006). Para comparação com os dados do PCA do C-M-541, foram considerados apenas os resultados obtidos em Albacora Leste (ao Norte), devido à profundidade local. Os resultados de sedimento deste projeto foram disponibilizados por ARAUJO (2009) e ARAUJO *et al.* (2010), considerando 20 estações na área Norte (campos de Roncador e Albacora Leste) e 24 estações na área Sul (campos de Barracuda, Caratinga, Marlim Sul e Marlim Leste), em duas campanhas (novembro/ 2002 e junho/ 2003), e amostragens com box-corer, análise do sedimento de 0 a 2 cm superficiais, às profundidades de 750, 1050, 1350, 1650 e 1950 m. Para comparação com os dados do PCA do C-M-541, foram considerados apenas os resultados obtidos na área Sul, pela proximidade.
- **Caracterização Ambiental de Águas Profundas da Bacia de Santos**, corresponde a uma campanha, realizada em outubro de 2002, de caracterização ambiental dos Blocos BM-S-8, BM-S-9, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21, localizados na porção central da Bacia de Santos, em áreas de águas ultra profundas (acima de 2.000 m de profundidade). Nesta campanha, as amostras de sedimento superficial foram coletadas em 30 estações distribuídas ao longo de 5 isóbatas (2.100, 2.150, 2.200, 2.225 e 2.425 m), sendo os resultados disponibilizados na literatura por ABÍLIO *et al.* (2006).
- **Projeto 3 Bacias – Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo**, realizado pelas empresas Petroleum and Environmental Geoservices (PEG) e pela Analytical Solutions (AS), sob a coordenação e supervisão da PUC-Rio, subsidiado pela PETROBRAS e endereçado ao ELPN/IBAMA/MMA, entre 2002 e 2003. Neste diagnóstico foram utilizados os dados obtidos nas bacias de Santos e de Campos, obtidos em lâminas d'água iguais ou superiores a 1000 m. Amostras foram obtidas com garrafas de Niskin à subsuperfície, em algumas estações, ou a 10 m, termoclina e 200 m de profundidade, em todas as demais estações. Das amostras de sedimento, foram amostrados os 2 cm superficiais

do sedimento obtido com box-corer em cada estação (AS/PEG, 2003a e AS/PEG, 2003b, relatórios das bacias de Santos e de Campos, respectivamente).

- **Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos (PCR-BC)**, também identificado como Projeto Habitats – Heterogeneidade Ambiental da Bacia de Campos. A caracterização multidisciplinar desenvolvida teve como objetivo obter informações sobre o *status* atual da Bacia de Campos, considerando que diversas atividades antrópicas vem sendo desenvolvidas há décadas na região. As investigações visaram consolidar informações sobre a geologia e a meteoceanografia da região, assim como estabelecer um marco preliminar para acompanhamento de possíveis alterações nos níveis de base de contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como de modificações nos padrões regionais de distribuição e composição da biota. Também foi utilizada uma abordagem de análise de biodiversidade associada a diferentes habitats e a algumas comunidades específicas, como cânions, corais e rodólitos. Fizeram parte dessa atividade 22 instituições de pesquisa brasileiras. Neste projeto foram analisadas, em período chuvoso (março/abril de 2009) e seco (agosto/setembro de 2009), áreas entre 25 e 3.000 m de profundidade local, limitadas neste diagnóstico, os dados obtidos em estações com lâmina d'água igual ou superior a 1000 m, sempre que os dados disponíveis possibilitaram essa seleção (PETROBRAS, 2013; CAMPOS *et al.*, 2017; CARREIRA *et al.*, 2017; GONZALEZ-RODRIGUES *et al.*, 2017; REZENDE *et al.*, 2017; SUZUKI *et al.*, 2017; RIBEIRO-FERREIRA *et al.*, 2017; WAGENER *et al.*, 2017a; WAGENER *et al.*, 2017b). Para avaliação da qualidade da água, foram realizadas amostragens em até 6 diferentes profundidades, através do lançamento de garrafas de Niskin e Go-Flo em sistema Rossete), e para avaliação da qualidade do sedimento, foram realizadas amostragens com box-corer (nas áreas mais profundas, > 200 m). Sempre que possível (de acordo com a forma como os dados foram disponibilizados na literatura) foram considerados neste relatório.
- **Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) do Bloco Sul de Gato do Mato (SdeGM)**, na Bacia de Santos (SHELL *et al.*, 2018), elaborado como subsídio para o licenciamento da atividade de perfuração marítima a ser desenvolvida pela Shell Brasil Petróleo Ltda na área do referido bloco, localizado em frente ao Estado do Rio de Janeiro, a uma distância de, aproximadamente, 220 km da costa, em lâmina d'água variando de 2035 a 2070 m. Neste projeto, foram caracterizadas 6 estações, todas localizadas dentro da área do bloco, com amostragens de água, plâncton, sedimento e biota bêntica. O acesso aos dados brutos deste projeto foi através do Banco de Dados de Caracterização Ambiental (BDCA) sendo seu código de identificação: PLKQ546638, acessado em outubro de 2020.

As tabelas a seguir sintetizam as contribuições destes dados secundários para as comparações diretas com os resultados obtidos no Bloco C-M-541 por este PCA, indicando a referência considerada em cada caso, tanto com relação à qualidade da água (**Tabela 8**) quanto à qualidade do sedimento (**Tabela 9**), seguidas, respectivamente, de figura espacializando as estações amostrais dessas referências consideradas em relação à localização do Bloco C-M-541 (**Figura 22 e Figura 23**, respectivamente).

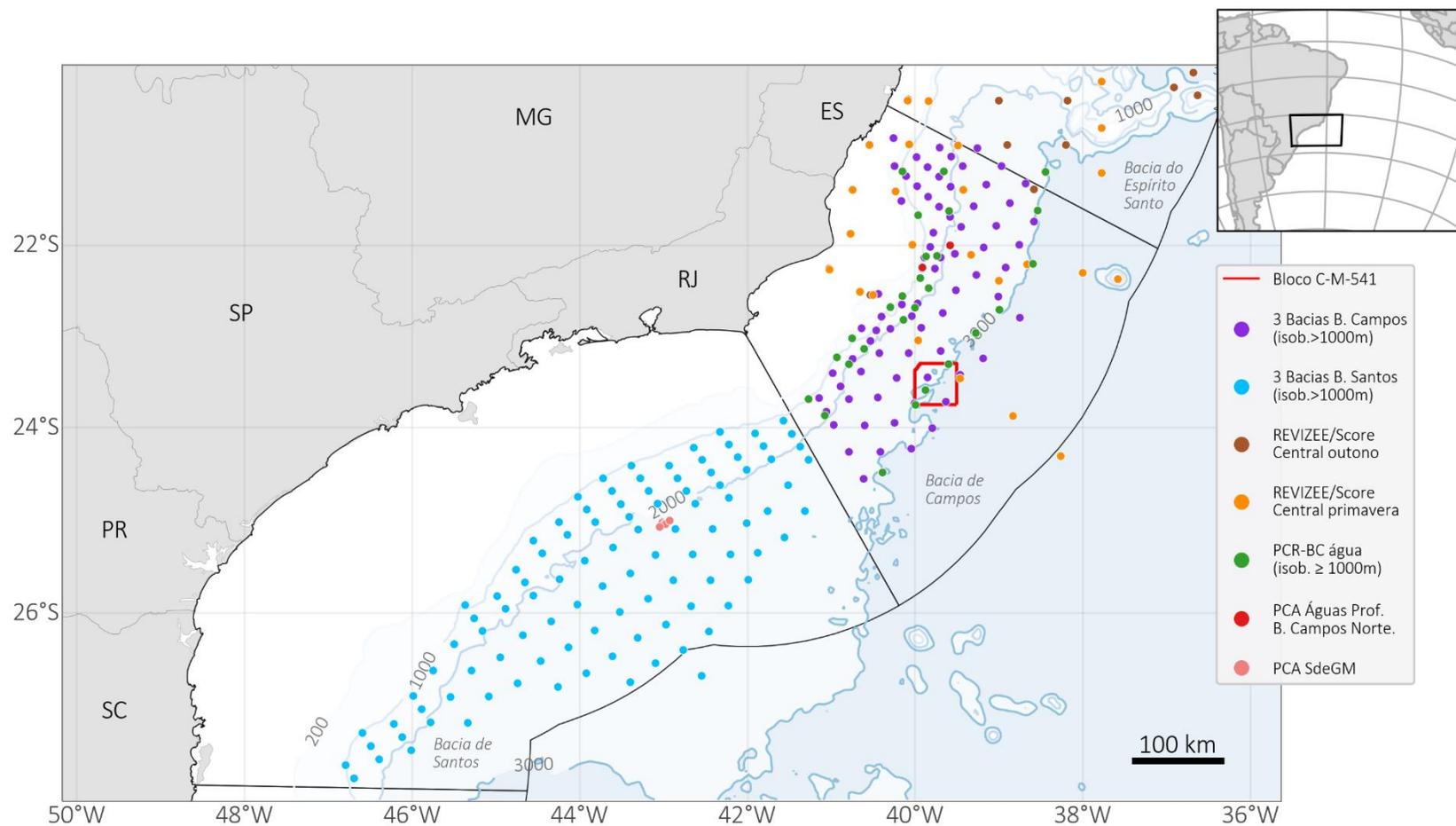


Figura 22: Distribuição ilustrativa das malhas amostrais das referências consideradas para comparações diretas com os resultados de qualidade da água obtidos no Bloco C-M-541, Baía de Campos.

Tabela 9: Referências consideradas para as comparações diretas com os resultados de qualidade do sedimento obtidos no Bloco C-M-541, por parâmetro contemplado na literatura, sendo: lama=silte+argila, MOT=matéria orgânica total, COT=carbono orgânico total; NT=nitrogênio total, PT=fósforo total, C:N=razão carbono: nitrogênio, C:P=razão carbono: fósforo, N:P=razão nitrogênio: fósforo, HTP hidrocarbonetos totais de petróleo e HPA=hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

Projeto/ Programa	especificação (campanha/ área/ estrato/isóbata)	referência	parâmetros (qualidade do sedimento)																																	
			cascalho	Σ areias	lama	carbonatos	MOT	COT	NT	PT	C:N	C:P	N:P	Al	As	Ba	Cd	Pb	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ni	V	Zn	HTP	Σ 16 HPA	Ra-226	Ra-228					
MAPEM B. Campos	Poço Eagle (antes da perf., 1 ano após e 1 ano após)	TOLDO JR & AYOUN- ZOUAIN (2004),	X	X	X		X							X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
		CORREA <i>et al.</i> (2009)						X							X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
		POZEBON <i>et al.</i> (2009)						X							X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Águas Profundas B. Santos	-	ABÍLIO <i>et al.</i> (2006)				X	X								X	X	X		X	X		X		X	X	X										
Águas Profundas B. Campos	Porção Sul 2002 e 2003	ARAUJO (2009)	X	X	X	X	X							X								X	X	X												
		ARAUJO <i>et al.</i> (2010)	X	X	X	X	X								X								X	X	X											
3 Bacias	B. Santos (≥1000m)	AS/PEG (2003a)	X	X	X	X	X							X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	B. Campos (≥1000m)	AS/PEG (2003b)	X	X	X	X	X							X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
PCR-BC Bacia de Campos	seco/chuvoso (≥1000m)	PETROBRAS (2013),	X	X	X	X	X		X					X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		CARREIRA <i>et al.</i> (2017)				X	X	X																												
		REZENDE <i>et al.</i> (2017)	X	X	X										X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X								
		WAGENER <i>et al.</i> (2017b)																																X	X	
PCA SdeGM B. Santos	-	SHELL <i>et al.</i> (2018)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

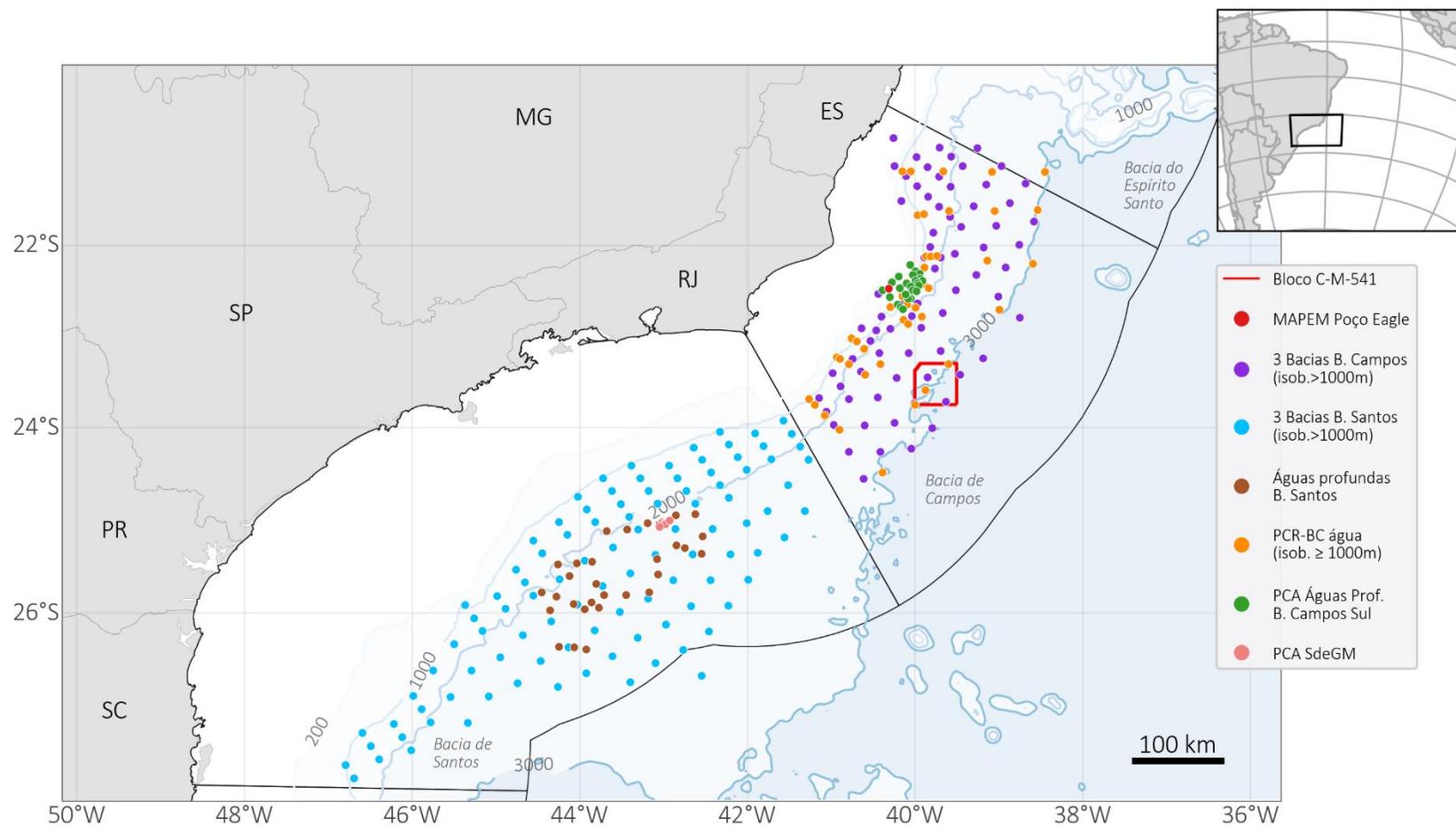


Figura 23: Distribuição ilustrativa das malhas amostrais das referências consideradas para comparações diretas com os resultados de qualidade do sedimento obtidos no Bloco C-M-541, Bacia de Campos

5.2.4.4 Relatórios Padronizados por Parâmetro

Para cada um dos parâmetros abióticos listados na **Tabela 6** (qualidade da água) e **Tabela 7** (qualidade do sedimento), foi gerado um relatório padronizado de duas páginas, com a apresentação tabelada dos resultados e gráficos de variação nesta campanha de caracterização ambiental e comparativos com a literatura disponível, conforme ilustrado em sequência. Na tabela (**Figura 24**), além de apresentados os dados brutos, são grifados os dados não enquadrados (células em cinza), uma análise matemática básica, com mínimo, mediana, máximo, média e desvio padrão (DP) e análise estatística univariada (ANOVA). Neste relatório padronizado na forma de tabela são também apresentadas informações adicionais sobre metodologia analítica e demais dados a ela associados.

Oxigênio Dissolvido (mg/L)													
Diretriz norteadora: CONAMA n°357/2005 (águas salinas classe 1)		PCA do Bloco C-M-541 (B. Campos) Período de amostragem : 23/07/2020 a 27/07/2020											
Estação	Profundidade	Profundidades								Estatísticas - por estação			
		SUB	ACT	ACAS	AIA	APAN	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	DP	ANOVA (F)	ANOVA (p)
Estação	4	6.7	6.3	6.3	6.4	4.7	4.7	6.3	6.7	6.1	0.7	0.3	1.0
	15	6.1	6.4	6	6	5.5	5.5	6.0	6.4	6.0	0.3		
	31	6.4	6.2	6.4	6.3	6.2	6.2	6.3	6.4	6.3	0.1		
	43	6.6	6.7	6.5	6.1	4.5	4.5	6.5	6.7	6.1	0.8		
	44	6.7	6.3	6.3	6.4	4.7	4.7	6.3	6.7	6.1	0.7		
	45	7	6.7	6.9	6.3	4.4	4.4	6.7	7.0	6.3	1.0		
	46	6.6	6.1	6.2	6.5	6.6	6.1	6.5	6.6	6.4	0.2		
	47	6.5	6.6	6.3	6.5	6.3	6.3	6.5	6.6	6.4	0.1		
Estatísticas - por profundidade	48	6.3	6.2	6.1	6.4	6.1	6.1	6.2	6.4	6.2	0.1		
	Minimo	6.1	6.1	6.0	6.0	4.4	Metodologia analítica: medição direta in situ Equipamento: Medidor de oxigênio dissolvido MOD. MO-920 Resolução: 0.1 Precisão: 0.4 Limite de detecção: - Limite de quantificação: - Unidade: mg/L Laboratório responsável: PROOCEANO						
	Mediana	6.6	6.3	6.3	6.4	5.5							
	Maximo	7.0	6.7	6.9	6.5	6.6							
	Media	6.5	6.4	6.3	6.3	5.4							
	DP	0.3	0.2	0.3	0.2	0.9							
ANOVA (F)	8.6												
ANOVA (p)	4.0E-05												

Observações:
 SUB (subsuperfície), ACT (acima da termoclina), ACAS (Água Central do Atlântico Sul), AIA (Água Intermediária Antártica).
 APAN (Água Profunda do Atlântico Norte) e AAF (Água Antártica de Fundo).
 Destaques em cinza para dados não enquadrados.
 ANOVA (F) = Valor correspondente a equidade entre as médias de uma amostra. Valores altos de F indicam alta dispersão dos valores dentro do determinado fator.
 ANOVA (p) = Indica a significância das diferenças observadas na análise de variância. Os valores em vermelho correspondem a $p < 0,05$ e indicam diferenças significativas.

Figura 24: Exemplo de relatório padronizado com dados apresentados na forma de tabela.

Os resultados de cada parâmetro são também apresentados na forma gráfica (**Figura 25**), composta por:

- Gráfico de barras agrupadas: Formado pelos resultados obtidos na presente campanha, com distinção entre camadas de profundidade/massas de água, em parâmetros referentes à qualidade da água (**Tabela 6**), ou entre réplicas, para aqueles referentes à qualidade do sedimento (**Tabela 7**). Há a presença do valor de referência da diretriz norteadora (quando existente).
- Gráfico de barras flutuantes: Comparação visual entre diferentes dados da literatura, barras flutuantes com valor mínimo, máximo e mediana (quando disponível), e os resultados obtidos na presente campanha (pontos), dividida por camadas de profundidade, em parâmetros referentes à qualidade da água (**Tabela 6**). Já para os parâmetros referentes à qualidade do sedimento (**Tabela 7**), os pontos correspondentes aos resultados da presente campanha foram

distribuídos verticalmente segundo o número de sua estação. Além disso, foram diferenciados em dois grupos: **Malha de Caracterização Ambiental** (estações 4, 15, 31, 43-48) e **Entorno do poço 1-BRSA-125-RJS** (estações 1 a 10). Finalmente, o valor de referência da diretriz norteadora, também foi apresentado (quando definido). Dessa forma, é possível analisar os resultados obtidos no presente PCA com eficiência, permitindo um exame comparativo espacial, entre os dados da literatura delimitados para a área do entorno do Bloco C-M-541, temporal, graças a variabilidade de períodos amostrados para a mesma região pelas diferentes referências bibliográficas, e norteador, já que é possível comparar os dados obtidos na presente campanha com diretrizes consolidadas nos meios nacional e internacional. Ainda, para os parâmetros referentes à qualidade da água, foi possível uma análise vertical, devido à distinção, em camadas de profundidade, entre os resultados do presente PCA e das referências bibliográficas consideradas.

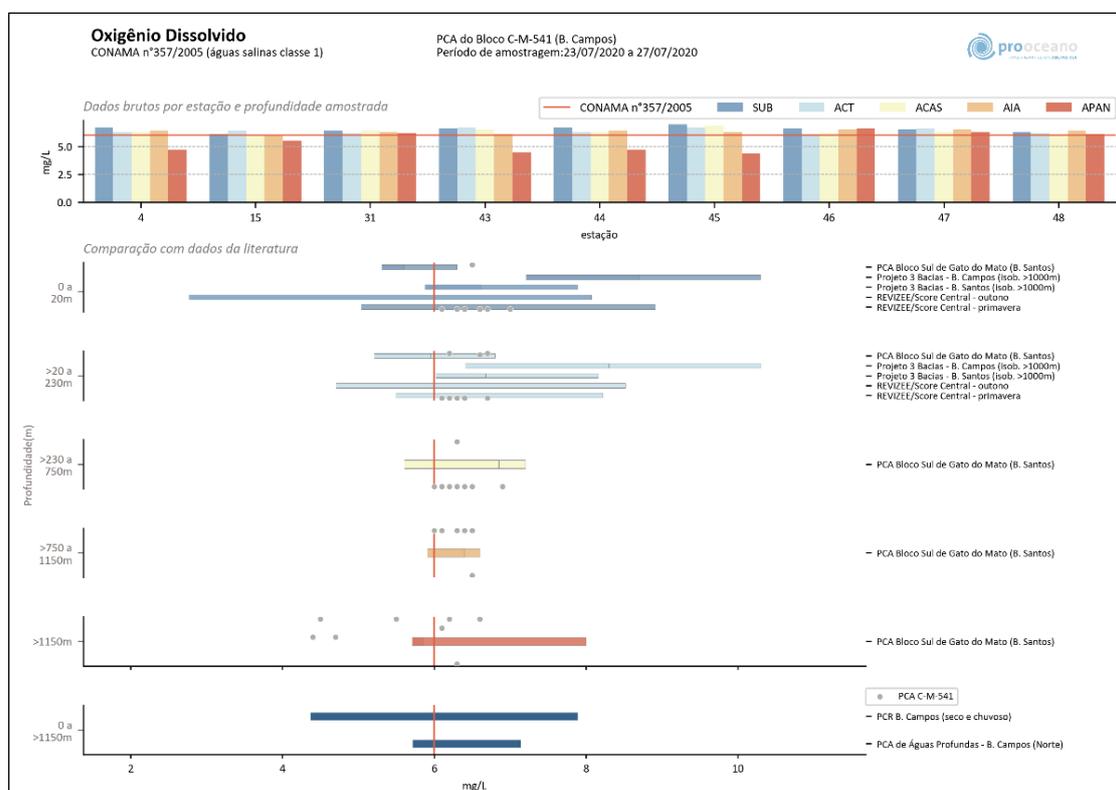


Figura 25: Exemplo de relatório padronizado com dados apresentados na forma gráfica.

Esses relatórios, padronizados por parâmetro são apresentados nos **Anexo XI_C** e **Anexo XV_C** deste relatório, para os dados abióticos de água e de sedimento, respectivamente. Nos relatórios padronizados de sedimento, vale lembrar que as estações 1 a 10 correspondem ao entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS (**Malha de Possível Passivo**) e que as estações 4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48 correspondem à **Malha de Caracterização Ambiental** da área do Bloco. Os resultados da estação 4 fazem parte dos dois conjuntos analisados.

5.2.4.5 Análises Estatísticas

Os resultados quantitativos obtidos foram também analisados estatisticamente, com o objetivo de responder a algumas perguntas relacionadas à qualidade da água e biota associada (**Tabela 10**) e à qualidade do sedimento e biota associada (**Tabela 11**). Foram utilizadas diferentes análises estatísticas, algumas vezes, associadas:

- **Correlação de Pearson** – para verificar as correlações entre as variáveis são realizados plots selecionando cada variável uma contra a outra e as correlações são calculadas pelo coeficiente de correlação de Pearson entre todos os pares de variáveis. Com objetivo de melhorar as análises realizadas com os componentes da fauna, quando observadas alta correlação (>0,95) uma das variáveis foi retirada (CLARKE *et al.*, 2014).
- **Matriz de similaridade** – foram utilizadas duas matrizes de similaridade, uma para parâmetros abióticos, utilizando a Distância Euclidiana, e outra para os dados bióticos, utilizando a Distância Bray-Curtis.
- **Distância Euclidiana** – corresponde à distância natural entre duas estações no espaço. A distância euclidiana foi utilizada nos dados abióticos do sedimento e na análise de variância (ANOVA) quanto o teste foi aplicado a uma única variável. A distância euclidiana entre duas estações 'j' e 'k' pode ser definida de forma algébrica como:

$$d = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_{ik} - p_{jk})^2}$$

- **Distância Bray-Curtis** – é utilizada em dados bióticos devido à natureza dos dados (conter muitos zeros). Esse método de ordenação pode ser representado pela seguinte equação:

$$BC_{ij} = \sum \frac{|n_{ik} - n_{jk}|}{(n_{ik} + n_{jk})}$$

- **CLUSTER** – para compreender as distribuições das variáveis ambientais (abióticos) entre os diferente estações e massas d'água foi realizado uma matriz de similaridade utilizando a Distância Euclidiana. Como é difícil visualizar padrões em uma matriz de similaridade principalmente em um número alto de amostras é conveniente usar uma forma gráfica que agrupe as estações que tem alto grau de similaridade. No gráfico Cluster as amostras são ordenadas por similaridade formando agrupamentos (Clusters), organizados de forma hierárquica até o menor nível de similaridade (CORMACK, 1971).
- **ANOVA/PERMANOVA** – Análise de Variância ou **ANOVA** é um procedimento usado para comparar a distribuição de três ou mais grupos em amostras independentes. Neste PCA do C-M-541, foi utilizada uma análise de variância permutacional PERMANOVA, uma rotina para testar respostas simultâneas de uma ou mais variáveis em um ou mais fatores através de uma análise de variância (ANOVA), com base em uma matriz de similaridade com métodos

permutacionais. É considerado um teste robusto e flexível para determinar as diferenças univariadas e multivariadas na variação de dados bióticos entre determinado fator. O teste relaciona os valores de F(pseudo-F) para aferir a dispersão dentro do grupo. (ANDERSON, 2008).

- **Análise dos Componentes Principais (PCA)** – é uma ferramenta muito útil para entender o quanto as variáveis são similares entre determinado fator estudado (no caso deste estudo, fator ponto e massa d'água). Quando utilizadas análises multivariadas com elevado número de variáveis, as diferenças podem ser observadas de muitas formas e visualizadas em muitas dimensões (uma para cada variável analisada). Desta forma, análises de ordenação, tais como PCA, PCO e MDS, classificam dados de alta dimensionalidade para baixa, podendo os valores serem plotados em eixos de planos espaciais (2 ou 3 dimensões). A análise PCA classifica os principais componentes que melhor explicam as similaridades, em que os dois melhores resultados (duas dimensões) são plotados nos eixos x e y e visualizados no espaço, onde as distâncias entre as estações no plano correspondem às suas similaridades ou dissimilaridades (CHATFIELD & COLLINS, 1980). A análise PCA para dados ambientais (abióticos) também parte de uma matriz de similaridade construída a partir da Distância Euclidiana. É muito útil na análise de dados ambientais (abióticos) devido à natureza dos dados. No entanto, quando se trata de dados biológicos cuja matriz de dados contém muitos zeros, a análise PCO é mais recomendada.
- **Distance-based Linear Models (DISTLM) e Distance-based Redundancy Analysis (dbRDA)** – DISTLM é uma rotina para analisar e modelar as relações entre dados multivariados descritos como uma matriz de similaridade e uma ou mais variáveis preditoras. Para ecologia, a matriz de similaridade descreve as (D_i) ou similaridades entre estações com base em um dado multivariado de espécie e abundância, e é de interesse relacionar essa matriz com uma ou mais variáveis ambientais mensuradas no mesmo local. A resposta do teste utiliza valores-p para explicar a relação significativa de uma ou mais variáveis com a fauna (LEGENDRE & ANDERSON, 1999). A análise de redundância (dbRDA) é utilizada para ordenar e visualizar o modelo fornecido na análise DISTLM, plotando a variação dos dados bióticos em um plano ordenado PCO e adicionando, em vetores, as variáveis preditoras da variabilidade observada (MCARDLE & ANDERSON, 2001).
- **Ordenação dos Componentes Principais (PCO)** – é de muitas formas análoga ao PCA, no entanto para representar os dados derivados da matriz de similaridade construída com índice de Bray-Curtis, o PCO é mais recomendado. A ordenação dos dados bióticos com índice de Bray-Curtis é em decorrência da natureza dos dados bióticos (quantidade de zeros na tabela). Desta forma nas análises onde as relações foram atribuídas à fauna, foi utilizada a análise PCO (GOWER, 1966).
- **Non-Metric Multidimensional Scaling (nMDS)** – é um método muito eficiente para representar as observações dos dados bióticos de forma integrada, plotando suas (D_i)similaridades com alto grau de precisão, o que pode ser mensurado através do stress. Desta forma, a

representação das diferenças encontradas nas comunidades biológicas pode ser observada entre fatores previamente selecionados através de estações em um plano espacial. As distâncias observadas entre as estações revelam sua (Di)similaridade, e o valor do stress, quanto mais próximo a zero, maior a confiabilidade dos resultados (CLARKE *et al.*, 2014).

Com o objetivo de analisar de maneira mais ampla e considerando conjuntamente os resultados dos principais parâmetros bióticos e abióticos encontrados tanto para água como para o sedimento, na Campanha de Caracterização Ambiental do Bloco C-M-541, uma série de análises multivariadas foi empregada. As análises escolhidas foram elaboradas de maneira a verificar se os valores observados entre os parâmetros ambientais (abióticos) e bióticos possuíam alguma significância estatística e diferenças espaciais.

5.2.4.5.1 Qualidade da Água e Biota Associada

Foram obtidos resultados para cada uma das cinco massas d'água em cada uma das nove estações amostradas, totalizando 45 valores, para cada uma das variáveis analisada na coluna d'água. As diferentes massas d'água identificadas foram Água de Mistura (AM), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Já as variáveis analisadas (parâmetros) foram: temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, transparência, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, sólidos totais, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, nitrito, nitrato, amônia, ortofosfato, silicato e alumínio. Parâmetros não detectados/quantificados na totalidade das amostras analisadas, não foram considerados.

Devido ao fato de cada variável possuir sua unidade de medida específica, os dados foram primeiramente transformados ($\log x+1$) e normalizados.

A partir dos dados normalizados foi feita uma análise de correlação para determinar quais variáveis possuíam maior relação. Para melhor entender as relações das variáveis abióticas com a fauna, foi realizada uma análise de correlação somente com as variáveis abióticas. Contudo, para não haver distorção (*noise*) na análise de variação, quando relações acima de 90% entre as variáveis abióticas foram encontradas, uma delas foi retirada. Após esse tratamento, foi realizado a análise de correlação entre abióticos e bióticos (fauna).

Para visualizar e analisar, de forma comparativa, as diferenças das variáveis abióticas da água entre os fatores espaciais analisados foi construído um PCA, onde a distância entre as estações plotadas na imagem representa sua similaridade ou dissimilaridade e os vetores correspondem à grandeza da variável que mais contribuiu com a sua posição no espaço plotado.

Para determinar a significância das diferenças observadas nas variáveis entre as estações amostrais e massas d'água foi realizada a análise de variância (ANOVA).

Para conhecer quais parâmetros ambientais melhor contribuíram com a variação observada entre a fauna foi aplicada a análise distLM. A análise de redundância e PCO foi utilizada para ilustrar a relação entre a principal variável definida pela distLM e as dissimilaridades e similaridades na estrutura da comunidade de planctônica entre as diferentes massas d'água e estações amostrais.

Os dados bióticos gerados foram analisados de forma multivariada, com o objetivo de identificar diferenças, tanto das variáveis abióticas quanto das variáveis bióticas, entre os fatores espaciais (estações e massas d'água). As correlações entre as variáveis abióticas foram realizadas através de correlação linear, efetuadas através do *Draftman plot*. A distribuição e agrupamentos foram observados através de Cluster e PCA, as análises de variância foram aferidas através da análise de variância (ANOVA) e as dispersões foram conferidas pelo valor de (F-statistic).

Para os dados bióticos foram construídas matrizes de similaridade utilizando o índice de Bray-curtis e plotados para observação da dissimilaridade através de nMDS. As diferenças foram conferidas pela análise de variância permanova e a dispersão verificada pela valores de (pseudo-F).

A relação entre as variáveis abióticas e as variáveis bióticas foram realizadas através das análises distLM e de redundância dbRDA e as dissimilaridades dos dados bióticos plotadas através dos parâmetros ordenados na análise PCO e as variáveis abióticas visualizadas por vetores de grandeza.

A **Tabela 10** sintetiza as perguntas elencadas para nortear a realização das análises estatísticas efetuadas para qualidade da água e biota, que serão devidamente respondidas como síntese da qualidade ambiental da água e biota associada.

Tabela 10: Perguntas elencadas para nortear a realização das análises estatísticas realizadas para qualidade da água e biota associada.

perguntas	componentes ambientais		universo amostral			estatística univariada		estatística multivariada			
	abiótico	biótico	n por profundidade	n por estação	parâmetros	ANOVA (F)	ANOVA (p)	correlação de Pearson	ANOVA	PCA	DistLM-dbrDA
Houve variação vertical significativa por parâmetro, e/ou conjunto de parâmetros?	X			5		X	X		X		
Houve variação espacial significativa na área do bloco?	X			9		X	X		X		
Houve correlação significativa entre parâmetros abióticos?	X				17			X			
Quais as correlações significativas entre parâmetros por massa d'água?	X	X	9	5	17			X	X	X	
Quais correlações significativas entre parâmetros na área do bloco?	X	X	9	5	17			X	X	X	

5.2.4.5.2 Qualidade do Sedimento e Biota Associada

Para a análise do sedimento foram utilizados os parâmetros granulométricos Areia Grossa, Areia Muito Grossa, Areia Média, Areia Fina, Areia Muito fina, Silte, Argila, concentrações de Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Carbonatos Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) e Alcanos, além das concentrações de metais Al, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, V e Zn. Parâmetros com valores abaixo do nível de detecção não foram utilizados nas análises.

Devido ao fato de cada variável possuir sua unidade de medida específica, os dados foram primeiramente transformados ($\log x+1$) e normalizados.

A partir dos dados normalizados foi realizada uma análise de correlação para determinar quais variáveis possuíam maior relação. Para melhor entender as relações das variáveis abióticas com a fauna, foi realizada uma análise de correlação somente com as variáveis abióticas. Contudo, para não haver distorção (*noise*) na análise de variação, quando relações acima de 90% entre as variáveis abióticas foram encontradas, uma delas foi retirada. Após esse tratamento, foi realizada a análise de correlação entre os parâmetros abióticos e bióticos (fauna).

Para visualizar e analisar, de forma comparativa, as diferenças das variáveis abióticas do sedimento entre os fatores espaciais (estações) analisados foi construído um PCA, onde a distância entre as estações plotadas na imagem representa sua similaridade ou dissimilaridade e os vetores correspondem à grandeza da variável que mais contribuiu com a sua posição no espaço plotado.

Para determinar a significância das diferenças observadas nas variáveis abióticas entre as estações amostrais foi realizada a análise de variância (PERMANOVA), utilizando a matriz de similaridade com distância euclidiana.

Para conhecer quais parâmetros ambientais melhor contribuíram com a variação observada entre a fauna foi aplicada a análise distLM. A análise de redundância e PCO foi utilizada para ilustrar a relação entre a principal variável definida pela distLM e as dissimilaridades e similaridades na estrutura da comunidade bêntica entre as diferentes estações amostrais.

Os dados bióticos gerados foram analisados de forma multivariada, com o objetivo de identificar diferenças tanto das variáveis abióticas quanto das variáveis bióticas entre os fatores espaciais (estações). As correlações entre as variáveis abióticas foram realizadas através de correlação linear realizadas através do *Draftman plot* (*Sperman*). A distribuição e agrupamentos foram observados através de PCA e as análises de variância foram aferidas através da análise de variância (ANOVA) as dispersões foram aferidas pelo valor de (F-statistic).

Para os dados bióticos foram construídas matrizes de similaridade utilizando o índice de *Bray-Curtis* e plotados para observação da dissimilaridade através de nMDS. As diferenças foram conferidas pela análise de variância permanova e a dispersão verificada pela valores de (pseudo-F).

A relação entre as variáveis abióticas e bióticas do sedimento foi avaliada através das análises distLM e de redundância dbRDA. As dissimilaridades dos dados bióticos foram plotadas através dos parâmetros ordenados na análise PCO e as variáveis abióticas visualizadas por vetores de grandeza.

A **Tabela 11** sintetiza as perguntas elencadas para nortear a realização das análises estatísticas realizadas para qualidade do sedimento e biota, que serão devidamente respondidas como síntese da qualidade ambiental do sedimento e biota associada.

Tabela 11: Perguntas elencadas para nortear a realização das análises estatísticas realizadas para qualidade do sedimento e biota associada.

perguntas	componentes ambientais		universo amostral			estatística univariada		estatística multivariada			
	abiótico	biótico	n por profundidade	n por estação	parâmetros	ANOVA (F)	ANOVA (p)	correlação de Pearson	PERMANOVA	PCO	nMDS
Houve variação espacial significativa na área do bloco, considerando as estações de caracterização ambiental?	X		9			X	X		X		
Houve variação espacial significativa na área de avaliação de possível passivo da perfuração do poço 1-BRSA-125-RJS?	X		10			X	X		X		
Quais correlações significativas entre parâmetros na área do bloco?	X	X	9	3	37			X		X	X
Quais correlações significativas entre parâmetros no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS?	X	X	10	3	37			X		X	X

6. Resultados e Discussão

6.1. Mapeamento e Imageamento do Fundo

Foram gerados mapas de batimetria e de amplitude (**Anexo IV**), indicando a não existência de áreas com maior probabilidade de ocorrência de ambientes biogênicos no Bloco C-M-541.

As imagens registradas através das filmagens realizadas no entorno de 7 das 9 áreas caracterizadas pelo presente projeto, representativas de toda a área do Bloco C-M-541, são analisadas e discutidas, por afinidade temática, no item 6.2.3.8, referente à Fauna Bêntica.

Em atenção às diretrizes da Nota Técnica Nº 1/2019/COEXP/CGMAC/DILIC, deveriam ser realizadas amostragens em locais onde tivesse sido identificada a presença de estruturas biogênicas através

dos esforços de imageamento. Segundo esta NT, “Verificada a ocorrência de corais ou comunidades quimiossintetizantes, a posição da estação poderá ser alterada para uma localização próxima, sem necessidade de autorização prévia do Ibama”. No entanto, os dados sísmicos reprocessados não indicaram a ocorrência de ambientes biogênicos nas locações previstas (já realocadas) para Marolo ou para Ubaia (vide **Anexo IV**). Todas as amostragens previstas neste PCA foram executadas, mesmo aquelas onde o imageamento prévio não foi possível, e não foram identificados bancos biogênicos bênticos.

6.2. Qualidade da Água e do Sedimento e Biotas Associadas

6.2.1 Meteo-oceanografia

Em função das condições operacionais no campo, os 47 dias de duração da campanha no Bloco C-M-541 podem ser separados em 27,5 dias de operação, 12 dias de *standby weather* e 7,5 dias de embarcação em trânsito ou no porto. Nos períodos onde a embarcação esteve em trânsito ou no porto não houve registro de informações meteo-oceanográficas (**Anexo X_A e B**).

6.2.1.1 Condições Meteo-oceanográficas

As condições meteo-oceanográficas foram observadas diariamente durante a execução da campanha, com atualizações 4 vezes ao dia, às 00h, 06h, 12h e 18h.

Ao longo da campanha, o céu permaneceu com ausência de nebulosidade em 30,2% do tempo, enquanto nebulosidade alta, média e baixa foram observadas em 28,6%, 10,4% e 9,9% do período, respectivamente, conforme apresenta a **Figura 26**.

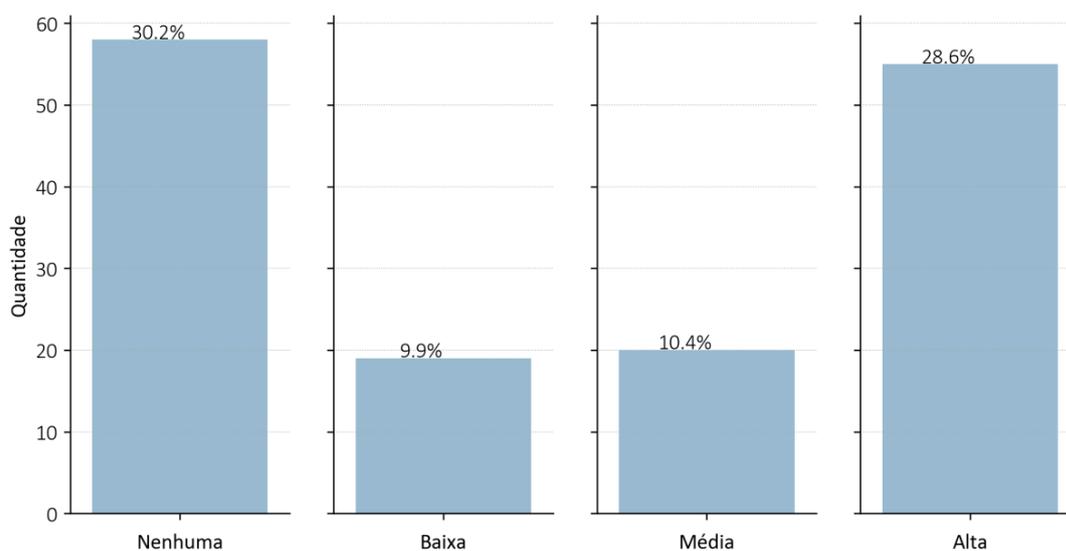


Figura 26: Ocorrência de ausência de nebulosidade, nebulosidade baixa, média ou alta.

As outras variáveis analisadas diariamente foram: pressão, umidade relativa do ar (UR), intensidade e direção do vento e altura significativa e direção de ondas. A **Figura 27**, a seguir, apresenta as séries

temporais destas variáveis, em conjunto com os intervalos em que a embarcação estava em trânsito ou parada no porto e os períodos de *stand-by weather*. As estatísticas gerais dos dados observados, tal como os valores mínimos, médios e máximos estão descritos na **Tabela 12**.

Tabela 12: Estatísticas gerais dos dados meteo-oceanográficos.

parâmetro	mínimo	média	máximo
Pressão [hPa]	1010,00	1029,73	1050,00
UR [%]	52,00	86,84	92,00
Vento [nós]	1,50	19,28	42,70
Onda [m]	1,00	2,14	5,20

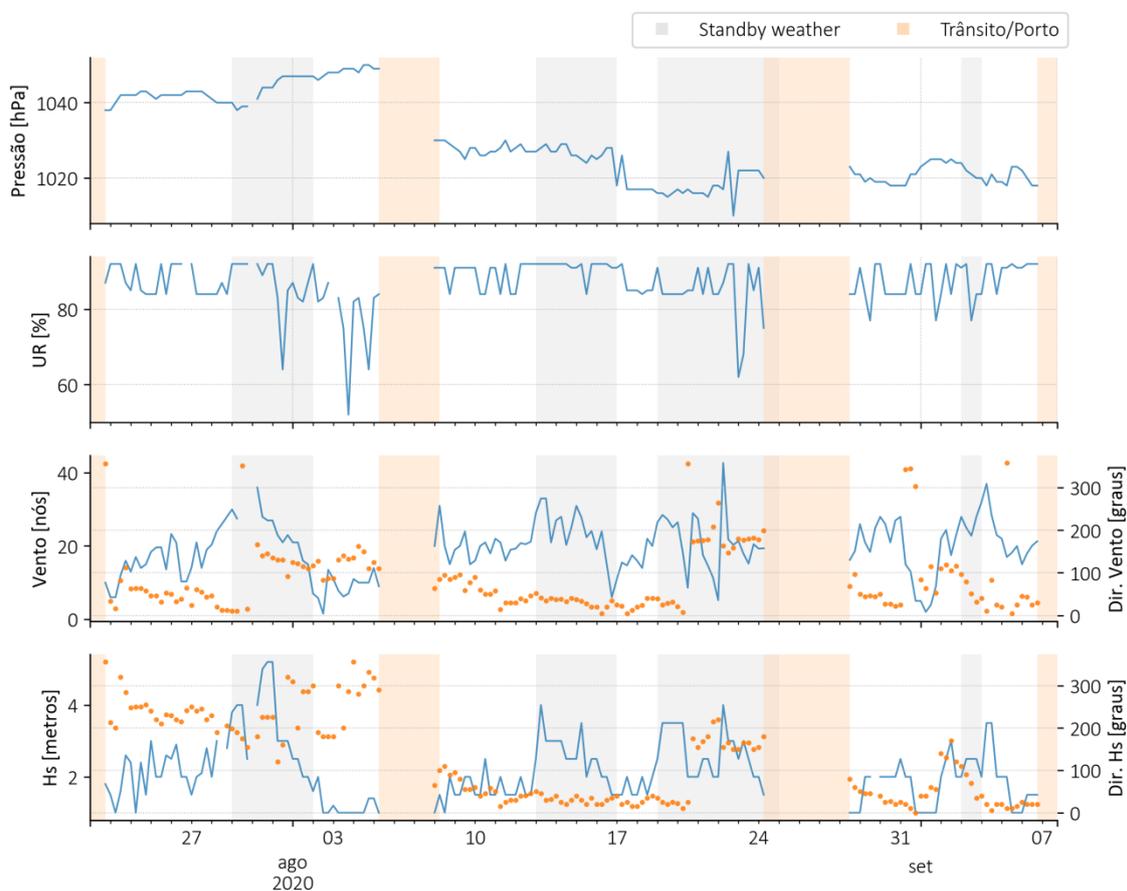


Figura 27: Séries temporais de Pressão, UR (Painéis Superiores), intensidade e direção do vento e altura significativa e direção das ondas (Painéis Inferiores).

Em relação ao regime de ventos, as intensidades variaram entre 1,50 a 42,70 nós, com média de 19,28 nós. A direção predominante observada foi N-NE, na faixa de 15 a 20 nós (**Figura 28a**). Observou-se o mesmo predomínio de direções para as ondas, com altura significativa entre 2 e 3 metros (**Figura 28b**). As ondas acima de 4 metros foram mais frequentes de direção S-SW.

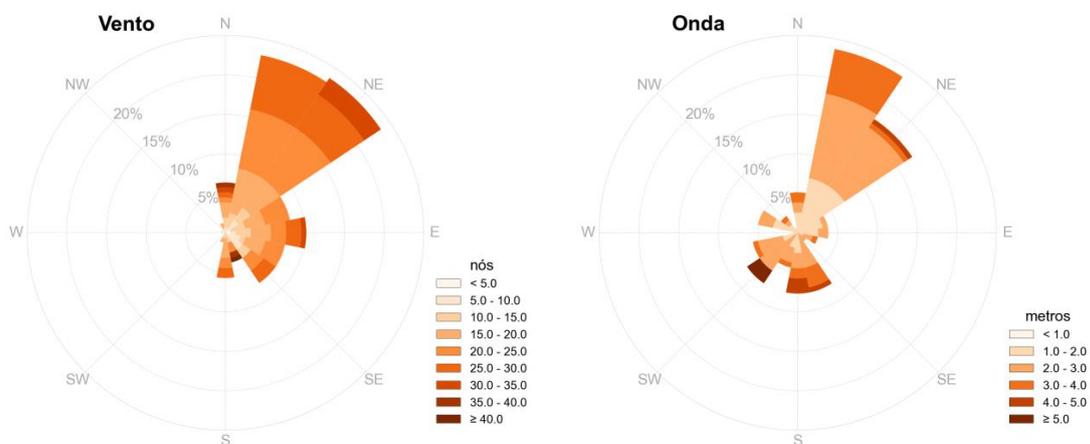


Figura 28: Rosa de ocorrência de vento (à esquerda) e onda (à direita).

6.2.1.2 CTD

Os dados obtidos com os perfis (**Anexo X_C**) realizados foram analisados e passaram por um controle de qualidade, com 77% dos dados válidos. Nesta etapa foram desconsiderados valores de condutividade negativos, pressões inferiores a 5 m e valores de salinidade que não compreendiam a faixa de valores entre a média móvel mais ou menos 3 vezes o desvio padrão. Vale ressaltar, também, que foram utilizados os dados do perfil de descida do equipamento, com taxa amostral de 2 segundos.

A distribuição vertical de temperatura, salinidade e densidade de todas as estações é apresentada na **Figura 29**. Os perfis evidenciam uma camada mais homogênea até aproximadamente 120 m (camada de mistura), seguida por uma faixa com um acentuado gradiente vertical de temperatura, salinidade e densidade, denominadas termo-, halo- e pincloclina, respectivamente.

As profundidades limítrofes destas camadas variaram tanto entre os parâmetros como entre as estações, visto que podem ser influenciadas por diversos fenômenos oceanográficos de pequena e meso escalas. O fim da camada de mistura, coincidente com o início da termo-, halo- e pincloclinas, foi localizada no intervalo entre 90 e 135 m de profundidade. Em seguida, na faixa que abrange as maiores variações nos valores de temperatura e salinidade, observou-se uma extensão até ~1000 m na coluna d'água. A termoclina, por exemplo, foi identificada entre 90 e 1200 m, com uma espessura média de aproximadamente 900 m na coluna d'água e temperaturas entre 3,5 °C e 24,3 °C. Os valores médios de profundidade, temperatura, salinidade e densidade iniciais e finais observados estão apresentados na **Tabela 13**.

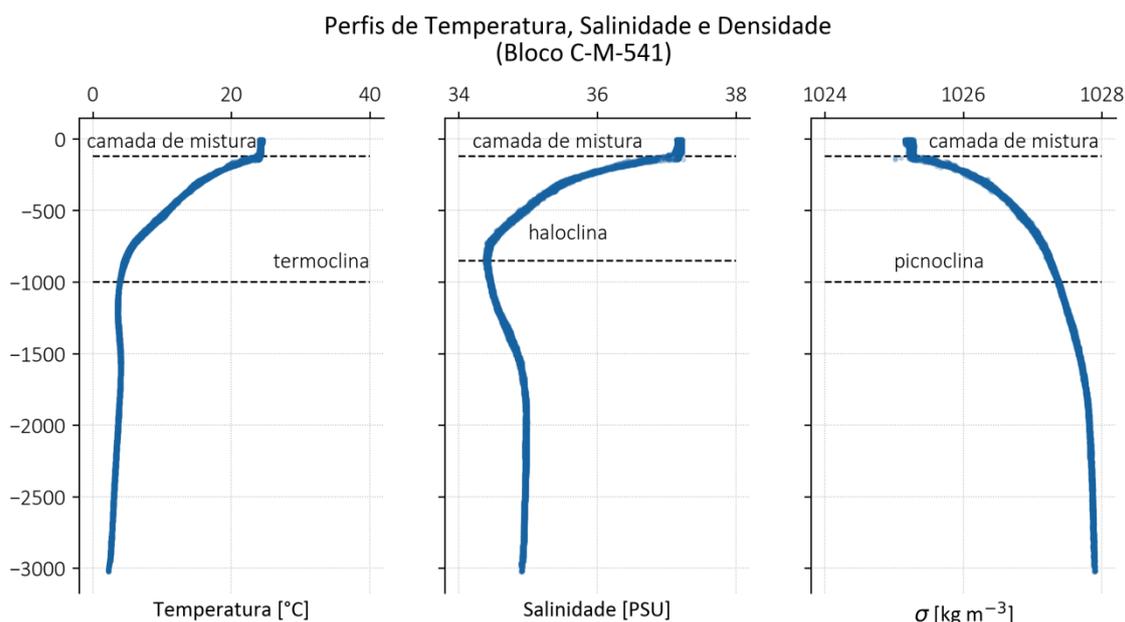


Figura 29: Perfis verticais de Temperatura, Salinidade e Densidade de todas perfilagens realizadas no Bloco C-M-541.

Tabela 13: Profundidades e temperaturas médias iniciais e finais aproximadas da termoclina, haloclina e picnoclina.

	profundidade inicial [m]	profundidade final [m]		valor inicial	valor final
termoclina	118	1045	temperatura [°C]	24,14	3,85
haloclina	118	920	salinidade [PSU]	37,17	34,48
picnoclina	118	997	densidade [sigma kg/m³]	1025,26	1027,39

Estes parâmetros também foram utilizados para a identificação das massas d'água ao longo da coluna, de acordo com o gabarito proposto por SILVA *et al.* (1982). Optou-se por utilizar este gabarito ao invés do índice previsto no Projeto deste PCA uma vez que as massas d'água mais profundas (como a APAN) não estavam sendo reconhecidas, resultando em uma coluna d'água profunda sem identificação.

Dessa forma, dos dados amostrados na campanha foram identificadas, em todas as 9 estações, 5 massas d'água: Água Tropical (AT); Água de Mistura (AM); Água Central do Atlântico Sul (ACAS); Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), conforme apresenta o Diagrama T-S (**Figura 30**).

As faixas de profundidade, assim como os valores termohalinos das massas d'água identificadas estão descritas na **Tabela 14**, com base nos valores mínimos e máximos das perfilagens.

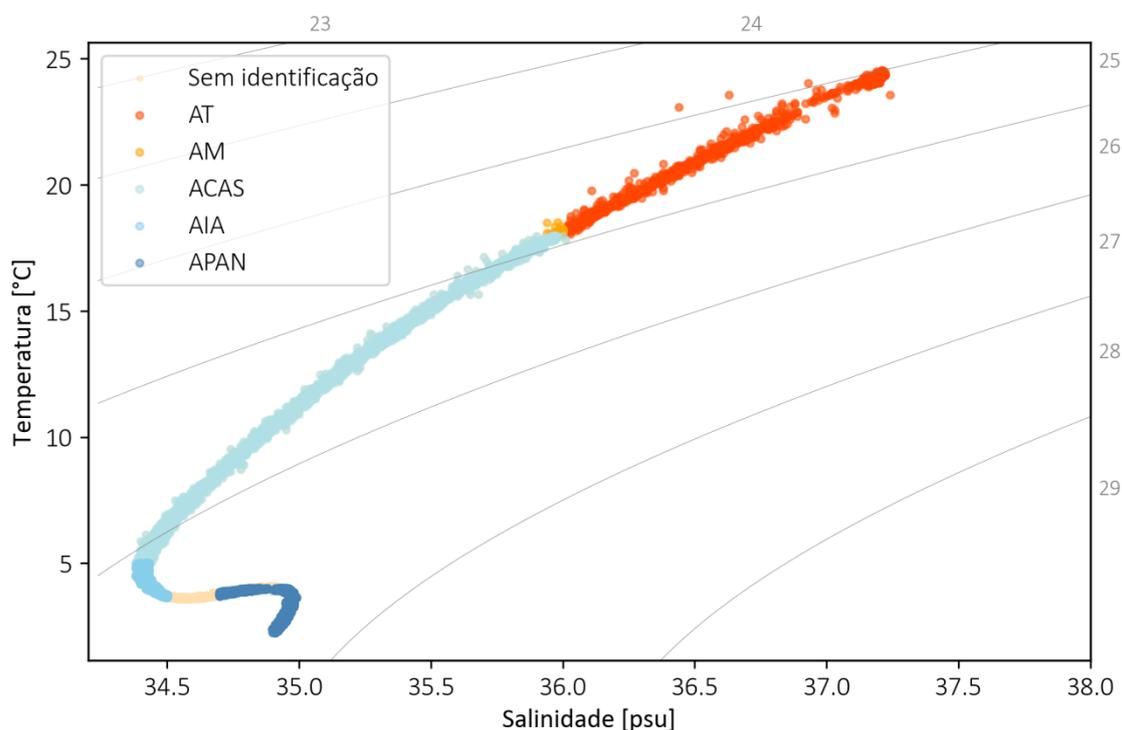


Figura 30: Diagrama T-S de todas as perfilagens realizadas no Bloco C-M-541.

Tabela 14: Caracterização dos limites termohalinos e das profundidades das massas d'água identificadas no PCA do Bloco C-M-541 e os existentes na literatura.

Massas d'água	temperatura [°C]		salinidade [PSU]		profundidade [m]	
	bibliografia*	PCA C-M-541	bibliografia*	PCA C-M-541	bibliografia**	PCA C-M-541
AT	>18,00	18,04-24,52	> 36,00	36,01-37,22	<200	<240
AM	>18,00	18,00-18,51	33,00-36,00	35,94-36,00	<200	220-245
ACAS	5,00-18,00	5,00-17,99	34,00-36,20	34,38-36,01	150-500	220-840
AIA	2,75-5,00	3,64-5,00	34,00-34,50	34,39-34,50	700-1100	800-1130
APAN	2,00-4,00	2,26-3,85	34,70-35,00	34,70-34,90	1500-3000	1300-3060

*Segundo SILVA *et al.* (1982).

**Compilação de dados segundo SILVA *et al.* (1982); CASTRO & MIRANDA (1998); SILVEIRA *et al.* (2000) e o Projeto deste PCA, que considerou SILVEIRA (2007).

Conforme apresenta a **Tabela 14**, acima, a AT e a AM são massas d'água características de águas rasas, ou seja, são encontradas em profundidades até cerca de 200 metros (CASTRO & MIRANDA, 1998). Neste projeto, observou-se que a AT e a AM estenderam-se até ~240 m, exibindo uma coluna d'água com temperaturas maiores que 18 °C até estas profundidades.

Em sequência encontra-se a ACAS, na faixa de profundidade entre 220 e 840 m, coincidente com a região da pycnoclina, conforme esperado para a região (SILVEIRA *et al.*, 2000). Subjacente à ACAS, a

AIA é caracterizada por temperaturas e salinidade inferiores a 5 °C e 34,5 PSU, respectivamente, associada a níveis subpicnoclínicos. Sua ocorrência neste PCA foi próxima à faixa de profundidade evidenciada na literatura. Localizada abaixo da AIA, a APAN é uma massa d'água característica de níveis mais profundos, entre 1500 e 3000 m (SILVEIRA *et al.*, 2000), identificada nas perfilagens entre 1300 e 3060 metros.

De acordo com os resultados obtidos, têm-se que as massas d'água estavam localizadas em camadas um pouco mais profundas do que a bibliografia supracitada, porém, muito próximas da faixa de valores determinados por estas, determinadas pela localização da picnoclina. Isto aponta uma coluna d'água mais aquecida nos perfis, embora sem nenhum fenômeno extraordinário presente.

A região encontravam-se sob o escoamento da Corrente do Brasil (CB) – corrente que transporta a AT, AM e ACAS (SILVEIRA *et al.*, 2000) - até 840 m, com temperaturas mais elevadas nos primeiros 200 m da coluna d'água. Abaixo, na profundidade coincidente com a AIA, localiza-se a Corrente de Contorno Intermediária (CCI), fluindo para norte, seguida pelo escoamento da Corrente de Contorno Profunda (CCP) no sentido sul, que transporta a APAN (SILVEIRA, 2007).

6.2.2 Qualidade da Água e Biota Associada

A qualidade da água e biota associada foi analisada nas 9 estações completas da **Malha de Caracterização Ambiental** (estações 4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48), em 5 diferentes profundidades (subsuperfície, acima da termoclina, ACAS, AIA e APAN) e nos arrastos de zooplâncton e ictioplâncton (nos 200 m superficiais da coluna d'água). Seus resultados são apresentados nos **Anexos XI e XII** (laudos, relatórios, inventários taxonômicos e planilhas de banco de dados), analisados e discutidos a seguir.

Todas as amostras previstas foram obtidas: 45 amostras de água analisadas para cada parâmetro previsto (9 estações em 5 profundidades) incluindo fitoplâncton, 9 amostras de zooplâncton (1 arrasto em cada uma das 9 estações) e 18 amostras de ictioplâncton (1 arrasto em cada uma das 9 estações, mas com duas redes em arranjo Bongô). A curadoria de amostras no campo e até a chegada aos laboratórios foi cumprida como devido e todas as análises previstas foram realizadas. Os limites de quantificação dos métodos analíticos utilizados foram adequados para avaliar o enquadramento das amostras quanto à diretriz norteadora que, no caso de qualidade da água, foi a CONAMA 357/2005. Outras diretrizes e referências foram consideradas apenas para a discussão dos resultados.

6.2.2.1 OD e pH

Em relação ao conteúdo de oxigênio dissolvido (OD) nas massas d'água, fatores de caráter físico e biológico devem ser considerados, já que, por si só, as concentrações de oxigênio na água são insuficientes para uma caracterização do ecossistema (NIENCHESKI *et al.*, 1999). Nas camadas de água mais próximas da superfície, o contato com o oxigênio da atmosfera é um importante fator para sua dissolução na água (REDFIELD *et al.*, 1963).

Desvios encontrados nas concentrações de OD podem ser atribuídos a variações na pressão atmosférica, aquecimento e resfriamento da água (HAYWARD & MANTYLA, 1990). Já o balanço dos processos biológicos de produção de oxigênio (fotossíntese) e de consumo por organismos pelágicos pode determinar a concentração de OD em determinadas profundidades (AIDAR *et al.*, 1993). Outras características físicas também devem ser levadas em consideração na avaliação deste parâmetro, tais como, velocidade do vento, hidrodinamismo e mistura das camadas de água (LALLI & PARSONS, 1997).

As concentrações de OD encontradas no Bloco C-M-541 foram, em geral, iguais ou superiores a 6 mg/L, valor mínimo de referência indicado pela CONAMA 357/2005 para águas salinas de classe 1. Concentrações de OD inferiores a este valor de referência foram registradas em 5 das 9 estações, apenas na APAN (amostras obtidas entre 2500 e 3000 m de profundidade). Valores inferiores a esta diretriz na APAN também foram registrados no PCA do Bloco Sul de Gato do Mato e em praticamente todas as referências consideradas para comparação (**Tabela 8**) nas diferentes profundidades. Neste PCA foi possível identificar a queda das concentrações com o aumento da profundidade (variação vertical significativa), o que se relaciona com a maior produção de oxigênio pela maior taxa de fotossíntese e troca atmosférica nas camadas oceânicas superficiais.

O pH da água do mar varia entre 7,5 e 8,4, devido à presença de gás carbônico (CO₂) e dos íons sódio, potássio e cálcio, altamente alcalinos (SOARES-GOMES & FIGUEIREDO, 2002). Modificações nas concentrações de CO₂, devido às atividades de respiração, fotossíntese e trocas entre a atmosfera e o oceano, ou em forma de carbonato (CO₃²⁻), devidas às precipitações, podem modificar os valores de pH da água (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). PILSON (1998) citou como 8,2 o valor médio em águas marinhas superficiais. BRAGA & NIENCHESKI (2006) associaram as oscilações de pH a fenômenos de oxidação de matéria orgânica, produção primária e incorporação de CO₂ atmosférico pelo sistema marinho.

No Bloco C-M-541, foram registrados valores de pH entre 7,4 e 8, não ultrapassando os valores mínimo e máximo de referência (VMR) definidos pela CONAMA 357/2005 para águas salinas de classe 1 (variação entre 6,5 e 8,5), sem diferenças significativas identificadas entre as estações de amostragem e com variação vertical significativa, com pH diminuindo com a profundidade. Esses resultados são condizentes com o esperado para essa região, como observado nos estudos selecionados para comparação (**Tabela 8**): Programa REVIZEE, nos Projetos de Caracterização Ambiental de Águas Profundas da Baía de Campos, 3 Bacias, Caracterização Regional da Baía de Campos (PCR-BC) e Caracterização Ambiental do Bloco Sul de Gato do Mato (PCA-SdeGM).

6.2.2.2 Sólidos Suspensos, Dissolvidos e Totais e Transparência

Os sólidos em suspensão são geralmente originados pelo carreamento de solos pelas águas, devido a processos erosivos, do lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais, ressuspensão causada pelas atividades de perfuração exploratória, dentre outros (MMA, 2002). As concentrações dos sólidos totais em suspensão (TSS) são importantes indicadores dos meios aquáticos. As partículas em suspensão diminuem a transparência da água, o que pode reduzir a produção primária fotossintética, podendo alterar, em última análise, os recursos pesqueiros de determinada área.

Além disso, partículas presentes na água formam uma superfície de contato importante para trocas físico-químicas, químicas e biológicas com a água do mar (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). No caso de uma área como a do Bloco C-M-541, bastante afastada da costa e com lâmina d'água em torno de 3000 m, o esperado são, elevada transparência e baixíssima concentração de sólidos suspensos.

Os sólidos dissolvidos totais (TSD) são naturalmente encontrados nas águas devido ao desgaste das rochas por intemperismo. Grandes concentrações decorrem do lançamento de esgotos domésticos e despejos industriais (MMA, 2002). As variações de TSD normalmente estão relacionadas aos fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade e ventos. Em regiões oceânicas, as concentrações de sólidos totais na superfície variam, geralmente, entre 0,5 e 5 mg/L (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). HOBSON (1967) relatou valores de dezenas de miligramas por litro em profundidades maiores que 250 m no Oceano Pacífico Norte.

Nesta caracterização ambiental do Bloco C-M-541 foram registradas concentrações de 0,470 a 2,150 mg/L de total de sólidos suspensos - TSS (também chamado de material particulado em suspensão - MPS), sem variação vertical significativa ou na área do bloco. De uma forma geral, esses resultados foram inferiores aos registrados pelos esforços selecionados para comparação (**Tabela 8**), sendo estes o Programa REVIZEE, os Projetos de Caracterização Ambiental de Águas Profundas da Baía de Campos, 3 Bacias, Caracterização Regional da Baía de Campos (PCR-BC) e Caracterização Ambiental do Bloco Sul de Gato do Mato (PCA-SdeGM).

O total de sólidos dissolvidos (TDS) variou entre 28,13 e 36,47 g/L, também sem variação vertical significativa, ou na área do bloco, dentro do esperado para a região, mesma variação para sólidos totais, que corresponde ao somatório de TSS e TDS em cada amostra, dentro do esperado para a região, embora em concentrações ligeiramente inferiores de uma forma geral.

A transparência da água, avaliada através do lançamento do Disco de Secchi, variou entre 22,5 e 35 m, o que é típico para regiões oceânicas.

6.2.2.3 Carbono, Nitrogênio e Fósforo Totais

A água do mar contém material orgânico tanto sob a forma dissolvida como particulada, porém, usualmente, 89 % encontram-se na fração dissolvida, 9% estão na forma de partículas detríticas e 2 % são organismos (BAUMGARTEN *et al.*, 1996). A grande maioria do carbono orgânico dissolvido (COD) nos oceanos consiste em picoplâncton que subsiste metabolizando os menores fragmentos de detritos orgânicos e, principalmente, os compostos orgânicos dissolvidos. Estes compostos são originados pelo processo fotossintético realizado pelo fitoplâncton nos oceanos e sua composição é de ácidos orgânicos, vitaminas e açúcares (BROWN *et al.*, 1989). THURMAN (1985) salienta que o COD corresponde à fração mais reativa comparada ao carbono orgânico particulado (COP), por incluir compostos no estado dissolvido, enquanto o carbono particulado corresponderia a fragmentos animais e vegetais e matéria orgânica incorporada a siltes e argilas.

A Resolução CONAMA 357/2005 define 3 mg/L para o Carbono Orgânico Total (COT), que corresponde ao somatório de COD e COP, como VMR. As concentrações de COT neste PCA variaram de 0,40 a 2,41 mg/L, sem variação significativa vertical ou na área do bloco. Em todas as massas

d'água avaliadas a grande maioria das concentrações de COT observadas foi inferior às concentrações reportadas pelo único outro esforço realizado em águas profundas relativamente próximas com dados para este parâmetro (PCA do Bloco Sul de Gato do Mato).

Os nutrientes, em especial o nitrogênio, no meio marinho, são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica. O nitrogênio, o fósforo e a sílica compõem os macronutrientes necessários para as funções metabólicas realizadas pelo fitoplâncton. As razões entre as concentrações molares do nitrogênio, fósforo e silício na camada eufótica de águas marinhas e os processos determinantes do seu enriquecimento por esses elementos são capazes de induzir não somente alterações na densidade das comunidades fitoplanctônicas, como também dar subsídios para explicar a composição qualitativa dessas comunidades, a competição e a exclusão de algumas espécies (DUGDALE & HOLM-HANSEN, 1967; RYTHER & DUNSTAN, 1971; MANN, 1982). Comportam-se, portanto, de forma não conservativa, tendo dependência direta dos processos de demanda biológica pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica e dos aportes devidos a processos físicos (advecção, intrusão de águas mais ricas), biológicos (regeneração), climáticos (chuvas e ventos) e de drenagem continental (AIDAR *et al.*, 1993).

As concentrações de nitrogênio total na água do mar variaram, neste PCA, entre 0,009 e 0,421 mg/L, sem variação entre as estações, mas com variação significativa entre as profundidades amostradas (variação vertical), com tendência a maiores concentrações nas três camadas mais profundas (de forma crescente da ACAS até a APAN). Não há VMR definido para nitrogênio total em águas marinhas. Os resultados obtidos são similares, e/ou inferiores, aos já reportados para região (Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos).

O fósforo total, por sua vez, ocorreu em concentrações variando entre 0,003 e 0,036 mg/L, todas inferiores ao VMR estabelecido pela CONAMA 357/2005 (0,062 mg/L) e com variação vertical significativa (aumento das concentrações com a profundidade de amostragem), de forma similar ou em concentrações inferiores às reportadas como dados secundários selecionados para comparação.

6.2.2.4 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

Em águas oligotróficas, como o Atlântico Sul, os nutrientes dissolvidos, especialmente nitrato e fosfato, desempenham importante papel limitador aos processos de produção biológica (EKAU & KNOPPERNS, 1999; GAETA, 1999; REZENDE *et al.*, 2006). Desta forma, os processos de suprimento alóctone de nutrientes, seja por advecção de correntes, e o processo de remineralização, desempenham importante papel na manutenção dos processos produtivos na camada superior, especialmente em zonas tropicais. Nestas, a manutenção permanente da termoclina dificulta os processos de mistura vertical dos nutrientes dissolvidos da camada inferior, mais fria e rica em nutrientes, para a camada superior, limitada em nutrientes, iluminada e quente. Esta estrutura vertical regida pela temperatura, denominada de Estrutura Tropical Típica - ETT (*Typical Tropical Structure – TTS*) (MANN & LAZIER, 1991) determina, assim, o tipo de metabolismo biológico observado em cada profundidade na coluna d'água (SUZUKI *et al.*, 2017).

Os organismos convertem nitrogênio inorgânico em formas orgânicas. Suas três formas inorgânicas - os íons amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) - compõem o nitrogênio inorgânico dissolvido. A assimilação da fração inorgânica pelas algas inicia uma sequência de consumo da fração orgânica até a degradação da matéria pelas bactérias, disponibilizando os íons inorgânicos. Destaca-se que o nitrito corresponde à forma intermediária entre nitrogênio amoniacal e nitrato, aparecendo em menores concentrações no ambiente devido a sua instabilidade, enquanto o nitrato, forma mais oxidada, aparece em maiores concentrações no oceano, sendo a principal fonte de nitrogênio para o fitoplâncton.

É esperado que as concentrações de amônia sejam baixas, uma vez que este íon é uma forma reduzida de nitrogênio e, em sistemas aeróbicos, tende a se oxidar a nitrito e depois a nitrato, através do ciclo do nitrogênio, principalmente, nas camadas superiores. Segundo NIENCHESKI et al. (1999), a não detecção de nitrogênio amoniacal é um padrão de resultados comum para as regiões oceânicas na costa brasileira. Neste PCA, as concentrações de amônia variaram entre a não detecção (<0,0009 mg/L) e 0,005 mg/L, bastante abaixo do VMR de 0,40 mg/L definido pela CONAMA 357/2005 e próximas ao padrão de resultados comum para as regiões oceânicas da costa brasileira. Esses resultados são inferiores a muitas das referências consideradas para comparação (**Tabela 8**).

Em oceano aberto, as concentrações de nitrito e de outros nutrientes podem ser muito baixas, podendo ser observado, no entanto, um aumento em águas mais costeiras (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). As concentrações de nitrito variaram, neste PCA, entre a não detecção (<0,0009 mg/L) e 0,006 mg/L, sendo o VMR da CONAMA 357/2005 igual a 0,07 mg/L, sem variação estatisticamente significativa entre as profundidades amostradas ou entre as estações, e condizentes com o esperado, considerando os dados secundários selecionados.

As concentrações de nitrato, por sua vez, demonstraram estratificação vertical clara e significativa de aumento em direção ao fundo, variando entre 0,011 e 0,042 mg/L na subsuperfície e entre 0,004 e 0,261 mg/L acima da termoclina, todas abaixo do VMR definido pela CONAMA 357/2005 (0,40 mg/L). Nas camadas inferiores (ACAS, AIA e APAN), as concentrações de nitrato ultrapassaram o VMR (medianas de 0,676 mg/L na ACAS, 1,453 mg/L na AIA e 1,270 na APAN). Essas variações verticais eram esperadas e são bastante similares aos registros das referências selecionadas para comparação. Dentre os nutrientes nitrogenados, o nitrato é considerado limitante para a produção primária nos ecossistemas oceânicos (RILEY & CHESTER, 1971; CHESTER, 1993; CONKRIGHT *et al.*, 2000). Em regiões oligotróficas, como a região de estudo, a concentração superficial de nitrato tende a ser muito baixa (MASSERINI & FANNING, 2000).

Quanto ao fósforo, destaca-se que sua distribuição no oceano é controlada por processos biológicos e físicos. Em superfície ele é consumido pelo fitoplâncton como PO_4^{3-} durante a fotossíntese (fração inorgânica), sendo convertido em P-orgânico. O fitoplâncton é consumido pelo zooplâncton e o material não assimilado por esses organismos é perdido em pelotas fecais, contendo P-orgânico. Ao morrer, os organismos vão para o fundo e liberam compostos fosforados para a água, sendo que parte sofre uma troca diagenética, sendo convertida em fosfato mineral, a apatita. Todas as formas ou frações de fosfato são importantes, no entanto, o fosfato inorgânico dissolvido (ou ortofosfato,

ou fosfato reativo, ou P-orto) é o mais importante por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos.

Assim como o fosfato, o silicato também possui suas principais fontes nos continentes e nos sedimentos. Normalmente, as concentrações de silicato aumentam da superfície para o fundo e em regiões próximas aos continentes e ilhas. O silicato é um nutriente particularmente importante para diatomáceas e sua limitação pode levar a uma queda significativa da produção primária. RAYMONT (1980) mencionou que o ciclo de utilização e regeneração da sílica é relativamente simples, envolvendo a produção e subsequente mineralização das formas orgânicas, destacando que a maior parte do ciclo da sílica envolve somente as formas inorgânicas.

Ortofosfatos e silicatos também apresentaram estratificação vertical significativa com aumento das concentrações com o aumento da profundidade de amostragem. As concentrações de ortofosfatos variaram entre 0,001 e 0,009 mg/L na subsuperfície e acima da termoclina e entre 0,003 e 0,068 mg/L nas camadas inferiores (medianas de 0,25 mg/L na ACAS, 0,59 mg/L na AIA e 0,44 mg/L na APAN). O VMR da CONAMA 357/2005 (0,032 mg/L) foi ultrapassado apenas na AIA e na APAN, em praticamente todas as amostras correspondentes a essas duas massas d'água. As concentrações de silicatos variaram entre 0,017 e 0,815 mg/L nas três primeiras camadas amostradas (subsuperfície, acima da termoclina e na ACAS), entre 0,358 e 1,448 mg/L na AIA e entre 0,867 e 1,466 mg/L na APAN). Estas variações já eram esperadas considerando as referências selecionadas para a região.

Acima da termoclina houve uma indicação de limitação pelo nitrogênio em 6 das 9 estações analisadas, mais notadamente nas três massas d'água mais profundas (ACAS, AIA e APAN) as razões N:P, bem mais altas que a ideal (16:1), indicam limitação pelo fósforo. No entanto, esses resultados não indicam necessariamente por qual elemento o meio está limitado (pelo fósforo ou pelo nitrogênio), mas sim qual o elemento que estará indisponível primeiro, se a produtividade primária consumir os nutrientes. O aumento da razão N:P, por exemplo, favorece determinadas espécies da biota fitoplanctônica, o que pode causar diminuição da diversidade (LAGUS *et al.*, 2007) e devido às algas limitadas por P serem conhecidas por possuírem qualidade nutricional inferior, são esperadas alterações no funcionamento da cadeia alimentar no ecossistema (STERNER & ELSER, 2002; ELSER *et al.*, 2009). No entanto essa variação vertical não foi considerada estatisticamente significativa.

6.2.2.5 Elementos-Traço

Águas marinhas contêm praticamente todos os elementos estáveis, não reativos, podendo ocorrer nas formas dissolvida ou particulada e, alguns deles, em concentrações extremamente baixas (CAMPOS *et al.*, 2017), em águas oceânicas variando de 10^{-4} a 10^{-9} mg/L (LACERDA *et al.*, 2013). Existem aqueles elementos-traço que atuam como micronutrientes (caso do Cu, Fe, Mn e Zn), enquanto outros não apresentam nenhuma função específica conhecida. Determinados elementos-traço, mesmo em concentrações muito baixas, podem representar uma ameaça, por serem potencialmente tóxicos, sendo exemplos o Cd, Hg e Pb (FIFIELD & HAINES, 2000 *apud* CAMPOS *et al.*, 2017). Concentrações de determinados elementos-traço acima dos níveis naturais, geralmente, são causadas pela ação do homem, cujas atividades (sobretudo industriais e agrícolas) podem mobilizar e disponibilizar esses metais para o meio ambiente (WANG *et al.*, 2002 *apud* CAMPOS *et*

al., 2017). Os elementos-traço que funcionam como micronutrientes são normalmente investigados para a obtenção de informações sobre os fatores controladores das atividades biológicas, enquanto os elementos tóxicos são medidos por questões de controle ambiental. Evidentemente, os micronutrientes também podem se tornar críticos, quando acima de determinadas concentrações (SCOR, 2007 *apud* CAMPOS *et al.*, 2017).

Dentre as referências selecionadas neste PCA para comparação de resultados, poucas avaliaram as concentrações de elementos-traço em água do mar. Este conjunto de parâmetros vem sendo incluído em programas/projetos de caracterização e de monitoramento de impacto ambiental, principalmente em função da intensificação das atividades petrolíferas offshore (CAMPOS *et al.*, 2017).

Os metais se distribuem no ambiente marinho, na água, nos sedimentos e nos organismos por meio de vários processos físico-químicos e biológicos. A preocupação com a liberação de metais no ambiente associa-se principalmente à alta capacidade de bioacumulação, baixa degradabilidade e elevado potencial tóxico desses elementos (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983). Em áreas de exploração e produção de petróleo e gás natural, a análise química da composição mineral da água do mar torna-se relevante, uma vez que a contribuição de alguns metais na água, por exemplo, níquel (Ni) e vanádio (V), pode ser usada como indicadora de contaminação por petróleo (PETROBRAS, 2001). Além disso, o metal bário (Ba) pode ser usado como indicador de vazamentos de água de produção ou mesmo de contaminação pelo descarte de lama de perfuração (PETROBRAS, 2001). Assim, um rigoroso levantamento desses, além de outros metais, subsidia comparações futuras, permitindo distinguir possíveis alterações em virtude das atividades de E&P realizadas (PULGATI *et al.*, 2005)

Dentre os 21 elementos-traço analisados nas amostras de água, 20 (Sb, As, Ba, Be, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, Tl, V e Zn) não ocorreram em concentrações quantificáveis em nenhuma das estações e estratos analisados. Destes, os resultados de não quantificação de Sb (LQ de 0,005 mg/L), Be (LQ de 0,003 µg/L), Co (LQ de 0,005 mg/L), Sn (LQ de 0,010 mg/L), Mo (LQ de 0,015 mg/L), Ag (LQ de 0,005 mg/L), Se (LQ de 0,010 mg/L) e Tl (LQ de 0,020 mg/L), são o primeiro registro para esta região, considerando as referências selecionadas para comparação com este PCA.

Arsênio, que não foi quantificado neste PCA (LQ de 0,010 mg/L), foi registrado entre 0,00018 e 0,00109 mg/L no PCR-BC, à subsuperfície, no conjunto completo de estações e períodos amostrados (inverno e verão), não ocorrendo, portanto, quaisquer registros deste elemento acima do VMR da CONAMA 357/2005 (0,01 mg/L) nesta região da Bacia de Campos.

Bário, também não quantificado neste PCA (LQ de 0,010 mg/L), foi registrado entre 0,00337 e 0,00871 mg/L no PCR-BC a subsuperfície, no conjunto completo de estações e períodos amostrados (inverno e verão) porém no Projeto 3 Bacias/Santos suas concentrações na água variaram entre não detecção a 0,79 mg/L nas estações realizadas em subsuperfície, enquanto as amostragens realizadas entre >20 e 230 m, houve uma variação entre não detecção e 0,79 mg/L, com medianas de 0,21 e 0,24 mg/L, respectivamente. Portanto, ocorrendo apenas alguns poucos registros deste elemento nesta

região acima do VMR da CONAMA 357/2005 (1,00 mg/L). Já o Cobre (LQ de 0,010 mg/L neste PCA) tem registros na literatura selecionada (**Tabela 8**), variando entre 0,00008 e 1,06 mg/L.

Cromo, também não quantificado (LQ de 0,010 mg/L neste PCA e VMR de 0,05 mg/L) tem registros na literatura selecionada para comparação (**Tabela 8**), variando entre 0,00003 e 0,4 mg/L (este último em águas subsuperficiais). No caso do PCR-BC, nenhuma amostra analisada à subsuperfície, no conjunto completo de estações e períodos amostrados (inverno e verão) gerou resultados acima do VMR definido pela CONAMA 357/2005, enquanto na Bacia de Santos, pelo Projeto 3 Bacias, as medianas dos resultados nas diferentes profundidades amostradas foram ligeiramente superiores a esse valor máximo de referência.

Zinco e Cádmio, que também não quantificados neste PCA (LQ de 0,07 mg/L e VMR de 0,09 mg/L; LQ de 0,004 mg/L e VMR de 0,005 mg/L, respectivamente) foram ambos quantificados no PCR-BC à subsuperfície, onde o Zinco variou entre não detectado e 0,04507 mg/L, enquanto o Cádmio variou entre 0,00001 e 0,00023 mg/L, não ultrapassando os valores máximos de referência respectivos. Já no caso do Zinco, também ocorreram registros pelo Projeto 3 Bacias (Bacia de Santos), tanto em subsuperfície como entre >20 e 230 m, com máximos superiores ao VMR.

E ainda o resultado de não detecção de Vanádio, Mercúrio e Chumbo (LQ de 0,015 mg/L; LQ de 0,0002 mg/L; LQ de 0,009 mg/L, respectivamente) neste PCA estão condizentes com os obtidos no PCR-BC. Elementos, que mesmo em concentrações muito baixas, podem representar uma ameaça, por serem potencialmente tóxicos.

Alumínio foi o único metal detectado nas amostras de água analisadas deste PCA, apenas nas estações 4 (subsuperfície e na APAN), 15 (acima da termoclina) e 43 (acima da termoclina e na AIA), variando, quando quantificado (LQ \geq 0,030 mg/L), entre 0,064 mg/L e 0,780 mg/L. Em comparação com as referências consideradas (**Tabela 8**), os resultados deste PCA estão condizentes com o esperado para a região. No PCR-BC (campanhas de inverno e verão à subsuperfície), as concentrações de alumínio variaram entre a não detecção e 0,091 mg/L, enquanto no Projeto 3 Bacias – Bacia de Santos, variaram entre a não detecção e 2,65 mg/L (mediana de 0,16 mg/L) nas amostragens de subsuperfície e da não detecção a 3,33 mg/L (mediana de 0,13 mg/L) entre >20 m e 230 m de profundidade. CONAMA 357/2005, BUCHMAN (2008) e CCME (2015) não definem valores norteadores agudo (ou curto prazo) ou crônico (longo prazo) para concentrações de Al em água marinha.

6.2.2.6 Sulfetos

O enxofre na água pode ser encontrado como enxofre molecular (S); íon sulfeto (S²⁻); íon sulfato (SO₄); íon sulfito (SO₃); gás sulfídrico (H₂S); dióxido de enxofre (SO₂); ácido sulfúrico (H₂SO₄) e como FeS nas formas associadas ao metal (LACERDA *et al.*, 2013). Em meio aquático aeróbio, o enxofre é mineralizado como sulfato (SO₄), sendo esta a forma mais comum de enxofre encontrada na água e o segundo ânion mais abundante depois do cloreto, no oceano moderno (UENO, 2014). A sua fonte ao oceano é, principalmente, a partir do escoamento de rios, com pequenas contribuições de vulcanismo (CANFIELD, 2004). Em água salgada, as concentrações de sulfato são de cerca de 2710

mg/L (DREVER, 1982 *apud* SADIQ, 1992; PARKER, 1972 *apud* SADIQ, 1992; RILEY & SHIRROW, 1975 *apud* SADIQ, 1992), onde o sulfato pode representar cerca de 8% dos sais dissolvidos (BAUMGARTEN *et al.*, 2010). Os sulfetos são íons associados à degradação da matéria orgânica. Em ambientes com reduzidos teores de oxigênio dissolvido (SEGUI, 2009) são considerados de grande potencial tóxico e, geralmente, estão associados a campos de petróleo, gás natural e refinarias (MANIER *et al.*, 2007). Na presença de oxigênio o sulfeto é instável, sendo rapidamente oxidado a sulfato em ambientes aeróbicos. SAVOIE & PROSPERO (1989) enfatizaram que a inexistência de séries temporais de medição de diferentes formas de enxofre no ar e na água do mar torna difícil avaliar aquelas que, acredita-se, sejam as fontes principais de sulfatos em águas oceânicas: gases de enxofre produzidos pela atividade biológica e compostos de enxofre derivados de atividades humanas continentais, carregados através da atmosfera.

O método utilizado para análise de sulfetos determina o teor total de sulfetos, que equivale ao somatório das concentrações de HS^- (íon sulfídrico), S^{2-} e H_2S presentes na amostra. O teor de H_2S pode ser estimado a partir de cálculos de equilíbrio, considerando o pH do meio. Para águas salinas com pH na faixa de 8, a concentração de H_2S corresponde a 10% do sulfeto total (APHA, 1998 *apud* PETROBRAS, 2001). A CONAMA 357/2005 define 0,002 mg/L como VMR para sulfetos (H_2S não dissociado) em águas salinas classe 1. Neste PCA, sulfetos não foram detectados ($\text{LD} < 0,017$ mg/L) em nenhuma das amostras analisadas. Não foram identificados dados pretéritos, dentre as referências selecionadas, que permitam a comparação com outros dados da literatura para a região.

6.2.2.7 Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs)

Hidrocarbonetos são os constituintes majoritários do petróleo e, por essa razão, são considerados contaminantes potenciais em áreas de exploração e produção, assim como em áreas de tratamento, transporte e transferência do óleo. Outra fonte potencial é a queima de petróleo, seus derivados e de matéria orgânica não fóssil, que produz emissões de hidrocarbonetos, as quais são transportadas ao oceano através da atmosfera (NRC, 1985; GESAMP, 1993; BOULOUBASSI *et al.*, 2001; READMAN *et al.*, 2002; DACHS *et al.*, 1999).

Os hidrocarbonetos do petróleo compreendem os n-alcenos, os isoalcenos, os cicloalcenos e os aromáticos. Dentre os compostos aromáticos, a maioria é formada por monoaromáticos: benzeno, tolueno e outros alquilbenzenos (UNEP, 1991), sendo estes conhecidos como hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP). Petróleo também contém uma mistura complexa de alcenos ramificados e cíclicos que, normalmente, não são encontrados em organismos. Essa mistura complexa não é separada cromatograficamente e, portanto, é denominada mistura complexa não resolvida (MCNR). A presença e a quantidade de MCNR em amostras ambientais podem indicar a contaminação por petróleo (KENNICUTT II, 1995; ELIAS, 2000).

Os hidrocarbonetos apresentam baixa solubilidade na água, assim a sua distribuição está associada preferencialmente ao material particulado em suspensão (WAGENER *et al.*, 2017a). Embora os hidrocarbonetos estejam distribuídos amplamente nos ambientes marinho e terrestre, devido às suas diversas fontes, existem formas de reconhecer e diferenciar aqueles de origem petrogênica (que podem ser de origem natural e antropogênica) e os de origem biogênica (ELIAS, 2000). Pode-se

citar, como fontes naturais de hidrocarbonetos no oceano, a síntese biogênica de organismos marinhos e/ou terrestres, a erosão continental, incêndios florestais e a exsudação de petróleo através de falhas no assoalho oceânico (GESAMP, 1993).

LAW (1981) citou que amostras com concentrações abaixo de 1,0 µg/L representariam regiões sem contribuição antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo; enquanto amostras entre 1,0 e 2,0 µg/L indicariam a existência de alguma ação antropogênica e amostras acima de 2,0 µg/L indicariam regiões afetadas, devido à introdução de hidrocarbonetos de petróleo.

Hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) não foram detectados em nenhuma das amostras deste PCA (LQ < 435 µg/L), assim como ocorreu na maioria dos resultados registrados nas referências selecionadas (medianas máximas de HTP em torno de 12 µg/L). No entanto, no PCR-BC e no Projeto 3 Bacias, tanto para Santos quanto para Campos, as concentrações máximas de HTP foram bastante mais elevadas, que os indicativos sugeridos por LAW (1981), com valores máximos em subsuperfície no PCR-BC de 158,9µg/L no período seco e de 49,54 µg/L no período chuvoso, e no Projeto 3 Bacias, em Santos com máximos de 2706 e 2958 µg/L (subssuperfície e entre 20 e 230m, respectivamente), e em Campos com máximos de 169,8 e 320,8 µg/L (subssuperfície e entre 20 e 230m, respectivamente).

6.2.2.8 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Outros

Dentre os compostos aromáticos, os HPAs encontrados em amostras ambientais podem ser de origem biogênica, fontes naturais ou de origem antropogênica. Os de origem biogênica e outras fontes naturais incluem os processos de biossíntese e degradação, combustão natural de florestas (ELIAS *et al.*, 1999; SIMONEIT *et al.*, 1991) e exsudação natural de petróleo (KENNICUTT II *et al.*, 1994; ELIAS, 1998). Já as principais fontes antropogênicas, segundo ELIAS *et al.* (2001) e SIMONEIT & ELIAS (2001), estão relacionadas à deposição atmosférica (oriunda de queimadas intencionais ou combustão incompleta de combustíveis fósseis), derrames de óleo ou derivados, lançamento de detritos de lastro de navio contaminados com óleo e derivados, efluentes industriais, esgoto urbano, e escoamento de águas pluviais e efluentes ligados à exploração e produção de petróleo (NRC, 1985; KENNISH, 1997; ELIAS, 1998).

Devido ao impacto ambiental e à toxicidade elevada, os HPAs são considerados parâmetros muito importantes na detecção de poluição ambiental por óleo. Os *fingerprints* de compostos aromáticos têm se mostrado bastante úteis para análises de resíduos de óleo. A distribuição de HPAs alquilados vem sendo reportada em estudos como indicadores do destino do óleo no meio ambiente e como marcadores da fonte do derrame ou do óleo contido nos sedimentos (WANG & FINGAS, 1997).

A Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA) definiu 16 compostos, dentre os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), como prioritários para análise: naftaleno, acenafteno, acenaftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(ghi)perileno, indeno(123-cd)pireno e dibenzo(a,h)antraceno. A CONAMA 357/2005 não define uma concentração limite para o somatório dos 16 HPA prioritários na água, para águas salinas classe 1, ou mesmo para cada um

dos 16 compostos em separado, a não ser que se trate de corpo d'água onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo humano intensivo, definindo valores máximos de referência para o benzo(a)antraceno (0,018 µg/L), benzo(a)pireno (0,018 µg/L), benzo(b)fluoranteno (0,018 µg/L), benzo(k)fluoranteno (0,018 µg/L), criseno (0,018 µg/L), dibenzo(a,h)antraceno (0,018 µg/L) e indeno(123-cd)pireno (0,018 µg/L). KENNISH (1997) cita concentrações médias de 0,4 µg/L do somatório dos 16 HPAs prioritários para águas superficiais do Oceano Atlântico, variando de 0,13 a 1,3 µg/L. Já LAW (1981) sugere um limite de 1 µg/L de HPAs para águas sem sinais significativos de influência antrópica.

Não foi detectado nenhum dos 16 HPAs considerados prioritários (LQ de 0,3 µg/L neste PCA), nem seus homólogos alquilados (LQ de 0,3 µg/L neste PCA) e/ou outros Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (LQ de 0,3 µg/L neste PCA), em nenhuma das amostras analisadas deste PCA, o que é bastante condizente com o esperado pelos registros da literatura selecionada para comparação.

6.2.2.9 Fenóis Totais e BTEX

Quando óleos são despejados em ambiente marinho, tanto na forma de derrames como de água produzida, os compostos constituintes se distribuem como gotas ou como fase solúvel na coluna de água. Uma diversidade de ácidos orgânicos de cadeia curta, fenóis, BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) e compostos aromáticos com 2 ou 3 anéis benzênicos dissolvem-se completa ou parcialmente na água, enquanto compostos HPA (>4 anéis benzênicos e tricíclicos alquilados) e alcanos >C10 permanecem, em sua maioria, na forma de gotas dispersas no meio aquoso (MELBYE *et al. apud* BRAKSTAD *et al.*, 2002).

Os fenóis, são compostos químicos tóxicos aos organismos aquáticos, mesmo quando presentes em níveis bastante baixos. Os compostos naturais estão relacionados à lignina dos vegetais. Sua origem em corpos d'água se deve, principalmente, aos despejos de origem industrial, podendo, também, ter origem natural. Esses compostos são polares e muito solúveis em água.

A presença de fenóis na água do mar é um fator preocupante. Especial atenção tem sido dada às atividades de produção de petróleo em áreas *offshore*, uma vez que os processos de produção, por vezes, necessitam de grandes volumes de água para a manutenção da pressão do reservatório produtor. A consequência desse fato é a contaminação da água por compostos fenólicos. Portanto, o controle rigoroso dos descartes no meio ambiente marinho se faz necessário (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2000).

Poucas foram as referências, dentre as selecionadas, que analisaram fenóis totais na água (Projeto 3 Bacias em Santos e Campos e o PCA do Bloco Sul de Gato do Mato), com a maioria, com resultados não detectados. No presente PCA, não foi diferente. Não foram quantificados fenóis totais (LQM de 9,00 µg/L e VMR CONAMA 357/2005 de 60 µg/L) em nenhuma das amostras analisadas.

Os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) também não foram quantificados em nenhuma das amostras analisadas neste PCA (LQM de 3,00 µg/L e VMR CONAMA 357/2005 de 700 µg/L para benzeno, 215 µg/L para tolueno e 25 µg/L para etilbenzeno), assim como ocorreu no PCA

de SdeGM. CONAMA 357/2005, BUCHMAN (2008) e CCME (2015) não definem valores norteadores agudo (ou curto prazo) ou crônico (longo prazo) para concentrações de xilenos em água marinha.

6.2.2.10 Clorofila_a e Feofitina_a

A clorofila-a é um pigmento presente em todos os organismos fotoautotróficos, constituindo-se em um parâmetro bioquímico mais frequentemente utilizado em oceanografia devido à sua função fotossintética, tornando-a um indicador da biomassa fitoplanctônica (JEFFREY & MANTOURA, 1997), ou mesmo da produtividade primária de um ecossistema (GONZALEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2017). Os valores tipicamente observados nos oceanos vão desde muito baixos (por volta de 0,05 µg/L ou até menos) em regiões oligotróficas e podem chegar a 5 µg/L em regiões costeiras (GONZALEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2017). Neste PCA, como esperado, foram registradas concentrações detectáveis de clorofila_a principalmente nas amostras obtidas à subsuperfície e acima da termoclina, variando entre 0,03 e 0,13 µg/L, valores característicos de águas oligotróficas. Estas concentrações foram condizentes, de uma maneira geral, com as menores concentrações deste pigmento nos ranges de variação das diferentes referências consideradas (**Tabela 8**).

A Baía de Campos apresenta uma estrutura vertical das massas de água típica de oceano tropical oligotrófico, com maior concentração de clorofila e de células nas águas próximas à termoclina, em relação às águas mais superficiais (CULLEN, 1982; HERBLAND & LE BOUTEILLER, 1983; EPPLEY *et al.*, 1988). Segundo o Projeto 3 Bacias/Campos, entre 140 e 200 m foram registradas células fisiologicamente ativas, embora com a biomassa clorofiliana bastante reduzida.

No Bloco C-M-541, neste PCA, feofitina_a foi detectada apenas em duas estações à subsuperfície, uma estação acima da termoclina e outra estação na AIA (LD de 0,002 µg/L). Os feopigmentos (feofitina_a e feoforbide_a) continuam sendo os principais pigmentos de degradação da clorofila_a encontrados na natureza. Eles são o resultado da pastagem do zooplâncton e são encontrados em suas pelotas fecais.

A feofitina_a pode interferir consideravelmente nas medidas de clorofila_a, por absorver luz na mesma região do espectro que a clorofila_a (BARROSO & LITTLEPAGE, 1998). A relação entre esses dois pigmentos serve como um bom indicador do estado fisiológico do fitoplâncton (CETESB, 2002). Os resultados obtidos são condizentes com os registros realizados em 2002 pelo Projeto 3 Bacias, tanto na Baía de Santos quanto na Baía de Campos, e não indicam qualquer desequilíbrio ambiental.

6.2.2.11 Análise Integrada dos Parâmetros Abióticos

A análise integrada dos parâmetros abióticos encontrados com a implementação do presente projeto foi realizada através de análises multivariadas. A Análise de componentes principais (também identificada pela sigla PCA) dos dados abióticos da água revelou nos dois principais eixos através dos quais mais de 57% das diferenças observadas entre as massas d'água e entre as estações podem ser explicadas pelas variáveis abióticas analisadas (**Figura 31**). A principal diferença ocorreu entre as massas d'água (eixo principal) e as variáveis fósforo total, nitrogênio total e silicato, que

estiveram mais relacionadas às águas mais profundas (AIA e APAN), enquanto temperatura, pH e salinidade se mostraram mais relacionadas às águas mais superficiais (subsuperfície – AT e acima da termoclina-AM).

A visualização dos dados no espaço através do PCA exibiu, de forma clara, as massas d'água e suas respectivas características ambientais. Importante notar também as diferenças entre as estações, compondo a parte positiva do eixo y, as estações 47, 48, 4 (acima da termoclina) e 15 (ACAS). Já na parte inferior (negativa do eixo y) estiveram as estações 43, 44 e 45 onde as concentrações de sólidos em suspensão e dissolvidos foram maiores. Desta forma, as diferenças nos parâmetros da água em cada estação ocorreram em toda a coluna d'água, desde a superfície até profundidades de 3000 metros. Embora essa distribuição espacial tenha sido identificada, o range de variações de valores foi muito discreto e não indica qualquer espacialização na área do bloco relacionada a parâmetros indicadores da qualidade ambiental.

Entre as massas d'água as diferenças foram significativas ($p=0,001$) e a análise *a posteriori* revelou maior similaridade entre as massas d'água superficiais (AT e AM; **Figura 31** com *plots* em laranja e vermelho), assim como uma similaridade entre as massas d'água mais profundas (AIA e APAN; **Figura 31** com *plots* azul e azul escuro). Esse resultado exhibe regiões mais homogêneas tanto na superfície como no fundo, evidenciando de forma clara a diferença entre camada superficial (AT e AM) com a camada profunda (AIA e APAN). Já no eixo secundário (y) da **Figura 31** podemos observar (embora com menor relevância (15%) uma diferença espacial das massas d'água tanto na superfície quanto no fundo, com as estações amostrais #47 e #48 na parte positiva do eixo y, se diferenciando das estações #43, #44 e #45 na parte negativa do eixo secundário.

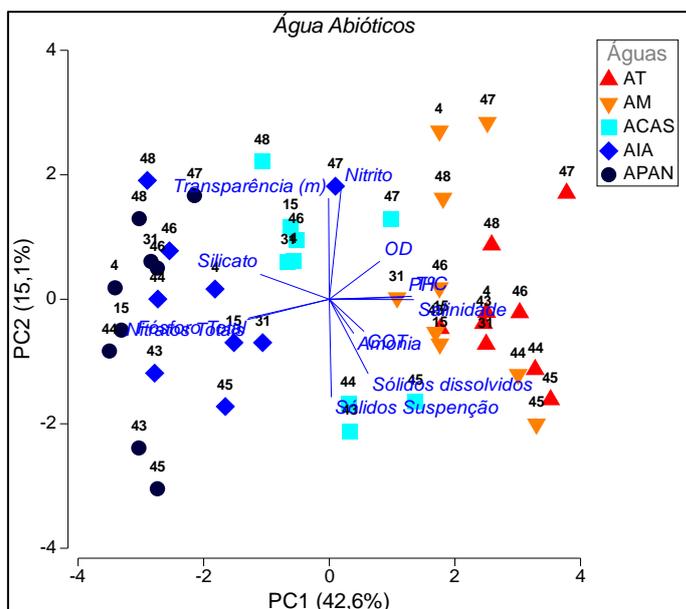


Figura 31: Análise multivariada PCA com as variáveis abióticas das diferentes massas d'água, exibindo a similaridade e dissimilaridade entre as estações representadas pelas distâncias lineares plotadas no gráfico. Onde lê-se AT deve-se considerar amostragem subsuperficial e onde lê-se AM amostragem acima da termoclina.

6.2.2.12 Fitoplâncton

Devido ao tamanho diminuto, a fração nanoplânctônica foi classificada, na maior parte, como não identificada. Entretanto, foi possível identificar dois grupos de organismos: dinoflagelados e cianofíceas. O microfitoplâncton foi composto por 124 táxons: 53 diatomáceas, 53 dinoflagelados, cinco cianofíceas, um silicoflagelado, 11 cocolitoforídeos e um ebríídeos. Entre esses, 51% foram identificados em nível específico. A maior contribuição de táxons foi dos grupos dos dinoflagelados e das diatomáceas, com 43% cada um, seguidos pelos grupos dos cocolitoforídeos, silicoflagelados e ebríídeos.

Foram registradas espécies tipicamente neríticas, oceânicas e bentônicas. O número de táxons total variou entre nove e 31, com média de 20 táxons por amostra. A estação 44, à subsuperfície, teve o maior número de táxons (31 táxons), enquanto na estação 43, na APAN, foi registrado o menor valor (9 táxons). Houve diferença significativa do número de táxons entre as cinco profundidades de coleta.

Entre os táxons do microfitoplâncton registrados, 14 foram considerados frequentes e seis foram constantes.

A densidade do nanoplâncton variou entre $2,7 \cdot 10^6$ acima da termoclina e $10,6 \cdot 10^6$ cél/L na ACAS. A maior densidade do nanoplâncton foi registrada na estação 48 na ACAS e a menor na estação 31 acima da termoclina. Não houve diferença significativa da densidade de nanoplâncton entre as cinco profundidades.

As densidades do microfitoplâncton variaram entre $0,57 \cdot 10^3$, na AIA e na APAN, e $19,7 \cdot 10^4$ cél/L, à subsuperfície. A maior e a menor densidades foram observadas na estação 46, à subsuperfície e na AIA, respectivamente. Houve diferença significativa das densidades dessa fração entre as cinco profundidades de coleta.

A comunidade microfitoplanctônica foi dominada por diatomáceas e dinoflagelados que, juntos, contribuíram com mais de 60% do total. As densidades de diatomáceas, dinoflagelados, cianofíceas e cocolitoforídeos foram significativamente diferentes nas cinco profundidades amostradas.

O grupo das diatomáceas foi dominado por Diatomácea penata 1A e pela espécie *Cylindrotheca closterium*. Os principais dinoflagelados registrados na área do Bloco C-M- 541 foram Gymnodiales 3A e Gymnodiales 4A. As cianofíceas foram dominadas pela Ordem Nostocales, enquanto os cocolitoforídeos foram representados principalmente pela espécie *Discophaera tubifer*.

O índice de diversidade específica de Shannon-Wiener variou entre 0,72 na APAN e 4,06 acima da termoclina; e a equitabilidade ficou entre 0,72 na APAN e 1,0 na subsuperfície, AIA e APAN. A menor diversidade foi registrada na estação 47 e foi influenciada pela dominância da espécie *D. tubifer*.

A análise de PCoA mostrou a separação de quatro grupos de amostras coletadas nas cinco profundidades. As espécies *C. closterium*, *Oxytoxum gracile* e *D. tubifer* foram indicadoras do grupo 1. Os táxons *Thalassiosira* spp. e *Prorocentrum gracile* foram indicadores do grupo 3; e *Gonyaulax* spp. e *Prorocentrum micans* do grupo 4. Não teve espécie indicadora do grupo 2.

Considerando a análise integrada dos resultados de fitoplâncton com os dados abióticos, entre as estações não foram observadas diferenças significativas ($p=0,56$). As diferenças observadas podem ser visualizadas através do nMDS, onde os *plots* representam a similaridade e dissimilaridade de fitoplâncton, e quanto mais próximos mais similares. Podemos concluir que há diferença entre o fitoplâncton de superfície do de fundo, assim como há similaridade de fitoplâncton em cada massa de água (pontos próximos; **Figura 32**).

As camadas de água mais superficiais (subsuperfície, acima da termoclina e ACAS) exibiram a maior densidade e número de táxons quando comparado com as águas mais profundas (AIA e APAN) onde as densidades foram mais baixas. As análises de relação (distLM, **Tabela 15**) entre os parâmetros abióticos da coluna d'água com o fitoplâncton revelou que as variáveis temperatura e pH contribuíram para a distribuição de fitoplâncton nas águas superficiais (subsuperfície e acima da termoclina), o que coincide com a maior luminosidade, e as variáveis fósforo total e silicato (parâmetros que caracteristicamente apresentam maiores concentrações na AIA e na APAN, como ocorreu nesse PCA) ficaram relacionadas com a comunidade fitoplanctônica das águas profundas (AIA e APAN; **Figura 33**). Essa correlação, por si só, no entanto, pode estar mais relacionada à disponibilidade de luz que à disponibilidade de fósforo total e/ou nutrientes.

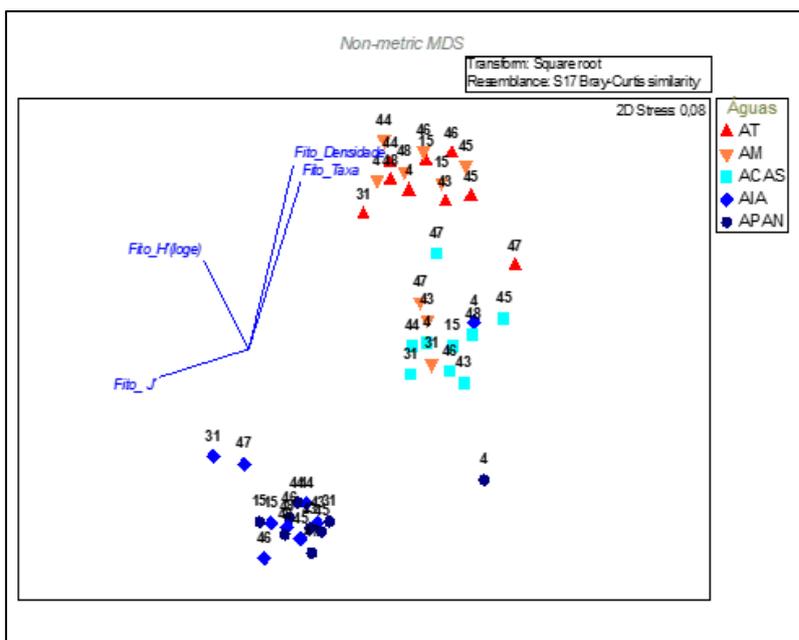


Figura 32: Análise de ordenação (nMDS) de fitoplâncton avaliando as diferenças de acordo com as massas d'água. Onde lê-se AT deve-se considerar amostragem subsuperficial e onde lê-se AM amostragem acima da termoclina.

Tabela 15: Resultados da análise DISTLM e dbrDA avaliando as diferenças entre as massas d'água com os organismos do fitoplâncton. Valores em vermelho indicam correlações significativas (<0,05).

Variáveis	Pseudo-F	P	Proporcional (%)	Acumulado (%)
temperatura °C	33,436	0,001	43,744	43,744
fósforo total mg/L	2,7257	0,009	3,4284	47,1724
pH	3,0042	0,003	3,6066	50,779
silicato mg/L	2,4324	0,011	2,8216	53,6006
sólidos em suspensão mg/L	1,478	0,087	1,6942	55,2948
nitrito mg/L	1,2823	0,182	1,4593	56,7541
COT µg/L	0,91175	0,521	1,04	57,7941
amônia mg/L	0,81643	0,641	0,93594	58,73004
OD mg/L	0,70426	0,802	0,81404	59,54408
Nitrogênio total mg/L	0,59294	0,886	0,69343	60,23751
sólidos dissolvidos g/L	0,58434	0,875	0,69183	60,92934

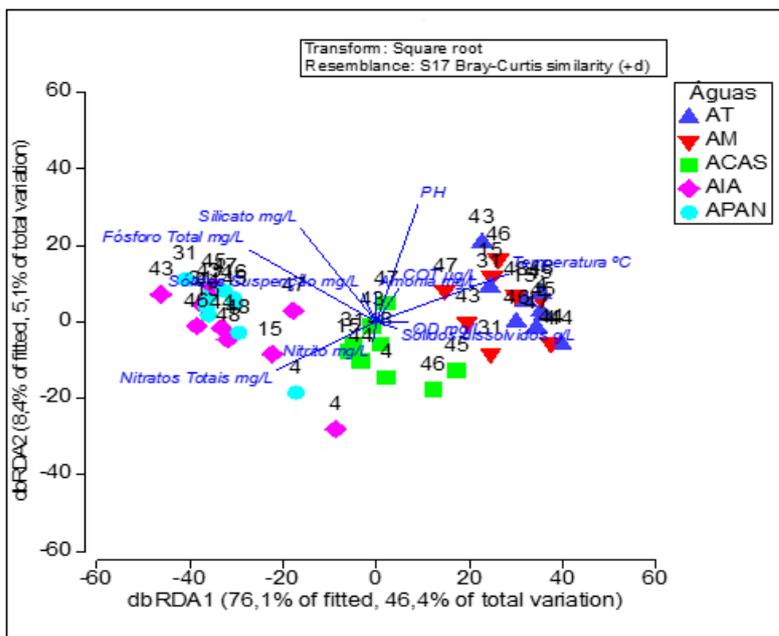


Figura 33: Análise de ordenação (nMDS) de fitoplâncton avaliando as diferenças de acordo com os dados abióticos da água entre as estações. Onde lê-se AT deve-se considerar amostragem subsuperficial e onde lê-se AM amostragem acima da termoclina.

No Anexo XII_A é disponibilizado o relatório completo da biota fitoplanctônica, com descrições metodológicas detalhadas, apresentação e discussão de todos os resultados brutos, incluindo inventário taxonômico.

6.2.2.13 Zooplâncton

De maneira geral, a comunidade zooplanctônica encontrada na área de estudo tem aspectos qualiquantitativos condizentes para este trecho da costa leste brasileira. A área do Bloco C-M-541 apresentou baixo valor médio da densidade zooplanctônica (138,89 ind/m³). A estação 44 apresentou a maior densidade zooplanctônica, sendo que as menores densidades foram registradas nas estações 47 e 48.

Pode-se considerar que a área de estudo tem alta riqueza taxonômica (100 unidades taxonômicas com 63 espécies) quando comparada a outras áreas oceânicas. O zooplâncton foi basicamente composto por organismos holoplanctônicos, principalmente Copepoda, Appendicularia e Chaetognatha, que somados representaram 94% do zooplâncton. As espécies mais abundantes dos principais grupos zooplanctônicos, como os copépodes *Oithona similis*, *Clausocalanus furcatus*, *Nannocalanus minor*, *Oncaea venusta*, *Farranulla gracilis* e *Scolecithrix danae*; as apendiculárias *Oikopleura longicauda*, *Oikopleura cophocerca* e *Oikopleura fusiformis*; o quetognato *Parasagitta friderici* e *Flaccisagitta hexaptera*; o doliolida *Doliolum nationalis*; a salpa *Thalia democratica*; e o branquiópode *Pseudevadne tergestina* são epi- e mesopelágicas, encontradas em águas tropicais, ambientes costeiros e oceânicos e frequentes em toda costa brasileira. Vale à pena ressaltar a dominância de *O. similis*, que provavelmente teve a sua densidade subestimada no presente estudo devido ao tamanho da malha utilizada (200 µm). A diversidade observada está compatível com a encontrada em outros sistemas oceânicos da costa brasileira.

As estações de amostragem foram agrupadas em função da densidade zooplanctônica, riqueza numérica, diversidade específica e da composição das comunidades. As estações 47 e 48 diferiram das demais estações de amostragem em virtude de apresentarem os menores valores desses parâmetros biológicos (densidade, riqueza e diversidade), assim como a presença de espécie indicadora de águas oceânicas frias (*C. citer*).

As variações na composição da comunidade zooplanctônica, observadas na área de estudo, foi determinada, principalmente, pela abundância dos grupos holoplanctônicos dominantes (copépodes, apendiculárias e quetognatos). Esta é uma região que recebe contribuições de água de diferentes origens, como a água tropical, de característica mais oligotrófica; a água subantártica, subtropical e central do Atlântico Sul (pela presença do copépode *Ctenocalanus citer* e a apendiculária *Fritillaria pellucida*); e o aporte de água costeira (pela ocorrência do quetognato *Parasagitta friderici*).

As análises de relação (distLM) entre os parâmetros abióticos da coluna d'água revelou que a temperatura foi significativamente relacionada com a fauna, contribuindo com 20% na distribuição observada pelo zooplâncton, principalmente nas estações 4, 15 e 45 (Tabela 16 e Figura 34).

Tabela 16: Resultados da análise DISTLM e dbRDA avaliando as diferenças entre as estações com os organismos do zooplâncton. Valores em vermelho indicam correlações significativas (<0,05).

Variáveis	Pseudo-F	P	Proporcional (%)	Acumulado (%)
amônia	2,027	0,08	22,455	22,455
temperatura °C	2,1127	0,047	20,194	42,649
silicato	1,2901	0,233	11,762	54,412
OD	1,2807	0,294	11,056	65,468
transparência (m)	1,2643	0,341	10,238	75,706
COT	1,2779	0,397	9,4709	85,177
fósforo total	1,3338	0,405	8,4715	93,649

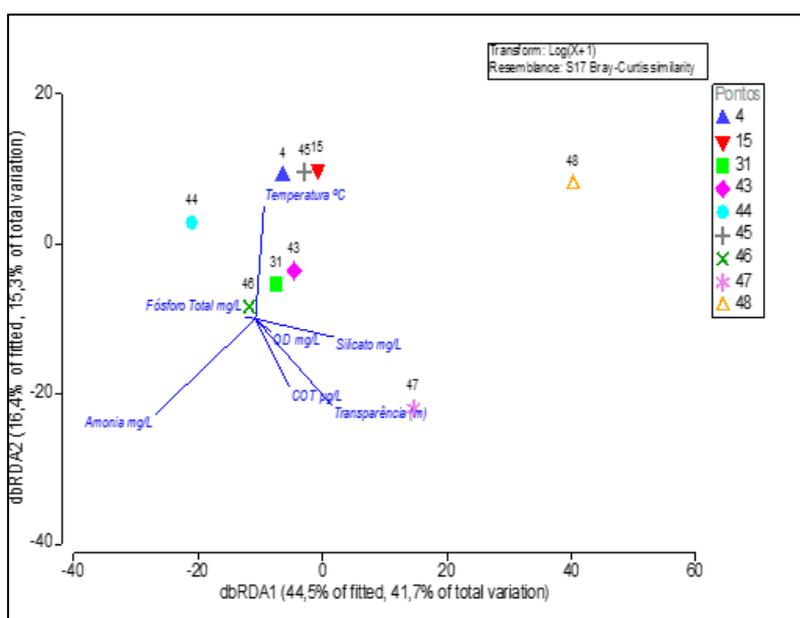


Figura 34: Análise de ordenação (nMDS) de zooplâncton avaliando as diferenças de acordo com os dados abióticos da água entre as estações.

No Anexo XII_A é disponibilizado o relatório completo da biota zooplanctônica, com descrições metodológicas detalhadas, apresentação e discussão de todos os resultados brutos, incluindo inventário taxonômico.

6.2.2.14 Ictioplâncton

Na área do Bloco C-M-541 foram registrados apenas 19 ovos de peixes. A maioria permaneceu como não identificada, uma das espécies identificadas foi um ovo de Peixe voador da espécie *Oxyporhampus similis* (Hemiramphidae), na estação 44. Foi coletado um total de 884 larvas de peixes, compreendendo 45 famílias e 55 espécies. O menor número de táxons foi registrado na estação 4 (17 táxons) e o maior na estação 45 (33 táxons). A área estudada teve alta variabilidade de

táxons. As larvas de Myctophidae *Vinciguerria nimbaria* e *Diaphus* spp. foram classificadas como muito frequentes; e os mictofídeos também foram considerados abundantes. As densidades ictioplanctônicas foram baixas em todas as estações de coleta: <2 ovos/100 m³ e <50 larvas/100 m³. A maior densidade de ovos foi observada na estação 44 e o maior valor de larvas ocorreu na estação 45.

A assembleia de larvas de peixes foi dominada pela família Myctophidae (peixe lanterna), que representou 54% das larvas na malha de 330 µm e 46% na malha de 500 µm. Apesar de ter sido registrado maior número de famílias demersais (21) em comparação com as mesopelágicas (16) e pelágicas (8), as larvas de famílias com hábitos mesopelágicos foram as mais abundantes. Essas larvas contribuíram com mais de 82% e de 79% das larvas identificadas nas malhas de 330 µm e 500 µm, respectivamente.

Todos os táxons coletados na área do Bloco C-M-541 já ocorreram em estudos de ictioplâncton e da ictiofauna na costa do Brasil. De acordo com a literatura, nenhuma espécie identificada no presente estudo é rara, endêmica ou ameaçada de extinção ou de sobreexploração.

As análises realizadas mostraram a formação de dois grupos de estações em função das densidades dos táxons de larvas de peixes registrados na malha de 330 µm: grupo 1 formado pelas estações 4, 31, 44 e 48; grupo 2 composto pelas estações 15, 43, 45 e 47. A estação 46 se destacou das demais pela ocorrência exclusiva de *Cyclothone acclinidens*, *Benthosema suborbitale*, *Centrobranchus nigroocellatus* e Antennariidae. As larvas da família Congridae foram indicadoras do grupo 1, enquanto as da espécie *Vinciguerria nimbaria* foram indicadoras do grupo 2.

Para relacionar os dados abióticos com os dados do ictioplâncton os valores foram mediados entre os pontos de amostragem, ficando com valor comparável. Vale lembrar que, desta forma, os organismos das diferentes malhas foram unidos e a análise correspondeu ao ictioplâncton total (**Tabela 17**). A análise distLM revelou que COT contribuiu significativamente para a distribuição da ictiofauna principalmente na estação 47 (**Figura 35**).

Tabela 17: Resultados da análise DISTLM e dbRDA avaliando as diferenças entre as estações com os organismos do ictioplâncton. Valores em vermelho indicam correlações significativas (<0,05).

variáveis	Pseudo-F	P	Proporcional (%)	Acumulado (%)
COT µg/L	2,0695	0,009	22,818	22,818
sólidos em suspensão g/L	1,1885	0,266	12,76	35,579
fósforo total mg/L	1,2133	0,302	12,58	48,159
sólidos dissolvidos mg/L	1,2338	0,316	12,221	60,379
amônia mg/L	1,2486	0,35	11,644	72,023
pH	1,2127	0,4	10,56	82,583
salinidade PSU	1,2162	0,43	9,5578	92,141

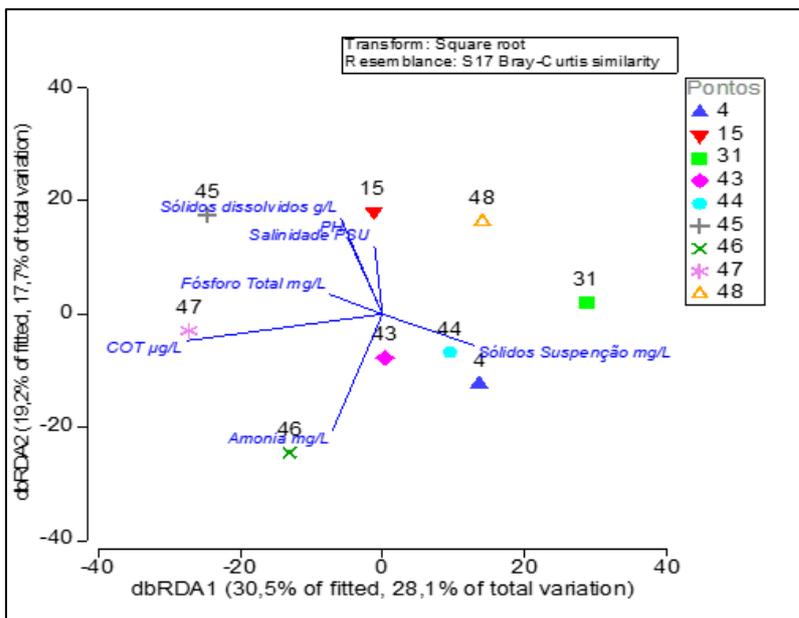


Figura 35: Análise de ordenação (nMDS) de ictioplâncton (total) avaliando as diferenças de acordo com os dados abióticos da água entre as estações.

No **Anexo XII_A** é disponibilizado o relatório completo da biota ictioplanctônica, com descrições metodológicas detalhadas, apresentação e discussão de todos os resultados brutos, incluindo inventário taxonômico.

6.2.2.15 Síntese da Qualidade Ambiental

Os resultados dos parâmetros encontrados na água durante a presente campanha demonstraram variações mais marcadas em relação às massas d'água e nenhuma variação significativa quanto à distribuição das estações na área do bloco. Os parâmetros abióticos da água - temperatura, salinidade, pH, OD, nitrato, fósforo e silicato - sofreram variação vertical significativa, evidenciando marcantes características físico-químicas das massas de água, com camada mais homogênea até aproximadamente 120 m (camada de mistura), seguida por uma faixa com um acentuado gradiente vertical de temperatura, salinidade e densidade (termo-, halo- e pycnoclina, respectivamente).

Foi possível identificar a queda das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) com o aumento da profundidade, o que se relaciona com a maior produção de oxigênio pela maior taxa de fotossíntese e troca atmosférica nas camadas oceânicas superficiais. Assim como foi possível identificar o aumento das concentrações de nitrato, fosfato e silicato (todos com variação vertical significativa) com a profundidade. Na superfície, os nutrientes tendem a ser assimilados rapidamente pelo plâncton, enquanto nas águas mais profundas existem, geralmente, maiores concentrações de nutrientes.

Como era de se esperar, os organismos do fitoplâncton exibiram maiores densidades e número de táxons nas camadas de água mais superficiais (subsuperfície, acima da termoclina e ACAS), quando comparado com as águas mais profundas (AIA e APAN). Não apenas relacionado à disponibilidade de

luz, as análises de correlação revelaram que as variáveis temperatura e pH contribuíram para a distribuição de fitoplâncton nas águas superficiais (subsuperfície e acima da termoclina) e as variáveis fósforo total e silicato ficaram relacionadas com os menores valores dos organismos do fitoplâncton encontrados no fundo (AIA e APAN). As análises de correlação mostraram que a variação da biota zooplanctônica foi significativamente relacionada à temperatura. Já para ictioplâncton, a maior contribuição foi de carbono orgânico total. Estes resultados eram esperados e estão em concordância com a literatura, uma vez que diferenças nas variáveis ambientais são esperadas quando se analisam massas d'águas de diferentes profundidades.

Com os resultados obtidos, perguntas elencadas para nortear as análises integradas da qualidade da água e biota associada puderam ser respondidas:

- **Houve variação vertical significativa por parâmetro, e/ou conjunto de parâmetros?**
Sim. Os parâmetros abióticos da água temperatura, salinidade, pH, OD, nitrato, fósforo e silicato sofreram variação vertical significativa, evidenciando as marcantes características físico-químicas das massas de água, relacionadas também à distribuição vertical da biota fitoplanctônica.
- **Houve variação espacial significativa na área do bloco?**
Não. Os parâmetros analisados não exibiram variação espacial significativa entre áreas do bloco, demonstrando que as 9 estações analisadas apresentaram características relativamente homogêneas em cada uma das massas d'água analisadas.
- **Houve correlação entre os parâmetros abióticos?**
Sim. Foi encontrada relação acima de 90% entre as variáveis da água: temperatura x salinidade (98%); temperatura x nitrato (-97%); temperatura x nitrogênio total (-91%); salinidade x nitrato (-96%); salinidade x nitrogênio total (-92%); sólidos totais x sólidos dissolvidos (100%); nitrato x nitrogênio total (96%); nitrato x ortofosfato (91%); fósforo total x ortofosfato (93%).
- **Quais as correlações significativas entre parâmetros por massa d'água?**
As principais relações encontradas entre as massas d'água foram as variáveis fósforo total, nitrogênio total e Silicato que ficaram relacionadas a águas mais profundas (AIA e APAN) enquanto temperatura, pH e salinidade pelas águas mais superficiais (subsuperfície e acima da termoclina). Como pode ser observado nos itens **6.2.2.3 Carbono, Nitrogênio e Fósforo Totais** e **6.2.2.4 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos** deste documento.
- **Quais as correlações significativas entre parâmetros na área do bloco?**
Nenhum dos parâmetros analisados exibiu variação espacial significativa na área do bloco, não havendo, também, correlações significativas entre eles.

6.2.3 Qualidade do Sedimento e Biota Associada

A qualidade do sedimento e biota associada foi analisada em todas as estações previstas para a **Malha de Caracterização Ambiental** (estações 4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48) e para a **Malha de Possível Passivo** no Entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS, (estações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10). Foram

realizadas 3 amostragens com box-corer em cada estação, em um raio de erro previamente definido entre 50 e 100 m, gerando 3 amostras a serem analisadas para cada parâmetro, como previsto em projeto (54 amostras por parâmetro). Seus resultados são apresentados nos **Anexo XIII, Anexo XIV, Anexo XV e Anexo XVI** (laudos, relatórios, inventários taxonômicos e planilhas de banco de dados), analisados e discutidos a seguir.

Note-se que a estação 4 faz parte das duas malhas. Seus resultados serão discutidos tanto para a caracterização ambiental geral da área do bloco, quanto seus resultados de sedimento farão, também, parte da avaliação de possível passivo no Entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS.

6.2.3.1 Granulometria e Teor de Carbonatos

A composição granulométrica e o teor de carbonato de cálcio são os parâmetros mais utilizados na classificação dos sedimentos. A composição dos sedimentos das plataformas continentais depende, em parte, do material fornecido pelo aporte continental, especialmente através dos rios, e da contribuição orgânica. A distribuição granulométrica dessas partículas está inteiramente ligada à interação de vários fatores, principalmente, condições hidrodinâmicas, relevo de fundo e fatores físico-químicos. A determinação da composição textural dos sedimentos é de grande utilidade na descrição e interpretação das fácies sedimentares que ocorrem nas plataformas continentais (COUTINHO, 1995). São comuns os restos de conchas e carapaças de organismos bentônicos e planctônicos. Entre a plataforma externa e a média existe uma zona transicional estreita com baixos teores de carbonatos. Esta zona de carbonatos também foi evidenciada por GONÇALVES & LANA (1991) para a região considerada para comparação com os resultados do Bloco C-M-541.

Os resultados de granulometria deste PCA indicam uma composição granulométrica composta por lama arenosa e/ou areia lamosa, conforme ilustra a **Figura 36** (extraída do **Anexo XV_A**).

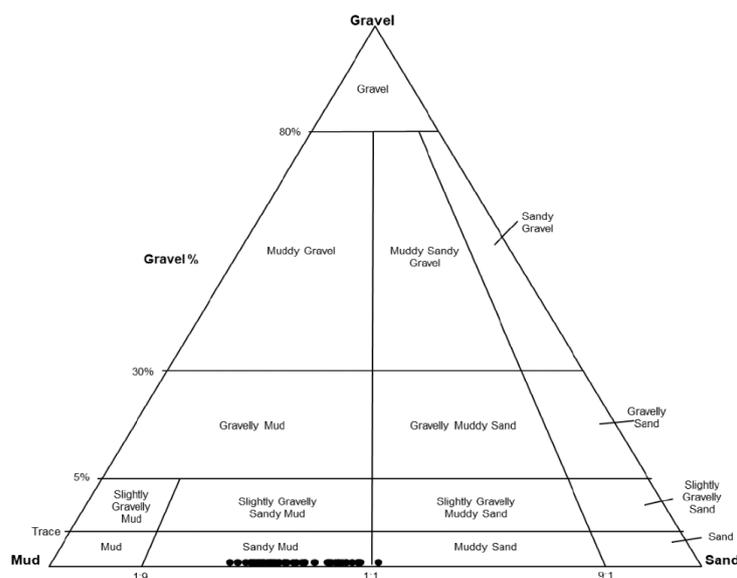


Figura 36: Pirâmide da composição granulométrica das amostras analisadas na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541.

As porcentagens encontradas, para areias (somatórios de areias grossa, média e fina) variaram de 23,16 a 49,42%, enquanto para lama (somatório de siltes + argilas) esses valores foram de 50,20 a 76,47%. Em ambos os casos não houve cascalhos nas amostras e a variação espacial foi significativa. Este comportamento era esperado, devido à dinâmica de transporte de sedimentos, em que sedimentos mais grossos e com maior massa, provenientes do continente, se depositam primeiro, e sedimentos mais finos tendem a ser carreados pelas correntes, depositando-se mais longe. Comparando-se com as médias das referências selecionadas para comparação (**Tabela 08**), a Baía de Campos, segundo estas referências, apresenta uma proporção menor de areias e maior de lama do que o encontrado neste PCA, porém as amostras obtidas constam dentro dos limites extremos observados pelo PCR-BC no período chuvoso (**Figura 37**; extraída do **Anexo XV_C**).

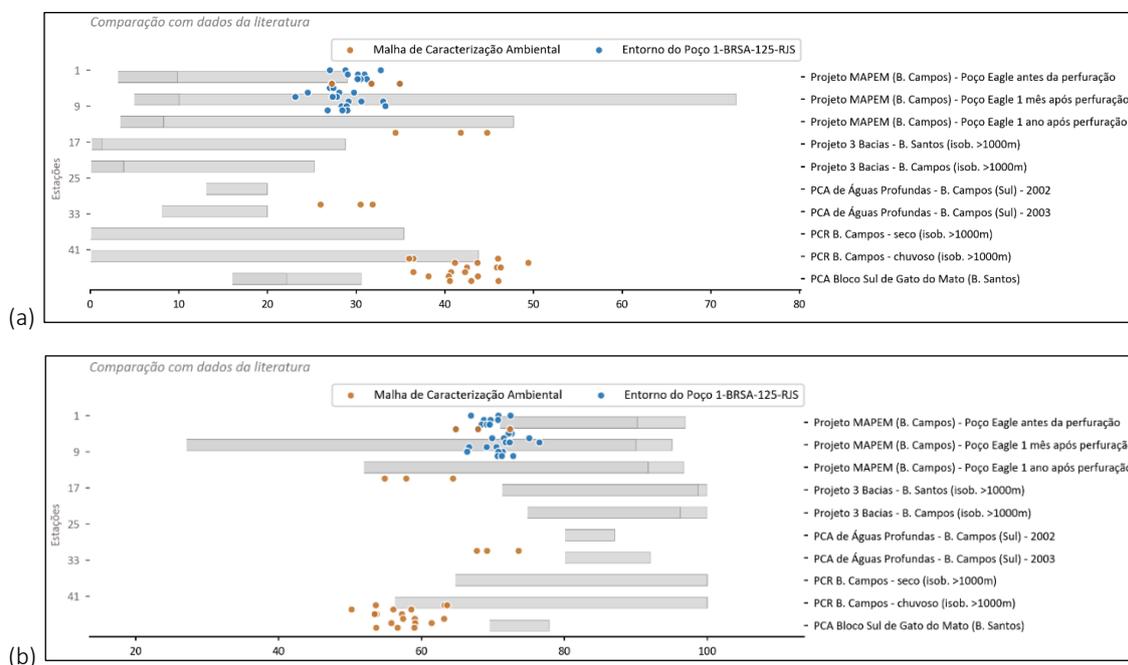


Figura 37: Comparação dos percentuais, por estação e réplica, do somatório de areias (a) e de lama (siltes + argilas) (b) no sedimento na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

Os carbonatos, representados principalmente por restos de conchas e carapaças de organismos planctônicos, variaram entre 65,81 e 79,57%, teores elevados em comparação com os demais resultados selecionados para comparação.

6.2.3.2 Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Nitrogênio e Fósforo Totais

A matéria orgânica (MO) presente no sedimento é composta por uma mistura de diferentes classes de materiais, que possuem uma vida média no sedimento, a qual pode variar de segundos a milhares de anos (MIDDELBURG, 1989). Desta maneira, o tempo de residência destas diferentes frações que compõem a MO no sedimento são dependentes da qualidade de matéria que se deposita no substrato (SOETAERT *et al.*, 1996). Ademais, a relação matéria orgânica/sedimento/

consumo não é verdadeira, já que este *pool* orgânico no sedimento representa mais o que não foi assimilado pelos organismos do que realmente o alimento disponível para ser consumido pelos organismos bentônicos. Desta maneira, a quantidade de MO no sedimento não é um indicador ideal do alimento disponível e, assim sendo, muitas vezes, a biomassa ou densidade dos organismos bentônicos não está diretamente associada às concentrações de MO no sedimento (SOETAERT *et al.*, 1996). Vale ressaltar a importância da qualidade e do tipo de MO disponível no sedimento para a estruturação das comunidades bentônicas (FABIANO & DANOVARO, 1999), bem como para as estratégias tróficas dominantes em um determinado ambiente.

O termo matéria orgânica é usado para se referir, coletivamente, a todo e qualquer composto orgânico. Geralmente tem grande estrutura e peso molecular e contém, primariamente, os elementos carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre. Em ambiente marinho, a MO é identificada como a mais importante substância doadora de elétrons, proporcionando a energia necessária para a maioria das reações biológicas (LIBES, 1992). A distribuição de MO em sedimentos marinhos depende de uma série de fatores, tais como taxas de sedimentação, profundidade da coluna d'água, fluxo de constituintes terrígenos, condições redox, produção *in situ* por bactérias e fontes antropogênicas, no caso da presença de uma plataforma de produção (KENNICUTT II, 1995 *apud* PETROBRAS, 2001).

Os resultados de MOT (matéria orgânica total) deste projeto revelaram uma variação na distribuição espacial estatisticamente significativa na área do Bloco C-M-541. Nas 10 estações do entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS (**Malha de Possível Passivo**) foram registrados maiores teores de MOT (medianas variando entre 9,32 e 13,46 %) que no restante da **Malha de Caracterização Ambiental** (todas as estações menos a estação 4), onde os teores medianos de MOT variaram entre 8,96 e 9,81 %, resultados possivelmente relacionados à mudança na estrutura sedimentar no entorno do poço perfurado, devida ao descarte de cascalhos com fluidos de perfuração das fases sem e com *riser*. Esses resultados, mesmo os da **Malha de Caracterização Ambiental**, são, todos, mais elevados que aqueles obtidos no PCA do Bloco Sul de Gato do Mato, único outro registro de teores de MOT no sedimento dentre as referências selecionadas (**Tabela 8**), caracterizando-os como *background* da área.

Segundo PETROBRAS (2001), os elementos carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) são usados em proporções relativamente constantes pelos organismos fotossintetizantes, variando de acordo com as espécies envolvidas e o ambiente (terrestre ou marinho) em que a matéria orgânica é produzida. Mesmo após as transformações causadas pela diagênese inicial, é possível relacionar as razões entre C, N e P a processos específicos ou mesmo estimar a proporção relativa entre fontes terrestres e marinhas da MO do sedimento.

Para os resultados de COT no sedimento deste PCA, foi possível realizar uma comparação mais abrangente com dados pretéritos, estando estes variando como os mais baixos dos registrados para a região, considerando todas as referências selecionadas para comparação (**Tabela 08**). Na **Malha de Possível Passivo**, as medianas de COT variaram entre 0,39 e 0,42 % e no restante da **Malha de Caracterização Ambiental** variaram entre 0,22 e 0,4%

O teor de nitrogênio total (NT) no sedimento apresentou uma distribuição bem mais heterogênea que MOT ou COT, com uma variabilidade bem maior no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS que no restante do Bloco C-M-541. Assim como ocorreu com MOT, para NT, o PCA do Bloco Sul de Gato do Mato possui os únicos resultados, dentre os selecionados, com os quais podemos comparar os resultados deste PCA. Os resultados de NT no Bloco C-M-541 (medianas de 0,006 a 0,027 %) foram todos inferiores ou similares aos menores teores registrados em SdeGM.

Para o teor de fósforo total (PT) no sedimento, além do PCA de SdeGM, estão disponíveis também os resultados do PCR-BC. Segundo a análise de variância, houve diferença significativa entre as amostras obtidas, no entanto, nada que diferencie as duas malhas. As medianas de PT no sedimento variaram, dentre todas as amostras analisadas, entre 0,03 e 0,05 %

Levantamentos dos dados de C, N e P têm dois objetivos básicos: a) dar suporte aos grupos de química (metais e hidrocarbonetos) e de biologia (bentos); e b) fazer uma descrição geral de aspectos quali-quantitativos da MO dos sedimentos em questão, tentando apontar possíveis alterações devido à presença das plataformas e, quando possível, fazendo associações com processos oceanográficos e com outras regiões de características similares (PETROBRAS, 2001).

STEIN (1991) mencionou que razões C:N inferiores a 10 demonstram origem estritamente marinha. De acordo com INGALL e CAPPELLEN, 1990 e MEYERS (1994 *apud* SANTOS *et. al.*, 2007), o material de origem fitoplanctônica apresenta razão C:N entre 4 e 10 e C:P em torno de 106, enquanto plantas vasculares apresentam razão C:N superiores a 20 e razão C:P variando de 800 até valores superiores a 2000.

A razão (C:N) tem sido amplamente empregada para a caracterização do aporte de MO para o ambiente aquático (MEYERS, 1997), considerando a relativa influência da MO terrestre e marinha em diversos ecossistemas (BORDOVSKIY, 1965). Os vegetais superiores apresentam em sua composição altos conteúdos de celulose (40 a 60%), e conseqüentemente, altos teores de C, enquanto o fitoplâncton é rico em proteínas. Portanto, uma razão C:N maior que 20 pode indicar que as plantas vasculares são as principais fontes de material orgânico para o sistema (origem terrestre), enquanto valores entre 4 e 10 são indicativos de fontes marinhas (MEYERS, 1997). SAITO *et al.* (1989), por sua vez, sugeriram valores entre 5 e 7 como de origem oceânica. Neste PCA, na **Malha de Possível Passivo**, todas as razões C:N foram superiores a 20, enquanto foram inferiores em todo o restante da **Malha de Caracterização Ambiental**, onde os valores intermediários, entre 10 e 20, caracterizaram uma mistura de fontes marinhas e terrestres (MEYERS, 1997). Mais uma vez, essas características no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS devem estar relacionadas à mudança na estrutura sedimentar no entorno do poço perfurado, devido ao descarte de cascalhos com fluidos de perfuração das fases sem e com *riser*. A não ser por alguns resultados mais elevados no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS, as razões calculadas para este PCA variaram de forma similar aos registros do PCA de SdeGM.

INGALL & CAPPELLEN (1990) associam as relações C:P da MO à taxa de sedimentação no ambiente marinho (com enfoque na faixa entre 0,0001-2,5 cm/ano). Os autores relacionam baixas razões C:P (<200) com sedimentos com taxas de sedimentação menores que ~ 0,002 cm/ano e maiores que ~ 1

cm/ano, enquanto altas razões (até 600) corresponderiam a taxas de sedimentação intermédias. Considerando os resultados deste PCA (máximo de 14,7 para a razão C:P), ainda mais baixa que a do PCA de S de GM (máximo de 47,9), é possível inferir como baixíssima a taxa de sedimentação no Bloco C-M-541. A análise de variância apontou variação significativa entre as estações analisadas neste PCA e embora variações em termo de razão C:P sejam pequenas, na **Malha de Possível Passivo** estas variaram entre 7,37 e 14,71 e no restante da **Malha de Caracterização Ambiental** de 5,90 a 10,12.

A razão entre o N e a disponibilidade de P, pode influenciar significativamente a produção primária e o metabolismo microbiano, permitindo uma maior compreensão dos processos biogeoquímicos no ecossistema marinho (SOLIDOURO *et al.*, 2009; LIPIZER *et al.*, 2011). Em todos os registros deste PCA, a razão N:P, manteve-se abaixo de 1, muito abaixo da razão de REDFIELD característica, que é de 16, indicando uma carência de N ou um excesso de P no sedimento, o que também foi observado no PCA de SdeGM.

6.2.3.3 Metais Totais

A análise química da composição mineral contida nos sedimentos marinhos é importante uma vez que a contribuição de alguns metais no sedimento, por exemplo Fe e Mn, pode ser indicativa do tipo de rocha originária do sedimento. Assim, torna-se fundamental realizar o levantamento desses metais, e de outros, para a melhor compreensão de como estão presentes no ambiente e se são oriundos de processos naturais ou antrópicos (AS/PEG, 2003a).

Os metais pesados encontram-se presentes em maiores ou menores concentrações em todas as matrizes geológicas. Com o desenvolvimento humano, tem sido observado um incremento nos teores de metais de algumas destas matrizes. O possível impacto sobre a saúde humana e biota do lançamento destes metais para o ambiente depende, basicamente, de sua forma de lançamento, seu comportamento neste ambiente e da capacidade de incorporação destes aos organismos vivos (PENNA-FRANCA *et al.*, 1984).

Os metais-traço são poluentes conservativos, isto é, poluentes que dificilmente sofrem degradação por ataque bacteriano. Esses contaminantes podem ter origem por meio de processos naturais, tais como vulcanismo terrestre e depósitos naturais, ou antropogênicos, como efluentes domésticos e industriais, emissões atmosféricas e processos industriais (SALOMONS & FORSTNER, 1984 *apud* SILVA, 2010).

Alguns metais, como por exemplo, Fe, Cu e Zn, possuem importância na fisiologia de organismos vivos, atuando como constituintes de pigmentos respiratórios, formação de metaloproteínas ou ativadores de complexos enzimáticos, dentre outras atuações (PHILLIPS, 1991 *apud* SILVA, 2010). Por outro lado, existem outros que não são requeridos em nenhuma atividade metabólica e que, por isso, são tóxicos para as células mesmo em pequenas concentrações, como por exemplo, Hg, Pb, Cd, Cr e Ni (CLARCK, 1997 *apud* SILVA, 2010).

As amostras de sedimento de fundo são constituídas por minerais ou fragmentos de rochas resistentes ao processo de intemperismo, detritos produzidos por atividades biológicas e material

mineral fino como argilo-minerais e óxidos hidratados de Fe e Mn, somando-se a isso eventuais detritos decorrentes de atividades industriais. A concentração total de um elemento químico no sedimento de fundo indica sua presença independente da forma em que se apresenta, seja a estrutura de um mineral natural ou participando na composição de aportes derivados das atividades antrópicas.

Dentre os 21 elementos analisados nas réplicas de sedimento deste PCA, 10 não ocorreram em concentrações quantificáveis em nenhuma das estações e réplicas, sendo eles: Ag, As, Be, Cd, Hg, Mo, Sb, Se, Sn e Tl. Os resultados de Ag (LQ médio de 3,21 mg/kg), Be (LQ médio de 2,14 mg/kg), Mo (LQ médio de 4,28 mg/kg), Sb (LQ médio de 2,14 mg/kg), Se (LQ médio de 3,21 mg/kg), Sn (LQ médio de 3,21 mg/kg) e Tl (LQ médio de 4,28 mg/kg) são os primeiros registros para essa região, considerando as referências selecionadas.

Arsênio, não quantificado neste PCA (LQ médio de 3,21 mg/kg), foi registrado no PCR-BC (isóbata > 1000 m) no conjunto completo de estações e períodos amostrados (inverno e verão) entre 3,08 e 23,1 mg/kg, com valores acima do TEL de 7,24 mg/kg (BUCHMAN, 2008; CCME, 2015).

Cádmio, também não quantificado (LQ médio de 0,38 mg/kg), foi registrado, dentre os resultados selecionados para comparação, apenas pelo Projeto MAPEM no entorno do Poço Eagle, nas três campanhas avaliadas, em concentração máxima de 0,47 mg/kg, sendo o TEL de 0,68 mg/kg (BUCHMAN, 2008) e 0,70 mg/kg (CCME, 2015).

Outro elemento não quantificado, o Mercúrio (LQ médio de 0,21 mg/kg), é uma das formas mais utilizadas para se avaliar o grau de contaminação de um sistema aquático (MARINS *et al.*, 1998 *apud* SIQUEIRA & APRILE, 2012), decorrente da sua alta toxicidade e capacidade de biomagnificação que possibilita sua biodisponibilidade na cadeia alimentar. BUCHMAN (2008) considera como TEL concentrações acima de 0,13 mg/kg e 0,7 mg/kg para PEL. A não ser pelo Projeto 3 Bacias na Bacia de Santos, em todos os demais registros na literatura com detecção de Hg no sedimento, as concentrações foram inferiores ao TEL, variando entre a não detecção e 0,0516 mg/kg. A concentração máxima registrada para o Projeto 3 Bacias foi superior a 6x a concentração considerada como PEL, com uma possível contaminação ambiental oriunda de despejos industriais.

O elemento chumbo (LQ médio de 4,28 mg/kg) foi quantificado apenas na estação 4, que faz parte tanto da **Malha de Caracterização Ambiental** quanto da **Malha de Possível Passivo** no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS, com concentração próxima ao LQ, foi registrado em outras 5 referências: Projeto MAPEM, Projeto 3 Bacias, PCA Águas Profundas da Bacia de Santos, PCR-BC e PCA do Bloco Sde GM. Dentre elas, apenas o Projeto 3 Bacias Santos e o Projeto MAPEM apresentaram resultados acima do TEL (30,24 mg/kg conforme BUCHMAN, 2008; e 30,20 mg/kg conforme CCME, 2015).

Para o níquel (LQ médio de 4,31 mg/kg), quantificado em apenas duas amostras no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS (estações 3 e 7, a 100 m e a 250 m da cabeça do poço, respectivamente), as concentrações obtidas foram muito baixas (máximo de 5,1382 mg/kg) comparando-se às demais referências selecionadas para comparação neste PCA. Estes registros (**Figura 38**; extraída do **Anexo XV_C**) caracterizam claramente que os sedimentos da região apresentam concentrações de níquel

no sedimento (inclusive mediana do Projeto Águas Profundas Baía de Santos) acima do TEL= 15,9 mg/kg e até mesmo acima do TEL= 42,8 mg/kg definidos pela NOAA (BUCHMAN, 2008).

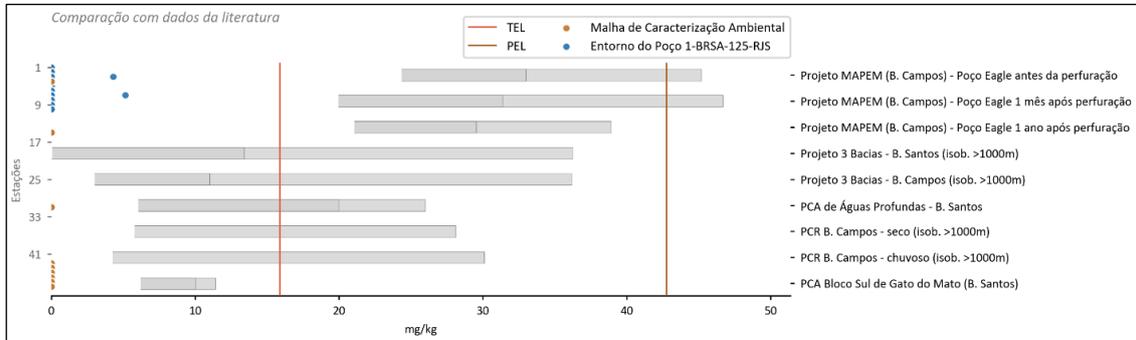


Figura 38: Comparação dos resultados por estação e réplica de níquel (Ni) total no sedimento na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

Quantificado exclusivamente nas estações do entorno do poço (**Malha de Possível Passivo**), o cromo (LQ médio de 9,62 mg/kg), quando quantificado, variou entre valores medianos de 11,12 a 18,88 mg/kg (considerando as três réplicas de cada estação). Esses registros são condizentes com os limites inferiores das variações de concentração de cromo no sedimento registradas por outros esforços na região (**Figura 39**; extraída do **Anexo XV_C**), que apresentam registros, inclusive, ultrapassando o TEL (52,3 mg/kg) definido por BUCHMAN (2008) e também por CCME (2015).

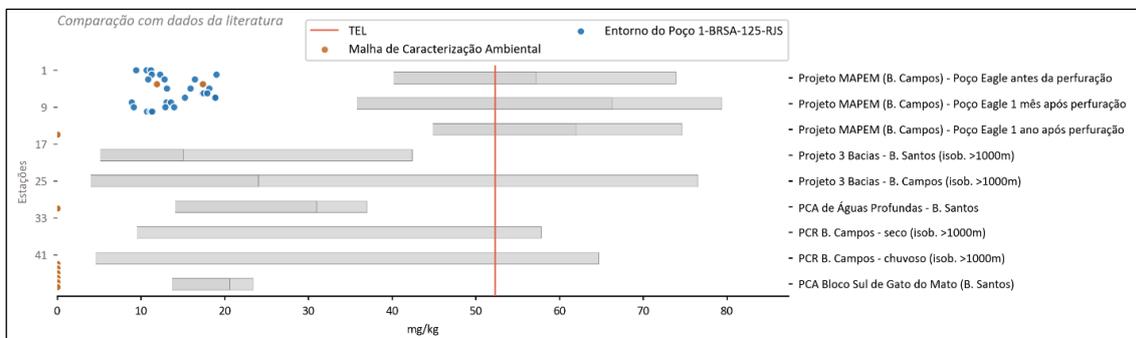


Figura 39: Comparação dos resultados por estação e réplica de cromo (Cr) total no sedimento na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

O Cobre foi quantificado em todas as amostras de sedimento analisadas neste PCA. Ocorreu em concentrações acima do TEL (18,7 mg/kg; BUCHMAN, 2008; CCME, 2015) em 11 das 30 amostras obtidas na **Malha de Possível Passivo**, em concentrações variando entre 20,20 e 23,71 mg/kg, e duas amostras do restante de **Malha de Caracterização Ambiental**, em concentrações muito próximas ao TEL. Estes resultados são todos condizentes com o esperado para a região considerando as referências selecionadas (**Tabela 8**) para comparação (**Figura 40**; extraída do **Anexo XV_C**), embora os registros de concentrações mais elevadas no entorno do poço sugiram um passivo deixado pelas atividades exploratórias.

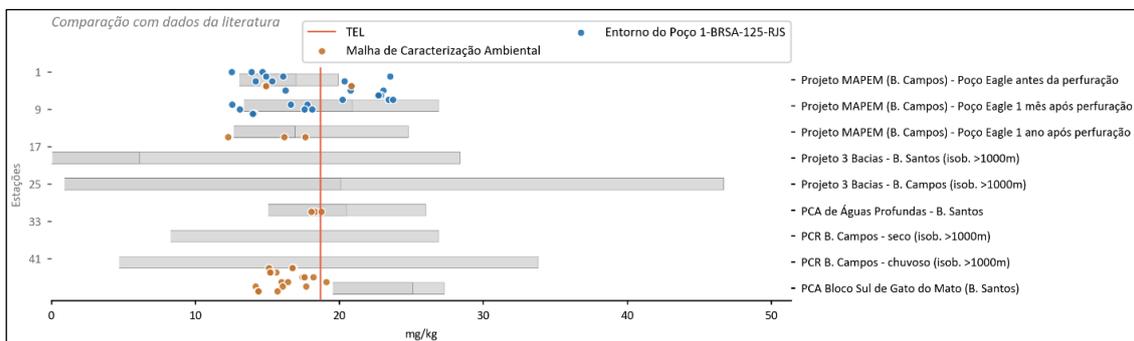


Figura 40: Comparação dos resultados, por estação e réplica, de cobre (Cu) total no sedimento na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

Zinco só não foi quantificado (LQ médio de 10,69 mg/kg) em uma amostra de sedimento dentre as 54 analisadas, na estação 15, correspondente à locação MAROLO. Nenhum dos resultados obtidos ultrapassou o TEL definido para Zn no sedimento (124 mg/kg; BUCHMAN, 2008; CCME, 2015), assim como ocorreu com a grande maioria dos resultados das referências selecionadas para comparação.

A variação espacial das concentrações de bário no sedimento analisado do Bloco C-M-541 caracterizou, claramente, três diferentes áreas: o entorno próximo do poço 1-BRSA-125-RJS (100 m de distância da cabeça do poço, estações 1 a 5), as estações 6 a 10, localizadas a 250 m de distância do poço (essas duas primeiras áreas correspondentes à **Malha de Possível Passivo**) e as demais estações de **Malha de Caracterização Ambiental** (15, 31, 43 a 48), respectivamente com (mediana, mínimo e máximo): 282,39 (106,01- 2211,58) mg/kg, 89,56 (46,01 – 130,64) mg/kg e 54,43 (36,81 – 144,93) mg/kg, conforme ilustra a **Figura 41** (extraída do **Anexo XV_C**).

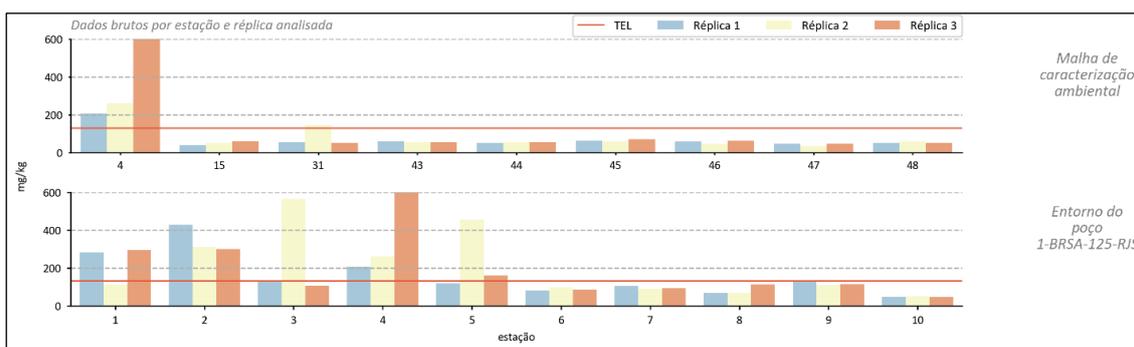


Figura 41: Resultados, por estação e réplica, de bário (Ba) no sedimento, na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541. O eixo y foi fixado em um máximo de 600 mg/kg para que fosse possível visualizar as diferenças entre as estações. O resultado da réplica 3 da estação 4 foi de 2211,58 mg/kg de bário no sedimento.

A abundância média de bário na crosta terrestre é de 500 mg/kg (=500.000 µg/kg). O mineral mais importante do Ba, a barita, associa-se frequentemente aos depósitos de minerais metálicos. Nas rochas sedimentares, as concentrações de Ba refletem a abundância dos feldspatos potássicos, dos minerais argilosos e dos óxidos hidratados de Fe e Mn (que podem adsorver este elemento). O teor

médio de Ba nas rochas sedimentares é de 538 mg/kg, com os valores mais baixos nas carbonatadas (em torno de 90 mg/kg) e os maiores nos arcósios e folhelhos (> 800 mg/kg). (URE & BARROW, 1982). Concentrações de 130,1 mg/kg de bário no sedimento são consideradas como TEL (BUCHMAN, 2008), não havendo valor de referência para PEL. O critério canadense não cita limites norteadores para este metal. Existem divergências quanto aos valores de *background* a serem considerados para o bário (entre 0,7 mg/kg e 500 mg/kg) no sedimento. Isso, somado ao fato de a agência canadense, conhecida por ser muito criteriosa, não definir concentrações norteadoras para este metal no sedimento, faz com que não devamos nos orientar, apenas, pelas concentrações mais restritivas de BUCHMAN (2008), critério norte americano.

No entanto, considerando a distribuição espacial das concentrações de bário no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS (**Malha de Possível Passivo**), que variou entre 106,00 e 2211,58 mg/kg nas estações 1 a 5, localizadas a 100 m do poço, e entre 46,01 e 130,64 mg/kg nas estações 6 a 10, localizadas a 250 m do poço, constata-se uma variação significativa, que corresponde a um passivo que permaneceu acumulado desde a fase de perfuração sem *riser* quando deve ter sido utilizada barita, ocorrida em 2002. Registro similar foi observado no Projeto MAPEM, relacionado à perfuração do poço Eagle, como pode ser visto na **Figura 42** (extraída do **Anexo XV_C**). As concentrações de bário no sedimento encontradas na **Malha de Caracterização Ambiental** (à exceção da estação 4), variando entre 36,81 e 144,93 mg/kg, mesmo com um resultado (144,93 mg/kg) ultrapassando o TEL (BUCHMAN, 2008), parecem representar o background da área do Bloco C-M-541.

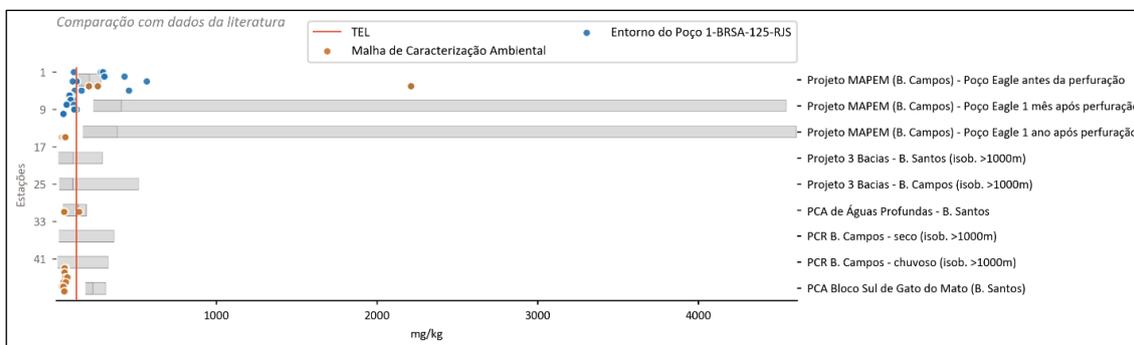


Figura 42: Comparação dos resultados por estação e réplica de bário (Ba) total no sedimento na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

As concentrações de vanádio (entre 11,35 e 33,02 mg/kg) e cobalto (entre 3,47 a 7,85 mg/kg) encontradas no Bloco C-M-541 são condizentes com o esperado para a região, considerando os resultados das referências selecionadas para comparação.

O ferro é o elemento telúrico mais abundante, compondo 30% da massa total do planeta. Constitui 80% do núcleo e é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre depois do oxigênio, silício e alumínio (SIENKO & PLANE, 1977). Ao lado do alumínio, é o mais importante elemento metálico no ambiente terrestre (O'NEIL, 1994). Uma pequena parte ocorre no estado livre (sendo de origem meteorítica), mas a maior parte aparece combinada com oxigênio, silício ou enxofre. Quase todas as rochas e solos contêm traços de ferro (HSDB, 2000).

O manganês encontra-se, muitas vezes, incorporado em certos minerais, nas posições de outros elementos de mesma carga e de tamanho semelhante, como o ferro (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984 *apud* LIMA *et al.*, 2006). Segundo PATCHINEELAM (1999 *apud* LIMA *et al.*, 2006), os oxihidróxidos de ferro e manganês são carreadores importantes de numerosos elementos-traço, uma vez que seus ciclos podem influenciar decisivamente a química da sedimentação marinha durante os processos diagenéticos.

Neste PCA, as concentrações de alumínio no sedimento variaram de 4902 a 11414 mg/kg, de ferro de 6760,39 a 13785,23 mg/kg e de manganês de 165,56 a 367,97 mg/kg, concentrações estas inferiores, de uma maneira geral, às referências selecionadas para comparação (**Tabela 8**).

6.2.3.4 Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs)

A ampla utilização do petróleo ao longo dos anos disseminou os hidrocarbonetos no meio ambiente. Atualmente, a presença de hidrocarbonetos é muito comum no meio ambiente oceânico. Suas fontes são muito diversas e de proporções variáveis. A análise detalhada da distribuição dos hidrocarbonetos, em amostras coletadas nas águas e nos sedimentos dos oceanos, permite traçar sua origem e diferenciar os hidrocarbonetos autóctones (ex.: derivados de algas, zooplâncton ou bactérias) dos alóctones, que são provenientes de detritos naturais ou fósseis - produtos de exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição. A avaliação da contaminação ambiental por hidrocarbonetos de petróleo através dos sedimentos é de especial interesse pois, sendo este o compartimento de destino final de contaminantes, produz um quadro integrado dos eventos que ocorrem na coluna d'água (BOULOUBASSI & SALIOT, 1993). Contribui para isto a relativa persistência à decomposição bacteriana de alguns compostos e o caráter lipofílico dos hidrocarbonetos, que favorece a associação ao material particulado em suspensão e à matéria orgânica, levando ao aumento na sua taxa de deposição nos sedimentos (READMAN *et al.*, 1986). Através das análises de hidrocarbonetos no sedimento é possível avaliar o grau de preservação ambiental, estabelecer o background regional na bacia, como também gerar novos conhecimentos e estabelecer adequados critérios com relação à origem e distribuição desses compostos na área estudada (origem singenética *versus* antrópica).

Não existem limites estabelecidos pelas agências internacionais para os índices de HTP no sedimento, mas, segundo VOLKMAN *et al.* (1992), concentrações de HTP inferiores a 50.000 µg/kg (ppb) são consideradas oriundas de sedimentos não poluídos, aqueles sedimentos cujas concentrações de HTP são superiores a 100.000 µg/kg (ppb) são considerados como de origem petrogênica (READMAN *et al.*, 2002) e os acima de 300.000 µg/kg (ppb) são considerados como contaminados (ZHENG *et al.*, 2000).

A variação espacial dos HTP no sedimento analisado do Bloco C-M-541 indicou, claramente, uma variação até 15.000 µg/kg na **Malha de Caracterização Ambiental** completa (incluindo a estação 4 no entorno do poço) e a 100 m de distância da cabeça do Poço 1-BRSA-125-RJS (onde se localiza a estação 4), áreas consideradas como não poluídas (segundo VOLKMAN *et al.*, 1992), e com um máximo pouco superior a 85.000 µg/kg a 250 m de distância do poço (estações 6, 7, 8, 9 e 10) na **Malha de Possível Passivo**, conforme ilustra a **Figura 43** (extraída do **Anexo XV_C**).

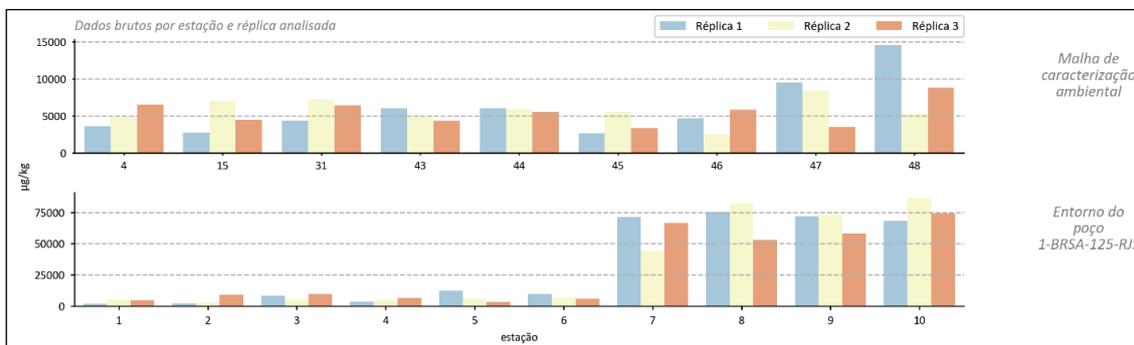


Figura 43: Resultados por estação e réplica de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) no sedimento, na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541.

Os resultados de HTPs na **Malha de Caracterização Ambiental** e a 100 m do Poço 1-BRSA-125-RJS, incluindo a estação 6 (a 250 m da cabeça do poço), foram todos correspondentes aos valores mínimos e medianos registrados para a região pelas referências selecionadas para comparação (Figura 44; extraída do Anexo XV_C). Enquanto isso, a maioria dos resultados obtidos na **Malha de Possível Passivo** a 250m de distância do poço foram condizentes com as concentrações mais elevadas registradas pelo Projeto 3 Bacias nas bacias de Santos e de Campos e PCR-BC nos períodos seco e chuvoso (lembrando que dessas três referências foram considerados resultados obtidos em isóbatas ≥ 1000 m).

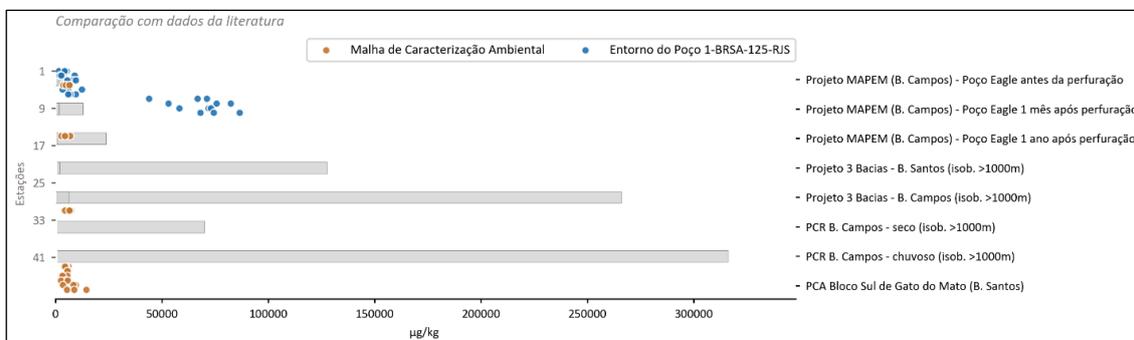


Figura 44: Comparação dos resultados por estação e réplica de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) no sedimento, na Malha de Caracterização Ambiental e na Malha de Possível Passivo (no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS), no Bloco C-M-541, com dados da literatura, selecionados para comparação neste projeto.

Considerando os resultados de diferentes frações componentes do HTP por grupo de amostras (Tabela 18), observa-se que n-alcenos estiveram presentes em todos os grupos de amostras, mais notadamente nas estações a 250 m do poço 1-BRSA-125-RJS; pristano foi detectado apenas nessas estações a 250 m do poço e o fitano foi detectado apenas nas estações da **Malha de Caracterização Ambiental**. O total de alcenos variou de maneira similar aos n-alcenos (como esperado), considerando os três diferentes grupos de estações, assim como as concentrações de hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (também como esperado). Mistura Complexa Não Resolvida

(MCNR), conjunto de substâncias que não podem ser separadas pelas técnicas cromatográficas, foi detectada apenas nas amostras da **Malha de Caracterização Ambiental**.

Tabela 18: Valores de mediana, mínimo e máximo ($\mu\text{g}/\text{kg}$) para os diferentes grupos de estações das malhas amostrais avaliadas no Bloco C-M-541.

parâmetros	Malha de Possível Passivo no Entorno do Poço		Malha de Caracterização Ambiental
	100 m do poço estações 1 a 5	250 m do poço estações 6-10	
total de n-alcenos	270 (< 10 - 1030)	5430 (240 - 8060)	2270 (50 - 3200)
pristano	< 10	80 (<10 - 100)	< 10
fitano	< 10	< 10	210 (<10 - 250)
total de alcanos (inclui pristano e fitano)	270 (< 10 - 1440)	6960 (230 - 9590)	2490 (50 - 3400)
HRP	5220 (1580 - 12400)	68200 (5880 - 86600)	2860 (1710 - 6530)
MCNR	< 300	< 300	2100 (< 300 - 8600)
HTP	5220 (1580 - 12400)	68200 (5880 - 86600)	5540 (2580 - 14550)

Pristano e fitano constituem os principais alcanos ramificados presentes no petróleo (VOLKMAN *et al.*, 1992), onde são originados aproximadamente na mesma proporção, diferentemente dos de origem biogênica (BOULOUBASSI, 1990). Desta forma, quanto maior a razão pristano/fitano, maior a contribuição biogênica. Segundo STEINHAEUER & BOEHM (1992), em sedimentos onde são encontrados os hidrocarbonetos de petróleo esta razão é próximo de 1,0 a 1,5 e quando a razão está entre 3 e 5 observa-se a contribuição biogênica. Para a avaliação da biodegradação do óleo no ambiente, utilizam-se as razões pristano/n-C17 e fitano/n-C18. Isso porque os alcanos de cadeias normais são preferivelmente biodegradados por microorganismos. Valores altos destas razões (superior a 2) indicam a presença de resíduo de óleo já biodegradado. Valores baixos de pristano/n-C17 e fitano/n-C18 supõem ocorrência de óleo recentemente introduzido no ambiente (COLOMBO *et al.*, 1989). Neste PCA, as razões citadas não puderam ser calculadas devidos às muitas não detecções entre os alcanos ($\text{LD} < 10 \mu\text{g}/\text{kg}$).

A razão MCNR/HRP (relação entre a quantidade de MCNR e o HRP), cujos valores maiores do que 4 são considerados indícios de contaminação antropogênica segundo READMAN *et al.* (2002), devido à não detecção de MCNR em todas as amostras do entorno do poço 1-BRSA-125-RJS, só pode ser calculada em algumas amostras da **Malha de Caracterização Ambiental**, variando entre 0 e 1,74, caracterizando esta área como não contaminada antropogenicamente, corroborando a classificação como sedimentos não poluídos segundo VOLKMAN *et al.* (1992), com concentrações de HTP inferiores a $50.000 \mu\text{g}/\text{kg}$.

6.2.3.5 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Outros

Na fração aromática, encontram-se os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), dos quais fazem parte 16 compostos parentais, formados por 2 a 6 anéis benzênicos condensados (16 HPAs), classificados como “Poluentes Prioritários” pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1985 *apud* WAGENER *et al.*, 2017). Entre outras substâncias, encontram-se também

hidrocarbonetos policíclicos aromáticos com ramificações de grupamentos alquila, dentre os quais as cinco séries alquiladas de naftalenos, fluorenos, fenantrenos, dibenzotiofenos e crisenos, que são utilizados como marcadores do petróleo na pesquisa forense ambiental (WANG *et al.*, 1999 *apud* WAGENER *et al.*, 2017b). Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de 5-6 anéis são, principalmente, derivados da combustão incompleta da matéria orgânica e, portanto, se constituem como bons indicadores destas fontes, sejam os materiais orgânicos recentes ou fósseis (DACHS *et al.*, 1999 *apud* WAGENER *et al.*, 2017b; BOULOUBASSI *et al.*, 2006 *apud* WAGENER *et al.*, 2017b).

Muitos dos HPAs são comprovadamente carcinogênicos e mutagênicos. Como consequência, a introdução crônica ou pontual dos HPAs no ambiente aquático pode afetar a qualidade da água e do ecossistema. Os compostos que apresentam de 4 a 9 anéis aromáticos estão entre os mais nocivos à biota. Dentre eles destaca-se o benzo(a)pireno como um dos mais letais (GRIMMER *et al.*, 1981).

Apesar da predominante origem pirolítica, os HPAs também são formados por fontes naturais. Nesse caso, a observação desses compostos, considerados muitas vezes de origem exclusivamente antrópica, em microalgas, bactérias e plantas, são exemplos clássicos de sua origem biogênica. Por exemplo, a bactéria *Bacillus badius* sintetiza benzo(a)pireno e perileno (NIAUSSAT *et al.*, 1970), enquanto a alga *Chlorella vulgaris* produz diferentes tipos de HPAs, como o fluoranteno, benzo(ghi)perileno, 3,4-benzopireno, entre outros (BORNEFF *et al.*, 1968).

Os HPAs são encontrados nos ambientes aquáticos mais remotos, aonde chegam principalmente através do transporte e da deposição atmosférica adsorvidos em partículas que atravessam os oceanos (SIMONEIT & ELIAS, 2001), assim como provenientes do intenso tráfego marítimo e seus consequentes vazamentos de óleo. Essas fontes contribuem para a elevação dos níveis de background de HPAs observados nos oceanos. Um bom exemplo desse processo são os níveis de HPAs observados nos sedimentos de áreas remotas como a Antártica, onde o background local nos sedimentos atinge até 195 µg/Kg (VENKATESAN & KAPLAN, 1987). São tão abundantes que já foram encontrados até em fontes extraterrestres, provenientes de Marte (MCKAY *et al.*, 1996).

Resumidamente, os níveis de background observados nos oceanos são provenientes do transporte dos HPAs via atmosfera, adsorvidos em partículas ou aerossóis, do material particulado descarregado pelos rios, de processos geológicos marinhos ou fontes naturais ou oriundos da exploração de óleo e atividades correlatas (p.ex. transporte de óleo). Os HPAs de origem fluvial se acumulam preferencialmente nos deltas ou estuários e apenas uma fração atinge os sedimentos marinhos mais profundos (WAKEHAM *et al.*, 1980). No entanto, os demais processos contribuem em maior proporção para a elevação dos níveis de background observados em áreas abertas.

Pelas razões descritas acima, os estudos ambientais, sejam eles de caracterização ou de monitoramento do impacto ambiental, devem considerar as diferentes fontes dos HPAs, seus mecanismos de transporte e as limitações analíticas relacionadas à análise desses compostos. Segundo o Projeto 3 Bacias, por serem encontrados em quase todos os sedimentos e apresentarem origens natural e antrópica, os HPAs devem ser avaliados com cuidado e é imprescindível sua avaliação em conjunto com outras análises físico-químicas.

Neste PCA as análises realizadas não foram capazes de quantificar (LQ médio de 14,01 µg/kg) HPAs prioritários (somatório dos 16 compostos considerados prioritários: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, benzo[ghi]perileno, indeno[123-cd]pireno e dibenzo[ah]antraceno) e homólogos alquilados, ou mesmo compostos orgânicos semi-voláteis (LQ médio de 11,77 µg/kg), no sedimento superficial (0 a 2 cm). Conforme justificado e com base nas referências selecionadas para comparação, era esperado encontrar HPAs no sedimento do Bloco C-M-541, porém isso não ocorreu.

6.2.3.6 Biomarcadores

6.2.3.6.1 Whole Oil

A análise detalhada da distribuição dos hidrocarbonetos, em amostras coletadas nas águas e nos sedimentos dos oceanos permite traçar sua origem e diferenciar os hidrocarbonetos autóctones (ex. derivados de algas, zooplâncton ou bactérias) dos alóctones, que são provenientes de detritos naturais ou fósseis - produtos de exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição. Nesse último grupo, as análises de biomarcadores representam uma ferramenta vital no conhecimento da natureza e fonte dos hidrocarbonetos.

Os biomarcadores são definidos como alterações biológicas e geoquímicas de moléculas naturais e sua conversão em compostos desfuncionalizados e termodinamicamente mais estáveis. Por essa razão, são comumente conhecidos como moléculas fósseis ou geolipídeos. Devido à sua estabilidade e especificidade, a distribuição dos biomarcadores em amostras geoquímicas pode ser considerada como uma impressão digital do ambiente estudado, funcionando como ferramenta indispensável para programas de monitoramento, pois apresentam grande susceptibilidade, boa sensibilidade, relativa especificidade e relativo baixo custo de análise (BAINY, 1993). A análise desses parâmetros possibilita: (1) uma detecção precoce da existência de contaminação, (2) identificação de produto e potenciais responsáveis e/ou passivos, (3) avaliar a magnitude da contaminação e, o que é fundamental, (4) a determinação do grau de severidade dos efeitos causados pelos compostos xenobióticos (STEGEMAN *et al.*, 1992). Apesar de sua natureza estável, os biomarcadores são sensíveis aos agentes estressores ajudando a identificar os mecanismos básicos da relação causal entre o estressor e seus efeitos.

Além das fontes alóctones, a composição dos biomarcadores sofre a influência do aporte de matéria orgânica (marinha ou continental) e dos processos geoquímicos (diagênese e catagênese), acrescidos de processos de biodegradação. Ao fim de todo o processo, as moléculas orgânicas naturais convertem-se em moléculas termodinamicamente mais estáveis, geralmente hidrocarbonetos policíclicos contendo entre 20 e 40 átomos de carbono. Nesse estágio, não se observa uma influência significativa do intemperismo físico/químico nas moléculas.

A maior fonte de hidrocarbonetos no ecossistema marinho é antrópica, envolvendo a contribuição de efluentes urbanos e industriais, transporte e acidentes marítimos. Em geral, as fontes naturais contribuem em menor proporção com hidrocarbonetos. Mas, em áreas abertas, como os oceanos,

onde a influência antrópica é mínima, as fontes naturais têm importância primordial e são as principais responsáveis pelos níveis de *background* observados. Apesar das diminutas concentrações, o conhecimento dos níveis de *background* é muito importante porque permite avaliar e monitorar os impactos que as atividades antrópicas exercem no meio ambiente. Nesse sentido perfis geoquímicos dos biomarcadores em sedimentos marinhos representam uma ferramenta fundamental em avaliações ambientais. Biomarcadores apresentando perfil cromatográfico maturo evidenciam fonte a partir de detritos fósseis, como petróleo e derivados, cuja origem pode ser antrópica (p. ex. *oil spill*) ou natural (p.ex. *oil seeps*). Por outro lado, detritos singenéticos também contribuem para o perfil dos biomarcadores. Nesse caso, há uma contribuição de compostos naturais imaturos com estruturas químicas similares, porém com funcionalidades distintas dos seus pares maduros. Essa ocorrência se expressa na digital geoquímica do ambiente estudado e representa uma das principais dificuldades da análise e interpretação desses compostos. Além disso, é ainda acrescida da dificuldade técnica de detectá-los, pois normalmente estão presentes em níveis de traço (ppt; ng/kg) nos sedimentos e muito abaixo dos níveis comumente observados nas análises de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), que são detectados em concentrações que variam de ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$) a até ppm (mg/kg) dependendo do ambiente.

A análise do tipo *Whole Oil* é uma análise qualitativa comumente usada em análises geoquímicas na prospecção e acidentes envolvendo petróleo e derivados porque permite uma classificação dos hidrocarbonetos avaliados. Ela permite, por exemplo, avaliar o grau de biodegradação do hidrocarboneto, classificar sua natureza (destilado, condensado, óleo pesado, etc) entre outros atributos. Apresenta semelhanças com a análise de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) frequentemente usada em avaliações ambientais com o objetivo de quantificar os hidrocarbonetos e avaliar seu impacto através de comparações com valores de referência e/ou orientadores.

Apesar da semelhança analítica, as análises de HTP e *Whole Oil* apresentam aplicações distintas. É natural se tentar uma comparação direta entre essas duas análises, mas essa relação não é trivial, uma vez que a análise de HTP é quantitativa e, portanto, requer um rigor metodológico que garanta as mesmas condições analíticas para todas as amostras analisadas, independentemente das concentrações dosadas ou região avaliada. Em outras palavras, o método é desenhado de maneira a permitir a análise de hidrocarbonetos em diferentes níveis de concentração (p. ex. ppb, ppm) usando o mesmo método. Por outro lado, por ser qualitativa, a análise de *Whole Oil* utiliza técnicas de identificação, que possibilitam caracterizar a natureza do hidrocarboneto e do produto sem se preocupar com aspectos quantitativos. Por essa razão, a técnica é amplamente usada na exploração de petróleo e em estudos de *oil spill*.

Com o objetivo de ilustrar os métodos usados nas avaliações geoquímicas, a **Figura 45** mostra uma análise cromatográfica do tipo *Whole Oil* do sedimento da estação 8 (réplica 1 – estação localizada a 250 m da cabeça do poço 1-BRSA-125-RJS, perfurado em 2002), visualizada, primeiramente, sem amplificação de sinal (**Figura 45a**) e, posteriormente, com amplificação de sinal (**Figura 45b**), a fim de possibilitar a observação do perfil de hidrocarbonetos da amostra. Como pode ser observado na **Figura 45b**, uma amplificação permite a visualização de diversos picos detectados, mas não visualizados e até mesmo negligenciados quando não é aplicada uma amplificação (**Figura 45a**). É

importante ressaltar que esse é um artifício visual e não envolve reprocessamento do dado, no entanto requer um rigor analítico adequado que possibilite uma amplificação da linha de base sem comprometer a qualidade do traço.

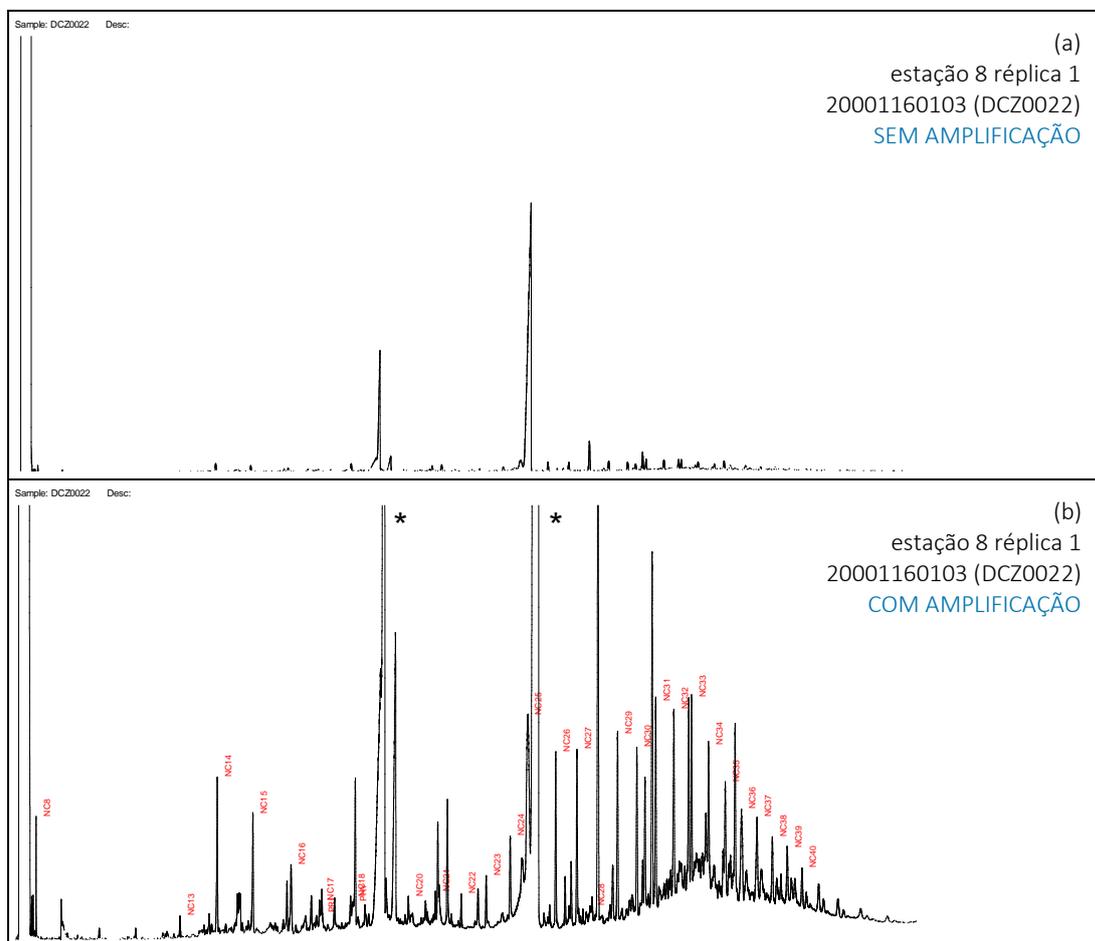


Figura 45: Comparação dos perfis de *Whole Oil* da amostra de sedimento da Estação 8 (réplica 1, DCZ0022 – estação localizada a 250 m da cabeça do poço 1-BRSA-125-RJS) com e sem amplificação de sinal com o objetivo de possibilitar a visualização do perfil dos compostos na amostra. (*) – Picos de compostos interferentes ou contaminantes.

Após amplificação é possível observar que o perfil apresentado na **Figura 45b** contém uma mistura de compostos de origens distintas: (1) hidrocarbonetos leves na faixa entre n-C12 e n-C17 e máximo em n-C14 (perfil típico de fluido de perfuração), (2) presença de pelo menos dois compostos polares com alta abundância (interferentes naturais ou contaminação) e (3) hidrocarbonetos pesados na faixa entre n-C18 e n-C40 sem preferência dos homólogos pares/ímpares (perfil petrogênico).

Em toda a **Malha de Possível Passivo** (estações 1 a 10), as análises de *Whole Oil* mostraram perfis similares ao observado na estação 8 réplica 1 (**Figura 45**). Os três grupos de compostos são observados em todas as estações e suas réplicas (**Figura 46** e **Figura 47**) assim como nas demais amostras analisadas. No entanto, observam-se variações nas proporções relativas entre os grupos.

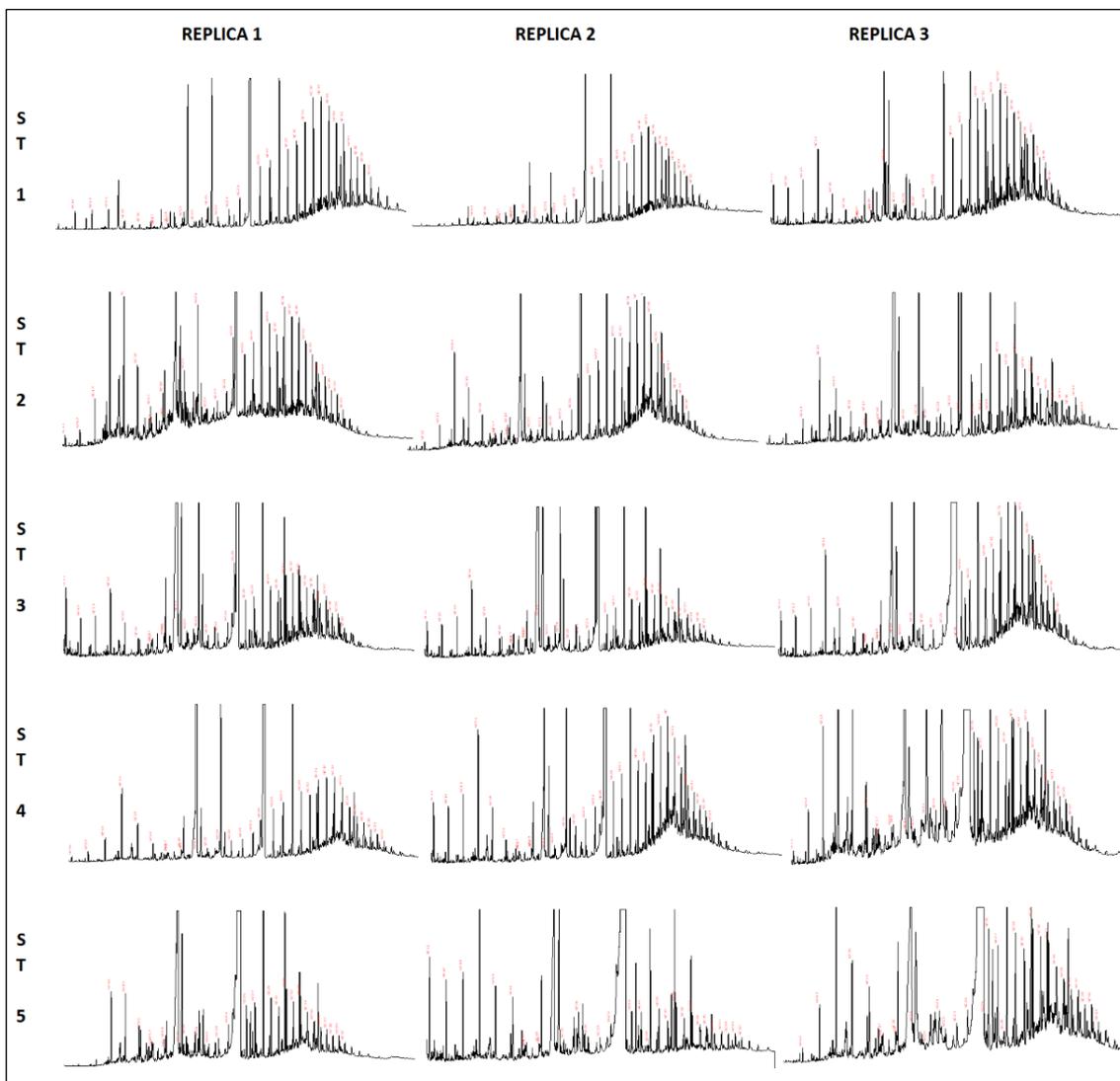


Figura 46: Comparação dos cromatogramas das análises de *Whole Oil* realizadas nas estações de 1 a 5 (a 100 m da cabeça do poço 1-BRSA-125-RJS) e suas réplicas.

Alcanos característicos de fluido de perfuração foram detectados em praticamente todas as amostras amostradas a 100 m da cabeça do poço 1-BRSA-125-RJS. Sua contribuição pode ser constatada nos perfis cromatográficos pela presença de n-alcenos variando de n-C11 a até n-C19 e máximo no composto n-C14.

A **Figura 48** ilustra um comparativo entre os perfis de HTP com presença de fluidos de perfuração em sedimentos do projeto MAPEM e o perfil observado na estação 6, réplica 2 deste PCA. Na **Figura 48a** é apresentado o perfil de HTP do fluido de perfuração numa amostra coletada num *trap* de sedimento instalado próximo ao ponto de descarte de material durante a perfuração analisada durante o MAPEM. A **Figura 48b** mostra o perfil de uma amostra de material coletado distante do ponto de descarte. Nela se observa uma mistura de compostos característicos do fluido e hidrocarbonetos pesados de outras fontes. Como exemplo dos perfis observados na área de estudo

(Bloco C-M-541), a **Figura 48c** apresenta o perfil cromatográfico da estação 6 (réplica 2) deste PCA, com presença de n-alcenos característicos de fluido de perfuração com máximo em n-C14 e hidrocarbonetos mais pesados.

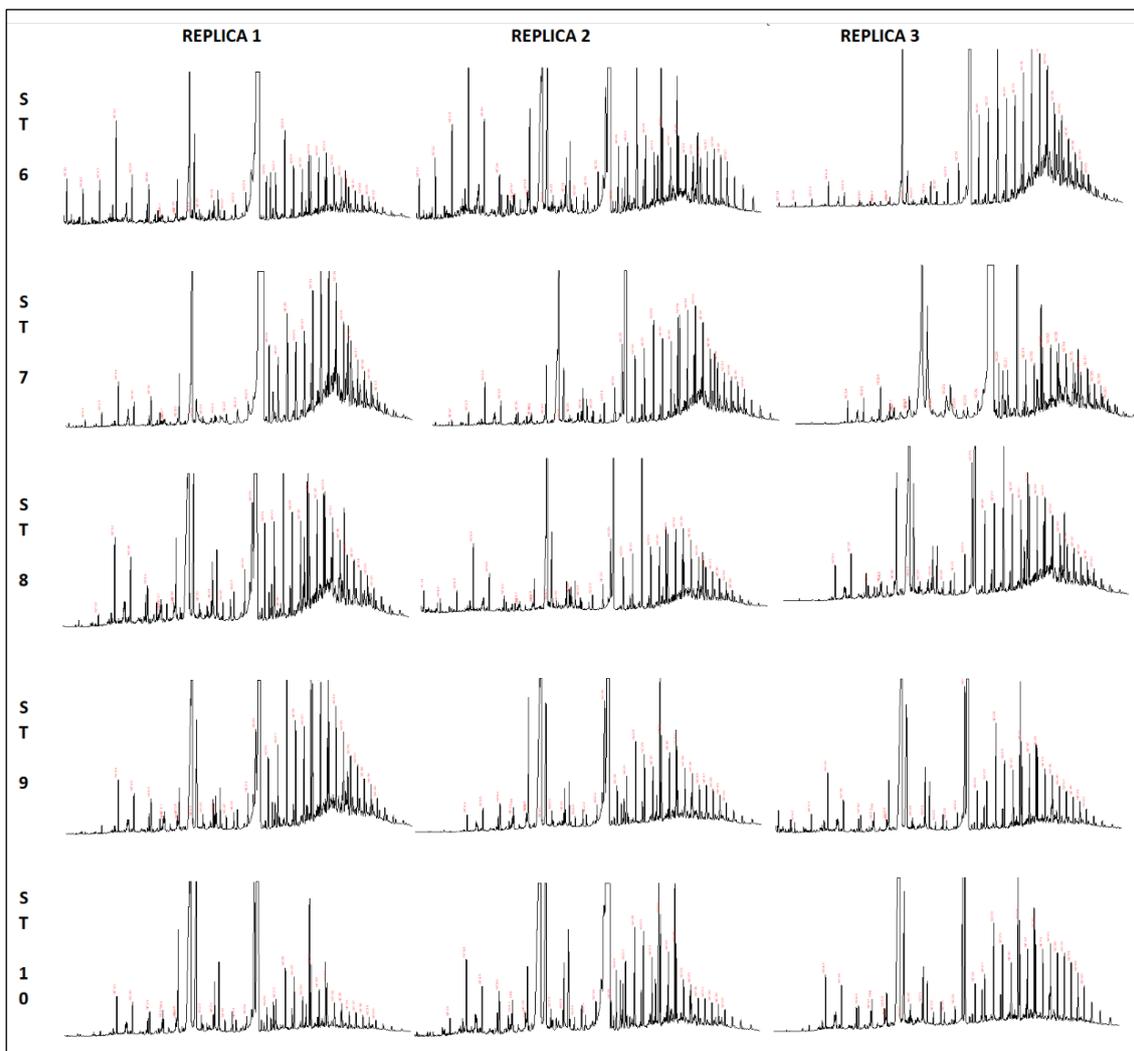


Figura 47: Comparação dos cromatogramas das análises de *Whole Oil* realizadas nas estações de 6 a 10 (a 250 m da cabeça do poço 1-BRSA-125-RJS) e suas réplicas.

O aporte de fluido de perfuração é mais abundante nas amostras do possível passivo. No restante da **Malha de Caracterização Ambiental** (estações 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48), os indícios de aportes de fluidos de perfuração (entre n-C13 e n-C17 e máximo em n-C14) são menores, como mostram as abundâncias relativas dos compostos de menor peso molecular em relação aos hidrocarbonetos mais pesados (acima de n-C19), sem preferência dos homólogos pares/ímpares (perfil petrogênico) e MCNR (índice de biodegradação). Na **Figura 49:**, se compararmos os perfis das três réplicas da estação 4 (localizada a 100 m do Poço 1-BRSA-125-RJS, perfurado em 2002) com todos os demais, essa diferenciação fica bastante clara.

É importante ressaltar que apesar de sua detecção, esses compostos típicos de fluídos de perfuração estão presentes em níveis traço, como provam as análises quantitativas dos hidrocarbonetos (HTP). Sua visualização foi somente possível devido à ampliação do sinal cromatográfico da análise do tipo *Whole Oil*.

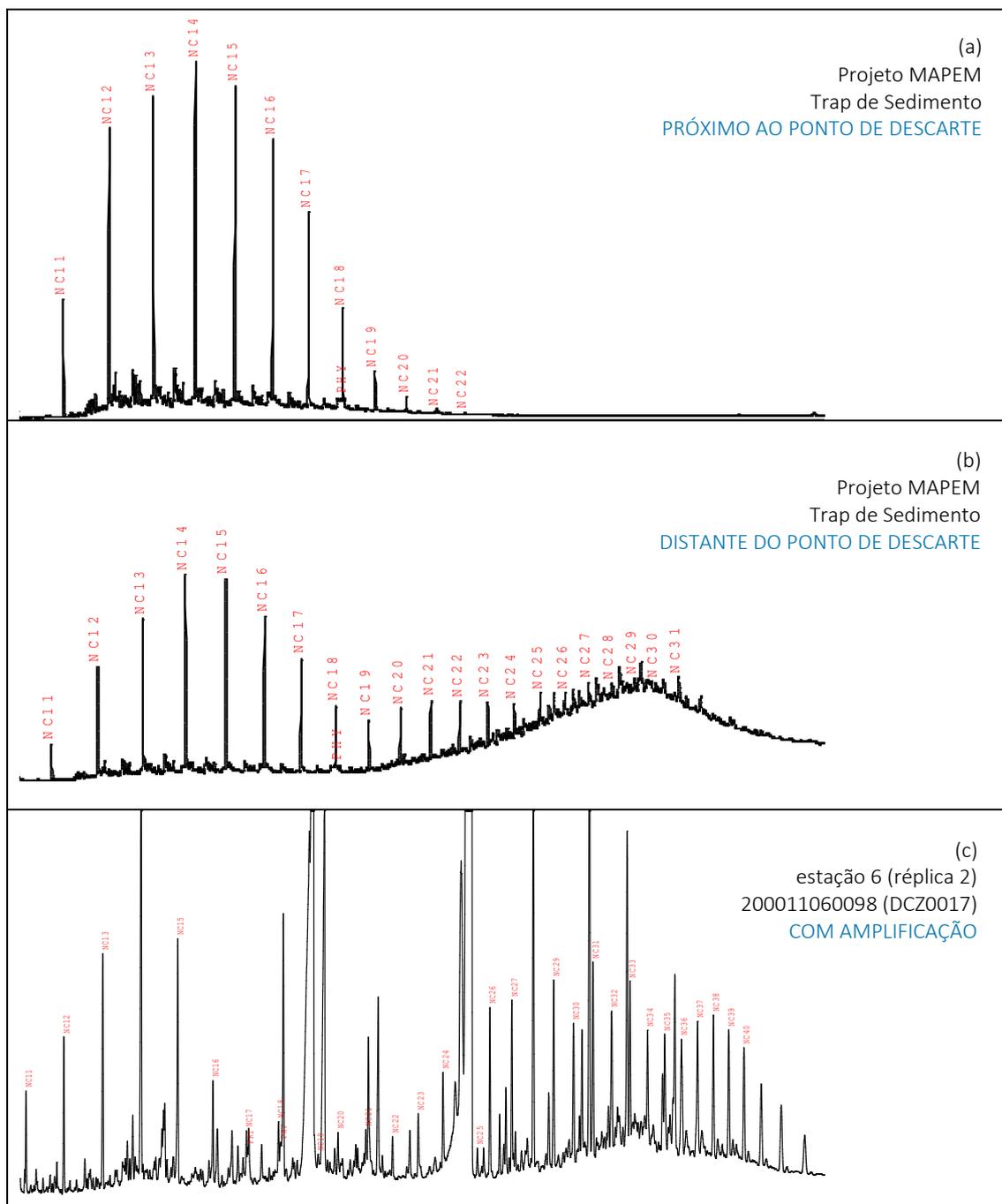


Figura 48: Comparação dos perfis de *Whole Oil* da amostra de sedimento da Estação 6 (réplica 2 DCZ0017), com amplificação de sinal, com os de amostras de traps de sedimentos instalados no Projeto MAPEM.

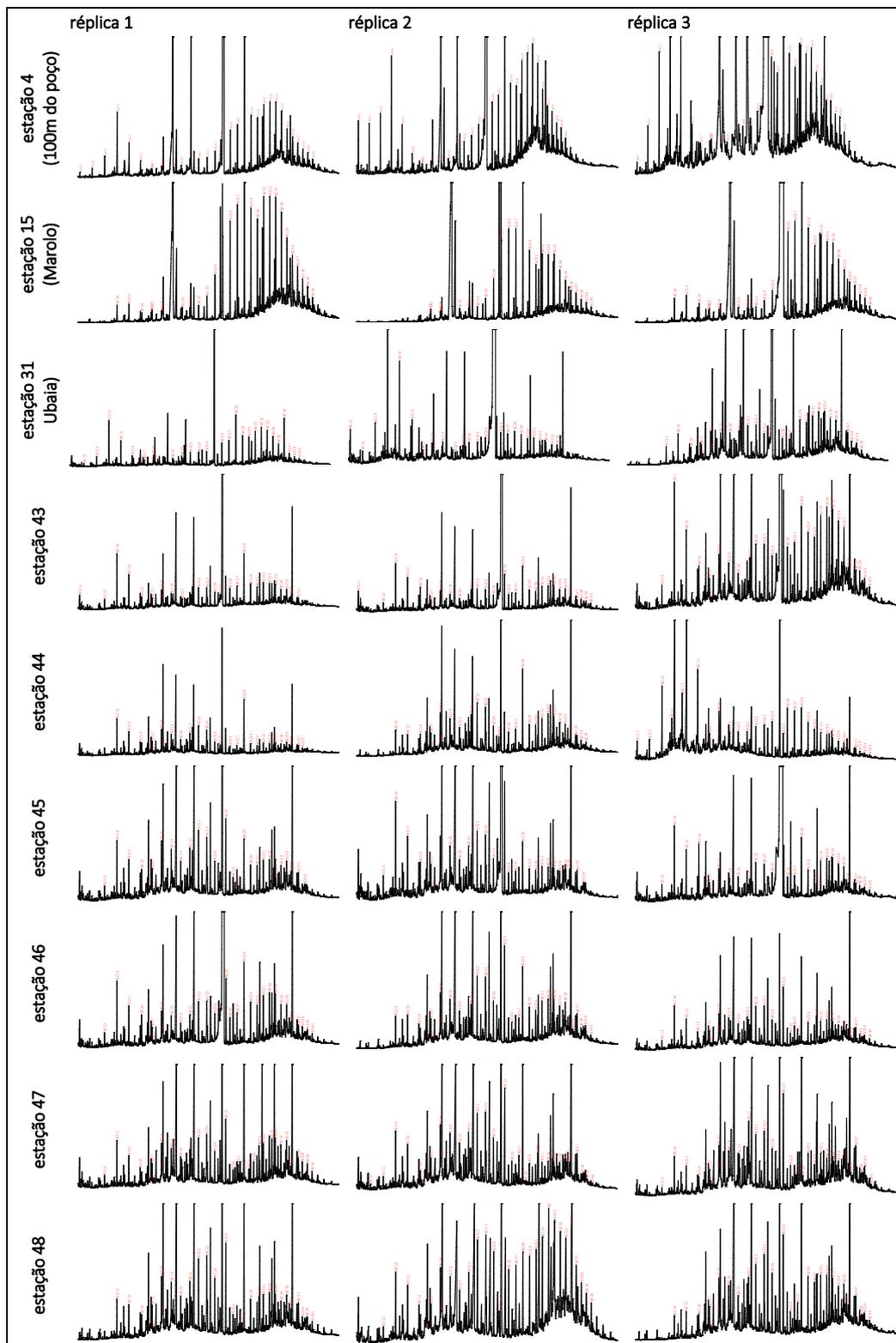


Figura 49: Comparação dos cromatogramas das análises de *Whole Oil* realizadas nas estações 4 (Poço 1-BRSA-125-RJS), 15 (Marolo), 31 (Ubaia) e de 43 a 48 (Malha de Caracterização Ambiental) e suas réplicas.

6.2.3.6.2 Biomarcadores Saturados e Aromáticos

Os resultados das análises de biomarcadores saturados permitem uma caracterização aprofundada e precisa dos hidrocarbonetos encontrados nas amostras de sedimento. Mesmo não sendo detectados nas análises de hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP), devido a sua presença diminuta, esses compostos são passíveis de detecção pela técnica de espectrometria de massas por ser uma técnica mais sensível e específica.

Diversos parâmetros são obtidos na análise de biomarcadores e sua aplicação depende muito do objetivo do estudo. Em estudos de correlação envolvendo óleos e seus derivados, vários biomarcadores são utilizados a fim de avaliar o nível de maturação dos hidrocarbonetos, sua degradação, migração, mistura, etc. Grande parte dos parâmetros é baseada nas reações de isomerização de biomarcadores. Por exemplo, a isomerização na posição C-22 (22R e 22S) nos homo-hopanos (hopanos com 31 a 35 átomos de carbono; H31-H35) pode ser utilizada para avaliar o grau de evolução térmica de hidrocarbonetos. Nesse parâmetro é calculada a proporção entre o epímero de configuração biológica (22R) e geológica (22S): razão 22S/(22R+22S). Os valores variam de 0 a 0,6 (faixa de equilíbrio de 0,57-0,62) durante a evolução térmica, alcançando o valor máximo antes do pico de geração de óleo. A **Figura 50** ilustra o mecanismo de formação desses biomarcadores a partir dos organismos.

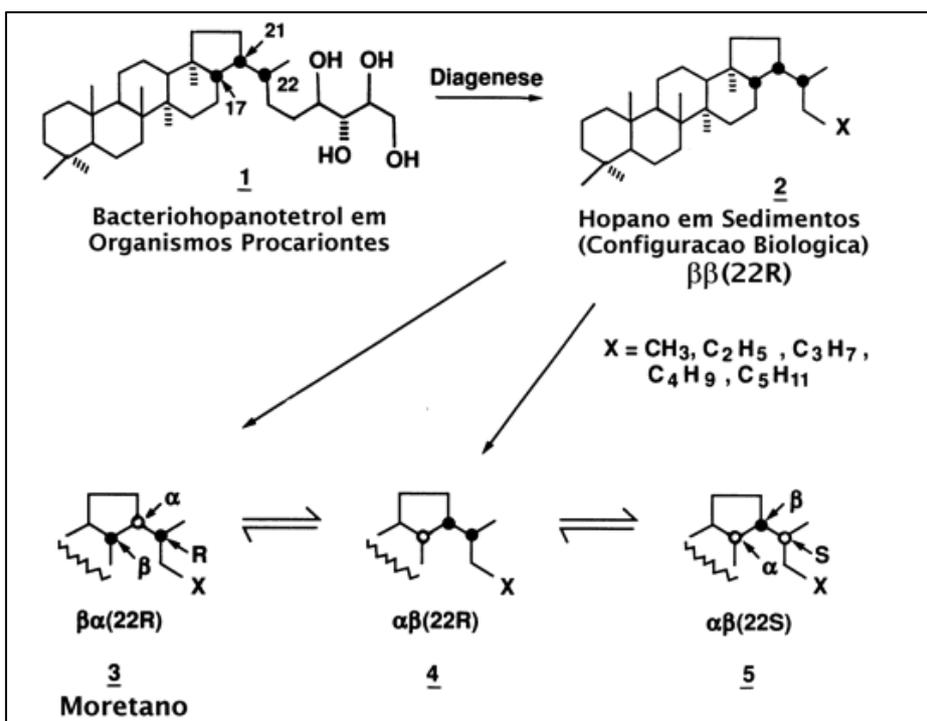


Figura 50: Ocorrência e formação dos biomarcadores hopanos em sedimentos. A isomerização na posição C-22 (22R e 22S) nos homo-hopanos (hopanos com 31 a 35 átomos de carbono; H31-H35) pode ser utilizada para avaliar o grau de evolução térmica de hidrocarbonetos. Em estudos ambientais pode ser usado na avaliação do aporte de hidrocarbonetos fósseis. Nesse parâmetro é calculada a proporção entre os epímeros de configuração biológica (22R) e geológica (22S) pela razão 22S/(22R+22S). Fonte: PETERS & MOLDOWAN (1993).

A aplicação dos parâmetros de biomarcadores em avaliações ambientais não é trivial, uma vez que hidrocarbonetos de origem singenética ocorrem juntamente com os de origem fóssil. Essa coocorrência dificulta a interpretação dos dados. Por essa razão, é importante selecionar parâmetros que reflitam essa característica. Nesses casos, são escolhidas razões entre biomarcadores que permitam medir a proporção entre os compostos fósseis e naturais. Um exemplo, são as razões entre os biomarcadores Moretanos/Hopanos e isômeros S/R de compostos C31 Hopanos. Sua utilização é ampla por permitir avaliar a contribuição de hidrocarbonetos termogênicos e singenéticos. Esses parâmetros estão entre os mais utilizados na detecção de microexsudações de óleo em ambientais marinhos.

Entre as diversas classes de biomarcadores analisadas nesse estudo, a classe dos terpanos foi a mais abundante. Terpanos exercem uma importante função em investigações geoquímicas, e são indicadores diagnósticos úteis em avaliações de origem de óleos derramados, análise de resíduo entre outros. Eles contribuem para a chamada análise digital dos terpanos e são comumente usados em correlações entre diferentes fontes de hidrocarbonetos. (ELIAS, 2000; PETERS *et al.*, 2005). Os resultados das análises de biomarcadores saturados (compilados são apresentados integralmente no **Anexo XV_A e Tabela 19**) permitiram uma caracterização dos hidrocarbonetos encontrados nas amostras de sedimento do Bloco C-M-541.

Embora bastante afetadas pela presença de hidrocarbonetos singenéticos, derivados de plantas recentes, e por sua baixa concentração, as análises dos biomarcadores nos sedimentos do fundo marinho no Bloco C-M-541 permitiram identificar compostos de origem fóssil entre os compostos naturais, na região de estudo.

Os fragmentogramas m/z 191 das amostras de sedimento analisadas revelaram a presença predominante dos isômeros maduros 17α (H), 21β (H)-hopanos, seguidos de seus intermediários de configuração $\beta\alpha$ (moretanos), indicando uma contribuição de material fóssil. A proporção dos hopanos maduros pode ser observada através da abundância e relação entre os compostos de configuração S e R, que ocorrem como um dublete de picos nos cromatogramas. Na **Figura 51**, por exemplo, os hopanos S e R com 31 carbonos estão identificados com os códigos H31S e H31R, respectivamente. Identificação similar é usada para os demais hopanos, que compreendem a até 35 carbonos. Na **Figura 51** pode-se observar, claramente, que os picos dos homólogos S são mais intensos do que os de configuração R, indicando, portanto, um grau de maturidade para os hidrocarbonetos presentes nos sedimentos da região.

Tabela 19: Valores de mediana, mínimo e máximo para os diferentes grupos de estações das malhas amostrais avaliadas no Bloco C-M-541, quanto aos parâmetros biomarcadores saturados no sedimento.

parâmetros	Malha de Possível Passivo no Entorno do Poço		Malha de Caracterização Ambiental
	100 m do poço estações 1 a 5	250 m do poço estações 6-10	estações 4, 15, 31, 43-45
Hopano/Esterano	6,5 (2,39 -8,46)	7,94 (4,61 -9,85)	5,85 (3,7 -8,46)
Tri/Hopanos	0,21 (0,12 -0,34)	0,2 (0,08 -0,27)	0,25 (0,12 -0,57)
Ts/Ts+Tm	0,43 (0,35 -0,48)	0,41 (0,34 -0,47)	0,42 (0,36 -0,49)
Norneo/H29	0,25 (0,21 -0,28)	0,26 (0,21 -0,29)	0,24 (0,2 -0,29)
H28/H29	0,03 (0,02 -0,04)	0,03 (0,02 -0,04)	0,02 (0,01 -0,04)
H29/H30	0,66 (0,59 -0,74)	0,61 (0,56 -0,75)	0,6 (0,53 -0,73)
OLH35/H34/H30	0,03 (0 -0,04)	0,03 (0 -1)	0,04 (0 -0,05)
GAM/H30	0,12 (0,09 -0,18)	0,12 (0,09 -0,14)	0,11 (0,09 -0,24)
H35/H34	0,88 (0,79 -1,16)	0,92 (0,81 -1,12)	0,89 (0,82 -0,94)
25nor/Hop	0,18 (0,12 -0,25)	0,19 (0,12 -0,3)	0,14 (0,1 -5,45)
TET24/26Tri	0,43 (0,29 -0,59)	0,35 (0,23 -0,79)	0,46 (0,3 -0,81)
21/23Tri	0,45 (0,35 -0,6)	0,5 (0,43 -0,58)	0,47 (0,29 -1,12)
26/25Tri	1,09 (0,91 -1,59)	1,18 (1,02 -1,39)	1,04 (0,85 -1,2)
20S/(20S+20R)	0,48 (0,41 -0,57)	0,48 (0,37 -0,58)	0,52 (0,41 -0,59)
$\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$	0,49 (0,45 -0,51)	0,47 (0,45 -0,52)	0,47 (0,41 -0,52)
%C27	29,54 (25,04 -38,62)	27,85 (24,82 -34,94)	35,06 (28,04 -65,87)
%C28	23,78 (21,21 -26,08)	24,52 (19,63 -26,81)	22,51 (11,59 -26,93)
%C29	47,09 (37,79 -50,56)	47,82 (39,9 -53,23)	42,81 (22,54 -50,56)
DIA/REG	0,71 (0,46 -2,22)	0,7 (0,38 -1,81)	0,69 (0,35 -1,4)

Códigos das Razões: Tri/Hopanos = Tetracíclicos / Hopanos (Pentacíclicos); Ts/Ts+Tm = 18 α (H)-22,29,30-trisnormeohopano C27 / 18 α (H)-22,29,30-trisnomeohopano C27 + 17 α (H)-22,29,30- trisnorhopano C27; Norneo/H29 = 18 α -30-normeohopano / 17 α (H), 216(H)-30-norhopano C29; H28/H30 = 17 α (H), 216(H) - 28,30-bisnorhopano / 17 α (H), 216(H) - hopano C30; H29/H30 = 17 α (H); 216(H)-30-norhopano C29 / 17 α (H) - hopano C30; OL/H30 = Oleano / 17 α (H), 216(H) - hopano C30; GAM/H30 = Gamacerano C30 / 17 α (H), 216(H) - hopano C30; H35/H34 = 17 α (H), 216(H)-30-pentakishomohopano + 17 α (H), 216(H)-30-pentakishomohopano / 17 α (H), 216(H)-30- tetrakishomohopano + 17 α (H), 216(H)-30-tetrakishomohopano; 25NOR/HOP = 25,28,30-trisnorhopano / Hopanos; TET24/26Tri = Terpano Tetracíclico C24 / Terpano Tricíclico C26; 21/23Tri = Terpano Tricíclico C21 / Terpano Tricíclico C23; 26/25Tri = Terpano Tricíclico C26 / Terpano Tricíclico C25; 20S/(20S+20R) = [C29 $\alpha\alpha\alpha$ S] / [C29 $\alpha\alpha\alpha$ S + C29 $\alpha\alpha\alpha$ R] (m/z 217); $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ = [C29 $\alpha\beta\beta$ (R+S)] / [C29 $\alpha\beta\beta$ (R+S) + C29 $\alpha\alpha\alpha$ (R+S)] (m/z 217); %C27 = [C27 $\alpha\beta\beta$ (S+R)] / [C27 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C28 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R)]x100; %C28 = [C28 $\alpha\beta\beta$ (S+R)] / [C27 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C28 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R)]x100; %C29 = [C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R)] / [C27 $\alpha\beta\beta$ (S+5,63R) + C28 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R)]x100; DIA/REG = Chol Diasteranos / Esteranos Regulares.

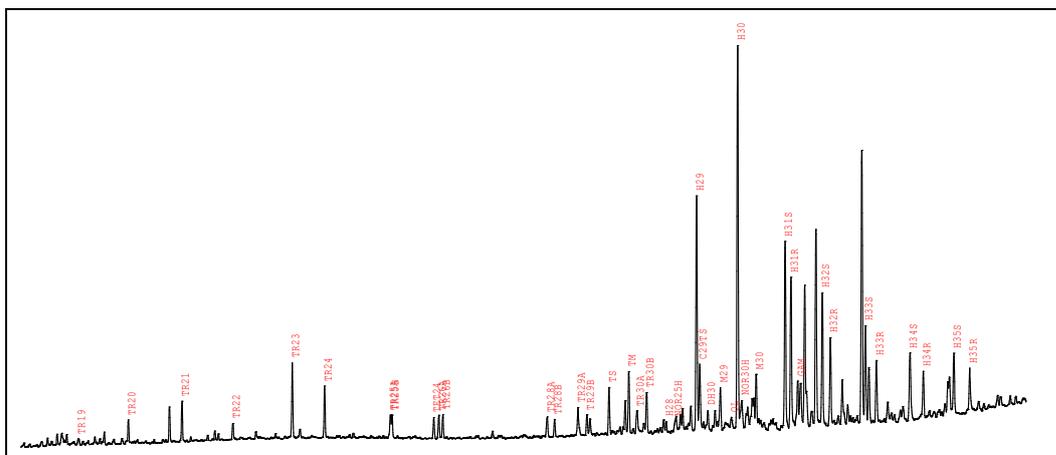


Figura 51: Fragmentograma de massa m/z 191 ilustrando a presença de biomarcadores nas amostras de sedimento (estação 3, réplica 1). O perfil apresenta compostos maduros indicando contribuição de material fóssil como mostram a abundância dos hopanos maduros de configuração S e R.

Os compostos de configuração biológica $\beta\beta$ não foram abundantes em nenhuma amostra. Os isômeros $\alpha\beta$ e $\beta\alpha$ estão presentes nas amostras analisadas, diferindo, apenas, em suas abundâncias relativas (**Figuras 52, 53 e 54**) e indicando uma distribuição de material fóssil por toda área avaliada. Na **Malha de Possível Passivo** as abundâncias de biomarcadores são superiores às observadas na **Malha de Caracterização Ambiental**. Apesar de a análise ser qualitativa, os perfis cromatográficos permitem uma comparação direta, uma vez que a mesma quantidade de amostra foi usada na extração e análise cromatográfica.

Além da classe dos terpanos foi feita uma avaliação dos Poliprenoides Tetracíclicos (TPP), através do monitoramento seletivo do íon m/z 259. Os perfis desses compostos podem ser utilizados como ferramenta no estudo da origem e paleoambiente de deposição da matéria orgânica. A razão entre os compostos tetracíclicos poliprenoides (TPP) e os diasteranos (DIAS) pode ser utilizada para diferenciar óleos gerados em ambientes lacustres daqueles gerados em ambiente marinho, uma vez que os TPP são originados de algas lacustres. As **Figuras 55, 56 e 57** apresentam os perfis dos poliprenoides tetracíclicos nas amostras analisadas. Os perfis são muito similares, indicando uma mesma origem fóssil. No entanto, as três amostras coletadas na estação 3 apresentam um perfil distinto, indicando material fóssil com menor contribuição lacustre considerando que a abundância proporcional do TPP nessa estação é menor.

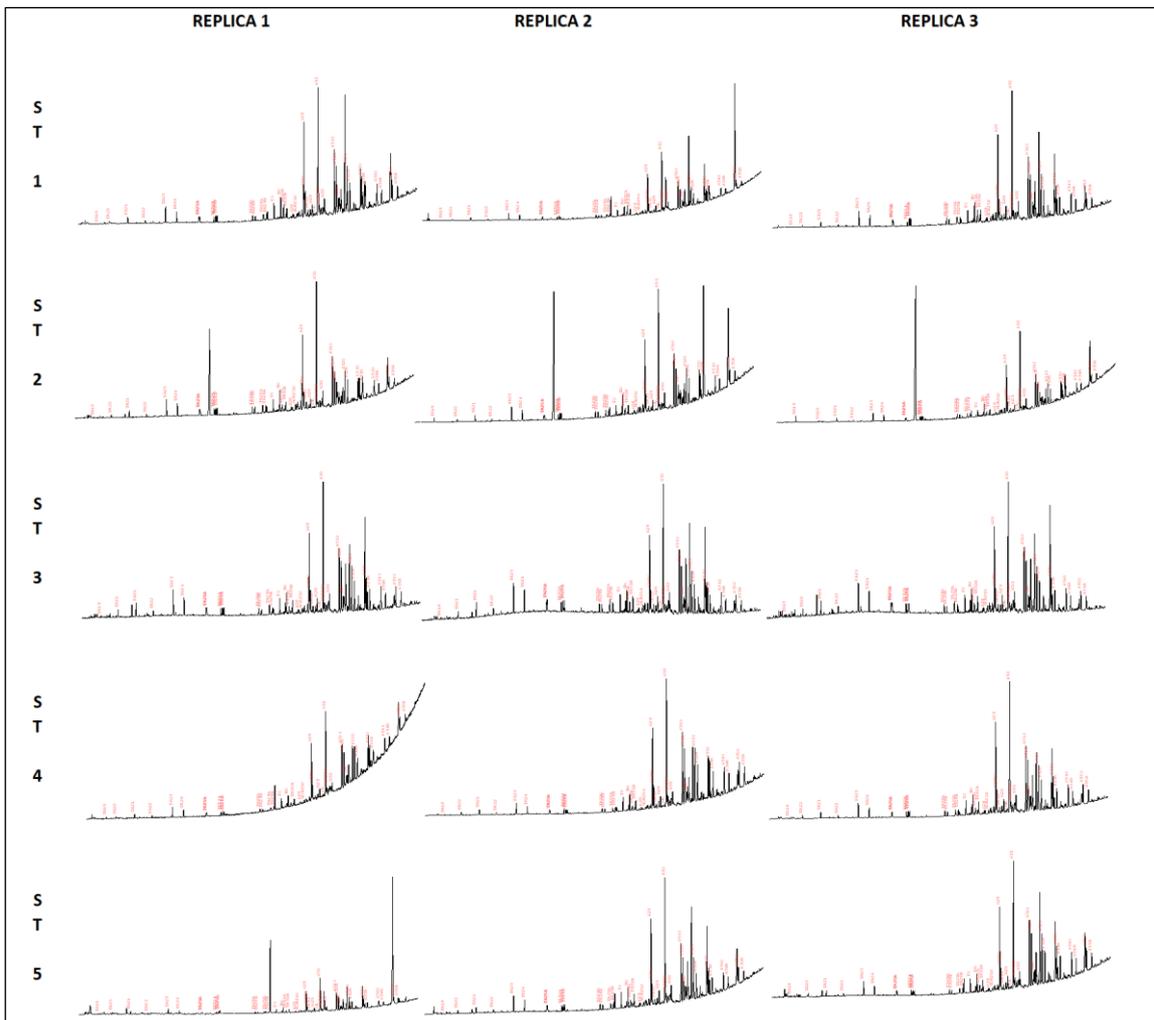


Figura 52: Fragmentogramas parciais de massa m/z 191, característicos dos terpanos das estações de 1 a 5 (possível passivo) e suas réplicas utilizados na caracterização das amostras de sedimento.

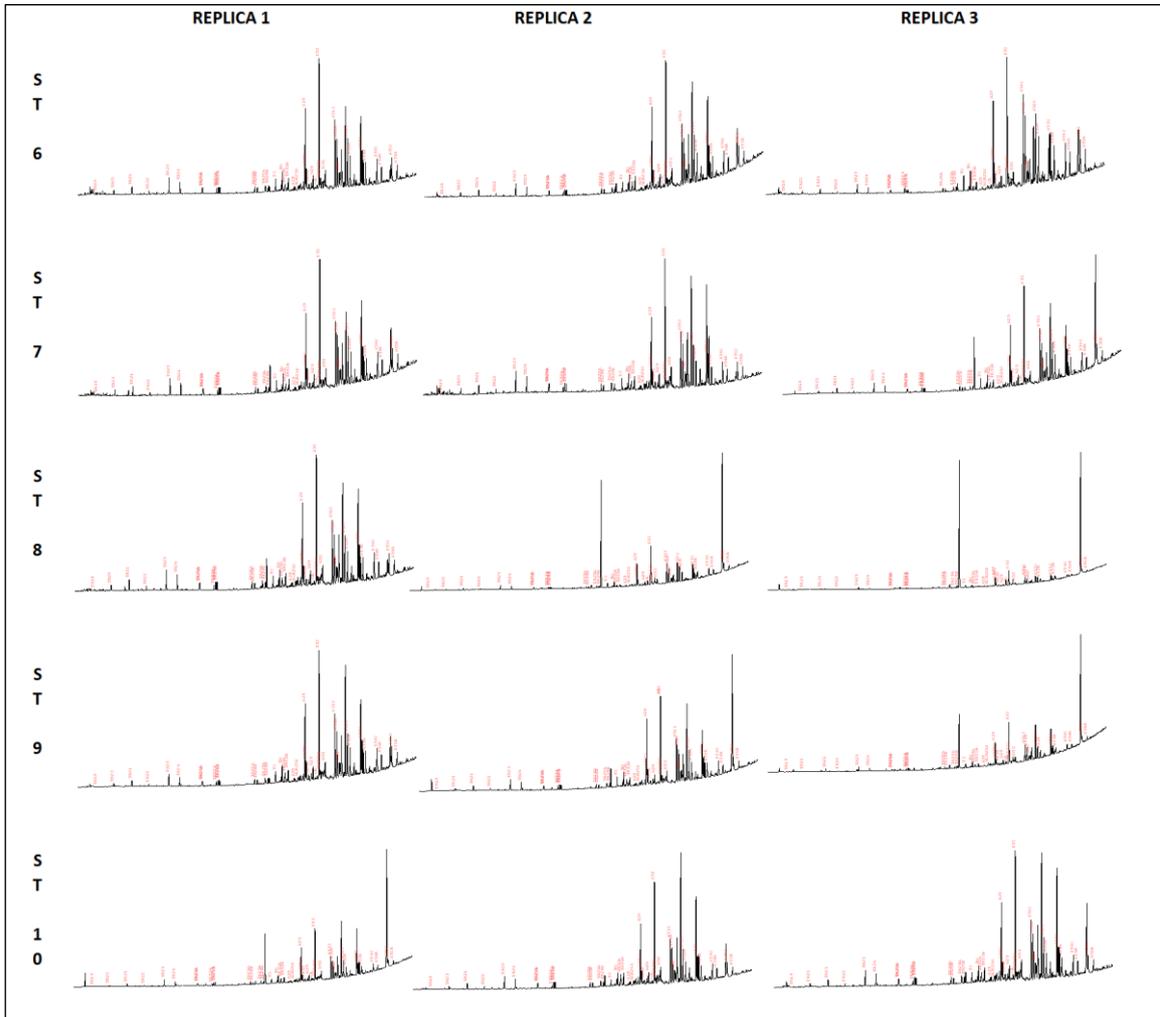


Figura 53: Fragmentogramas parciais de massa m/z 191, característicos dos terpanos das estações de 6 a 10 (possível passivo) e suas réplicas utilizados na caracterização das amostras de sedimento.

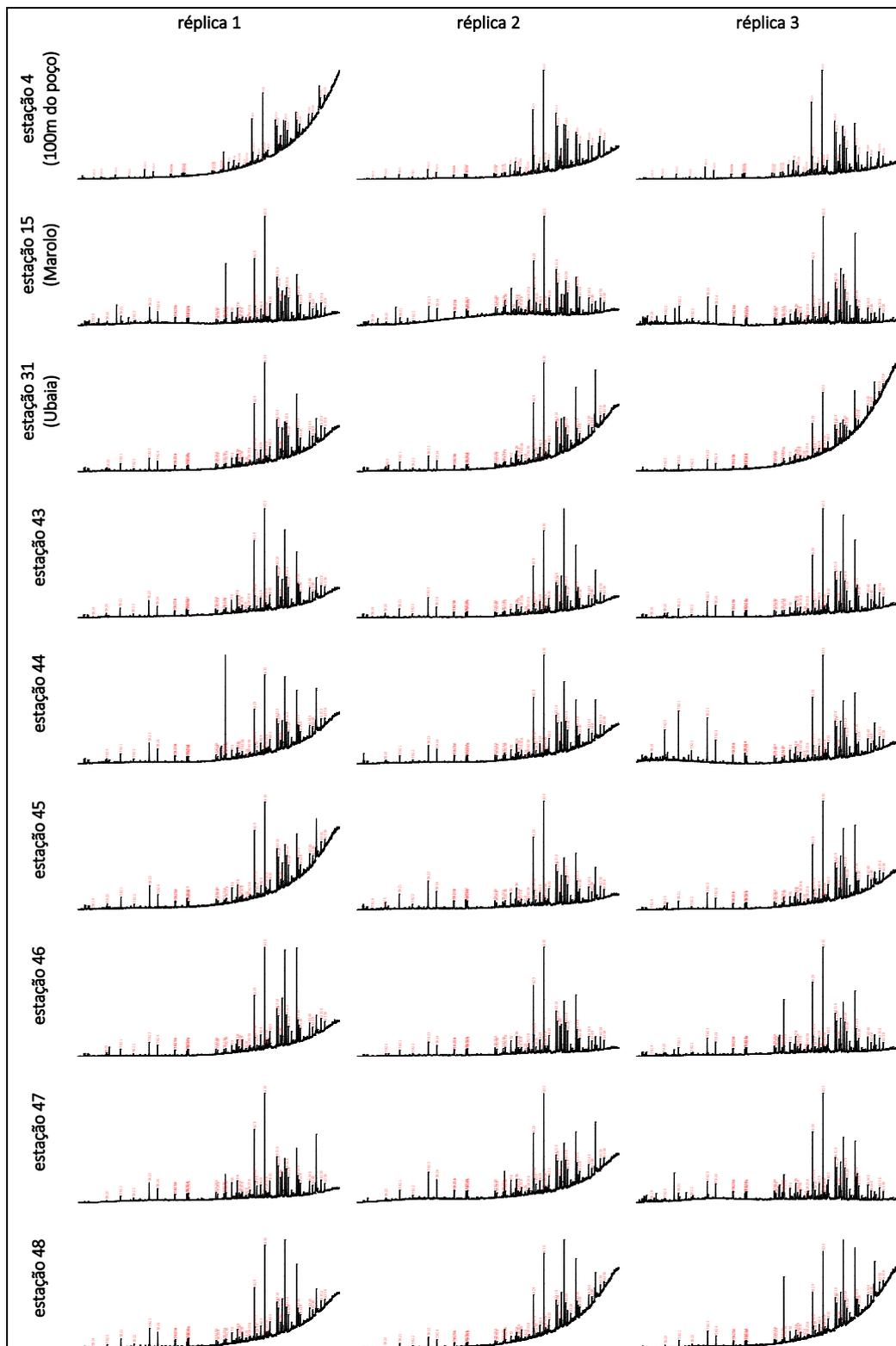


Figura 54: Fragmentogramas parciais de massa m/z 191, característicos dos terpanos das estações 4 (Poço 1-BRSA-125-RJS), 15 (Marolo), 31 (Ubaia) e de 43 a 48 (Malha de Caracterização Ambiental) e suas réplicas.

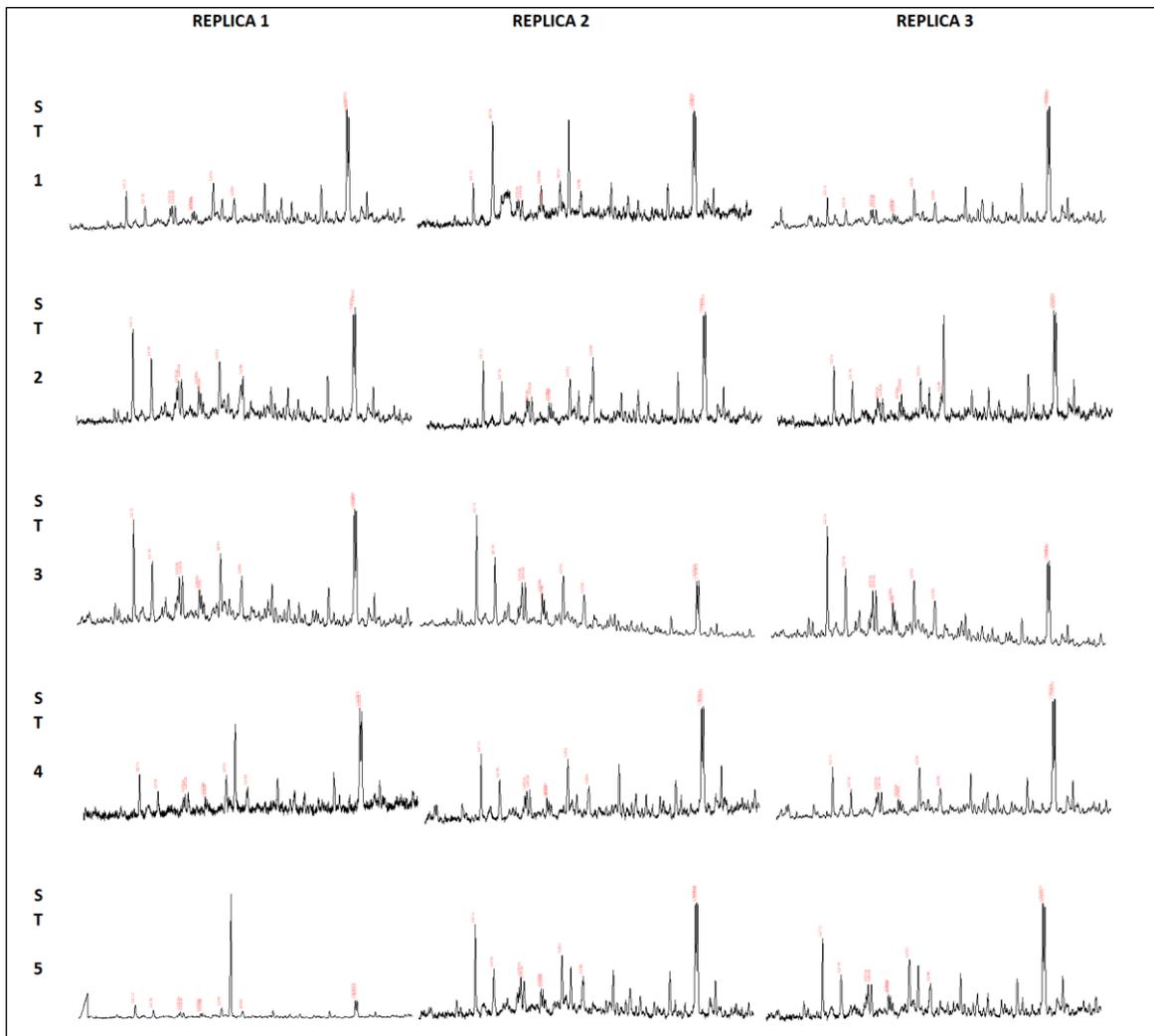


Figura 55: Fragmentogramas parciais de massa m/z 259, característicos dos poliprenoides tetracíclicos (TPP) encontrados nas estações de 1 a 5 (possível passivo) e suas réplicas.

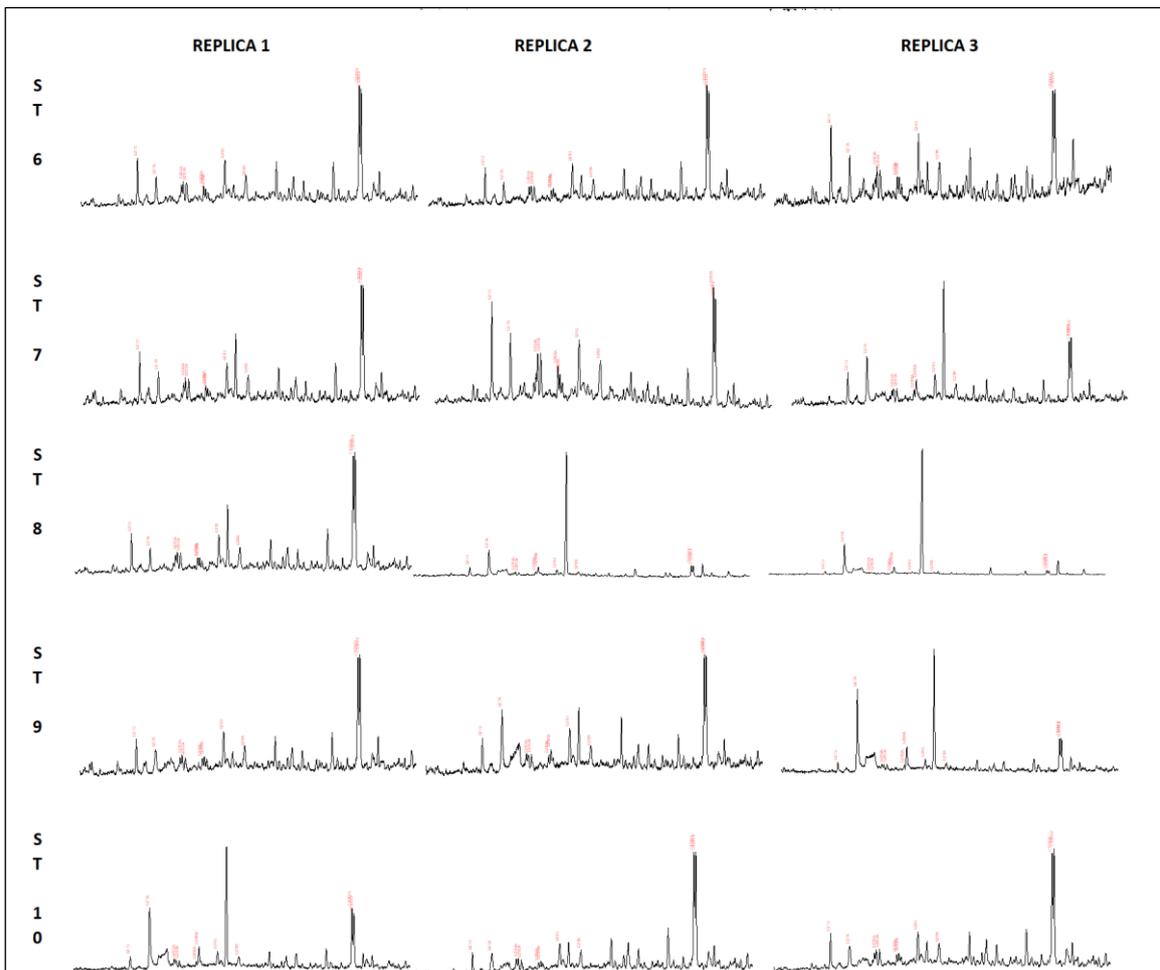


Figura 56: Fragmentogramas parciais de massa m/z 259 característico dos poliprenoides tetracíclicos (TPP) das estações de 6 a 10 (possível passivo) e suas réplicas.

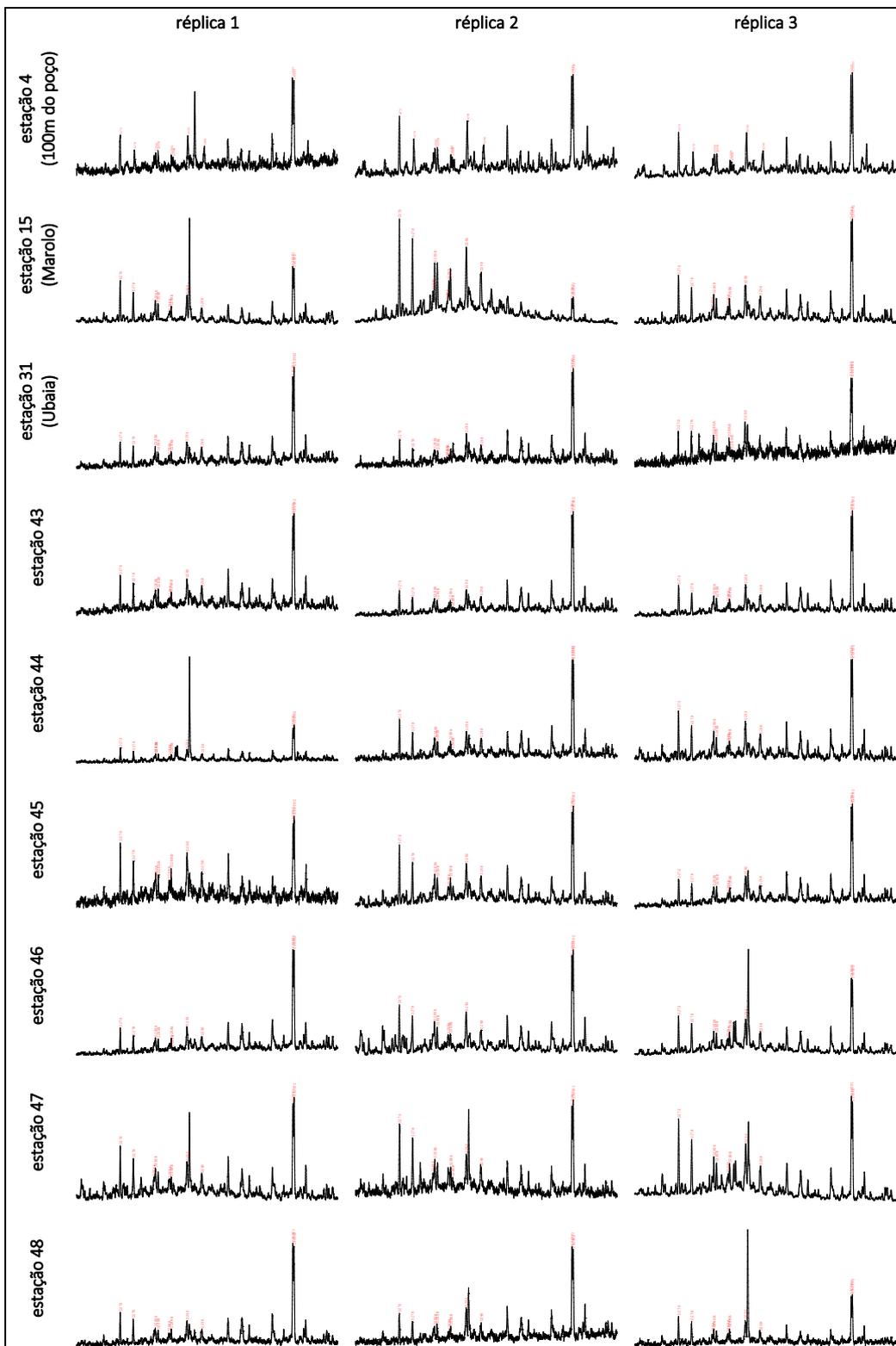


Figura 57: Fragmentogramas parciais de massa m/z 259 característico dos poliprenoides tetracíclicos (TPP) das estações 4 (Poço 1-BRSA-125-RJS), 15 (Marolo), 31 (Ubaia) e de 43 a 48 (Malha Caract. Amb.) e suas réplicas.

Além dos terpanos, a classe dos esteranos também foi avaliada pela técnica de monitoramento de íon seletivo da massa m/z 217 (**Figuras 58, 59 e 60**). Esses compostos são hidrocarbonetos cíclicos saturados, derivados de esteróis presentes em organismos eucariontes. No entanto, também estão presentes, em menor extensão, em plantas superiores ou algas. A diferença de fontes tão distintas possibilita uma avaliação do ambiente de paleodeposição da matéria orgânica e possíveis fontes dos hidrocarbonetos gerados a partir dela.

Os componentes com 27, 28 e 29 carbonos em sua estrutura são os que predominam. Identificados como C27, C28 e C29 são os esteróides dominantes e analiticamente são calculados pelo somatório dos diferentes homólogos com mesmo número de carbono.

Em termos gerais, os compostos em C27 e C28 são esteróis majoritários do plâncton marinho, enquanto os esteróis C29 predominam em vegetais superiores e animais. Como o número de carbono do precursor químico (lipídeo) é preservado, esses compostos (geolipídeos) são bons indicadores de ambientes de deposição e de origem dos hidrocarbonetos, uma vez que os ambientes deposicionais são diferentes.

Devido à sua especificidade e ocorrência generalizada, esses compostos são muito usados em avaliações e correlações de origem de hidrocarbonetos. O perfil cromatográfico dos esteranos, assim como suas razões e correlações, fornecem uma excelente ferramenta de avaliação.

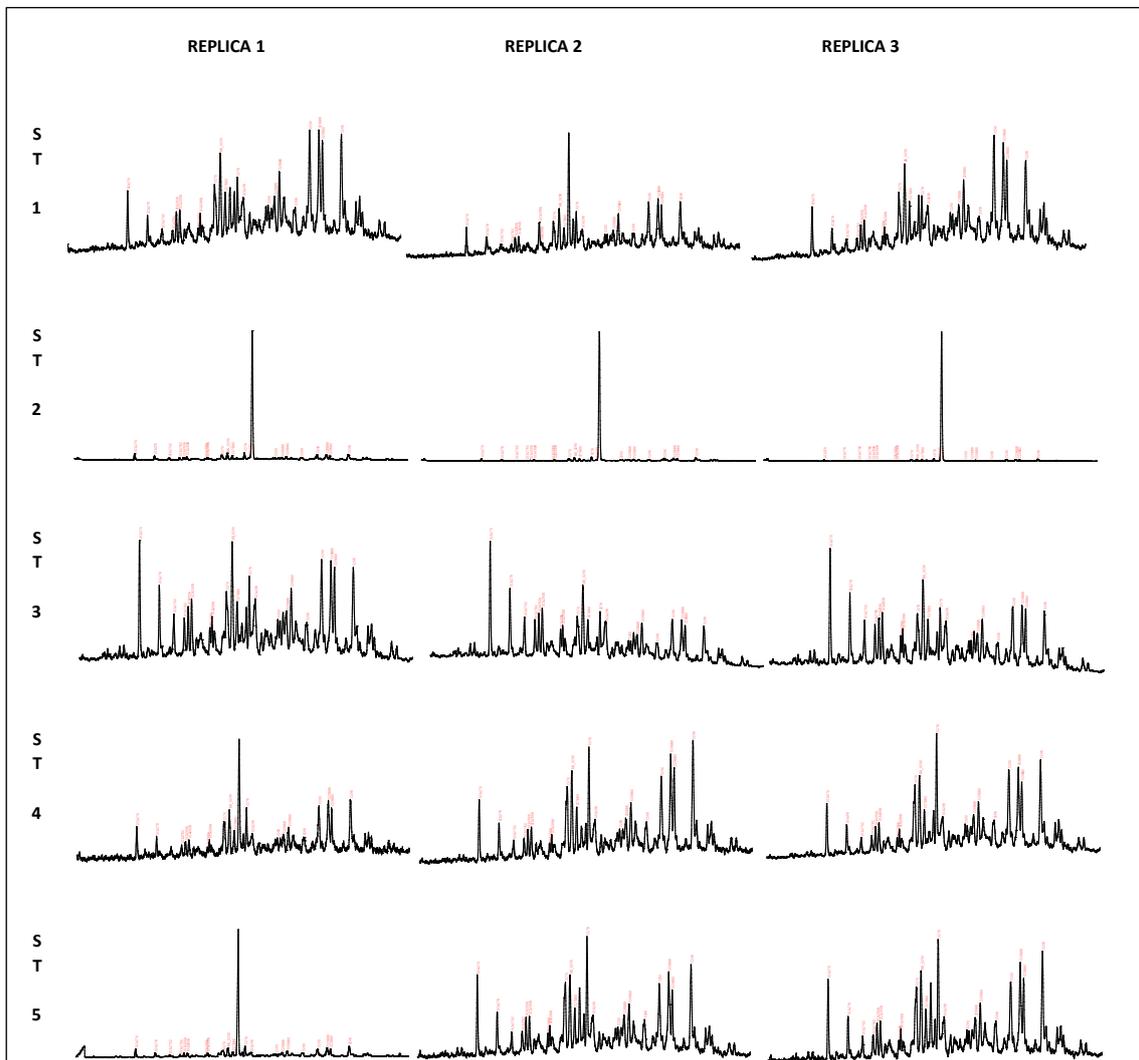


Figura 58: Fragmentogramas parciais de massa m/z 217, característicos dos esteranos das estações de 1 a 5 (possível passivo) e suas réplicas.

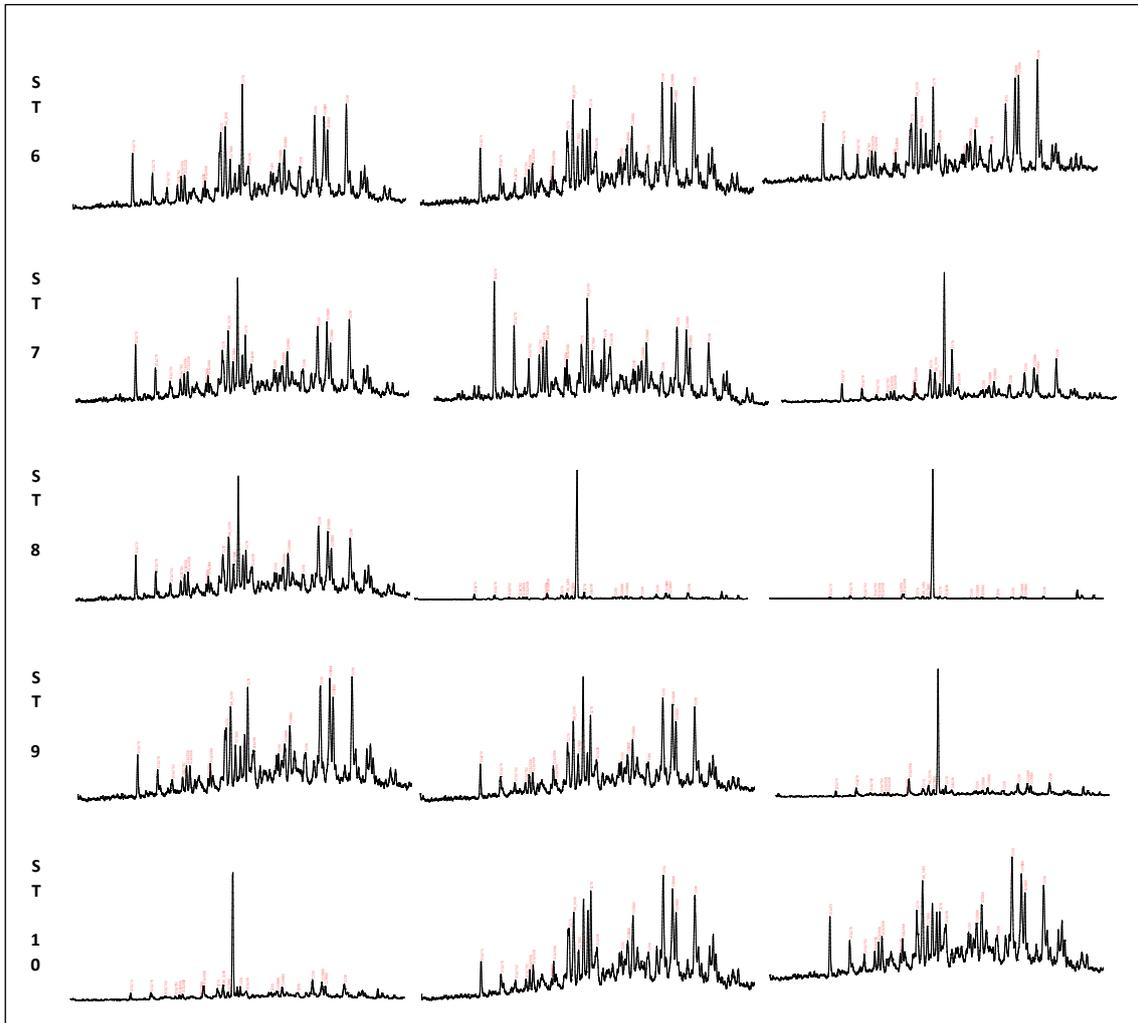


Figura 59: Fragmentogramas parciais de massa m/z 217, característicos dos esteranos das estações de 6 a 10 (possível passivo) e suas réplicas.

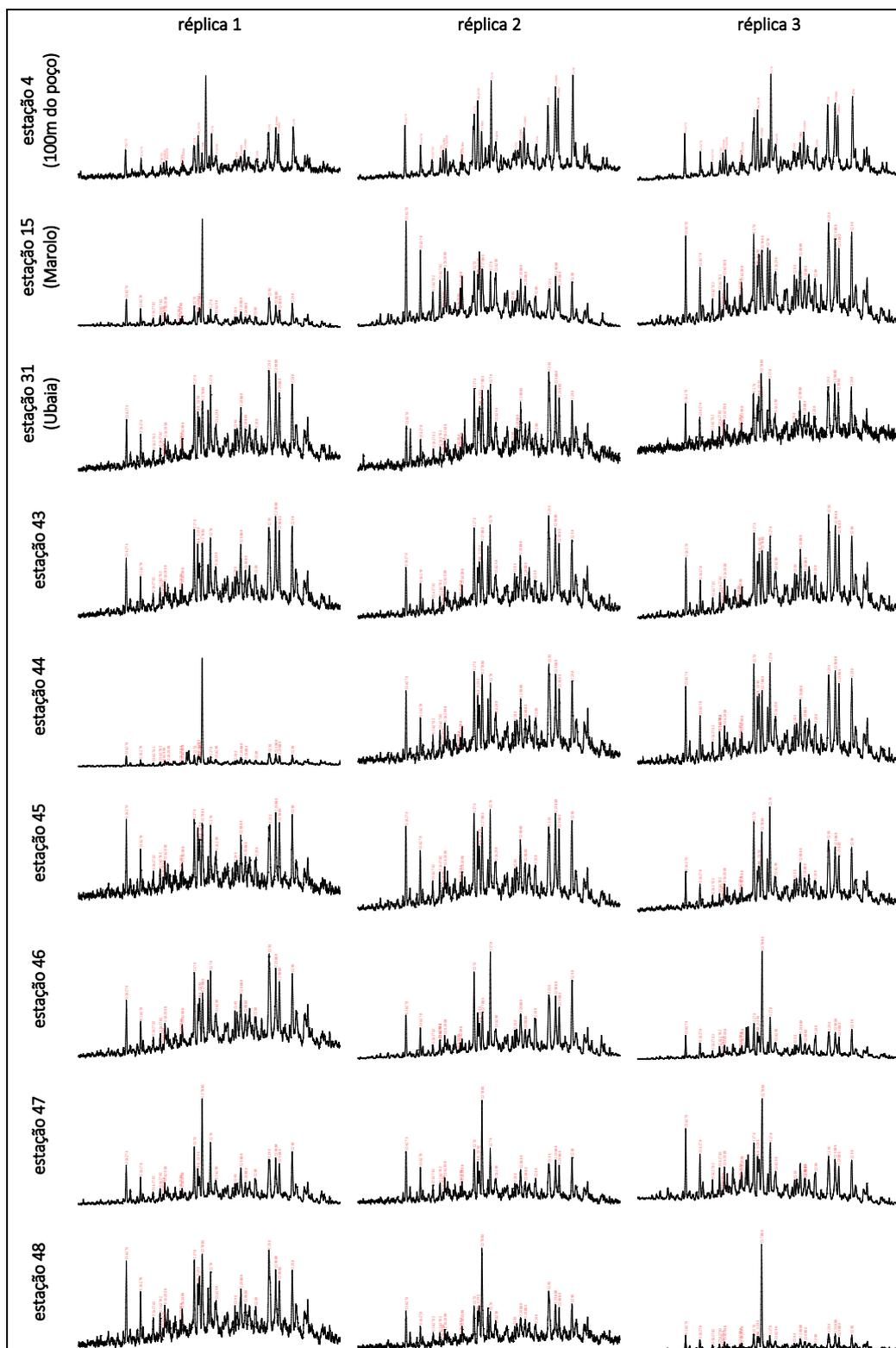


Figura 60: Fragmentogramas parciais de massa m/z 217, característicos dos esteranos das estações 4 (Poço 1-BRSA-125-RJS), 15 (Marolo), 31 (Ubaia) e de 43 a 48 (Malha de Caracterização Ambiental) e suas réplicas.

Dentre os biomarcadores aromáticos, diversos parâmetros foram obtidos e medidos (**Tabela 20**). Um dos parâmetros mais úteis é o índice de metilfenantreno (MPI-1), que fornece indicação de maturidade do aporte fóssil ao sedimento. Esse índice é calculado de acordo com a fórmula: $MPI-1 = 1.89(2-MP+3-MP)/[P+1.26(1-MP+9-MP)]$, onde P é o composto fenantreno e MP se refere aos isômeros do metil-fenantreno (PETERS *et al.*, 1993). No Bloco C-M-541, os resultados demonstraram que os índices de MPI-1 variaram de forma diferenciada nas duas malhas avaliadas. Na **Malha de Caracterização Ambiental** variou de 0,49 a 1,88 e na **Malha de Possível Passivo**, de 0,52 a 3,83 a 100 m da cabeça do poço e de 0,33 a 3,17 a 250 m, indicando a ocorrência de hidrocarbonetos derivados de petróleo com diferentes graus de maturação. As malhas foram claramente separadas, também, pelo maior valor da razão 26S/27RA, variando a até 7,31 (mediana de 2), na **Malha de Caracterização Ambiental**, enquanto na **Malha de Possível Passivo** os máximos chegaram a apenas 2.

Tabela 20: Valores de mediana, mínimo e máximo para os diferentes grupos de estações das malhas amostrais avaliadas no Bloco C-M-541, quando aos parâmetros biomarcadores aromáticos no sedimento.

parâmetros	Malha de Possível Passivo no Entorno do Poço		Malha de Caracterização Ambiental
	100 m do poço estações 1 a 5	250 m do poço estações 6-10	
Phen/m-phen	0,34 (0,1 -1,09)	0,37 (0,1 -2,8)	0,65 (0,21 -1,35)
MPI 1	1,35 (0,52 -3,83)	1,4 (0,33 -3,17)	0,82 (0,49 -1,88)
Ro Calculated	0,88 (0,69 -1,08)	0,91 (0,56 -3,62)	0,91 (0,7 -1,19)
Dibenz/Phen	0,09 (0 -0,25)	0,11 (0 -0,25)	0,11 (0 -0,17)
C20+C21/A1+A2	0	0	0
20+21/26S-28R	0,13 (0 -4,89)	0,12 (0 -0,3)	0,25 (0 -1,46)
26S-28R/M1-M5	2,67 (0,67 -5,37)	3,17 (1,74 -6,67)	3,39 (0,74 -5,07)
26S/27RA	0,71 (0,3 -1,26)	0,81 (0,29 -2)	2 (0 -7,31)
27RA/28R	1 (0,71 -3)	0,99 (0,4 -2,25)	0,61 (0,3 -1,2)
%26	27,55 (13,07 -48,57)	28,94 (12,69 -48,48)	44,9 (0 -69,85)
%27	36,95 (31,25 -48,1)	34,13 (20,21 -43,33)	20 (9,56 -50)
%28	35,42 (12,86 -50,98)	35,14 (16 -51,03)	33,87 (20,59 -58,97)
D1..D6/others	2,84 (0,92 -4,19)	3,03 (1,39 -3,63)	2,89 (0,74 -9,38)
sum 231/ sum 245	0,56 (0,35 -1,12)	0,48 (0,38 -0,85)	0,57 (0,37 -1,81)
3-Me/4-Me	0,85 (0,5 -1,47)	0,76 (0,49 -3)	0,61 (0 -1,14)

Códigos: Phen/m-phen = PHEN/(3MP+2MP+9MP+1MP); MPI = $1,5 \times (2MP + 3MP) / (PHEN + 1MP + 9MP)$; Ro Calculated = $(.6 * (3 * (2MP)) / (PHEN + 9MP + 1MP)) + .37$; Dibenz/Phen = (DBT)/(PHEN); C20+C21/A1+A2 = C20 Triaromatic Steroid+C21 triaromatic steroid/C29 triaromatic; 20+21/26S-28R = C20 Triaromatic Steroid+C21 triaromatic steroid / C26 20S Triaromatic - C28 20R Triaromatic; 26S-28R/M1-M5 = C26 20S Triaromatic - C28 20R Triaromatic/ C28 23,24-Cholestane Triaromatic- C28 23,24-Cholestane Triaromatic; 26S/27RA = C26 20S Triaromatic/ C27 20R Triaromatic; 27RA/28R = C27 20R Triaromatic/ C28 20R Triaromatic; %26 = % C26 Triaromatic; %27 = % C27 Triaromatics; %28 = % C28 Triaromatics; D1..D6/others = Triaromatic Dinosteroid a,b,c,d,e,f; sum 231/ sum 245 = sum m/z 231 / sum m/z 245; 3-Me/4-Me = C28 20S 3-Methyl & C27 20R 3-Methyl TAS / C28 20S 4-Methyl & C27 20R 4-Methyl TAS

Em hidrocarbonetos pouco evoluídos termicamente, os isômeros do fenantreno 9-MF e 1-MF (isômeros termodinamicamente menos estáveis) são os de maior abundância, sendo 9-MF o isômero predominante. Com o aumento do nível da evolução térmica, os isômeros mais estáveis 2-MF e 3-MF sofrem um incremento em suas concentrações, devido a maior estabilidade térmica (PETERS et al., 1993).

O índice MPI1 apresenta uma correlação direta com os valores de vitrinite e por essa razão são usados na avaliação da maturidade térmica do hidrocarboneto. Os valores de MPI1 variam de 0.4 a até 1.6, alcançando o valor máximo de 1.6 na janela de geração do óleo. No Bloco C-M-541, os valores de MPI1 variaram de 0,33 até 3,83, indicando uma contribuição de interferentes no cálculo do MPI1 impossibilitando uma avaliação conclusiva. No entanto, os dados dos hopanos mostram claramente uma evolução térmica do hidrocarboneto indicando contribuição de material fóssil para composição orgânica do sedimento.

6.2.3.6.3 Classificação de origem

A origem geoquímica de hidrocarbonetos pode ser avaliada por diversos parâmetros de biomarcadores. A escolha do parâmetro mais adequado depende de diversos fatores como: qualidade analítica dos dados, objetivo do estudo, grau de degradação, composição e distribuição dos biomarcadores nas amostras, entre outros. Um dos parâmetros que pode ser empregado na classificação de origem é a abundância dos esteranos com C27, C28 e C29 carbonos. Como são compostos estáveis e resistentes à degradação e intemperismo, e também porque a estrutura química dos precursores desses compostos é preservada, eles são comumente empregados na avaliação de paleoambientes de deposição e origem dos hidrocarbonetos. Um dos diagramas mais usados é a correlação entre os esteranos com C27 e C29 átomos de carbono. Como os compostos em C27 são esteróis majoritários do plâncton marinho e os esteróis C29 predominam em vegetais superiores e animais, a correlação desses dois parâmetros fornece uma diferenciação de origem.

Uma correlação com óleos de áreas de produção de interesse permitiu classificar o background de hidrocarbonetos presentes nos sedimentos da área (**Figura 61**). Foi feita uma comparação geoquímica direta com óleo das bacias de Santos (óleos de origem lacustre e marinha), de Campos e Óleos Árabes. Além desta, foi feita uma comparação com os perfis observados em diversos sedimentos analisados em bacias brasileiras, como os do projeto 3 Bacias. Apesar de não fazer parte de bacias brasileiras, óleos árabes foram incluídos na comparação por serem conhecidos como a principal fonte dos hidrocarbonetos presentes nos backgrounds de bacias brasileiras.

Nenhuma das amostras coletadas no Bloco C-M-541, quer da **Malha de Possível Passivo** quer da **Malha de Caracterização Ambiental**, se correlacionou com petróleo da Bacia de Campos. Como pode ser observado na **Figura 61**, na Bacia de Campos os óleos apresentam normalmente % C27 acima de 55% e % C29 abaixo de 25%, refletindo sua origem lacustre predominante.

As amostras da área de possível passivo se correlacionam mais com os hidrocarbonetos observados em *background* de sedimentos analisados nas bacias brasileiras. Por outro lado, as amostras de caracterização ambiental também se correlacionaram com essa mesma fonte, mas se estendem a

até os agrupamentos de óleos da Bacia de Santos. Em amostras de sedimento algum desvio é esperado, como consequência da intensidade dos biomarcadores nos perfis cromatográficos e a influência de outras fontes, além daquelas consideradas nos *endmembers* usados na correlação.

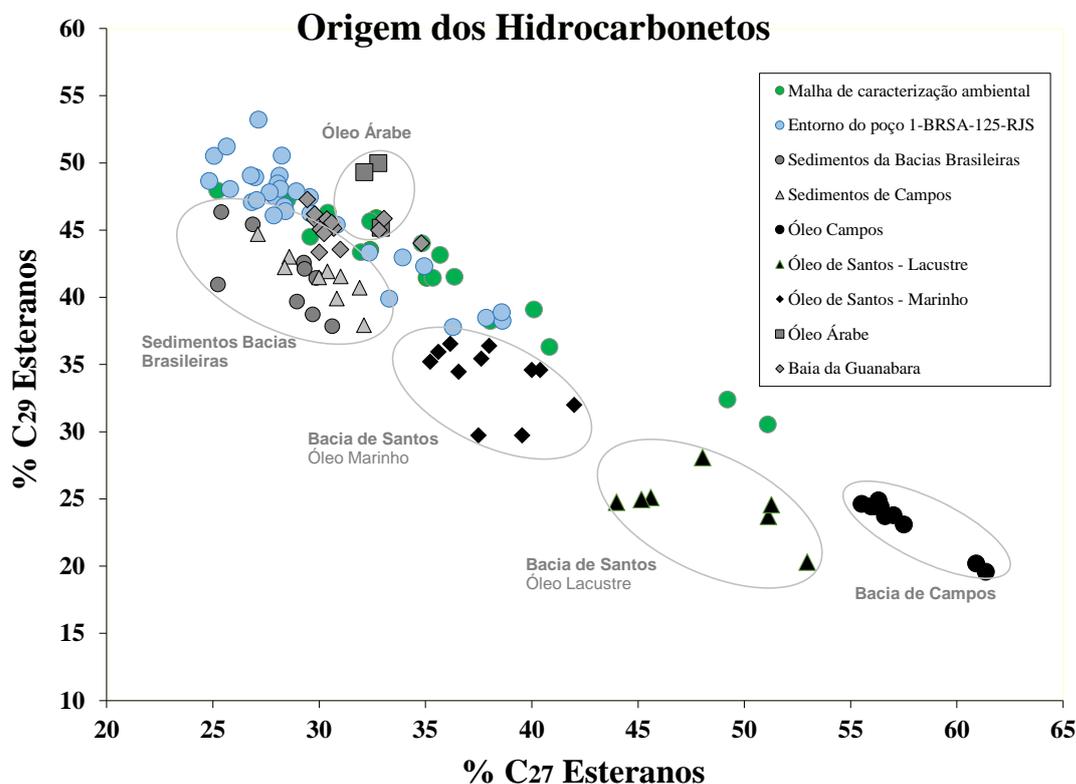


Figura 61: Diagrama de classificação da origem de hidrocarbonetos através dos teores de esteranos com 27 e 29 átomos de carbono.

Portanto, as análises de biomarcadores e *Whole Oil* das amostras analisadas do C-M541 permitem classificar a origem do hidrocarboneto como sendo uma mistura de hidrocarbonetos contendo uma fração com compostos típicos de fluidos de perfuração e outra com hidrocarbonetos fósseis. A composição dos componentes fósseis é similar ao *background* observado em sedimentos de outras bacias sedimentares brasileiras e não apresenta uma correlação direta com os óleos de produção das bacias de Campos nem de Santos, correspondendo, portanto, a uma mistura de fontes de diversas origens, inclusive óleo árabe.

Além da classificação de origem, a distribuição dos biomarcadores nos sedimentos avaliados no Bloco C-M-541 pode ser considerada como uma digital dos hidrocarbonetos presentes nos sedimentos da região. Essa digital será de fundamental utilidade para eventuais futuras avaliações de impacto nesses sedimentos por hidrocarbonetos petrogênicos na região. Ela possibilitará uma correlação direta e eficaz da condição do ambiente e suas possíveis causas estressoras.

6.2.3.7 Radionuclídeos

Os radionuclídeos naturais (*Naturally Occurring Radioactive Material - NORM*) são encontrados nas fontes terrestres como nos solos, nas rochas (destacando-se rochas situadas nas camadas mais profundas do planeta) e em todos os seres vivos, e nas fontes cósmicas, como radiações cósmicas provenientes do espaço e radionuclídeos cosmogênicos, na forma de elementos radioativos.

Já sua contribuição humana, teve início principalmente pela descarga de efluentes líquidos e gasosos, como por exemplo, de reatores e usinas de reprocessamento do ciclo de combustível nuclear e a deposição de rejeitos radioativos no mar (frequente entre 1940 até 1982) (FIGUEIRA & CUNHA, 1998). Os resíduos que contém material radioativo natural tecnologicamente aumentados são denominados TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*). Atualmente, atividades como a extração do petróleo do subsolo que retiram juntamente com o óleo água de formação e sedimentos profundos, contribuem para elevar a concentração destes isótopos, que são trazidos para a superfície juntamente com a barita (GAZINEU, 2005).

Sendo assim, conforme cita MAZZILI (2016), as descargas radioativas no ambiente ocorrem, majoritariamente, na forma de material dissolvido em suspensão, gases e particulados, a depender do tipo de efluente descartado (líquido ou gasoso). Ao entrar em contato com o meio, os processos de dispersão, acúmulo e transporte no ambiente aquático são influenciados por fatores químicos, físicos e biológicos, e sua consequente interação com partículas de água e sedimentos é determinante para seu comportamento (FIGUEIRA & CUNHA, 1998). A solubilidade pode ser um fator importante na distribuição de concentração dos radionuclídeos, visto que estes elementos possuem um comportamento químico mutável devido a seu decaimento, afetando o equilíbrio químico, como o que ocorre na mistura de água de formação com a água de injeção em atividades petrolíferas (GAZINEU, 2005).

Além disso, a quantidade de radioativos acumulados pode ser influenciada pelos processos de transporte, adsorção e deposição envolvidos (MAZZILI, 2016). Quando este material não é liberado, formam-se sorvedouros, que são compartimentos de extratos profundos de solo ou sedimento com ínfimos contatos com processos biológicos e mecanismos de erosão. A **Figura 62** retrata todos estes mecanismos de transporte.

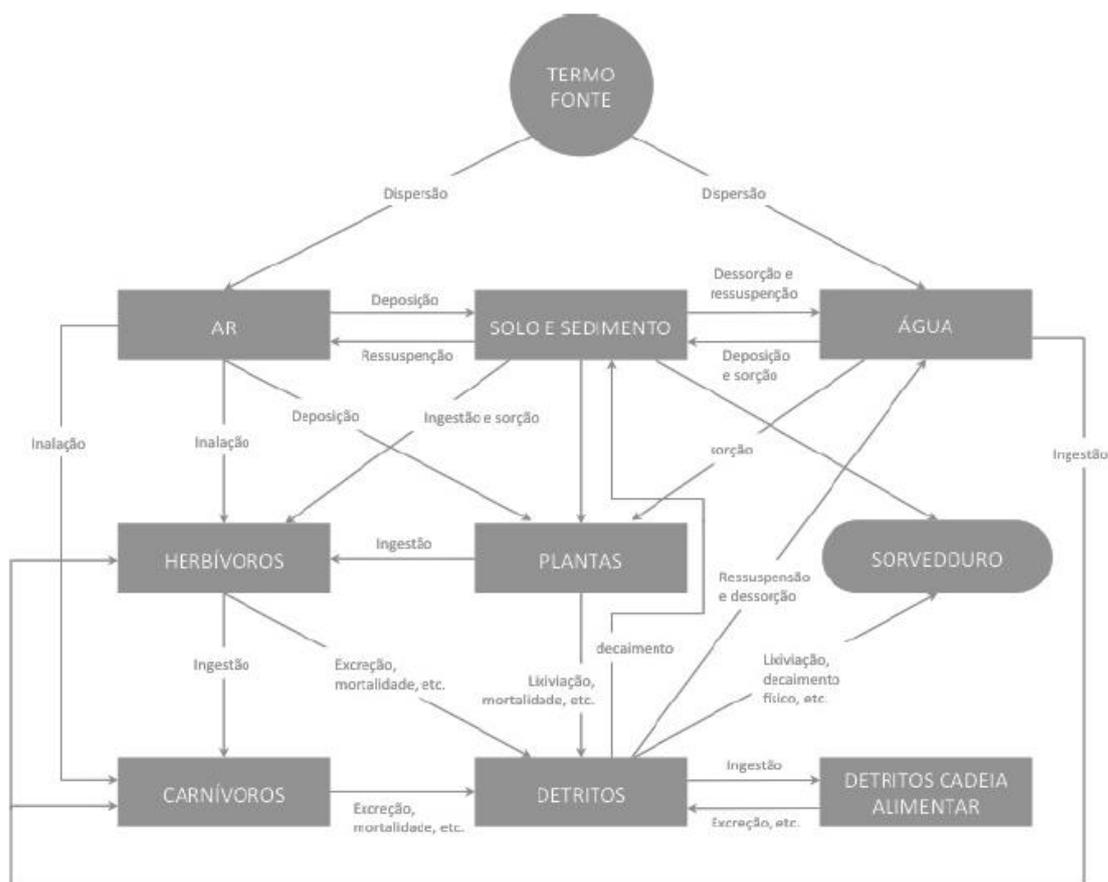


Figura 62: Mecanismos de transporte dos radionuclídeos no ecossistema. Fonte: MAZZILLI (2016).

Dentre os radionuclídeos, destacam-se os isótopos de rádio ^{226}Ra e ^{228}Ra , elementos com uma longa meia-vida (1600 e 5,75 anos, respectivamente), encontrados em seu estado livre e, por isso, mais abundantes no oceano (GAZINEU, 2005). Os precursores radioativos destes isótopos são o urânio (U), tório (Th) e o protactíneo (Pa), conforme demonstram as séries de decaimento da **Figura 63**. Dessa forma, também é de suma importância que o comportamento no ambiente marinho destes elementos seja conhecido. No oceano, as concentrações de tório e urânio em águas superficiais são cerca de 10-5 $\mu\text{g/L}$ e 3 $\mu\text{g/L}$, e nas águas subterrâneas entre 0,01- 1 $\mu\text{g/L}$ e 0,1-10 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (LAURIA, 1999 *apud* SOUZA, 2008).

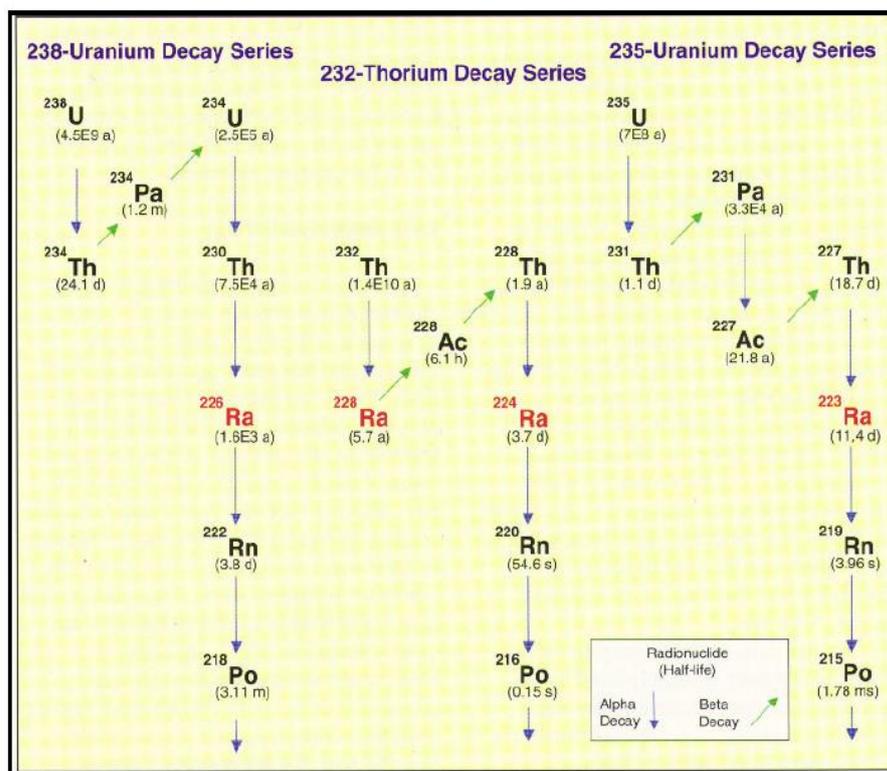


Figura 63: Séries de decaimento do ^{238}U , ^{232}Th e ^{235}U com os isótopos de rádio destacados. Fonte: SOUZA (2008).

A presença de ^{226}Ra e ^{228}Ra na água do mar se dá, principalmente, pelo decaimento de seus precursores dissolvidos na coluna d'água, especificamente ^{230}Th e ^{232}Th . Após o decaimento, os isótopos de rádio normalmente se dissolvem das águas intersticiais do sedimento do fundo marinho para a coluna d'água (PENTREATH, 1984 *apud* COSTA, 2016). Para a quantificação de sua distribuição, aconselha-se utilizar as razões de atividade $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$, que é alta em regiões de corpos d'água com circulação restrita com o oceano aberto, e conforme as águas costeiras e oceânicas se misturam, essa razão diminui. Esse processo ocorre por conta da diferença nas constantes de decaimento entre o ^{228}Ra e ^{226}Ra , onde o ^{228}Ra se regenera cerca de 280 vezes mais rápido quando o tório é depositado. Entretanto, quando comparados aos isótopos ^{223}Ra e ^{224}Ra , ambas as taxas de decaimento são elevadas, o que resulta na presença destes elementos a maiores distâncias da margem continental (SOUZA, 2008).

Porém, todos os isótopos de rádio são altamente reativos e raramente estão em seu estado livre, formando, por exemplo, sais de carbonato, sulfato e cloreto. Concentrações elevadas destes radioativos no meio podem ser prejudiciais principalmente aos mamíferos marinhos, visto que são facilmente incorporados nos ossos, causando exposição interna. Além disso, algumas espécies de fito- e zooplâncton podem acumular o isótopo ^{226}Ra , em concentrações de 7300 e 860, respectivamente, que em zonas biologicamente produtivas possivelmente são transferidas para o sedimento (PENTREATH, 1984; KOIDE *et al.*, 1976 *apud* COSTA, 2016).

De acordo com COSTA (2016), o monitoramento dos isótopos de rádio auxilia, dentre outros, na identificação de processos marinhos, como a intrusão de água subterrânea nos oceanos, capaz de reconhecer tanto sítios de descarga quanto a existência de contato desta água com o continente. Além disso, também são traçadores de processos de mistura estuarina e oceânica devida às diferenças na razão de adsorção no sedimento de fundo e dissolução na coluna d'água, e norteadores no mecanismo de mistura dominante (difusão ou advecção). Na predominância da difusão em direção ao alto-mar, a relação variação de concentração *versus* distância será inversamente proporcional, enquanto na predominância da advecção, o gráfico apresentará uma deflexão vertical – positiva caso o processo seja em direção ao alto-mar e negativa caso seja em direção à costa (SOUZA, 2008).

Os resultados de radionuclídeos obtidos nas amostras de sedimento coletadas neste PCA apresentaram concentrações de ^{226}Ra entre 8,00 e 27,10 Bq/kg, com pouca diferenciação entre a **Malha de Caracterização Ambiental** e a **Malha de Possível Passivo**. Em comparação às amostras do PCA de SdeGM, que obtiveram valores de 30,50 a 76,40 Bq/kg, neste PCA foram encontradas concentrações menores deste radioisótopo.

Para ^{228}Ra , as amostras, quando quantificáveis, apresentaram valores substancialmente inferiores a referência, com concentrações variando entre a não detecção e 41,40 Bq/kg. Tal intervalo encontra-se abaixo do valor mínimo de 44,1 Bq/kg encontrado em SdeGM. Nessas réplicas também não foram observadas diferenças significativas entre a **Malha de Caracterização Ambiental** e a **Malha de Possível Passivo**.

As baixas concentrações de radionuclídeos detectadas estão de acordo com o esperado, visto que regiões profundas (3000 m) são caracterizadas por águas oligotróficas, com mínimas contribuições continentais e mistura de águas e, conseqüentemente, baixo teor de radioisótopos. Além disso, nota-se a ausência (ou ínfima influência) de origem geológica acerca de águas subterrâneas.

6.2.3.8 Fauna Bêntica

A meiofauna foi caracterizada, neste PCA, por quatro grupos principais: Nematoda, Copépode, Ácaro e Poliqueta. Dentre esses, Nematoda destacou-se por sua elevada abundância e frequência entre as amostras, representando 54% dos organismos coletados na **Malha de Caracterização Ambiental** e 69% dos organismos coletados na **Malha de Possível Passivo**. Esse resultado corrobora com o padrão global, com Nematoda representando geralmente de 50 a 90% do total da meiofauna, sendo um dos táxons mais abundantes e com maior riqueza específica dentre os metazoários (HEIP *et al.*, 1982; COOMANS, 2002; LAMBSHEAD, 2004; VANREUSEL *et al.*, 2010). Ainda, a dominância do grupo Nematoda aumenta com a profundidade, chegando a mais de 90% em alguns lugares (DANOVARO *et al.*, 2000).

Embora o número de estações e a composição da meiofauna tenham sido similares entre as duas malhas, foi observado um número muito maior de gêneros de Nematoda na **Malha de Possível Passivo**. Enquanto na **Malha de Caracterização Ambiental** foram registrados 26 gêneros na **Malha de**

Possível Passivo foram registrados 56 gêneros. Aliado a isso, a densidade também foi consideravelmente mais elevada para essa malha.

A **Malha de Caracterização Ambiental** teve os gêneros *Sabatieria*, *Syringolaimus*, *Acantholaimus*, *Desmodora*, *Laimella*, *Paracyatholaimus*, *Theristus* e *Wieseria* como responsáveis por 50% da fauna, enquanto na **Malha de Possível Passivo**, *Halalaimus*, *Laimella*, *Leptolaimus*, *Cobbia* e *Theristus* foram os dominantes. Esse estudo corrobora outros trabalhos realizados na área, como por exemplo o PCR-BC (FONSÊCA-GENEVOIS *et al.*, 2017) e NETTO *et al.* (2005) que encontram os gêneros *Acantholaimus*, *Thalassomonhystera*, *Desmoscolex*, *Cervonema*, *Daptonema*, *Halalaimus* e *Sabatieria* entre os dominantes. Esses organismos já foram reportados para outras regiões do globo, onde *Sabatieria* e *Acantholaimus* são gêneros descritos como pertencentes às comunidades de mar profundo (TIETJEN, 1984; VANREUSEL *et al.*, 2000) e tendem a aumentar com a elevação da profundidade (VANAVERBEKE *et al.*, 1997; MUTHUMBI *et al.*, 2004). Considerando a riqueza em nível de família as mais representativas neste estudo foram Xyalidae, Chromadoridae e Desmodoridae e já foram descritos para oceano profundo como dominantes (SOETAERT & HEIP, 1995; NETTO *et al.*, 2005 e FONSÊCA-GENEVOIS *et al.*, 2017).

Os valores de densidade encontrados foram muito baixos quando comparados a outros estudos na região, com médias oscilando entre 0 e 22 inds/10 cm² na **Malha de Caracterização Ambiental** e entre 0 e 57 inds/10 cm² na **Malha de Possível Passivo**. Valores igualmente baixos já foram reportados em áreas com profundidades similares (2.000m a 2.500m) tais como Bacia do Pará-Maranhão, Ceará e Barreirinhas onde foram encontrados valores médios em torno de 20 inds/m² (PIR2/BRAVANTE, 2016 BDCA). Em associação à elevada heterogeneidade sedimentar, as características oligotróficas da região contribuem fortemente para uma baixa densidade de organismos. Além disso, estes valores ainda refletem o decréscimo em produtividade e disponibilidade de alimento desde as áreas rasas até as planícies abissais (DANOVARO *et al.*, 2008). Assim, como mostrado por LAMBSHEAD *et al.* (1995) há um gradiente de biodiversidade da meiofauna desde as áreas rasas até o oceano profundo, com um pico de diversidade a cerca de 1000 a 1500 m de profundidade, após o qual a riqueza e densidade da fauna decrescem rapidamente. Neste estudo, todas as estações estiveram entre 2.800 m e 3.000 m de profundidade. Tal fato, queda na densidade e riqueza, é reconhecido como um padrão mundial de variação da densidade de Nematoda nesses ambientes (VANAVERBEKE *et al.*, 1997; FONSÊCA-GENEVOIS *et al.*, 2017; DINET, 1979; SHIRAYAMA, 1983; TIETJEN, 1992; VINCX *et al.*, 1994; SOETAERT & HEIP, 1995). Por serem zonas com redução de luz solar, impossibilitam a fotossíntese, diminuindo a produção primária, levando as comunidades de fundo a se alimentarem de matéria orgânica carreada de zonas fóticas, que variam em diferentes períodos do ano (MOENS *et al.*, 2013). Essas características acabam por acarretar dominância de um pequeno número de espécies de alta abundância (VETTER & DAYTON 1998) e redução da diversidade (GAGE *et al.*, 1995).

De acordo com a diversidade funcional dos Nematoda, os detritívoros seletivos (1A), seguidos pelos predadores/onívoros foram as formas significativamente mais abundantes neste estudo. No PCR-BC, o mesmo padrão foi observado, com aumento dos detritívoros seletivos nas isóbatas mais profundas. As formas detritívoras seletivas classificam-se como gêneros especializados em

alimentar-se de bactérias e pequenos pedaços de matéria orgânica, enquanto predadores/onívoros se alimentam de alguns Nematoda e outros pequenos invertebrados. Esse domínio está possivelmente associado à baixa concentração de Matéria Orgânica nestas regiões e pode ser indicativo de produção bacteriana. Em águas rasas (ARMENTEROS *et al.*, 2009), é comum números elevados de detritívoros 1A, gerados pela formação de biofilmes bacterianos oriundos da degradação de matéria orgânica. Já os predadores provavelmente sejam resultado de uma maior variedade alimentar, tais como presas, diatomáceas, juvenis de macrofauna e demais organismos da meiofauna (SEMPRUCCI *et al.*, 2018). Ressaltando que são predadores facultativos, munidos também da capacidade de se alimentar de detritos orgânicos (MOENS & VINCX, 1997).

Na **Malha de Caracterização Ambiental**, apesar de não ter sido observada relação significativa, as características granulométricas foram importantes na distribuição da meiofauna. Mais de 10% da distribuição da fauna pôde ser explicado pelas variáveis abióticas, principalmente em relação porcentagem de areia e finos (silte). Nas estações com maior concentração de finos (31, 43 e 44) foram observadas relações significativas com as concentrações de manganês, no entanto as relações entre meiofauna e manganês foram negativas (-0,25). Depósitos minerais no sedimento, tais como cobre, níquel e manganês, podem influenciar no desenvolvimento da meiofauna (ZHAO *et al.*, 2020).

Já para a **Malha de Possível Passivo**, foram observadas diferenças entre as estações e entre as distâncias relativas ao poço. Foi encontrado um maior número dos descritores da meiofauna nas estações localizadas a 250 m, bem como uma elevada concentração de hidrocarbonetos (alcanos e HTP totais). As análises realizadas detectaram correlação significativa entre a distribuição e composição da meiofauna a 250 m do poço com as maiores concentrações de hidrocarbonetos. Esses resultados podem indicar possível processo de degradação da matéria orgânica e, de fato, estudos sugerem a ação de microrganismos na decomposição de hidrocarbonetos (SMITH *et al.*, 2015; POTTS *et al.*, 2018; APPOLINARIO *et al.*, 2020), o que estaria contribuindo com o aumento da meiofauna nestes locais. Outro fator que chama atenção foram as elevadas concentrações de bário encontradas nas estações localizadas a 100 m do poço, juntamente com as menores densidades da meiofauna. O metal Bário e HTP foram maiores no entorno do poço quando comparados às estações da malha de caracterização. Estudos já relacionaram concentrações de Bário e HTP à contaminação de poços de perfuração. LACERDA *et al.* (2013) mencionam que Bário e HTP em maiores concentrações indicaria um passivo gerado pela perfuração e que a contaminação pode permanecer após um período de 6 a 9 anos para áreas mais distantes. No caso do entorno deste poço, perfurado em 2002, já são 18 anos.

A macrofauna ao longo da área de estudo foi numericamente dominada por poliquetas, que representaram em torno de 70% da macrofauna coletada em todo o bloco. Os crustáceos foram o segundo grupo mais abundante, representados principalmente por tanaidáceos, não diferindo da fauna comumente encontrada em regiões de oceano profundo (GERINO *et al.*, 1995; GAGE & TYLER, 1996; COSSON *et al.*, 1997; FLACH & BRUIN, 1999; TYLER, 2003). A dominância de poliquetas tem sido retratada em diversas regiões do oceano profundo, representando de 40 a 90% da macrofauna total (COSSON *et al.*, 1997; LEVIN *et al.*, 2001; GALÉRON *et al.*, 2009) bem como na Bacia de Campos (LAVRADO *et al.*, 2017; NETTO *et al.*, 2005). Um estudo na região norte da Bacia de Santos avaliando

diferentes profundidades identificou a dominância desse grupo em todas as isóbatas, com variação de 44% no talude superior (400 m) e 75% no talude inferior e Platô de São Paulo (1.900 a 3.000 m; BERNARDINO *et al.*, 2016).

Na **Malha de Caracterização Ambiental** foram registradas 27 morfoespécies de poliquetas enquanto na **Malha de Possível Passivo** 21. A alta diversidade deste grupo está provavelmente relacionada às diferentes estratégias de alimentação e hábitos de vida (GIANGRANDE, 1997). Os estudos da fauna de poliquetas de mares profundos têm revelado que, em geral, são de menor tamanho e possuem um número de segmentos reduzido, quando comparados com organismos de regiões costeiras (HESSLER & JUMARS, 1977). Devido à sua variedade de hábitos alimentares e tendo muitas espécies depositívoras, são capazes de explorar a matéria orgânica depositada no fundo (THISTLE, 2003). Em ambas as malhas Cirratulidae e Spionidae estiveram presentes como um dos organismos de maior densidade, bem como, com maior frequência de ocorrência. Os poliquetas da família Spionidae estão entre as mais comuns, diversos e recorrentes em todos os ambientes marinhos. O sucesso deste grupo está possivelmente associado à sua diversidade de estratégia alimentar, podendo tanto ser encontrados em ambientes deposicionais quanto em ambientes de maior energia. Ainda, tem sido destacada como comedora seletiva de fitodetrito de depósito recente (WURSZBERG *et al.*, 2011). No estudo conduzido por BERNARDINO (2016) a macrofauna nas profundidades entre 1.300-3.000 m era tipicamente dominado por cirratúlídeos e espionídeos, bem como exibiam uma composição altamente semelhante. Assim como os poliquetas, os crustáceos tanaidáceos das famílias Apseudidae e Leptocheiliidae e anfípodes da família Phoxocephalidae já foram registrados em áreas semelhantes (FROUIN, 1996; NETTO *et al.*, 2005; GIMENEZ-CASALDUERO *et al.*, 2011; PAIVA, 2006; BERNARDINO *et al.*, 2016).

Os valores médios de densidade da macrofauna neste estudo foram de 171 inds/m², para a **Malha de Caracterização Ambiental**, e de 232 inds/m², para a **Malha de Possível Passivo**. Estes dados de densidade são inferiores aos obtidos em outros estudos na região (BERNARDINO, 2016; LAVRADO *et al.*, 2017), porém superiores ao encontrado em áreas como as bacias do Pará-Maranhão, Ceará e Barreirinhas (dados não publicados). Os fatores que determinam uma distribuição agregada são diversos, destacando-se a heterogeneidade do sedimento, *input* de nutrientes, disponibilidade de oxigênio, perturbações físicas e distribuição de alimento (DANOVARO *et al.*, 2000; HEWITT *et al.*, 2005; VANREUSEL *et al.*, 2010; NEPHIN *et al.*, 2014). Além disso, vários estudos têm mostrado que as assembléias bênticas exibem padrões batimétricos de abundância decrescente, bem como mudanças na composição taxonômica e diversidade, relacionadas à diminuição da disponibilidade de alimentos e processos oceanográficos. Devido às profundidades locais, este estudo contempla, apenas, a escala espacial, sendo possível observar uma baixa riqueza e densidade ao longo das estações nas duas malhas amostradas. Para ambas não foram detectadas diferenças espaciais significativas, porém, foi possível distinguir algumas características da fauna entre as estações.

Na **Malha de Caracterização Ambiental** foi observado valores mais elevados nas estações 4, 31, e 46 e menores nas estações 47 e 43. A macrofauna apresentou relações com as variáveis abióticas do sedimento principalmente com matéria orgânica e carbono orgânico presentes nas estações 4, 31 e 46. Já em sedimentos mais arenosos como a estação 47 a macrofauna foi menos abundante. Em

locais de deposição tais como cânions e bacias sedimentares em oceano profundo as características relacionadas a topografia de fundo e correntes pode manter o aporte de matéria orgânica para locais específicos o que cria determinados padrões espaciais de distribuição da fauna bêntica (CUNHA *et al.*, 2011; GUNTON *et al.*, 2015). A relação observada na macrofauna bêntica com a concentração de finos e matéria orgânica pode estar associado locais específicos de deposição. Estes locais não são estáticos e podem ser influenciados por diversos fatores que diferem em escalas espaciais e sazonais (PROUTY *et al.*, 2017). Já para a **Malha de Possível Passivo**, ao contrário do observado para Nematoda, valores mais elevados foram exibidos pelas estações localizadas a 100 m do poço. Nos trabalhos de monitoramento de impactos de perfuração foi possível observar efeitos sobre a macrofauna logo após a perfuração e sinais de recuperação após um ano. Entretanto, a recuperação não foi completa, com a fauna em algumas estações exibindo evidências de perturbação dentro de um raio de 200 m da cabeça do poço (MAIRS *et al.*, 2000; NETTO *et al.*, 2005). Eles ainda sugerem que o impacto tenha sido causado pela modificação da estrutura do sedimento e que essa tenha favorecido o predomínio de organismos oportunistas. De fato, neste PCA para a **Malha de Possível Passivo** foi observado maior abundância da família Cirratulidae um conhecido poliqueta oportunista. Cirratúlideos são típicos poliquetas que se alimentam de pequenas partículas no sedimento utilizando seus numerosos tentáculos (JUMARS *et al.*, 2015), e comuns em águas profundas e em locais próximos a fontes de matéria orgânica tais como hidrocarbonetos (BLAKE *et al.*, 2009; WASHBURN *et al.*, 2018; GROSSE *et al.*, 2020).

Quanto à megafauna, avaliada com base em imagens obtidas com ROV em 7 das 9 estações da **Malha de Caracterização Ambiental**, de maneira geral os equinodermatas foram os organismos mais presentes nas filmagens. A classe Holothuroidea foi a mais representativa deste filo, principalmente os organismos do gênero *Bentho-dytes*. Embora em profundidades inferiores, esses organismos já haviam sido observados em elevada dominância na Bacia de Campos (LAVRADO *et al.*, 2017). Alguns estudos utilizando o ROV na identificação dessa fauna também registraram essa classe com frequência, e foram utilizados como referência na identificação das imagens geradas neste relatório (BORRERO-PÉREZ *et al.*, 2020; GATES, 2016; PAWSON *et al.*, 2015).

O filo Chordata, segundo mais frequente nas imagens, com representantes da família Ipnopidae do gênero *Bathypterois*, já foram descritos na região da Bacia de Campos (DAVIS *et al.*, 2011) e são peixes conhecidos como “Tripod fish” pelas características peculiares de nadadeiras alongadas que tocam o sedimento. Outros organismos tais como Porifera, Crustacea e Cnidaria também foram observados, no entanto, em menor frequência.

A distribuição da fauna em regiões profundas, maiores que 2000 m são principalmente relacionadas a batimetria, disponibilidade de alimento, correntes marinhas, produção primária e morfologia do fundo (SMITH *et al.*, 2008; LAVRADO *et al.*, 2017a; Lavrado *et al.*, 2017b; WEI *et al.*, 2010; BERNARDINO *et al.*, 2016). Os esforços para o levantamento de fauna bêntica têm melhorado muito nos últimos anos, principalmente em relação a ambientes profundos. O uso de ROV, aliado a tecnologias de sensoriamento remoto, vêm ganhando notoriedade e seu uso tem aumentado e enriquecido a elaboração de estudos científicos e técnicos (ROBINSON *et al.*, 2017; e LÓPEZ-GARRIDO, 2020). As identificações da megafauna realizadas neste relatório por meio da observação

das imagens obtidas por ROV proveem uma importante informação inicial e se tornam uma excelente ferramenta no uso de levantamentos ambientais. No entanto, a taxonomia precisaria ser revista, quando possível, através da captura destes organismos.

No **Anexo XVI_A** é disponibilizado o relatório completo da biota bêntica, com descrições metodológicas detalhadas, apresentação e discussão de todos os resultados brutos obtidos, incluindo inventário taxonômico.

6.2.3.9 Síntese da Qualidade Ambiental

As diferentes malhas amostrais utilizadas permitiram identificar padrões ecológicos distintos entre as áreas amostradas quanto à caracterização do sedimento e biota associada. Na **Malha de Caracterização Ambiental** foi possível identificar regiões com maiores densidades da fauna bêntica e outras com baixíssimas densidades e diversidade, relacionadas a características abióticas do sedimento. Esses padrões podem estar conectados a aportes de carbono orgânico da superfície ou aportes energéticos do fundo, que sustentam comunidades bentônicas a grandes profundidades, assim como a padrões geográficos e regiões de deposição de matéria orgânica transportadas por correntes ou acumuladas em depressões no leito marinho.

Já a **Malha de Possível Passivo**, no entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS, foi caracterizada pela presença de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), que são degradados no fundo oceânico por microrganismos e metazoários, tais como os Nematoda componentes da meiofauna. Foi encontrado um maior número de descritores da meiofauna nas estações localizadas a 250 m do poço, bem como uma elevada concentração de hidrocarbonetos (alcanos e HTP totais). As análises realizadas detectaram correlação significativa entre a distribuição e composição da meiofauna a 250 m do poço e as maiores concentrações de hidrocarbonetos. Esses resultados podem indicar possível processo de degradação da matéria orgânica e, de fato, estudos sugerem a ação de microrganismos na decomposição de hidrocarbonetos, o que estaria contribuindo com o aumento da meiofauna nestes locais. O Bário (Ba) também foi um importante indicador de passivo naquele ambiente e a meiofauna a 100 m do poço respondeu negativamente às elevadas concentrações deste metal. Não só as concentrações de bário mais elevadas nestas amostras, como também as assinaturas geoquímicas identificadas pelas análises de biomarcadores, apontam para impactos relacionados à perfuração do poço e aos fluidos utilizados em suas diferentes fases.

No sedimento, os únicos parâmetros com resultados fora de enquadramento no sedimento foram bário e cobre, que ultrapassaram o TEL (considerado pela NOAA; conforme BUCHMAN, 2008). Estas maiores concentrações, no entanto, foram registradas no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS, sendo, para o cobre, também nas estações 31 e 46 (em apenas uma das réplicas de cada uma dessas estações), em todos os casos parecendo caracterizar um *background* local.

A fauna bêntica se mostrou um bom indicador para diagnosticar perturbações naturais ou antrópicas, podendo ser aplicada em monitoramento ambiental dessa área no futuro.

As perguntas elencadas para nortear as análises integradas da qualidade do sedimento e biota associada puderam ser respondidas:

- **Houve variação espacial significativa na área do bloco, considerando as estações de caracterização ambiental?**

Não foram identificadas variações espaciais significativas entre as estações amostradas para caracterização ambiental no que se refere aos componentes bióticos (meiofauna e macrofauna). O mesmo não ocorreu com os componentes abióticos, onde foram observadas variações significativas entre as estações para as variáveis areia fina, areia muito fina, silte, carbonatos, matéria orgânica, alumínio, bário, cromo, ferro, manganês, vanádio e alcanos, principalmente considerando que a estação 4 (entorno do Poço 1-BRSA-125-RJS) também faz parte da **Malha de Caracterização Ambiental**.

- **Houve variação espacial significativa na área de avaliação de possível passivo da perfuração do Poço 1-BRSA-125-RJS?**

Sim, em relação à fauna bêntica. Foram observadas diferenças significativas tanto entre as estações quanto entre as distâncias relativas à cabeça do poço para Nematoda (meiofauna). Foi encontrado maior número de descritores da meiofauna, bem como elevada concentração de hidrocarbonetos (alcanos e HTP totais), nas estações localizadas a 250 m do poço,. Para macrofauna não foram detectadas diferenças espaciais significativas.

- **Quais as correlações significativas entre parâmetros na área do bloco?**

Foram observadas correlações entre os parâmetros bióticos e abióticos analisados, principalmente relacionadas às características sedimentológicas (granulometria). As variáveis do sedimento que contribuíram significativamente para a distribuição e composição da macrofauna foram COT e areia fina, principalmente nas estações 31, 43 e 44. Já para a meiofauna, apenas as concentrações de manganês foram significativas nessas estações.

- **Quais as correlações significativas entre parâmetros no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS?**

As análises realizadas detectaram correlação significativa entre a distribuição e composição da meiofauna a 250 m do poço com as maiores concentrações de alcanos. Esses resultados podem indicar possível processo de degradação da matéria orgânica, e de fato, estudos sugerem a ação de microorganismos na decomposição de hidrocarbonetos, o que estaria contribuindo com o aumento da meiofauna nestes locais. Outro fator que chama atenção foram as elevadas concentrações de Bário encontradas nas estações localizadas a 100 m do poço juntamente com as menores densidades da meiofauna. O metal Bário, HTP e Alcanos exibiram diferença espacial significativa, e foram maiores na área em torno do poço quando comparados a estações da malha de caracterização. Para macrofauna foi observada apenas correlação significativa entre estações com argila e areia média.

7. Considerações e Conclusões

Não foram identificadas, na área do Bloco C-M-541, condições ambientais fora do esperado para esta região da Bacia de Campos, a não ser, em específico, no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS, perfurado em 2002 pela PETROBRAS, conforme foi detalhado, discutido e enfatizado no item “Monitoramento Ambiental”.

Conclusões do PCA do Bloco C-M-541, Bacia de Campos

Mapeamento e imageamento do fundo marinho

mapeamento	estratégia metodológica adotada	reprocessamento de dados sísmicos 3D
	abrangência	áreas de interesse para a locação Marolo e para a locação Ubaia
	responsabilidade	Bianca Fernandez/ Equipe de Geologia da TOTAL
	caracterização geral	sem identificação de irregularidades batimétricas que pudessem ser indicativas de ser compatíveis com a ocorrência de ambientes biogênicos em qualquer das áreas mapeadas (locações Marolo e Ubaia)
	observações	-
imageamento	estratégia metodológica adotada	ROV com capacidade operacional até 3.000m de lâmina d'água
	abrangência	8 radiais de 200/400 m, com 45° entre si e uma circunferência completa a 100 m de distância das coordenadas previstas em projeto
	georreferenciamento	Sistema HIPAP USBL do próprio ROV com registros de coordenadas na tela
	orientação técnica dos registros em campo	Oceanógrafo - Leandro Pickhardt
	caracterização geral	Leito oceânico composto por granulometria fina de característica areno-lodosa com distribuição homogênea e ocorrência esparsa de organismos da megafauna bêntica
observações	Através do imageamento remoto foi possível observar a megafauna bêntica, composta principalmente por Holothuridae, peixes <i>Bathypterois</i> sp., crustáceos Decapodas, Cnidários e Poríferos	

Comunidades Marinhas Bênticas no Bloco C-M-541

Foram identificadas comunidades bênticas bioconstrutoras (algas calcárias e corais de águas profundas, por exemplo)?	Não
Foram identificadas assembléias bênticas de qualquer natureza?	Não
Foram identificadas acumulações de detritos orgânicos e/ou minerais?	Sim, acumulações de detritos orgânicos observadas provenientes da coluna d'água (carapaças de organismos planctônicos)
Foram identificadas emanções frias (<i>cold seeps</i>), exsudações, de gás sulfídrico, metano ou outros compostos hidrocarbônicos?	Não
Foi gerada alguma FNFB (Ficha de Notificação de Formação Biogênica)?	Não
Observações	Nas amostras de sedimento coletadas por meio do box corer foram observadas acumulações de detritos orgânicos

Comunidades Marinhas Bênticas no Bloco C-M-541

provenientes da coluna d'água (carapaças de organismos planctônicos), em todas as estações e amostras
(sim/não - caso positivo, descrição contendo características principais, presença, ou não, de organismos vivos, metodologia amostral que permitiu a identificação, dentre outras informações)

Caracterização Ambiental

amostragens	abrangência da malha amostral		toda a área do bloco		
	áreas de interesse para perfuração/produção		estações 15 (locação Marolo) e 31 (locação Ubaia)		
	distâncias entre as estações		entre 6 e 29,2 km entre si		
		CTD	9 estações - toda a coluna d'água		
		água	9 estações em 5 estratos (45 amostras)		
		plâncton	9 estações - em 5 estratos (45 amostras) para fitoplâncton, com arrastos nos 200 m superficiais (9 amostras de zooplâncton com rede de 200 µm oriundas de arrastos verticais com rede simples, 9 amostras de ictioplâncton com rede de 330 µm e outras 9 com rede de 500 µm, oriundas de arrasto oblíquo com redes em arranjo Bongô)		
			sedimento	9 estações em triplicata (27 amostras)	
			bentos	9 estações em triplicata (27 amostras)	
	precisão e registro de coordenadas amostradas (sedimento)		raio máximo de erro de 100 m com uso de USBL devidamente calibrado		
	imageamento prévio às amostragens de sedimento		sim		
qualidade da água e biota associada	termoclina		entre 90 e 1200 m com uma espessura média de aproximadamente 900 m na coluna d'água e temperaturas entre 3,5°C e 24,3°C		
	massas d'água identificadas		Água Tropical (AT); Água de Mistura (AM); Água Central do Atlântico Sul (ACAS); Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)		
	variação vertical		Variações verticais identificadas ligadas às características oceanográficas		
	variação na área do bloco		Não identificada		
	parâmetros fora de enquadramento		CONAMA 357/05 águas salinas de classe 1 OD (abaixo do VR, apenas na APAN) Nitrato (acima do VMR na ACAS, AIA e APAN) Ortofosfato (acima do VMR na AIA e APAN)		
	comparação com referências		Nenhuma ocorrência de parâmetro variando de forma diferente do esperado com base da literatura		
	fitoplâncton	Riqueza (<i>táxons</i>)	22 a 31 (SUB); 22 a 29 (ACT); 14 a 30 (ACAS); 10 a 20 (AIA); 9 a 18 (APAN)		

Caracterização Ambiental

	densidade	6941 a 19729 células/L (SUB); 2340 a 13601 células/L (ACT); 2240 a 8509 células/L (ACAS); 480 a 4520 células/L (AIA); 520-830 células/L (APAN).
	diversidade	2,58 a 3,74 (SUB); 2,47 a 4,06 (ACT); 1,32 a 3,12 (ACAS); 0 a 2,91 (AIA); 0,72 a 2,52 (APAN)
	grupo dominante	Diatomáceas e Dinoflagelados (juntos mais de 60% em cada estação).
	Riqueza (<i>táxons</i>)	33 a 43
zooplâncton	densidade	33,92 a 297,71 indivíduos/m ³
	diversidade	3,88 a 4,60
	grupo dominante	Copepoda (64%)
	espécies oportunistas	Não
	espécies invasoras	<i>Temora turbinata</i>
	espécies ameaçadas	Não
	riqueza (<i>larvas</i>)	7 a 33
ictioplâncton	densidade (<i>ovos e larvas</i>)	0 a 1,19 ovos/100 m ³
	diversidade (<i>larvas</i>)	Não foi calculada
	famílias dominantes	Myctophidae (entre 46% e 54%)
	espécies invasoras	Não
	espécies ameaçadas	Não
destinação do material biológico coletado	Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os organismos do zooplâncton e do ictioplâncton identificados foram tombados nas respectivas coleções do referido laboratório. As amostras de fitoplâncton não são tombadas, mas uma alíquota de cada estação fica guardada por cinco anos no referido laboratório.	
qualidade do sedimento e biota associada	variação na área do bloco (<i>parâmetros e observações</i>)	Não foram identificadas variações espaciais entre as estações da Malha de Caracterização Ambiental para os componentes da fauna bêntica estudada (meiofauna, macrofauna e megafauna). Já entre os abióticos foram observadas variações significativas entre as estações (areia fina, areia muito fina, silte, carbonatos, matéria orgânica, alumínio, bário, cromo, ferro, manganês, vanádio e alcanos).
	parâmetros fora de enquadramento	Bário e cobre, que ultrapassaram o TEL. Estas maiores concentrações, no entanto, foram registradas no entorno do poço 1-BRSA-125-RJS, sendo, para o cobre, também nas estações 31 e 46 (em apenas uma das réplicas de cada uma dessas estações), em todos os casos parecendo caracterizar um background local.

Caracterização Ambiental

comparação com referências	Os valores observados neste estudo foram similares aos reportados em outros estudos realizados Baía de Campos. Os parâmetros abióticos do sedimento tendem a ter menores concentrações em maiores profundidades, quando comparados a áreas mais rasas adjacentes	
meiofauna	riqueza	1,37 (média táxons)
	densidade	4,36 (média Indivíduos/10cm ²)
	diversidade	0,37 (média)
	grupo dominante	Nematoda
	estrutura trófica	43% dos Nematoda foram “detritívoros seletivos” (1A), “predadores/onívoros” (2B) compuseram 32%, “detritívoros não seletivos” (1B) corresponderam a 14% e aqueles que se alimentam no “epistrato” (2A) 11%
	espécies oportunistas	Não observadas
	espécies invasoras	Não observadas
	espécies ameaçadas	Não observadas
macrofauna	riqueza	4,25 (média táxons)
	densidade	170,97 (média indivíduos por m ²)
	diversidade	1,30 (média)
	grupo dominante	Poliqueta
	espécies oportunistas	Família Cirratulidae
	espécies invasoras	Não observado
	espécies ameaçadas	Não observadas
	espécies raras	Não
	espécies endêmicas	Não
	espécies indicadoras da qualidade ambiental	Neste primeiro momento, de caracterização ambiental, todos os organismos da fauna benthica são utilizados como indicadores da qualidade ambiental. Foram observados organismos tais como Anfípodos que podem ser relacionados a ambiente de boa qualidade ambiental.
	espécies com importância na cadeia alimentar	Organismos da macrofauna são utilizados como a base da cadeia alimentar de muitas espécies de peixes e crustáceos
espécies de interesse econômico	Não	
espécies de interesse científico	nenhuma espécie em específico, mas toda a comunidade, considerando sua importância e pouco conhecimento existente sobre a região.	
destinação do material biológico coletado	Material tombado na Universidade do Sul de Santa Catarina - Laboratório de Ciências Marinhas	

Monitoramento Ambiental

campanhas	locação/poço	poço 1-BRSA-125-RJS, perfurado pela PETROBRAS em 2002		
	pré (<i>antes da perfuração</i>)	não		
	pós I (<i>até 3 meses após término da perfuração</i>)	não		
	pós II (<i>até 1 ano após término da perfuração</i>)	não		
	outro	sim, por ocasião do PCA do Bloco, para avaliação de possível passivo ambiental pré-existente a quaisquer atividades de E&P pela TOTAL no Bloco C-M-541		
imageamento	estratégia metodológica adotada	ROV com capacidade operacional até 3.000 m de lâmina d'água		
	abrangência	8 radiais de 400 m, com 45° entre si e duas circunferências completas a 100 m e a 250 m de distância da cabeça do poço		
	georreferenciamento	Sistema HIPAP USBL do próprio ROV com registros de coordenadas na tela		
	orientação técnica dos registros em campo	Oceanógrafo - Leandro Pickhardt		
	caracterização geral	O imageamento remoto permitiu identificar organismos da megafauna bêntica (Holothuridea, Crustáceos e peixes Macrouridae)		
	identificação e dimensionamento de pilhas de cascalho	Não observadas		
	observações	A área da cabeça do poço possui características muito similares às das outras áreas imageadas do entorno do poço, com fundo de composição lamosa e encrustada de biodetritos.		
amostragens	desenho da malha amostral	cinco radiais com 45° entre si e duas estações em cada (a 100 m e a 250 m da cabeça do poço), num total de 10 estações		
	quantidade de estações e estratos/réplicas	CTD	nenhuma	
		água	nenhuma	
		plâncton	nenhuma	
		sedimento	10 estações em triplicata (30 amostras)	
		bentos	10 estações em triplicata (30 amostras)	
	precisão e registro de coordenadas amostradas (sedimento)	raio máximo de erro de 40 m com uso de USBL devidamente calibrado		
imageamento prévio às amostragens de sedimento	sim			
impactos identificados	descarte de fluido de perfuração e cascalho	Altas concentrações de Bário e de hidrocarbonetos no entorno da cabeça do poço, mesmo 18 anos após sua perfuração		
	descarte de água produzida	não		
	descargas acidentais de óleo e outras substâncias	não		
Observações	Foram observadas diferenças significativas tanto entre as estações quanto entre as distâncias relativas à cabeça do poço para Nematoda (meiofauna). Foi encontrado maior número dos descritores da meiofauna nas estações localizadas a 250 m, bem como elevada concentração de hidrocarbonetos (Alcanos). O metal Bário e HTP foram maiores na área em torno do poço quando comparados às estações da malha de caracterização ambiental			

Monitoramento Ambiental

Vínculo com Projeto de Monitoramento Ambiental (PMA)	sim/não	não
	processo	-
	observações	-

ABIO

número e validade	1298/2020 (7969718) válida até 19/07/2021
alteração de Relação de Equipe Técnica (RET) <i>(data e protocolo SEI)</i>	não
notificação de início das atividades de campo <i>(data e protocolo SEI)</i>	protocolo SEI 7986976 em 16/07/2020
notificação de término das atividades de campo <i>(data e protocolo SEI)</i>	protocolo SEI 8329117 em 08/09/2020
observações	Relatório de Atendimento às Condições da ABIO nº 1298/2020 (SEI nº 7969718) Número do Processo: 02001.004543/2020-73 protocolo SEI 8511765 em 06/10/2020

8. Equipes e Instituições

A profissional responsável técnica pela implementação do presente projeto é a Bióloga Paula Vieira Castellões, sob a Anotação de Responsabilidade Técnica Nº 2-36687/20-E (**Anexo II**). A seguir são apresentados os nomes, acompanhados de titulação, cargo, responsabilidades, registro de classe e cadastro técnico no IBAMA, dos profissionais da PRO-OCEANO Serviço Oceanográfico e Ambiental Ltda. (**Tabela 21**), e os diretamente envolvidos na gerência, implementação e elaboração do relatório deste PCA, incluindo os Cadastro Técnico Federal das Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental (CTFAIDA/IBAMA).

Tabela 21: Equipe técnica envolvida (empresa e profissionais) na gerência e implementação da campanha de monitoramento ambiental do Bloco C-M-541 (campanha 2020) e elaboração de relatório.

empresa/profissional	cargo/formação	registro de classe	CTFAIDA/IBAMA
PRO-OCEANO Serviço Oceanográfico e Ambiental Ltda.	empresa	CRBio-2 Nº2499 AOCEANO Nº23PJ	201344
Júlio Augusto de Castro Pellegrini, Dr.	Diretor Geral/ Oceanógrafo	AOCEANO Nº666	210325
Leonardo Maturo Marques da Cruz, MSc.	Diretor/Oceanógrafo	AOCEANO Nº1237	252527
Francisco Alves dos Santos, MSc.	Diretor/Oceanógrafo	AOCEANO Nº2380	459094
Paula Castellões, MSc. (Profissional Responsável Técnica)	Gerente de Meio Ambiente/Bióloga	CRBio-2 Nº29526/02-D	216354

empresa/profissional	cargo/formação	registro de classe	CTFAIDA/ IBAMA
Tiago Cardoso de Miranda	Gerente de Projetos/ Oceanógrafo	sem registro	637144
Pedro Marques São Thiago	Coordenador de Projetos/Oceanógrafo	sem registro	1452979
Rafael do Rego Barros Lapagesse Alves Corrêa	Oceanógrafo	sem registro	7192805
Fernanda Bastos de Ramos Lima	Técnico Ambiental/ Oceanógrafa	sem registro	7499374
André Mejia Grijó	Técnico Ambiental/ Oceanógrafo	sem registro	5509318
Luiza Peiter de Barros Barreto	Analista Ambiental Jr/ Oceanógrafa	sem registro	7437543
Santiago Gonzalez Bravo	Suporte técnico (externo)/ Oceanógrafo	sem registro	7744957
Priscilla Barreto Rainha	Suporte técnico (externo)/ Bióloga	CRBio-2 Nº78830/02-D	3241839
Aline Zaccaron Meurer	Análise integrada (externo)/ Bióloga	CRBio-3 Nº63025/03-D	1932828
André Silva Francisco	Análise integrada (externo)/ Biólogo	CRBio-3 Nº69241/03-D	1720612
Vladimir Oliveira Elias	Geoquímico de Petróleo/ Químico	CRQ-3 032.124-07	194599

As amostragens foram realizadas sob a coordenação do Oceanógrafo Rafael Lapagesse, e por uma equipe multidisciplinar, para a realização das coletas biológicas, químicas e físicas, nos compartimentos água e sedimento (**Tabela 22**).

Tabela 22: Equipe técnica responsável pelas atividades de campo do Bloco C-M-541.

profissional	pernadas	cargo/formação	registro de classe	CTFAIDA/ IBAMA
Rafael do Rego Barros Lapagesse Alves Corrêa	1 e 2	Coord. Campo/ Oceanógrafo	sem registro	7192805
Fernanda Bastos de Ramos Lima	2 e 3	Coord. Campo/ Oceanógrafa	sem registro	7499374
André Mejia Grijó	1 e 3	Coord. Campo/ Oceanógrafo	sem registro	5509318
André Silva Francisco	2	Eq. Técnica/ Biólogo	CRBio-3 Nº69241/03-D	1720612
Beatriz Machado	1 e 3	Eq. Técnica/ Bióloga	CRBio-2 Nº84295/02-D	5393333
Bruno Saliba de Souza e Almeida	3	Eq. Técnica/ Oceanógrafo	sem registro	5546832
Natalia de Castro Monção Ribeiro	1 e 2	Eq. Técnica/ Oceanógrafa	sem registro	7575351

A seguir são apresentados todos os responsáveis pelas análises das amostras coletadas, assim como os responsáveis pelos resultados analíticos dos laboratórios (**Tabela 23**).

Tabela 23: Equipe técnica responsável pelas análises das amostras do PCA do Bloco C-M-541.

empresa/instituição	profissional/formação	registro de classe	parâmetros analisados
Analytical Technology	Rodrigo Sylvain Ribeiro/Químico	CRQ-4 04268000	metais, BTEX, Fenóis totais, TPH e SVOC (água) e metais, NT, PT, HTP, SVOC, Biomarcadores (sedimento)
Unidade Multiusuário de Análises Ambientais (UMMA)	Dr. Ricardo Pollery/Biólogo	CRBio-2 32.221/02-D	TDS, TSS, COT, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal Total, Nitrogênio Total, Ortofosfato e Fósforo Total, Silicato, Sulfeto, clorofila_a e feofitina_a (água) e granulometria e teor de carbonatos, MOT e COT (sedimento)
Laboratório de Estudos Marinhos e Ambientais (LabMAM)/PUC-RIO	Prof. Dr. Renato da Silva Carreira/Oceanógrafo	sem registro	HTP (sedimento)
Laboratório de Caracterização de Águas LabÁGUAS/PUC-RIO	Prof. Dr. José Marcus Godoy/ Químico	CRQ-3 03211017	radionuclídeos Ra226 e Ra228
Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton, do Instituto de Biologia/UFRJ (através da empresa Thalassa Pesquisa e Consultoria Ambiental)	Prof. Dr. Sérgio Luiz Costa Bonecker/Biólogo	CRBio-2 12638/02-D	fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton
Laboratório de Análise Ambiental/UNISUL (através da empresa Marítima Estudos Bênticos)	Prof. Dr. Sergio Netto/ Oceanógrafo	AOCEANO Nº234	macrofauna bêntica

Todas as amostras biológicas obtidas foram devidamente destinadas a instituições públicas nacionais sob curadoria e responsabilidade dos laboratórios e profissionais abaixo identificados (**Tabela 24**). Nos **Anexo XII_C** e **Anexo XVI_C** são apresentados os registros destas destinações e tombos de amostras, quando aplicáveis.

Tabela 24: Instituições e responsáveis pela curadoria e tombamento das amostras biológicas do PCA do Bloco C-M-541.

material/ amostras	estações réplicas	coleção	Instituição	laboratório	contato/ curador responsável	data de destinação
fitoplâncton	4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48 (5 estratos)	coleção de plâncton	Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro	Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton	Dr. Sérgio Luiz Costa Bonecker	07/10/2020
zooplâncton	4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48	coleção de plâncton	Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro	Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton	Dr. Sérgio Luiz Costa Bonecker	07/10/2020
ictioplâncton	4, 15, 31, 43, 44, 45, 46, 47 e 48	coleção de plâncton	Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro	Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton	Dr. Sérgio Luiz Costa Bonecker	07/10/2020
meiofauna bêntica	1 a 48 (em triplicata)	coleção de zoobentos	Universidade do Sul de Santa Catarina	Laboratório de Análise Ambiental	Dr. Sergio Antônio Netto	09/10/2020
macrofauna bêntica	1 a 48 (em triplicate)	coleção de zoobentos	Universidade do Sul de Santa Catarina	Laboratório de Análise Ambiental	Dr. Sergio Antônio Netto	09/10/2020

9. Referências

- ABÍLIO, G. S., CUPELO, A. C. G., REZENDE, C. E. 2006. Heavy Metal Distribution in Sediments of na offshore exploration area, Santos Basin, Brazil. **Geochemica Brasiliensis**, 20(1)071-068, 2006.
- AIDAR, E.; GAETA, S.A.; GIANESELA-GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, B. & TEIXEIRA, C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. **Publicação especial Instituto Ocenográfico, São Paulo**, (10) 9:43.
- AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M., 1983. **Manuel des analyses chimiques en mi-lieu marin**. Brest: Centre National pour l'Éxploration des Océans, 395 p.
- ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. Plymouth, UK.

ANVISA, 2019. Coleta, acondicionamento, transporte, recepção e destinação de amostras para análises laboratoriais no âmbito do sistema nacional de vigilância sanitária - Guia Nº 19 /2019 – Versão 2 – Disponível em:
<http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2957432/Guia+n%C2%BA+19-2019+-+vers%C3%A3o+2.pdf/43c1ad08-004b-4665-881d-6da2177e1f54>

APPOLINARIO, Luciana R. *et al.* 2020. Oil leakage induces changes in microbiomes of deep-sea sediments of Campos Basin (Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 139556.

ARAUJO, B. Distribuição de Hg total e suas associações com diferentes suportes geoquímicos em sedimentos de fundo na interface continente – oceano. Mestre—[s.l.] **UENF**, 2009.

ARAUJO, B.; ALMEIDA, M. G. DE; SALOMÃO, M. S. M. B.; GOBO, R. R.; SIQUEIRA, V. C.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E. Distribuição de Hg total e suas associações com diferentes suportes geoquímicos em sedimentos marinhos da margem continental brasileira: Bacia de Campos - Rio de Janeiro. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 501-507, 2010.

ARMENTEROS, M., RUIZ-ABIerno, A., FERNÁNDEZ-GARCÉS, R., PÉREZ-GARCÍA, J. A., DÍAZ-ASENCIO, L., VINCX, M., & DECRAEMER, W. 2009. Biodiversity patterns of free-living marine nematodes in a tropical bay: Cienfuegos, Caribbean Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 85, n. 2, p. 179-189.

AS (Analytical Solutions S.A.) & PEG (Petroleum Environmental Geoservices Ltda.), 2003a. Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (MMA - Ministério do Meio Ambiente e PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.). Primeira etapa - Relatório referente à Bacia de Santos. 578p. (5 anexos)

AS (Analytical Solutions S.A.) & PEG (Petroleum Environmental Geoservices Ltda.), 2003b. Projeto Diagnóstico Ambiental das Áreas de Exploração e Produção nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (MMA - Ministério do Meio Ambiente e PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.). Primeira etapa - Relatório referente à Bacia de Campos.

BARROSO, Gilberto Fonseca; LITTLEPAGE, Jack. Protocolo para análise de clorofila a e feopigmentos pelo método. 1998.

-
- BAUMGARTEN, M.G.Z., ROCHA, J.M.B & NIENCHESKI, L.F.H., 1996. Manual de Análises em Oceanografia Química. Departamento de Química. **Editora FURG**, Rio Grande, 132p.
- BERNARDINO, A. F., BERENQUER, V., & RIBEIRO-FERREIRA, V. P. 2016. Bathymetric and regional changes in benthic macrofaunal assemblages on the deep Eastern Brazilian margin, SW Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 111, p. 110-120
- BLAKE, J. A., MACIOLEK, N. J., OTA, A. Y., & WILLIAMS, I. P. 2009. Long-term benthic infaunal monitoring at a deep-ocean dredged material disposal site off Northern California. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 56, n. 19-20, p. 1775-1803.
- BORDOVSKIY, O.K., 1965. Accumulation of organic matter in bottom sediments. **Marine Geology v 3**, p. 33-82.
- BORNEFF, J.; SELENKA, F.; KUNTE, H. & MAXIMOS, A. 1968. Experimental studies on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbon in plants. **Environmental Research**, **2**: 22-29.
- BORRERO-PÉREZ, G. H., DUEÑAS, L. F., LEÓN, J., & PUENTES, V. 2020. Deep-sea holothurians (Echinodermata, Holothuroidea) from the Colombian Southern Caribbean Sea. **Check List**, v. 16, p. 535.
- BOULOUBASSI, I. 1990. **Aspects de la biogéochimie des hydrocarbures non aromatiques et aromatiques dans la colonne d'eau et les sédiments du milieu côtier: cas du delta du Rhone**. Tese de Doutorado. Paris 6.
- BOULOUBASSI, I., SALIOT, A. 1993. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbon markers (NAH, LAB, PAH). **Oceanologica Acta**. 16(2): 145-161.
- BOULOUBASSI, I., FILLAUX, J., SALIOT, A., 2001. Hydrocarbons in surface sediments from the Changjiang (Yangtze River) estuary, East China Sea. **Marine Pollution Bulletin**. 42(12): 1335-1346.
- BRAGA, E. S. & NIENCHESKI, L.F.H. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L. & MADUREIRA, L.S-P (org.). **Edusp**. 466p.
-

-
- BRAKSTAD, O.G.; FAKSNESS, L.G.; MELBYE, A.G., 2002. Depletion of Compounds from thin oil films in seawater. In: **Proceedings of 25th Arctic and Marine Oil Spill Program (amop) Technical Seminar**, 2. Alberta. Vancouver: British Columbia. p. 921-940.
- BROWN, J.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D. & WRIGHT, J. 1989. Ocean chemistry and deep-sea sediments. **Oxford** (Pergamon Press).
- BUCHMAN, M.F., 2008. **NOAA Screening Quick Reference Tables**, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Administration, 34 pages.”
- CAMPOS, R.C., ARAÚJO, T.O., GODOY, J.M.O., WAGENER, A.R., HAUSER-DAVIS, R.A. 2017. Elementos-traço em águas subsuperficiais da Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S., editores. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 125-155.
- CANFIELD, Donald Eugene. 2004. The evolution of the Earth surface sulfur reservoir. **American Journal of Science**, v. 304, n. 10, p. 839-861.
- CARREIRA, R.S., CORDEIRO, L.G.M.S., OLIVEIRA, D.R.P., NUDI, A.H., FARIAS, C.O., SCOFIELD, A.L., MASSONE, C.G., WAGENER, A.L.R. 2017. Origem e distribuição da matéria orgânica sedimentar usando indicadores geoquímicos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S., editores. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. **HABITATS**, v. 6. p. 179-228.
- CASTRO, B. M. , MIRANDA, L. B. ,1998. **Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located between 4ºN and 34ºS Costal Segment (4,W)**. Chapter 8. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo
- CCME – CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIROMENT, 2015. **Consult the Canadian Environmental Quality Guidelines introductory text, factsheet and/or protocols for specific information and implementation guidande pertaining to each environmental quality guideline.**
- CETESB, CADEDSP. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. **São Paulo: CETESB**, 2011.
- CHATFIELD, Christopher; COLLINS, Alexander J. 1980. Principal component analysis. In: **Introduction to multivariate analysis**. Springer, Boston, MA. p. 57-81.
-

-
- CHESTER, R. Marine geochemistry. London: **Chapman & Hall**, 1993, 668p.
- COLOMBO, J. C., PELLETIER, E., BROCHU, C., KHALIL, M., & CATOGGIO, J. A. 1989. Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plata estuary, Argentina. **Environmental Science & Technology**, v. 23, n. 7, p. 888-894.
- CONAMA, 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. 23 p.
- CONAMA, 454/2012. Resolução CONAMA Nº454, de 01 de novembro de 2012 (que revogou as Resoluções Nº344 de 2004 e Nº421 de 2010), que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**.
- CONKRIGHT, M. E.; GREGG, W. W.; LEVITUS, S. 2000. Seasonal cycle of phosphate in the deep ocean. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 47, p. 159-175.
- COOMANS, August. 2002. Present status and future of nematode systematics. **Nematology**, v. 4, n. 5, p. 573-582
- CORMACK, Richard M. 1971. A review of classification. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, v. 134, n. 3, p. 321-353.
- CORREA, I.; TOLDO, E.; TOLEDO, F. Seafloor geological impacts associated with drilling disturbance. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 56, n. 1-2, p. 4-11, 2009
- COSSON, N.; SIBUET, M.; GALERON, J. 1997. Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna at three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 44, n. 2, p. 247-269.
- COSTA, Alice Miranda Ribeiro. 2016. **Estudo dos radionuclídeos naturais-Ra-226, Ra-228 e Pb-210-em alguns registros sedimentares do Atlântico Sudoeste ao longo do Holoceno**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
-

-
- COUTINHO, P.N., 1995. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil - Programa REVIZEE, Oceanografia Geológica.
- CULLEN, J. J., 1982. The deep chlorophyll maximum: Comparing vertical profiles of chlorophyll a, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 791-803.
- CUNHA, Marina R. *et al.* 2011. Biodiversity of macrofaunal assemblages from three Portuguese submarine canyons (NE Atlantic). **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 58, n. 23-24, p. 2433-2447.
- DACHS, J.; BAYONA, J. M.; FILLAUX, J.; SALIOT, A.; ALBAIGES, J. 1999. Evaluation of anthropogenic and biogenic inputs into the western Mediterranean using molecular markers. **Marine Chemistry**, v. 65, p. 195-210.
- DANOVARO, R., TSELEPIDES, A., OTEGUI, A., & DELLA CROCE, N. 2000. Dynamics of meiofaunal assemblages on the continental shelf and deep-sea sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean): relationships with seasonal changes in food supply. **Progress in Oceanography**, v. 46, n.2-4, p. 367-400.
- DANOVARO R., GAMBI C., DELL'ANNO A., CORINALDESI C., FRASCHETTI S., VANREUSEL A., VINCX M., GOODAY A.J. 2008. Exponential Decline of Deep-Sea Ecosystem Functioning Linked to Benthic Biodiversity Loss. **Current Biology**, v. 18, n. 1, p. 1-8.
- DAVIS, Matthew P.; CHAKRABARTY, Prosanta. 2011. Tripodfish (Aulopiformes: Bathypterois) locomotion and landing behaviour from video observation at bathypelagic depths in the Campos Basin of Brazil. **Marine Biology Research**, v. 7, n. 3, p. 297-303.
- DINET, Alain. 1979. A quantitative survey of meiobenthos in the deep Norwegian sea. **Ambio Special Report**, p. 75-77.
- DUGDALE, R.C. & HOLM-HANSEN, O. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production. **Limnology Oceanography**, 4: 454-466.
- EKAU, W. & KNOPPERS, B.A. 1999. An introduction to the pelagic system of the east and northeast brazilian shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, 47(2/3): 113-132.
-

-
- ELEFThERIOU A. & MCINTYRE A. 2005 **Methods for the study of marine benthos**. Department of Biology, University of Crete, Greece and Hellenic Centre for Marine Research, Crete, Greece
School of Biological Sciences, University of Aberdeen, UK.
- ELIAS, V.O., 1998. Geoquímica Orgânica Ambiental e Marinha - A Análise de Fumaças da Queima de Vegetação da Amazônia, Biogeoquímica do Carbono Orgânico Sedimentar e a Contribuição de Queimadas em Sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas. 88 f. Tese de Doutorado. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Novembro de 1998.
- ELIAS, V.O., SIMONEIT, B.R.T., PEREIRA, A.S., CARDOSO, J.N., CABRAL, J., 1999. Detecting Heavy Molecular Weight Organic Tracers in Smoke Samples. **Environ. Sci. Techn.** 33: p. 2369-2376.
- ELIAS, V.O. 2000. **Biogeoquímica molecular do Carbono Orgânico e Contribuições de Queimadas em Sedimentos e Aerosóis da Amazônia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ELIAS, V.O., SIMONEIT, B.R.T., CORDEIRO, R.C., TURCQ, B., 2001. Evaluating levoglucosan as an indicator of biomass burning in Carajás, Amazônia: A comparison to the charcoal record. **Geochim. Cosmochim. Acta** 65: p. 267-272.
- ELSER, James J. *et al.* 2009. Shifts in lake N: P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition. **science**, v. 326, n. 5954, p. 835-837.
- EPPLEY, R. W., SWIFT, E., REDALJE, D. G., LANDRY, M. R. & HAAS, L. W. 1988. Subsurface chlorophyll maximum in August-September 1985 in the CLIMAX area of the North Pacific. **Marine Ecology Progress Series**, 42: 289-301.
- FABIANO, M. & DANOVARO, R. 1999. Meiofauna distribution and mesoscale variability in two sites of the Ross Sea (Antarctica) with contrasting food supply. **Polar Biol.**, 22:115-175.
- FIGUEIRA, Rubens CL; CUNHA, Ieda IL. 1998. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 73-77.
- FLACH, Els; DE BRUIN, Wim. 1999. Diversity patterns in macrobenthos across a continental slope in the NE Atlantic. **Journal of Sea Research**, v. 42, n. 4, p. 303-323.
-

- FONSÊCA-GENEVOIS V., SILVA M.C., LIRA V.F., NERES P.F., LIMA R.C.C., ESTEVES A.M. 2017. **Meiofauna do talude continental e cânions da Baía de Campos, com ênfase em Nematoda**. In: Falcão, A.P.C., Lavrado, H.P., editoras. **Ambiente Bentônico: caracterização ambiental regional da Baía de Campos, Atlântico Sudoeste**. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 3. pp. 183-226.
- FÖRSTNER, U & WITTMANN, G. T. 1983. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. Berlin, Springer-Verlag, 486p.
- FROUIN, Patrick. 1996. **Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques dans les lagons soumis aux perturbations anthropiques: le lagon de Tahiti, Polynésie française**.
- GAETA, S.A. 1999. **Relatório final do Projeto COROAS: Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul. Parte 6: Nutrientes, Pigmentos e Produtividade Primária**. 22p.
- GAGE, John D.; TYLER, Paul A. 1991. **Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor**. Cambridge University Press.
- GAGE, John D.; LAMONT, Peter A.; TYLER, Paul A. 1995. Deep-Sea macrobenthic communities at contrasting sites off Portugal, preliminary results: I introduction and diversity comparisons. **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 80, n. 2, p. 235-250.
- GALERON, J., MENOT, L., RENAUD, N., CRASSOUS, P., KHRIPOUNOFF, A., TREIGNIER, C., & SIBUET, M. 2009. Spatial and temporal patterns of benthic macrofaunal communities on the deep continental margin in the Gulf of Guinea. **Deep Sea Research Part II: topical studies in oceanography**, v. 56, n. 23, p. 2299-2312.
- GATES, Andrew. 2016. **Deep-sea life of Tanzania**. National Oceanography Centre.
- GAZINEU, M.H. 2005. **Teores de radionuclídeos em processos de extração e de produção de petróleo no nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.
- GERINO, M., STORA, G., POYDENOT, F., & BOURCIER, M. 1995. Benthic fauna and bioturbation on the Mediterranean continental slope: Toulon Canyon **Continental Shelf Research**, v. 15, n. 11-12, p. 1483-1496.

-
- GESAMP. 1993. Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment. Report and Studies n. 50. London: **International Maritime Organization**.
- GIANGRANDE, Adriana. 1997. Polychaete reproductive patterns, life cycles and life histories: an overview. **Oceanography And Marine Biology: Volume 35**, v. 35, p. 305.
- GIMENEZ-CASALDUERO, F., RODRÍGUEZ-RUIZ, S., VIVAS, M., & RAMOS ESPLÁ, A. A. 2011. Variaciones de las características estructurales de la comunidad de poliquetos asociada a dos fondos de maërl del litoral alicantino (sudeste de la península Ibérica). **Boletín. Instituto Español de Oceanografía**, v. 17, n. 1 y 2, p. 191-201.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E., RODRIGUES, S.V., MARINHO, M.M., CARVALHO, W.F., PINTO, F.N., PARANHOS, R. 2017. Biomassa fitoplanctônica e produção primária. In: FALCÃO, A.P.C., MOREIRA, D.L. editores. Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Baía de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 5. p. 69-87.
- GOWER, John C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. **Biometrika**, v. 53, n. 3-4, p. 325-338.
- GRIMMER, G.; JACOB, J.; NAUJACK, K.W. & DETTBARN, G. 1981. Profile of the polycyclic aromatic hydrocarbon from used engine oil – Inventory by GCGC/MS – PAH in environmental materials, Part 2. **Fresenius Zeitschrift fur Analytische Chemie 309**, 13-19
- GROSSE, M., BAKKEN, T., NYGREN, A., KONGSRUD, J. A., & CAPA, M. 2020. Species delimitation analyses of NE Atlantic Chaetozoa (Annelida, Cirratulidae) reveals hidden diversity among a common and abundant marine annelid. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 149, p. 106852
- GUNTON, L. M., GOODAY, A. J., GLOVER, A. G., & BETT, B. J. 2015. Macrofaunal abundance and community composition at lower bathyal depths in different branches of the Whittard Canyon and on the adjacent slope (3500 m; NE Atlantic). **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 97, p. 29-39.
- HAYWARD, T.L. & MANTYLA, A.W. 1990. Physical, chemical and biological structure of coastal eddy near Cape Mendocino. **Journal Marine Research**, **48**: 825-850.
-

-
- HEIP, C., VINCX, M., & VRANKEN, G. 1985. The ecology of marine nematodes. **Oceanography and Marine Biology: an annual review**, 23: pp. 399-489.
- HERBLAND A.; LE BOUTEILLER A., 1983. Dynamique du phytoplancton et matière organique particulaire dans la zone euphotique de l'Atlantique Équatorial. **Mar. Biol.**, 72: p. 265-278.
- HESSLER, Robert R.; JUMARS, Peter A. 1977. Abyssal communities and radioactive waste disposal. **Oceanus**, v. 20, n. 1, p. 41-46.
- HEWITT, J. E., THRUSH, S. F., HALLIDAY, J., & DUFFY, C. 2005. The importance of small-scale habitat structure for maintaining beta diversity. **Ecology**, v. 86, n. 6, p. 1619-1626.
- HOBSON, L. A., 1967. The seasonal and vertical distribution of suspended particulate matter in an area of the Northeast Pacific Ocean. **Limnol. Oceanogr.** **12** (4), 642-649.
- HSDB, 2000. Hazardous Substances Data Bank. 1991. Online database produced by the National Library of Medicine. Toluene-2,4-diamine. Profile last updated February 8, 2000. Last review date, November 7.
- INGALL, E.D.; VAN CAPPELLEN, P. 1990. Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 54:373-386.
- JEFFREY, S.W.; MANTOURA, R.F.C.; WRIGHT, S.W. (Eds.). 1997. Phytoplankton pigments in Oceanography. Monography on Oceanography Methodology. **Sponsored by SCOR and UNESCO**: 156-166.
- JUMARS, Peter A.; DORGAN, Kelly M.; LINDSAY, Sara M. 2015. Diet of worms emended: an update of polychaete feeding guilds.
- KENNICUTT II, M. C.; WADW, T. L.; PRESLEY, B. J.; REQUEJO, A. G.; BROOKS, J. M.; DENOUEX, G. J., 1994. Sediment contaminants in Casco Bay, Maine: inventories, source and potential for biological impact. **Environment Science Technology**, v. 28, n. 1, p. 1-15.
- KENNICUTT II, M.C. (ed.), 1995. Gulf of Mexico offshore operations monitoring experiment, **Final Report**. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service. Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, 700 p.
-

- KENNISH, M.J., 1997. *Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution*, CRC Press, New York, USA, 524 p.
- KNOPPERS, B.; CARNEIRO, M. E.; MENDOZA, U.M.; BALZER, W. 1996. Nutrients and suspended matter. In: EKAU, W. & KNOPPERS, B. eds. **Joint oceanographic Projects JOPSII Cruise Report and First Results**. ZMT/BMBF – MCT/MMA, Bremen.:12-14.
- LACERDA, L. D., CARNEIRO M.E.R., CAVALCANTI T. R., 2013. Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Produção de Petróleo e Gás. Relatório. 424p.
- LAGUS, A., SUOMELA, J., HELMINEN, H., LEHTIMÄKI, J. M., SIPURA, J., SIVONEN, K., & SUOMINEN, L. (2007). Interaction effects of N: P ratios and frequency of nutrient supply on the plankton community in the northern Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 332, 77-92.
- LALLI C.M. & T. R. PARSONS. 1997. *Biological Oceanography an Introduction*. **2ªed. Elsevier:** Vancouver, Canada.
- LAMBSHEAD, P. John D.; FERRERO, Timothy J.; WOLFF, George A. 1995. Comparison of the vertical distribution of nematodes from two contrasting abyssal sites in the Northeast Atlantic subject to different seasonal inputs of phytodetritus. **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 80, n. 2, p. 327-331.
- LAMBSHEAD P.J.D. 2004. **Marine nematode biodiversity**. In: Z.X. Chen, S.Y. Chen, D.W. Dickson, editors. **Nematode morphology, physiology and ecology**. Wallingford: Cabi Publishing. Nematology: advances and perspectives series, v. 1.
- LAVRADO, Helena Passeri; OMENA, Elianne Pessoa; BERNARDINO, Angelo Fraga. 2017a. Macrofauna bentônica do talude continental e cânions da bacia de campos. **Ambiente Bentônico: Caracterização Ambiental Regional Da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste**. Elsevier Ltd., Rio de Janeiro, p. 259-306
- LAVRADO, S.T. DISARÓ, A.M. ESTEVES, V. FONSÊCA-GENEVOIS, S.H. MELLO e SOUSA, E.P. OMENA, R. PARANHOS, I. SALLORENZO, V.G. VELOSO, V.P. RIBEIRO-FERREIRA, M.P. CURBELO-FERNANDEZ, A.P.C. FALCÃO. 2017b. Comunidades bentônicas dos substratos inconsolidados da plataforma e talude continental da Bacia de Campos: uma visão integrada entre seus componentes e suas relações com o ambiente. In: Falcão, A.P.C., Lavrado, H.P., editoras. **Ambiente Bentônico:**

caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 3, pp. 307-352.

LAW, R.J. 1981. Hydrocarbon concentrations in water and sediments from UK marine waters, determined by fluorescence spectroscopy. *Mar. Poll. Bull.*, 12: 153-157

LEGENDRE, Pierre; ANDERSON, Marti J. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological monographs*, v. 69, n. 1, p. 1-24.

LEVIN, Lisa A. *et al.* 2001. Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual review of ecology and systematics*, v. 32, n. 1, p. 51-93.

LIBES, S. M. 1992. An introduction to biogeochemistry. New York: **John Wiley and Sons**. 734 p.

LIMA, E.A.R.; SIQUEIRA, G.W.; LIMA, W.N., 2006. Utilização dos critérios de avaliação ambiental de metais pesados nos sedimentos de fundo da Plataforma Continental do Amazonas. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. *Ciências Naturais*, Belém, v. 1, n. 1, p. 105-114, jan-abr. 2006.

LIPIZER, M.; COSSARINI, N. G.; FALCONI, C.; SOLIDORO, C.; FONDAUMANI, S. 2011. Impact of different forcing factor son N: P balance in a semi-enclosed bay: the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). *Continental Shelf Research*, v. 31, p. 1651-1662.

LÓPEZ-GARRIDO, P. H., BARRY, J. P., GONZÁLEZ-GORDILLO, J. I., & ESCOBAR-BRIONES, E. 2020. ROV's Video Recordings as a Tool to Estimate Variation in Megabenthic Epifauna Diversity and Community Composition in the Guaymas Basin.

MAIRS, H., SMITH, J., MELTON, R., PASMORE, J., & MARUCA, S. 2000. Efeitos Ambientais dos Cascalhos Associados a Fluidos Não-aquosos: Fundamentos Técnicos-Minuta. **Instituto Brasileiro de Petróleo—IBP, unpublished, 116pp.**

MANIER, F. B., SANDRES, G. C. & TAVARES, S. S. M., 2007. Corrosão por sulfeto de hidrogênio (h₂s) e suas implicações no meio ambiente e na segurança industrial. **8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica**. Cusco.

MANN, K. H. 1982. Ecology of coastal waters—A systems approach. *Studies in Ecology*, V. 8. **Univ. California Press**, Berkeley. 322 p.

-
- MANN, K. H. & LAZIER, J. R. N., 1991. Marine Ecosystems, **Blackwell Scientific Publications**, 466 p.
- MASSERINI JR., R.T. & FANNING, A.A., 2000. A sensor package for the simultaneous determination of nanomolar concentrations of nitrite, nitrate and ammonia in seawater by fluorescence detection. **Marine Chemistry**, v. **68**, p. 323-333.
- MAZZILLI, B. P. 2016. Comportamento dos radionuclídeos no ecossistema.
- MCARDLE, Brian H.; ANDERSON, Marti J. 2001. Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. **Ecology**, v. 82, n. 1, p. 290-297.
- MCKAY D. S., GIBSON E. K., THOMAS-KEPRTA K. L., VALI H., ROMANEK C. S., CLEMETT S. J., CHILLIER X. D. F., MAECHILING C R. AND ZARE R. N. 1996. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH 84001. **Science** 273,924-930.
- MEYERS, P. A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic process. **Organic Geochemistry**, 5-6 (27): 213-250
- MIDDELBURG, J.J., 1989. A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 53: p. 1577–1581.
- MILLERO, F.J.1996. *Chemical Oceanography*. 2nd ed. **CRC Press**, Washington. 469p.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002. Avaliações e Ações prioritárias para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha. **Fundação Bio-Rio, Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará**. Brasília: MMA/SBF. 72 p.
- MOENS, T., & VINCX, M. 1997. Observations on the feeding ecology of estuarine nematodes. **Oceanographic Literature Review**, v. 44, n. 7, p. 739-739.
- MOENS, T., VAFEIADOU, A. M., DE GEYTER, E., VANORMELINGEN, P., SABBE, K., & DE TROCH, M. 2013. Diatom feeding across trophic guilds in tidal flat nematodes, and the importance of diatom cell size. **Journal of Sea Research**, v. 92, p. 125-133.
- MUTHUMBI, A. W., VANREUSEL, A., DUINEVELD, G., SOETAERT, K., & VINCX, M. 2004. Nematode community structure along the continental slope off the Kenyan Coast, Western Indian Ocean. **International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology**, v. 89, n. 2, p. 188-205.
-

- NEPHIN, Jessica; JUNIPER, S. Kim; ARCHAMBAULT, Philippe. 2004. Diversity, abundance and community structure of benthic macro-and megafauna on the Beaufort shelf and slope. **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e101556.
- NETTO, Sérgio A.; GALLUCCI, Fabiane; FONSECA, Gustavo FC. 2005. Meiofauna communities of continental slope and deep-sea sites off SE Brazil. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 52, n. 5, p. 845-859.
- NIAUSSAT, P., C.; AUGAR, C.; MALLET, L. 1970. Apparition relative de quantites d'hydrocarbures canerigenes dans des cultures pures de *Bacillus badius* em fonction de la presence, dans le Milieu de certains composes chimiques. **C. R. Acad. Sci. Paris**. 270:1042-1045
- NIENCHESKI, L.F. 1999. Oceanografia Química. Levantamento Bibliográfico e Identificação do Estado Atual do Conhecimento. Rio de Janeiro: **FEMAR**, 172p.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Oil in the sea, inputs, fates and effects. Washington DC, **National Academy Press**. 602 p. 1985.
- O'NEIL, P., 1994. Major elements in the earth's crust – Iron. (Ed.). **Environmental chemistry**. 2nd. Ed. New York: Chapman e Hall, cap. 9, p. 151-168.
- OLIVEIRA, R.C.G. & OLIVEIRA, M.C.K., 2000. Remoção de Contaminantes Tóxicos dos Efluentes Líquidos Oriundos da Atividade de Produção de Petróleo no Mar, **Bol. téc. Petrobras**, Rio de Janeiro, 43 (2), p. 129-136.
- PAIVA, P.C. 2006. Capítulo 7. Filo Annelida. Classe Polychaeta. **H.P. LAVRADO, B.L. IGNACIO, (Eds.). Biodiversidade bentônica da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, pp. 261-298.
- PAWSON, D. L., NIZINSKI, M. S., AMES, C. L., & PAWSON, D. J. 2015. Deep-sea echinoids and holothurians (Echinodermata) near cold seeps and coral communities in the northern Gulf of Mexico. **Bulletin of Marine Science**, v. 91, n. 2, p. 167-204.
- PEDROSA, P.; PARANHOS, R.; SUZUKI, M. S.; *et al.* Hidroquímica de massas d'água oceânicas em regiões da margem continental brasileira, Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 1, p. 101–119, 2006.

-
- PENNA FRANCA, E.; PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M. & LACERDA, L.D., 1984. Aplicabilidade da análise pelos parâmetros críticos, usualmente empregada para instalações nucleares no controle da poluição do ambiente marinho por metais pesados. **Ciência e Cultura**. **36**(2): p. 215-219.
- PETERS, Kenneth E.; MOLDOWAN, J. Michael. 1993. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments.
- PETERS, K. E., PETERS, K. E., WALTERS, C. C., & MOLDOWAN, J. M. 2005. **The biomarker guide** (2nd ed). Cambridge University Press.
- PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.), 2001. Monitoramento ambiental da atividade de produção de petróleo na Bacia de Campos. Etapa de pré-monitoramento - Relatório Final. Ed. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Miguez de Mello (CENPES), da **PETROBRAS**, Gerência de Biotecnologia e Ecossistemas, Rio de Janeiro, 222 p.
- PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.), 2013. Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos (PCR-BC Habitats). Relatório Final. v.3. 326p.
- PILSON, M. E. Q. 1998. An Introduction to the Chemistry of the Sea. **Prentice Hall**, Inc. Upper Saddle River, NJ. 431 p.
- PIR2 (PIR2 Consultoria Ambiental), BRAVANTE (Brasbunker Participações S.A.), TOTAL (Total E&P do Brasil Ltda.), BP (BP Energy do Brasil Ltda.), QUEIROZ GALVÃO (Queiroz Galvão Exploração e Produção S.A.), PREMIER OIL (Premier Oil do Brasil Petróleo e Gás Ltda.), CHEVRON (Chevron Brasil Upstream Frade Ltda.), 2015. Projeto de Baseline Integrado para a Margem Equatorial Brasileira. Relatório Final. BDCA (bdca.com.br), código HIDI552897, visitado em 07/12/2020.
- POTTS, L. D., PEREZ CALDERON, L. J., GONTIKAKI, E., KEITH, L., GUBRY-RANGIN, C., ANDERSON, J. A., & WITTE, U. 2018. Effect of spatial origin and hydrocarbon composition on bacterial consortia community structure and hydrocarbon biodegradation rates. **FEMS microbiology ecology**, v. 94, n. 9, p. fiy127.
- POZEBON, D.; SANTOS, J.H.Z.; PERALBA, M.C.R.; MAIA, S.M.; BARRIONUEVO, S.; PIZZOLATO, T.M. Metals, arsenic and hydrocarbons monitoring in marine sediment during drilling activities using NAFs. Deep Sea Research Part II: **Topical Studies in Oceanography**, v. 56, n. 1-2, p. 22-31, 2009.
-

- PROUTY, Nancy G. *et al.* 2017. Seasonal variability in the source and composition of particulate matter in the depositional zone of Baltimore Canyon, US Mid-Atlantic Bight. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 127, p. 77-89.
- PRZESLAWSKI R, ALTHAUS F, CLARK M, COLQUHOUN J, GLEDHILL D, FLUKES E, FOSTER S, O'HARA T, PROCTOR R. 2018. Marine sampling field manual for benthic sleds and bottom trawls. In **Field Manuals for Marine Sampling to Monitor Australian Waters**, Przeslawski R, Foster S (Eds). National Environmental Science Programme (NESP). pp. 153- 171.
- PULGATI, F. H., FACHEL, J.M. G., RUSSO, L., PERALBA, M.C., POZZEBON, D. 2005. Identificação da Área Alterada pela Presença de Fluidos de Perfuração na Atividade Exploratória Marítima. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás.
- RAYMONT, J.E.G., 1980. Plankton and Productivity in the Oceans. Vol. I. Phytoplankton, 2nd edition. **Pergamon Press**, New York.
- READMAN J. W., Preston M. R., & MANTOURA R. F. C. 1986. An integrated technique to quantify sewage, oil and PAH pollution in estuarine and coastal environments. **Mar. Poll. Bull.** **17**, 298-308.
- READMAN, J.W., FILLMANN, G., TOLOSA, I., BARTOCCI, J., VILLENEUVE, J.P., CATINNI, C., MEE, L.D. 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. **Marine Pollution Bulletin.** 44(1): 48-62.
- REDFIELD, A.C.; KETCHUM, B. & RICHARDS, F. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. In: Hill, N. (ed.), **The Sea**, volume 2: 224-228. Interscience, New York.
- REZENDE, C.E.; ANDRADE, L.; SUZUKI, M.S.; FARO, B.C.M.T.; GONZALEZ, A.S.M.; PARANHOS, R., 2006. Hidroquímica. In: VALENTIN, J.L. (Ed.) Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Brasília: **Ideal Gráfica e Editora**. p.31-60 (Série Documentos **REVIZEE/SCORE Central**).
- REZENDE, C.E., ALMEIDA, M.G., ARAÚJO, B.F., GOBO, A.A.R., MACIEL, C.P., GOBO, R.R., AZEVEDO, W.C.S., GODOY, J.M., ALMEIDA, A.C. 2017. A composição física e elementar dos sedimentos marinhos entre a Região Costeira e o Oceano profundo na Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C.,

- WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 229-276.
- RIBEIRO-FERREIRA, V.P., MOREIRA, D.L., FALCÃO, A.P.C., CURBELO-FERNANDEZ, M.P., FILGUEIRAS, V., LAVRADO, H.P., PARANHOS, R., SUZUKI, M.S., REZENDE, C.E., CAMPOS, R.C., WAGENER, A.L.R., MASSONE, C.G., CARREIRA, R.S. 2017. Métodos empregados na avaliação química do compartimento água e sedimento da Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S., editores. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 15-32.
- RILEY, J. P.; CHESTER, R. 1971. Introduction to Marine chemistry. London: **Academic Press**, 465p.
- ROBISON, Bruce H.; REISENBICHLER, Kim R.; SHERLOCK, Rob E. 2017. The coevolution of midwater research and ROV technology at MBARI. **Oceanography**, v. 30, n. 4, p. 26-37.
- RYTHER, J.H. & DUNSTAN, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. **Science**, **171**: 1008-1012.
- SADIQ, M. 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. **Marcel Dekker**. New York.
- SAITO, Y.; NISHIMURA, A.; MATSUMOTO E., 1989. Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, Northeast Japan. **Marine Geology** v 89, p. 245-258.
- SAITO, R. T. 2002. Radionuclídeos (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{210}Po , e ^{137}Cs) no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape: Estudos Ambientais. PhD. thesis.
- SANTOS, C. L. A.; VITAL, H.; AMARO, V. E.; KIKUCHI, R. K. P., 2007 Mapeamento de Recifes Submersos na Costa Do Rio Grande do Norte, NE Brasil: Macau a Maracajau. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2007, 25(Supl. 1): 27-36p.
- SEGUI, P.N., 2009. Bioatenuação da geração de sulfeto, por meio da utilização de nitrato, em água produzida proveniente da extração de petróleo. **Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo**, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini. 102p.

-
- SEMPRUCCI, F., CESARONI, L., GUIDI, L., & BALSAMO, M. 2018. Do the morphological and functional traits of free-living marine nematodes mirror taxonomical diversity?. **Marine environmental research**, v. 135, p. 114-122.
- SHELL (Royal Dutch Shell), AECOM, GARDLINE (Gardline Marine Sciences do Brasil S.A.), 2018. Projeto de Caracterização Ambiental (PCA) – Bloco Sul de Gato do Mato, Baía de Santos. Relatório Final. BDCA (bdca.com.br), código PLKQ546638, visitado em 07/12/2020.
- SHIRAYAMA, Yoshihisa. 1983. Size structure of deep-sea meio-and macrobenthos in the western Pacific. **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 68, n. 6, p. 799-810.
- SIENKO, M.J.; PLANE, R.A., 1977. Elementos de transição II. (Eds.) Química. 5 ed. **São Paulo: Nacional**, cap. 21, p. 436-454.
- SILVA, L.C.F., C.A.F. ALBUQUERQUE, W.W. CAVALHEIRO, C.M.P. HANSEN, 1982: Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira. **Separata dos Anais Hidrográficos - Tomo XLI**. 30p.
- SILVA, L.B.E., 2010. Avaliação de metais traço e de algumas características geoquímicas em sedimentos superficiais e testemunhos da Baía de Vitória, ES. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas. **Universidade Federal do Espírito Santo**, ES.
- SILVEIRA, I. C. A. da, SCHMIDT A.C.K., CAMPOS E.J.D; GODOI, S. S. de & IKEDA, Y. A. 2000. Corrente Do Brasil Ao Largo Da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira Oceanografia**, **48** (2): 171-183.
- SILVEIRA, I.C.A., 2007. **O Sistema Corrente do Brasil na Baía de Campos, RJ**. Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Livre Docente. 160 p.
- SIMONEIT, B.R.T.; CARDOSO, J.N. & ROBINSON, N. 1991. An assessment of terrestrial higher molecular weight lipid compounds in air particulate matter over the South Atlantic from about 30-70° S. **Chemosphere**, **23**: 447-465.
- SIMONEIT, B. R. T. & ELIAS, V. O. 2001. Detecting organic tracers from biomass burning in the atmosphere. **Mar. Pollution Bull.**, **42**: 805-810.
-

-
- SIQUEIRA, G.W.; APRILE F.M., 2012. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica – **Brasil. Acta Amazonica**. v. 42(2), p. 259-268.
- SMITH, C. R., DE LEO, F. C., BERNARDINO, A. F., SWEETMAN, A. K., & ARBIZU, P. M. 2008. Abyssal food limitation, ecosystem structure and climate change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, n. 9, p. 518-528.
- SMITH, E., THAVAMANI, P., RAMADASS, K., NAIDU, R., SRIVASTAVA, P., & MEGHARAJ, M. 2015. Remediation trials for hydrocarbon-contaminated soils in arid environments: evaluation of bioslurry and biopiling techniques. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 101, p. 56-65.
- SOARES-GOMES A.; FIGUEIREDO A.G., 2002. O Ambiente Marinho. In: PEREIRA R.C.; SOARES-GOMES, A. (eds.), *Biologia marinha*, **Editora Interciência**, Rio de Janeiro. p. 1-34.
- SOETAERT, Karline; HEIP, Carlo. 1995. Nematode assemblages of deep-sea and shelf break sites in the North Atlantic and Mediterranean Sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 125, p. 171-183.
- SOETAERT, K.; HERMAN, P.M.J.; MIDDELBURG, J.J., 1996. A model of early diagenetic processes from the shelf to abyssal depths. **Geochim. Cosmochim. Acta**, **60**(6): p. 1019-1040.
- SOLIDORO, C.; BASTIANINI, M.; BANDELJ, V.; CODERMAZ, R.; COSSARINI, G.; MELAKU CANU, D.; RAVAGNAN, E.; SALON, S. 2009. Current state, scales of variability, and trends of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea. **J. Geophys. Res.**, v. 114, p. 1-21.
- SOUZA, T.A. 2008. **Isótopos de rádio como uma ferramenta para o estudo de mistura de águas no estuário do Rio Paraíba do Sul**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química da PUC-Rio, p.92.
- STEIN, R., 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. Lecture Notes in Earth Sciences, Berlin: **Springer-Verlag**, v 34, p. 217.
- STEINHAUER, Margarete S.; BOEHM, Paul D. 1992. The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in nearshore sediments, river sediments, and coastal peat of the Alaskan Beaufort Sea: Implications for detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. **Marine Environmental Research**, v. 33, n. 4, p. 223-253.
-

-
- STEGEMAN, J.J., M. BROUWER, T.D.G. RICHARD, L. FÖRLIN, B.A. FOWLER, B.M. SANDERS and P.A. VAN VELD, 1992. Molecular responses to environmental contamination: enzyme and protein systems as indicators of chemical exposure and effect, in **Biomarkers** (pp. 235-336). CRC Press
- STERNER, R. W.; ELSER, J. J. 2002. The stoichiometry of autotroph growth: variation at the base of food web. **Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere** (eds RW Sterner & JJ Elser), p. 80-133
- STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, maio/jun. 2005.
- SUZUKI, M.S., PARANHOS, R., REZENDE, C.E., PINTO, F.N., GOBO, A.A.R., PEDROSA, P. 2017. Hidroquímica, carbono orgânico e nutrientes dissolvidos e particulados na Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S., editores. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 65-94.
- THISTLE, D. 2003. The deep-sea floor: an overview. **P.A. Tyler, editor**. Ecosystems of the deep oceans. Amsterdam: Elsevier. Ecosystems of the World, v.28. pp. 5-37.
- THURMAN E.M., 1985. Amount of Organic Carbon in Natural Waters. In: Organic Geochemistry of Natural Waters. **Developments in Biogeochemistry**, vol 2. Springer, Dordrecht.
- TIETJEN, John H. 1984. Distribution and species diversity of deep-sea nematodes in the Venezuela Basin. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 31, n. 2, p. 119-132.
- TIETJEN, John H. 1992. Abundance and biomass of metazoan meiobenthos in the deep sea. In: **Deep-sea food chains and the global carbon cycle**. Springer, Dordrecht,. p. 45-62.
- TOLDO JR, E. E., & AYOUN-ZOUAIN, R. N. 2004. RN MAPEM-Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima: Águas Profundas. **Publicação CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre**.
- TOLDO JR, E.E. (ED.); AYUP-ZOUAIN, R.N. (ED.); PERALBA, M. DO C.; SORIANO-SIERRA, E.; CORRÊA, I.C.S.; FACHEL, J.M.; FREITAS, C.D.S.; TOLEDO, F.A., 2004. Projeto MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima – águas profundas. **Convênio FINEP/IBP/FAURGS**. ISBN85-904431-1-6, CD-ROM.
-

- TOLDO, E.; AYUP ZOUAIN, R. Environmental monitoring of offshore drilling for petroleum exploration (MAPEM): A brief overview. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 56, n. 1-2, p. 1-3, 2009.
- TRENTIN, P.S.; BOSTELMANN, E. 2010. Programa interlaboratorial para sólidos totais, dissolvidos e em suspensão em amostras de água. *Revista Banas Metrologia*. p. 64, 2010. Disponível em: <http://banasmetrologia.com.br/wp-content/uploads/2012/01/Programa-Interlaboratorial.pdf>. Acessado em: 02 ago. 2015.
- TYLER, Paul A. (Ed.). 2003. **Ecosystems of the deep oceans**. Elsevier.
- UENO, Yuichiro. 2014. Coping with low ocean sulfate. *science*, v. 346, n. 6210, p. 703-704.
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 1991. Determinations of petroleum hydrocarbons in sediments. **Reference methods for marine pollution studies**. n. 20, 97 p.
- URE, A.M.; BARROW, M.L., 1982. The elemental constituents of soils. In: *Environmental chemistry*. v. 2. Ed. H. J. M. Bowen. P. 94-205. **Royal Soc. Chem.**, London.
- VANAVERBEKE, J., ARBIZU, P. M., DAHMS, H. U., & SCHMINKE, H. K. 1997. The metazoan meiobenthos along a depth gradient in the Arctic Laptev Sea with special attention to nematode communities. *Polar Biology*, v.18, n. 6, p. 391-401.
- VANREUSEL, Ann *et al.* 2000. Meiobenthos of the central Arctic Ocean with special emphasis on the nematode community structure. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 47, n. 10, p. 1855-1879
- VANREUSEL, Ann *et al.* 2010. The contribution of deep-sea macrohabitat heterogeneity to global nematode diversity. *Marine Ecology*, v. 31, n. 1, p. 6-20.
- VENKATESAN MI, KAPLAN IR. 1987. The lipid geochemistry of Antarctic marine sediments: Bransfield Strait. *Marine Chemistry* 21:347-375.
- VETTER, E. W.; DAYTON, P. K. 1998. Macrofaunal communities within and adjacent to a detritus-rich submarine canyon system. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 45, n. 1-3, p. 25-54.

- VINCX, Magda *et al.* 1994. Meiobenthos of the deep Northeast Atlantic. In: **Advances in marine biology**. Academic Press, p. 1-88.
- VOLKMAN, J., T. O'LEARY, R. SUMMONS, AND M. BENALL 1992, 'Biomarker composition of some asphaltic coastal bitumens from Tasmania, Australia', **Organic geochemistry**, vol. 18(5), pp. 668-682.
- WAGENER, A.L.R., FARIAS, C.O., NUDI, A.H., CARREIRA, R.S., SCOFIELD, A.L. 2017a. Avaliação de contaminantes orgânicos em águas subsuperficiais da Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.L.R., CARREIRA, R.S., editores. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 157-178.
- WAGENER, A.L.R., FARIAS, C.O., MOLINA, F.F., MAUAD, C.R., SCOFIELD, A.L., 2017b. Hidrocarbonetos em sedimentos da Bacia de Campos. In: FALCÃO, A.P.C., WAGENER, A.R., CARREIRA, R.S. Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: **Elsevier. HABITATS**, v. 6. p. 277-312.
- WAKEHAM, S.G.; SCHAFFER, C. & GIGER, W. 1980. Polycyclic aromatic hydrocarbon in recent sediments – I. Compounds having anthropogenic origins. **Geochim. Cosmochim. Acta**, **44**: 403-413.
- WANG, Z.; FINGAS, M., 1997. Developments in the analysis of petroleum hydrocarbons in oils, petroleum products, and oil-spill-related environmental samples by gas chromatography. **J. Chromatogr. A** 774: p. 51-78.
- WASHBURN, Travis W.; DEMOPOULOS, Amanda WJ; MONTAGNA, Paul A. 2018. Macrobenthic infaunal communities associated with deep-sea hydrocarbon seeps in the northern Gulf of Mexico. **Marine Ecology**, v. 39, n. 3, p. e12508.
- WEI, Chih-Lin *et al.* 2010. Bathymetric zonation of deep-sea macrofauna in relation to export of surface phytoplankton production. **Marine Ecology Progress Series**, v. 399, p. 1-14.
- WURZBERG, L., PETERS, J., SCHÜLLER, M., & BRANDT, A. 2011. Diet insights of deep-sea polychaetes derived from fatty acid analyses. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 58, n. 1-2, p. 153-162.

ZHAO, M., LIU, Q., ZHANG, D., LIU, Z., WANG, C., & LIU, X. 2020. Deep-sea meiofauna assemblages with special reference to marine nematodes in the Caiwei Guyot and a Polymetallic Nodule Field in the Pacific Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111564.

ZHENG, G.J.; RICHARDSON, B., 2000. Petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Hong Kong marine sediment – **Chemosphere**, 38 (11): p. 2625-2632.

10. Anexos

ANEXO I	Cadastro Técnico Federal (CTF) IBAMA	A	Equipe Técnica
		B	Equipe de Campo
		C	Responsáveis pelas Análises
ANEXO II	Responsabilidade Técnica (CRBio-02)		
ANEXO III	Autorização de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico (ABIO)		
ANEXO IV	Mapeamento do Fundo	A	Batimetria
		B	Amplitude
ANEXO V	Códigos de Identificação de Amostras Ambientais		
ANEXO VI	Instruções de Amostragem	A	Plano de Campanha
		B	P001 (BDCA)
		C	RE-IA água e plâncton
		D	RE-IA sedimento
ANEXO VII	Parâmetros Seleccionados e Metodologia Analítica (abióticos)	A	Qualidade da água
		B	Qualidade do sedimento
ANEXO VIII	Registros de Atividades de Campo	A	RE-RAC
		B	P002A (BDCA)
ANEXO IX	Protocolos de Custódia de Amostras	A	Pernada 1
		B	Pernada 2
		C	Pernada 3
ANEXO X	Dados Meteo-Oceanográficos	A	RE-RDDMs
		B	P003 (BDCA)
		C	Perfis de CTD
ANEXO XI	Resultados de Qualidade da Água	A	Laudos
		B	P004 (BDCA)
		C	Relatórios padronizados
		D	Comparação com literatura (tabelas)

ANEXO XII	Resultados de Biota Planctônica	A	Relatórios
		B	P005 (BDCA)
		C	Destinação e tombamento
ANEXO XIII	Imageamento do Fundo	A	Relatórios de imageamento
		B	P006 (BDCA)
ANEXO XIV	Registros de Amostragens de Sedimento	A	Precisão de amostragem
		B	Amostras de sedimento
ANEXO XV	Resultados de Qualidade do Sedimento	A	Laudos
		B	P007 (BDCA)
		C	Relatórios padronizados
		D	Comparação com literatura (tabelas)
ANEXO XVI	Resultados de Biota Bêntica	A	Relatório
		B	P008 (BDCA)
		C	Destinação e tombamento
