

II.6.1.2 Qualidade da Água e Sedimento

A. Considerações Gerais

Este item aborda a qualidade da água e do sedimento no trecho marítimo dos blocos adquiridos, na Bacia de Barreirinhas, pela BG E&P (BAR-M-215, BAR-M-217, BAR-M-252, BAR-M-298, BAR-M-300, BAR-M-340, BAR-M-342, BAR-M-344 e BAR-M-388). Para caracterizar a área oceânica de influência direta da atividade serão utilizados dados secundários de áreas com características similares, como referência de dados regionais, e dados primários, obtidos em uma campanha *Baseline* realizada nos blocos onde está prevista a perfuração de poços, como referência de dados locais. A caracterização prévia da qualidade da água e do sedimento na área do empreendimento permite inferir os valores de *background* das variáveis físicas e químicas, ou seja, os valores naturais do ambiente estudado.

Para a caracterização da qualidade da água e do sedimento na área de influência da atividade, além dos dados locais obtidos na área da Bacia de Barreirinhas, citam-se dados de levantamentos em bacias vizinhas, as Bacias Pará-Maranhão e Potiguar. Destaca-se também a citação, para os dados de sedimento, dos resultados apresentados na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica", que corresponde a um grande levantamento de dados pretéritos realizado pelo Projeto PIATAM Oceano (onde PIATAM refere-se a Potenciais Impactos e Riscos Ambientais da Indústria de Petróleo e Gás no Amazonas) (PIATAM, 2008).

Os dados das outras bacias são utilizados de forma complementar aos do atual estudo por representarem áreas oceânicas do Norte e Nordeste do Brasil onde verifica-se a presença das mesmas massas d'água (Água Tropical (AT), Água de Mistura (AM), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água profunda do Atlântico Norte (APAN), além da influência majoritária da Corrente Norte do Brasil (CNB).

A **Tabela II.6.1.2.1** apresenta os parâmetros discutidos ao longo do texto. Parâmetros estes fundamentais para caracterização do meio, seja pelo papel fundamental em inúmeros processos físico-químicos e biológicos, como pH, oxigênio dissolvido e os macronutrientes, ou por configurarem importantes indicadores de atividades petrolíferas, como metais e hidrocarbonetos. Salienta-se que além dos parâmetros mensurados também serão apresentadas algumas razões calculados a partir dos valores apresentados, caso das razões C:N:P (água e sedimento) e das razões entre biomarcadores do petróleo (sedimento).

TABELA II.6.1.2.1 – Parâmetros discutidos, através de dados secundários e primários, para a caracterização da qualidade da água e do sedimento na Bacia de Barreirinhas.

Qualidade da Água	Qualidade do Sedimento
Oxigênio Dissolvido (OD)	Granulometria
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Carbonato
Transparência	Nutrientes (nitrogênio e fósforo)
Sólidos em Suspensão Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Metais (alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobre, cromo, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo, vanádio e zinco)
Clorofila-a	Carbono Orgânico Total (COT)
Macronutrientes (Amônia, Nitritos, Nitratos e Fosfatos)	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)
Sulfetos	Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs)

Qualidade da Água	Qualidade do Sedimento
Carbono Orgânico Total e Matéria Orgânica Total	Biomarcadores (Terpanos, hopanos e esteranos)
Fenóis	
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)	
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs)	

B. Métodos

Dados Regionais (Secundários)

Cita-se os seguintes estudos utilizados para caracterização da área de influência da atividade: OGX/PIR2/FUGRO (2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009), PETROBRAS (2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010) e PIATAM (2008).

Na campanha realizada por OGX/PIR2/FUGRO (2009) a malha amostral incluiu onze estações, distribuídas nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (**Figura II.6.1.2.1**), aonde foram coletadas amostras em três estratos da coluna d'água através de garrafas Niskin (na sub-superfície, a 60m de profundidade e próximo ao fundo). Destas onze estações, em nove foram coletadas também amostras de sedimento. As amostras de sedimento foram coletadas através de um amostrador tipo box-core de 0,25 m² (50 x 50cm). Destaca-se que a área dos blocos engloba profundidades de cerca 50 até 1000 m (embora as estações de coleta de água e sedimento não tenham ultrapassado 700 m de profundidade de coluna d'água) e que os mesmos se localizam na Bacia Pará-Maranhão, a norte da área do presente estudo.

Para caracterização da qualidade da água e do sedimento nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, na Bacia Potiguar, PETROBRAS/AECOM (2010) utilizaram dados coletados em diferentes campanhas realizadas entre 2002 e 2004 (total de 4 campanhas) em áreas próximas aos blocos de interesse. Para a caracterização da qualidade da água e sedimento foram consideradas 43 estações, distribuídas entre área costeira, de plataforma interna, da bacia do talude e do talude (consideradas como 4 transectos). Para este estudo serão considerados majoritariamente os resultados da área do talude (transecto 4), pela maior similaridade com a área dos blocos do presente estudo (**Figura II.6.1.2.1**). Salienta-se que as demais estações não serão abordadas, pois áreas costeiras de outro estado (no caso Rio Grande do Norte, em PETROBRAS, 2006) sofrem influências específicas, associados a fatores locais, como atividades industriais, sistema de saneamento público, entre outros, que não poderiam ser associados à área de interesse do estudo atual. Já o talude correspondeu a seis estações, em profundidades entre cerca de 80 e 850 m. Ressalta-se que para os resultados de sedimento não foi possível separar os resultados por transecto para alguns parâmetros devido à forma que os mesmos foram disponibilizados na referência bibliográfica original.

Na caracterização dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010) as amostras de águas foram coletadas através de garrafas Niskin e Go-Flo (Go-Flo para parâmetros orgânicos) nas profundidades de 1, 10, 50, 100, 200, 400 e 800 m, sempre que a profundidade local permitiu. Já as amostras de sedimento foram coletadas majoritariamente com amostrador do tipo Box-Core (em algumas estações foi utilizado van Veen). É importante destacar que este estudo apresentou resultados de um número menor de parâmetros comparado ao levantamento na Bacia Pará-Maranhão. Ao longo do texto, devido a não disponibilidade dos resultados para a Bacia Potiguar na referência original, os mesmos não foram citados.

Um trabalho importante para área norte e nordeste do país foi a "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica" um trabalho realizado pelo Projeto PIATAM Oceano, que reuniu uma série de informações técnico-científicas produzidas a partir de 1960. Para o presente estudo, em função da área de interesse e da forma de disponibilização de dados, são mencionados os resultados granulometria e de distribuição de carbonato e metais no sedimento. A **Figura II.6.1.2.1** apresenta a área de abrangência do levantamento, tendo como base o levantamento de metais. A área referente ao projeto foi ampla, abrangendo desde a Bacia do Ceará até a Bacia da Foz do Amazonas, sendo o foco deste estudo os resultados localizados na Bacia de Barreirinhas. Destaca-se que, para ilustrar a distribuição de metais, os dados utilizados tiveram como fonte original os dados analisados pela Companhia de Recursos Minerais – CPRM, disponibilizados no relatório do Projeto Geoquímica dos Sedimentos Superficiais da Margem Continental Brasileira/ CPRM (1985 *apud* PIATAM, 2008). O trabalho da CPRM incluiu 19 expedições científicas em operações oceanográficas conhecidas como GEOMAR. Para os dados de granulometria e carbonato, foram considerados dados de diversos cruzeiros, como por exemplo, Revizee, GEOMAR, TENSA (DHN), Amasseds, Victor Hense, Meteor (diversos cruzeiros) e outros (PIATAM, 2008).

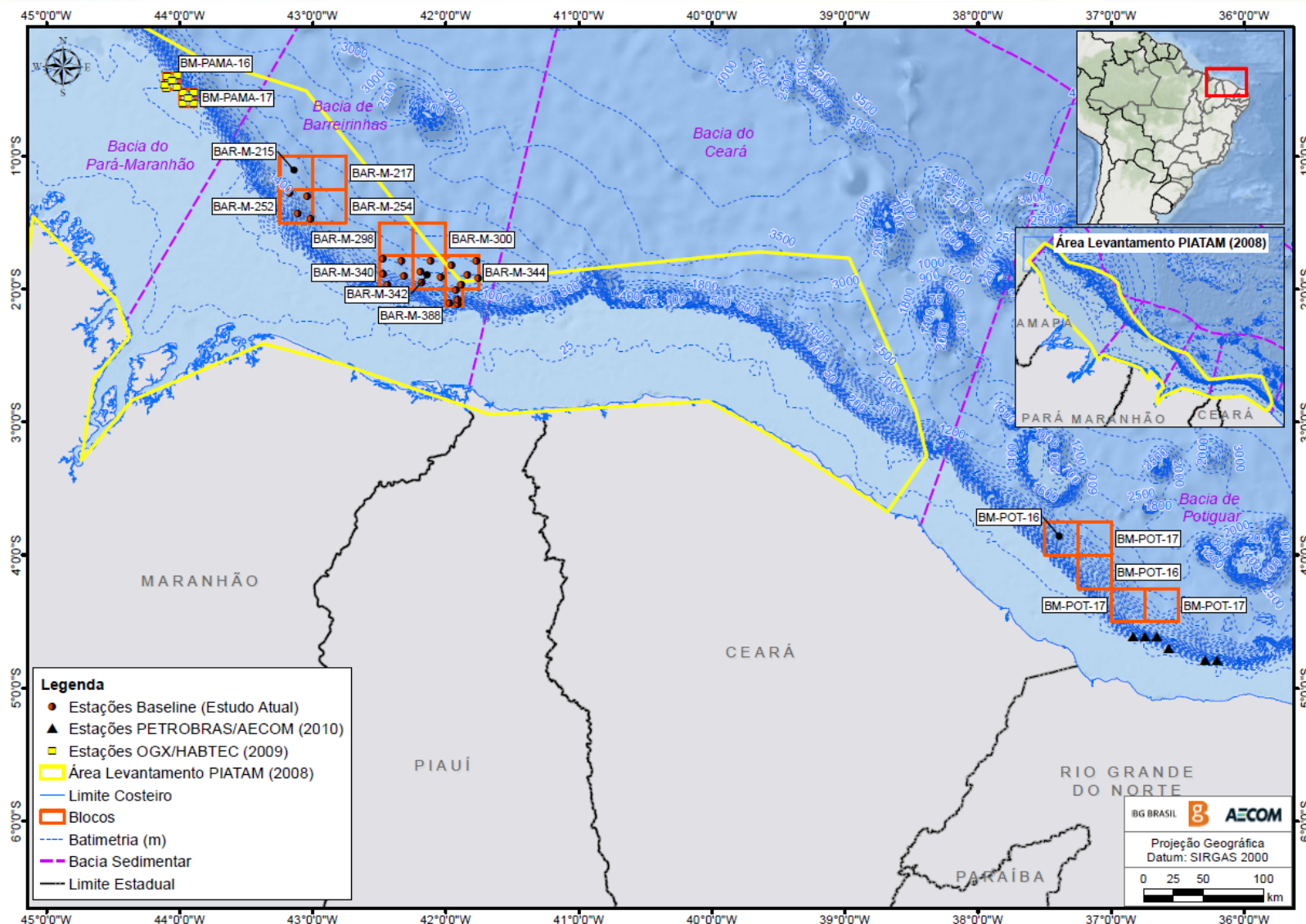


FIGURA II.6.1.2.1 – Malha amostral referente aos dados secundários e primários abordados no presente estudo (Datum SIRGAS2000).

A **Tabela II.6.1.2.2** sumariza a metodologia de análise dos parâmetros mencionados dentre os dados secundários. Salienta-se que o estudo PETROBRAS (2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010) não apresentou as metodologias analíticas para os parâmetros de sedimento. As metodologias de PIATAM (2008) também não são especificadas por parâmetro, pois os produtos principais do projeto foram mapas de distribuição gerados a partir do agrupamento de dados oriundos de diversas fontes distintas.

TABELA II.6.1.2.2 – Parâmetros analisados e respectivos métodos analíticos empregados nos estudos pretéritos citados ao longo deste documento.

Parâmetro	Relatório	Método Analítico
Qualidade da Água		
Oxigênio Dissolvido	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Oxímetro
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Titulação por Winkler
pH	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	PH-metro digital
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	PH-metro digital
Transparência	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Disco de Secchi
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Disco de Secchi
Total de Sólidos em Suspensão (TSS)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Gravimetria
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Gravimetria em filtros de fibra de vidro
Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM2540
Clorofila-a	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Método tricromático
Amônia	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM 4500 NH3-F
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Espectrofotometria - Azul de indofenol (descrito por Koroleff em Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)
Nitrito	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM 4500 NO2-B
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Espectrofotometria - Reação com sulfanilamida (Strickland & Parson, 1965)
Nitrato	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM 4500 NO3-E
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Espectrofotometria - Método de redução com coluna de Cd e Cu seguido de diazotação (Strickland & Parson, 1965)
Fosfato	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM 4500
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Espectrofotometria - Fosfomolibídico (Strickland & Parson, 1965)
Fósforo Total	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	SM 4500 – P
Silicato	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	Espectrofotometria - Reação do ácido ascórbico (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983)

Parâmetro	Relatório	Método Analítico
Sulfetos	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Colorimetria e Titimetria
Carbono Orgânico Total (COT)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Combustão catalítica
Fenóis	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 6010 / SM 3500 Cr-B
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	EPA 3510C / EPA 8270C
BTEX	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 8021
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	EPA 8260B
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 8270
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	EPA 8270
Hidrocarbonetos Totais (HTP)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 8015
	PETROBRAS (2006 <i>apud</i> PETROBRAS/AECOM, 2010)	UNEP/IOC/IAEA (1992)
Qualidade do Sedimento		
Granulometria	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Gravimetria
Teor de Carbonato	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Dissolução ácida
Carbono Orgânico Total (COT)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Combustão catalítica
Teor de Matéria Orgânica	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Gravimetria
Fósforo Total	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	Análises colorimétricas
N-Kjeldehel		
Metais	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 7471 para Hg / EPA 6010 para os demais metais
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 8270C
Hidrocarbonetos Totais - HTP	OGX/PIR2/FUGRO (2009 <i>apud</i> OGX/HABTEC, 2009)	EPA 8015C

*Referente a métodos da US Environmental Protection Agency (USEPA)

Dados Locais (Primários) - Caracterização Ambiental na região dos Blocos (BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352), de interesse da BG Brasil E&P na Bacia de Barreirinhas

Para o levantamento local de qualidade da água e do sedimento realizado durante a campanha intitulada *Baseline Barreirinhas*, entre os dias 23 de setembro e 14 de outubro de 2014, foi definida uma malha amostral considerando diversos aspectos, entre eles a batimetria local, características meteoceanográficas, faciologicas, entre outros. Associado às características citadas, no caso dos blocos exploratórios, a malha amostral considerou as variáveis abaixo listadas para definir distribuição de estações e profundidades amostrais:

- **Áreas de Interesse de Perfuração:** As locações propostas para a perfuração dos poços exploratórios estão localizadas somente em 5 dos 10 blocos adquiridos para a atividade de perfuração exploratória. Este fator foi o primeiro a ser considerado na distribuição da malha amostral, que visa obter dados ambientais com foco em áreas de interesse exploratório.
- **Dados Faciológicos Locais** - A partir de dados pretéritos, apresentados mais adiante neste estudo, observou-se que a região dos blocos acima citados apresenta, em sua grande parte, uma faciologia predominantemente lamosa (PIATAM, 2008). Exceções foram identificadas na região S do Bloco 388 onde, em virtude da proximidade da região final da quebra da plataforma, sedimentos de granulometria mais grosseira (areia lamosa, areia cascalhosa e cascalho) foram identificados
- **Dados Sonográficos (Multibeam)** – Dados obtidos através de *Multibeam* foram processados e interpretados como forma de identificar possíveis áreas onde a ocorreria a presença de sedimentos de textura diferenciada. Nas imagens obtidas verificou-se que em determinadas áreas, a reflexão do sinal indicava a presença de sedimentos diferentes, principalmente nos meandros dos paleocanais. Estas áreas também foram cobertas pela malha amostral, como forma de confirmar potenciais diferenças de fácies sedimentares.
- **Termoclina** - considerando que a maior parte área de estudo está sobre uma lâmina d'água superior a 300 metros, ou seja, uma região onde a termoclina é permanente, é relevante que o estudo de caracterização ambiental englobe diferentes profundidades ao longo da coluna d'água. Considerando fatores bióticos (o plâncton, discutido no item referente ao meio biótico) e seus fatores limitantes, seja químico ou físico, foi definida a amostragem ao longo da coluna d'água nas seguintes profundidades fundamentais: subsuperfície, acima da termoclina, meio da termoclina e abaixo da termoclina.

A malha amostral definida foi composta, então, por 22 pontos de coleta. A distribuição das estações de coleta de sedimento e água (além da biota - plâncton e bentos, abordada no item correspondente) é apresentada na **Figura II.6.1.2.2** e **Tabela II.6.1.2.3**.

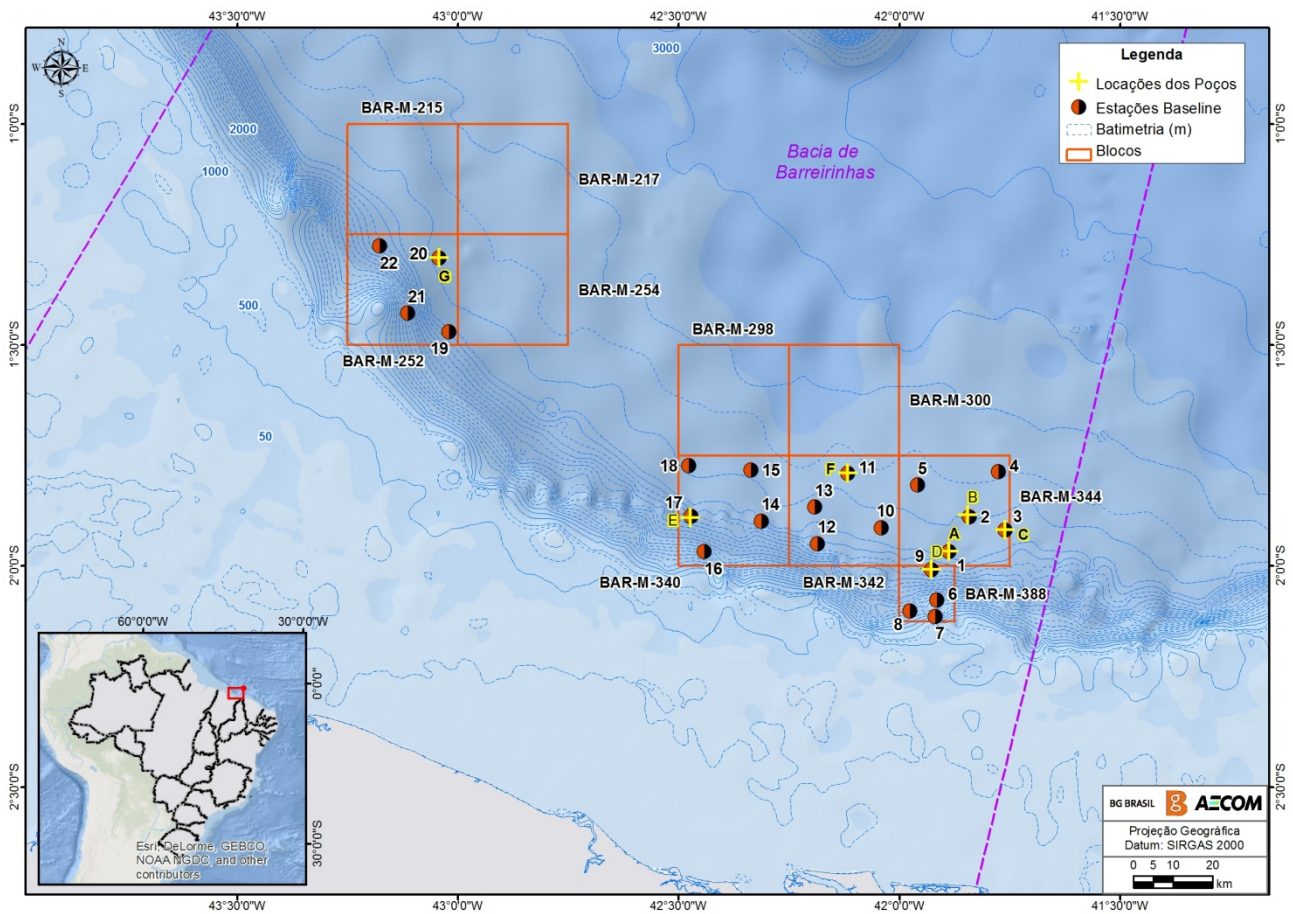


FIGURA II.6.1.2.2 – Malha amostral referente a Campanha *Baseline* Barreirinhas (Datum SIRGAS2000) (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.3 – Localização e dados de coleta das estações amostrais da Campanha *Baseline* Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Estações de coleta	Localização Geográfica (Datum – SIRGAS 2000)		Blocos – BG Brasil (Bacia de Barreirinhas)	Coleta de Água Data (DD/MM/AA)	Coleta de Sedimento Data (DD/MM/AA)
	Latitude (GG° MM' SS,SSS")	Longitude (GG° MM' SS,SSS")			
1	-01° 58' 02,087"	-41° 53' 14,346"	BAR-M-344	10/10/2014	29/09/2014
2	-01° 53' 19,755"	-41° 50' 26,908"		10/10/2014	30/09/2014
3	-01° 55' 08,368"	-41° 45' 36,926"		10/10/2014	29 e 30/09/2014
4	-01° 47' 13,817"	-41° 46' 31,170"		10/10/2014	30/09/2014
5	-01° 49' 00,465"	-41° 57' 30,757"		10/10/2014	01/10/2014
6	-02° 4' 37,441"	-41° 54' 51,507"	BAR-M-388	09/10/2014	28/09/2014
7	-02° 06' 50,034"	-41° 55' 06,612"		09/10/2014	27 e 28/09/2014
8	-02° 6' 4,951"	-41° 58' 30,862"		09/10/2014	27/09/2014
9	-02° 0' 32,478"	-41° 55' 36,475"		09/10/2014	29/09/2014
10	-01° 54' 49,175"	-42° 2' 26,966"	BAR-M-342	10/10/2014	01/10/2014
11	-01° 47' 24,360"	-42° 7' 0,552"		11/10/2014	02/10/2014
12	-01° 56' 59,379"	-42° 11' 4,356"		11/10/2014	01/10/2014
13	-01° 52' 1,280"	-42° 11' 28,341"		11/10/2014	01 e 02/10/2014
14	-01° 53' 54,054"	-42° 18' 45,073"	BAR-M-340	11/10/2014	03/10/2014
15	-01° 46' 57,542"	-42° 20' 7,301"		11/10/2014	02/10/2014

Estações de coleta	Localização Geográfica (<i>Datum – SIRGAS 2000</i>)		Blocos – BG Brasil (Bacia de Barreirinhas)	Coleta de Água Data (DD/MM/AA)	Coleta de Sedimento Data (DD/MM/AA)
	Latitude (GG° MM' SS,SSS")	Longitude (GG° MM' SS,SSS")			
16	-01° 58' 3,606"	-42° 26' 29,348"	BAR-M-252	11/10/2014	02/10/2014
17	-01° 53' 16,694"	-42° 28' 17,519"		11/10/2014	03/10/2014
18	-01° 46' 22,545"	-42° 28' 35,527"		11-12/10/2014	03/10/2014
19	-01° 28' 12,657"	-43° 1' 11,908"		12/10/2014	04/10/2014
20	-01° 18' 13,594"	-43° 2' 33,567"		12/10/2014	25 e 26/09/2014 e 04/10/2014
21	-01° 25' 41,894"	-43° 6' 49,411"		12/10/2014	04/10/2014
22	-01° 16' 35,379"	-43° 10' 35,555"		12/10/2014	25/09/2014

Para a caracterização da qualidade da água, os parâmetros oceanográficos (temperatura, salinidade e densidade) foram obtidos através de perfis ao longo da coluna d'água através de um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) em todas as estações de coleta propostas para este estudo (22). A partir destes perfis, através dos quais foram identificadas as termoclinas, foram definidas as profundidades de coleta. As amostras de água do mar foram coletadas em quatro (4) profundidades (subsuperfície, acima da termoclina, meio da termoclina e abaixo da termoclina), totalizando oitenta e oito (88) amostras de água para caracterização físico-química. A caracterização da qualidade da água considerou parâmetros analisados em laboratório e variáveis medidas *in situ*, sendo elas: pH, oxigênio dissolvido, transparência, além dos dados de CTD já mencionados. As amostras de água do mar para os parâmetros físico-químico gerais foram coletadas através de garrafas hidrológicas do tipo Niskin e para os parâmetros orgânicos foram coletadas através de garrafas do tipo Go-Flo. Salienta-se que os parâmetros químicos – analisados neste estudo de caracterização – estão de acordo com as premissas apresentadas pela CGPEG/IBAMA, através do Termo de Referência nº 008/2014 para as atividades de perfuração marítima.

A Tabela II.6.1.2.4 apresenta os parâmetros analisados juntamente com os volumes das amostras, analisadores/amostradores, forma de armazenamento e tipo preservação, conforme procedimentos seguidos em campo para as amostras de qualidade da água.

TABELA II.6.1.2.4 – Parâmetros e métodos de campo para caracterização ambiental da Campanha *Baseline* Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Parâmetros	Volume da Amostra / Recipiente	Analisador/Amostrador	Armazenamento	Preservação
Oxigênio Dissolvido	300 mL	Oxímetro	Análise <i>in situ</i>	NA
pH	300 mL	pHmetro		
Transparência	NA	Disco de Secchi		
Densidade	NA	CTD	NA	NA
Salinidade				
Temperatura				
Nutrientes (Amônia, Nitrito, Nitrito, Fosfato e Silicato)	500 mL/ Recipiente de polipropileno ou polietileno	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Filtragem imediata – Refrigerar	NA
Sólidos totais, dissolvidos e em suspensão	2.000 mL/ Recipiente de polietileno	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Filtragem imediata – Refrigerar	NA
Carbono Orgânico Total	500 mL/ Recipiente de vidro	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Refrigeração imediata	NA
Sulfetos	1.000 ml / Recipiente de vidro âmbar	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Refrigeração	Acetato de zinco

Parâmetros	Volume da Amostra / Recipiente	Analizador/Amostrador	Armazenamento	Preservação
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	1.000 ml / Recipiente de vidro âmbar com tampa de com tampa de teflon	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Refrigeração	NA
Hidrocarbonetos poliaromáticos – HPAs (16 prioritários e compostos alquilados) e n-alcanos	1.000 ml / Recipiente de vidro âmbar com tampa de com tampa de teflon	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Refrigeração	NA
Fenóis Totais	1.000 ml / Recipiente de vidro âmbar	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Refrigeração	H ₂ SO ₄
Clorofila-a	2.000 mL	Garrafa Niskin ou Go-Flo	Filtragem imediata abrigo de luz – Congelar	NA

NA – Não aplicável

Em laboratório, foram realizadas as análises nas amostras de água seguindo os métodos cujas referências são representadas na tabela a seguir. Os protocolos seguem majoritariamente recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SM) (APHA, AWWA, AEF, 2005) e da *US Environmental Protection Agency* (USEPA) (**Tabela II.6.1.2.5**).

Cabe acrescentar que as análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Biogeoquímica da UFRJ (nutrientes, sólidos, sulfetos e COT) e *Analytical Technology* Serviços Analíticos e Ambientais Ltda (demais análises químicas). A análise de clorofila-a foi realizada pelo mesmo laboratório responsável pelas análises do fitoplâncton, o laboratório do Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI, da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

TABELA II.6.1.2.5 – Métodos analíticos para a análise dos parâmetros físico-químicos da água empregados para caracterização ambiental da Campanha *Baseline* Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Parâmetro	Metodologia	Limites de Quantificação (LQ)
pH	Sonda de medição	-
Oxigênio Dissolvido		
Transparência	Disco de <i>Secchi</i>	-
Condutividade		
Densidade		
Salinidade	CTD	-
Temperatura		
Silicato	Application Note 5250 Acc To FDIS 16264 Revision 2002-10-23	0,0420 mg.L ⁻¹
Nitrito	Application Note 5200 Acc to ISO 13395-1996 Revision 2	0,0031 mg.L ⁻¹ N
Amônia	Application Note 5220 Acc to ISO 11732:2005 Revision 5	0,0077 mg.L ⁻¹ N
Nitrato	Application Note 5201 Acc to ISO 13395-1996 Revision 2	0,0027 mg.L ⁻¹ N
Fosfato	Application Note 5241 Acc to ISO 15681-1 Revision 4	0,0034 mg.L ⁻¹ P

Parâmetro	Metodologia	Limites de Quantificação (LQ)
Sólidos Suspensos Totais	Condutivímetro	0,010 mg.L ^{-1*}
Sólidos Dissolvidos Totais	STRICKLAND & PARSONS (1972)	
Carbono Orgânico Total	Oxidação Catalítica	0,5 mg.L ⁻¹
Fenóis	SMEWW– 21st Ed. 2005 – 5530 C/D	LQ: 0,009 mg/L – extração LQ: 0,030 mg/L
Sulfeto	GRASSHOFF (1976)	0,0033 mg.L ⁻¹
HPAs – 16 prioritários e compostos alquilados	EPA 8270 D	0,05 µg.L ^{-1**}
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) (incluindo n-alcenos, MCNR, HRP, pristano e fitano)	USEPA 8015C:2007	TPH, TRP e UCM: 435,0 µg.L ⁻¹ n-alcenos, pristano e fitano: 15,0 µg.L ⁻¹
Clorofila-a	BARROSO & LITTLEPAGE (1998)	0,04 mg.m ⁻³

* Valor do limite de detecção do método analítico

** LQs creditados para cada análise, podendo variar em função da concentração efetiva de cada amostra (LQ específicos são apresentados nos respectivos laudos)

USEPA – *United States Environmental Protection Agency* / SM – Standard Methods

Para a caracterização da qualidade do sedimento foram consideradas as mesmas estações. A obtenção das amostras de sedimento ocorreu através de um amostrador do tipo boxe corer (50 x 50 cm), sendo a caixa de amostragem constituída em aço inoxidável. Em cada estação foram coletadas três réplicas para análise dos parâmetros físico-químicos, visando maior confiabilidade nos resultados. Após cada lançamento do amostrador, as amostras foram identificadas e fotografadas, a fim de caracterizar visualmente o sedimento, bem como registrar possíveis perturbações nas amostras. Esses procedimentos fazem parte da validação de cada amostra de sedimento coletada.

O sedimento coletado foi inicialmente retirado com uma espátula de madeira destinado à avaliação química do sedimento, procurando evitar possíveis contaminações do amostrador metálico nas extremidades da amostra. Em seguida, foram retiradas amostras para as análises granulométricas. As amostras foram acondicionadas em recipientes apropriados para cada análise, conforme as especificações de cada parâmetro fornecidas pelos laboratórios responsáveis, sendo refrigeradas para sua preservação, se pertinente. Após coleta e armazenamento adequado, as amostras de sedimento foram enviadas aos laboratórios especializados.

A **Tabela II.6.1.2.6** apresenta os parâmetros analisados juntamente com os volumes das amostras, analisadores, forma de armazenamento e preservação conforme procedimentos seguidos em campo. Enquanto a **Tabela II.6.1.2.7** apresenta os métodos analíticos empregados em laboratórios e os respectivos limites de quantificação (LQ).

TABELA II.6.1.2.6 – Parâmetros e métodos de campo para caracterização e determinação da qualidade do sedimento nos blocos operados pela BG Brasil E&P na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Parâmetros	Armazenamento	Preservação
Granulometria	Recipiente Plástico	Congelar
Carbonatos (CaCO ₃)	Recipiente Plástico	Congelar
Carbono Orgânico Total	Recipiente Plástico	Congelar
Nutrientes (Nitrogênio e Fósforo)	Recipiente Plástico	Congelar
Metais (Fe, Al, As, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V, Hg e Mn)	Recipiente Plástico	Refrigerar

Parâmetros	Armazenamento	Preservação
HTP e HPA	Recipiente de vidro de 100ml, com tampa de Teflon	Congelar
Biomarcadores (hopanos e esteranos)	Recipiente de vidro de 100ml, com tampa de Teflon	Congelar

TABELA II.6.1.2.7 – Métodos analíticos para a análise dos parâmetros físico-químicos do sedimento empregados para caracterização ambiental da Campanha Baseline Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Parâmetros	Metodologia	Limite de Quantificação
Granulometria	Secagem seca para grãos <2,00 mm (SUGUIO, 1973). Medidor de grãos Laser Malvern Hidro 2000MU para grãos >2,00 mm	0,01 μm^*
Carbonato (CaCO_3)	Dissolução Ácida (SUGUIO, 1973)	0,1%
Carbono Orgânico Total	Combustão em alta temperatura - analisador CHN	0,10%
HPAs – 16 prioritários e compostos alquilados	USEPA 8270D	10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) (incluindo n-alcenos, MCNR, HRP, pristano e fitano)	USEPA 8015C	TPH, TRP and UCM: 29.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ n-alcenos, pristano e fitano: 1.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
Biomarcadores (hopanos e esteranos)	CG/EM (Eurofins)	-
Amônia	USEPA 9056A: 2007	0,600 mg.kg^{-1}
Nitrito	USEPA 9056A: 2007	0,300 – 2,00 mg.kg^{-1}
Nitrato	USEPA 9056A: 2007	0,300 – 2,00 mg.kg^{-1}
Fosfato	USEPA 9056A: 2007	0,300 mg.kg^{-1}
Hg	USEPA-7471B	0,3 mg.kg^{-1}
Al	USEPA 6010C	10,0 mg.kg^{-1}
As		1,5 mg.kg^{-1}
Fe		5,0 mg.kg^{-1}
Ba		2,0 mg.kg^{-1}
Cr		2,0 mg.kg^{-1}
Cu		2,0 mg.kg^{-1}
Mn		3,0 mg.kg^{-1}
Cd		1,0 mg.kg^{-1}
Pb		2,0 mg.kg^{-1}
Ni		2,0 mg.kg^{-1}
V		4,0 mg.kg^{-1}
Zn		5,0 mg.kg^{-1}

*Limite de Detecção.

USEPA – United States Environmental Protection Agency.

C. Caracterização da Qualidade da Água

Em águas oceânicas, as características são regidas naturalmente por influência das massas d'água, correntes e interação com a atmosfera, apresentando uma menor variação quando comparada a ambientes costeiros. A produção e exploração de petróleo e gás se destaca como uma das principais atividades associadas a alterações antrópicas. Neste item, serão abordados parâmetros mensurados em águas oceânicas de bacias do Norte e Nordeste do país.

➤ Parâmetros Físico-Químicos

• Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido (OD) constitui um importante indicador ambiental de qualidade de água por caracterizar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica (LALLI & PARSONS, 1997). Destaca-se, sobretudo, que concentrações mínimas de oxigênio na água são determinantes para existência das espécies aquáticas. MANAHAM (2000) salienta que a morte de muitos peixes não ocorre diretamente pela toxicidade de alguns poluentes, mas, sim, pela deficiência de oxigênio causada devido ao consumo do OD na biodegradação desses poluentes.

LALLI & PARSONS (1997) mencionaram a atmosfera e os processos fotossintéticos como as principais fontes de oxigênio para o ambiente aquático, enquanto que as perdas estariam relacionadas ao consumo, decomposição da matéria orgânica (oxidação), liberação para a atmosfera e processos como nitrificação e oxidação química abiótica de íons metálicos. Mencionam-se ainda fatores dinâmicos do meio alterando o OD, como a agitação da superfície por ação dos ventos e ondas, ressurgência de águas profundas subsaturadas e contribuição das diferentes massas d'água presentes numa determinada região, além da grande influência da temperatura neste parâmetro, posto que quanto maior a temperatura, menor a dissolução desse gás.

As concentrações de oxigênio dissolvido observadas no estudo realizado nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 variaram de 7,90 a 8,10 mg.L⁻¹, na superfície, de 7,80 a 7,90 mg.L⁻¹, no meio e de 7,60 a 7,80 mg.L⁻¹, próximo ao fundo (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 apud OGX/HABTEC, 2009). Os resultados verificados no estudo dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 apresentaram maior variação entre as amostragens realizadas próximas ao talude, com concentrações medianas em torno de 5 mL.L⁻¹ (6,5 mg.L⁻¹) (PETROBRAS, 2006 apud PETROBRAS/AECOM, 2010) (**Figura II.6.1.2.3**).

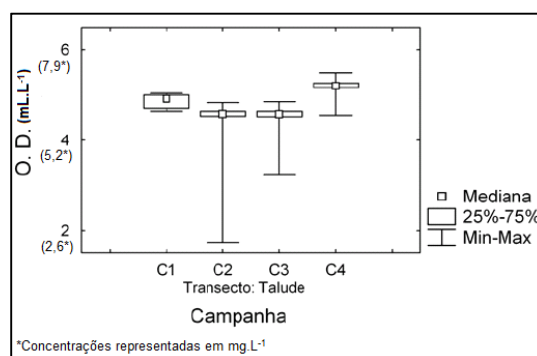


FIGURA II.6.1.2.3 – Valores de OD na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 apud PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Na campanha *Baseline* realizada na Bacia de Barreirinhas as concentrações de OD variaram entre 4,34 e 8,71 mg.L⁻¹, com valor médio e desvio padrão iguais a 5,86 e 0,88 mg.L⁻¹, respectivamente. Alguns dos valores estiveram abaixo do mínimo estipulado pela Resolução CONAMA 357/05 para Águas Salinas Classe 1 (6,0 mg.L⁻¹), principalmente nos estratos do meio e abaixo da termoclina (BG/AECOM, 2015). A variação horizontal das concentrações de OD não revelou um padrão claro de distribuição, mas verticalmente nota-se que concentrações mais elevadas foram observadas no estrato sub-superficial e acima da termoclina, o que pode ser associada a uma variabilidade natural (Figura II.6.1.2.4 e Tabela II.6.1.2.8).

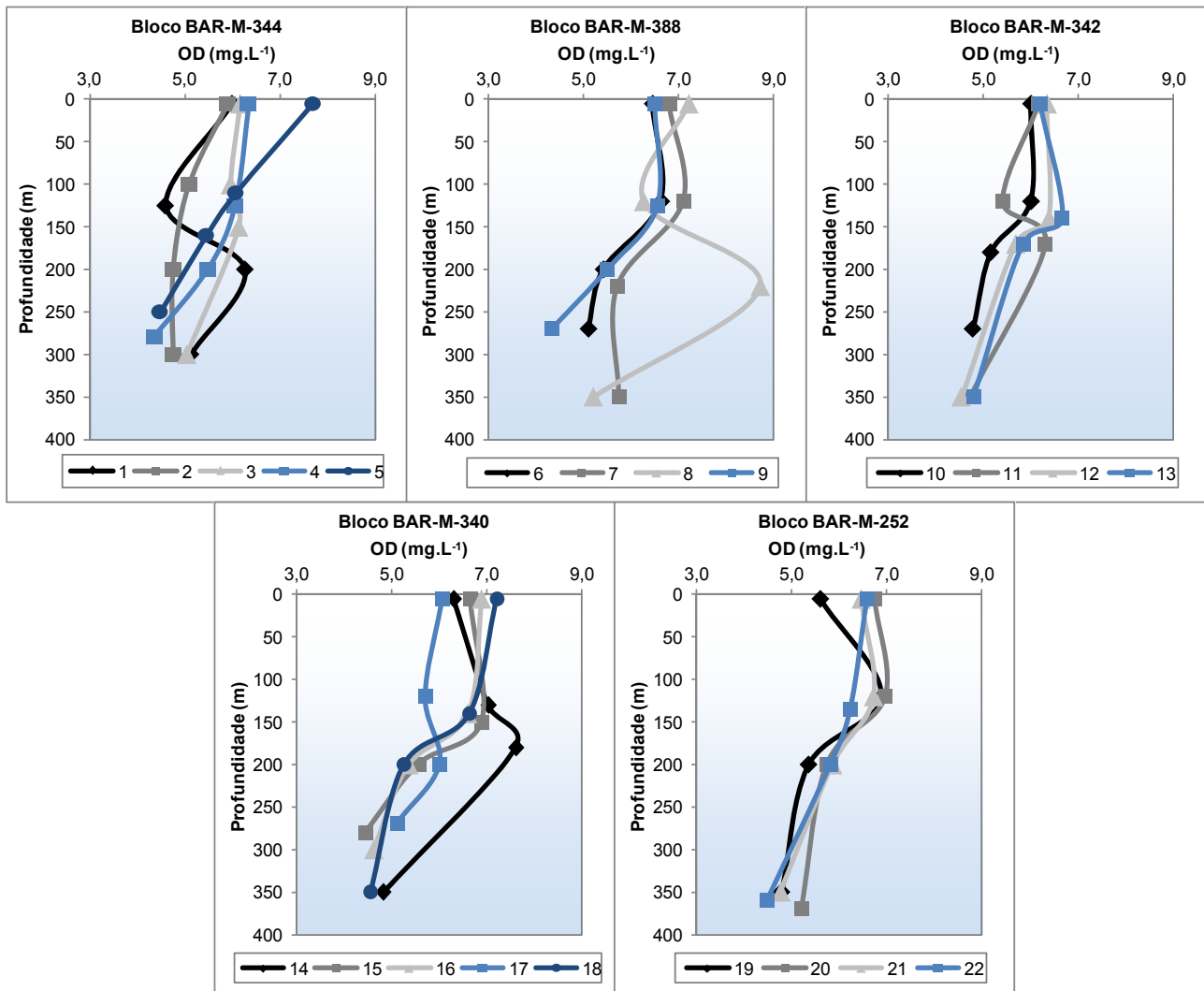


FIGURA II.6.1.2.4 – Valores de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.8 – Distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1})			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	5,90	4,60	4,77	4,37
	Máximo	7,69	6,07	6,27	5,13
	Média	6,42	5,56	5,62	4,76
	Desv. Pad.	0,73	0,67	0,60	0,34
BAR-M-388	Mínimo	6,45	6,26	5,42	4,34
	Máximo	7,21	7,10	8,71	5,74
	Média	6,74	6,64	6,33	5,10
	Desv. Pad.	0,35	0,35	1,59	0,58
BAR-M-342	Mínimo	6,00	5,40	5,15	4,53
	Máximo	6,34	6,65	6,30	4,80
	Média	6,17	6,11	5,74	4,70
	Desv. Pad.	0,14	0,54	0,47	0,12
BAR-M-340	Mínimo	6,07	5,71	5,25	4,45
	Máximo	7,21	7,03	7,61	5,11
	Média	6,62	6,57	5,96	4,71
	Desv. Pad.	0,45	0,51	0,97	0,26
BAR-M-252	Mínimo	5,60	6,23	5,35	4,48
	Máximo	6,74	6,96	5,86	5,21
	Média	6,35	6,70	5,69	4,81
	Desv. Pad.	0,51	0,33	0,23	0,30

NIENCHESKI (1999) cita que na primavera (período da amostragem do *Baseline*) há pouca definição das isolinhas de OD na região norte-nordeste, evidenciando uma homogeneidade até 200 m de profundidade, com valores entre $4,5\text{-}4,7 \text{ mL.L}^{-1}$ ($5,9\text{-}6,15 \text{ mg.L}^{-1}$). A partir de então há um gradiente decrescente com a profundidade, oscilando entre $3,5$ e $4,1 \text{ mL.L}^{-1}$ ($4,6\text{-}5,4 \text{ mg.L}^{-1}$). Este comportamento de variação vertical e concentrações similares foram verificados no *Baseline*. Salienta-se que a conversão da unidade de mL.L^{-1} para mg.L^{-1} , para efeitos comparativos, foi realizada considerando a equação de gases ideais (com pressão de 1 atm e temperatura de 25°C). Destaca-se que a solubilidade do oxigênio dissolvido na água do mar depende da pressão atmosférica, da pressão de vapor, da temperatura e salinidade do meio (NIENCHESKI, 1999). Cabe acrescentar que a temperatura da água do mar mais elevada na região norte/nordeste brasileira pode explicar as concentrações de oxigênio mais baixas, pela diminuição da solubilidade do gás. No *Baseline*, por exemplo, verificou-se valor médio de $25,53^\circ\text{C}$ (tomando perfis até a 400 m em todas as estações) (BG/AECOM, 2015). Salienta-se que a ausência de atividades antrópicas no local no momento da campanha infere que as concentrações aqui observadas representem valores naturais para o ambiente. Em adição, cita-se que as variações podem estar relacionadas a fatores sazonais, como observado na **Figura II.6.1.2.3**.

- **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Naturalmente, os valores de pH em águas oceânicas tendem a apresentar pequenas variações, na ordem de 7,5 a 8,4, devido ao tamponamento provocado pelo sistema dióxido de carbono/água (SOARES-GOMES & FIGUEIREDO, 2002). 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.

Nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16, os valores de pH também ficaram em torno de 8,0, variando entre 7,8 e 8,2, com valores ligeiramente maiores próximo à superfície (**Figura II.6.1.2.5**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). Os valores observados nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 foram bastante similares, em torno de 8,2, o que demonstra a pequena variação desse parâmetro nas áreas oceânicas (**Figura II.6.1.2.6**) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

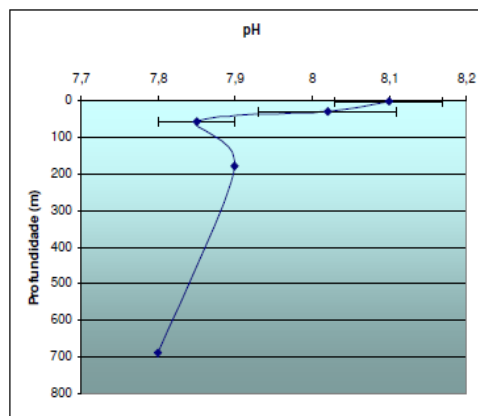


FIGURA II.6.1.2.5 – Valores de pH nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

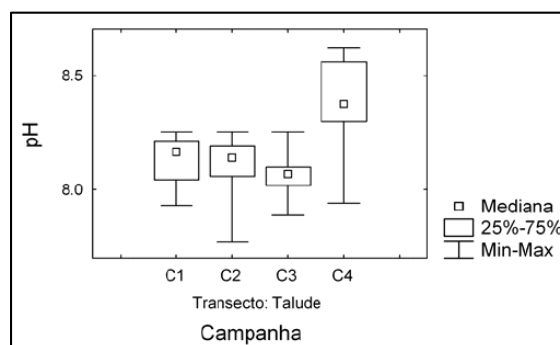


FIGURA II.6.1.2.6 – Valores de pH na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Ao longo das estações na região da Bacia de Barreirinhas (*Baseline*) a variação do pH foi pequena, com valor médio igual a 8,0 e desvio padrão 0,2. Os valores mínimo e máximo equivalem a 7,6 e 8,2, nesta ordem. Em geral, os perfis foram similares entre si, com tendência a valores menores de pH com a profundidade (Figura II.6.1.2.7 e Tabela II.6.1.2.9). Todos os valores mensurados enquadram-se ao estipulado pela Resolução CONAMA 357/05, que recomenda pH entre 6,5 e 8,5 para Águas Salinas Classe 1 (BG/AECOM, 2015).

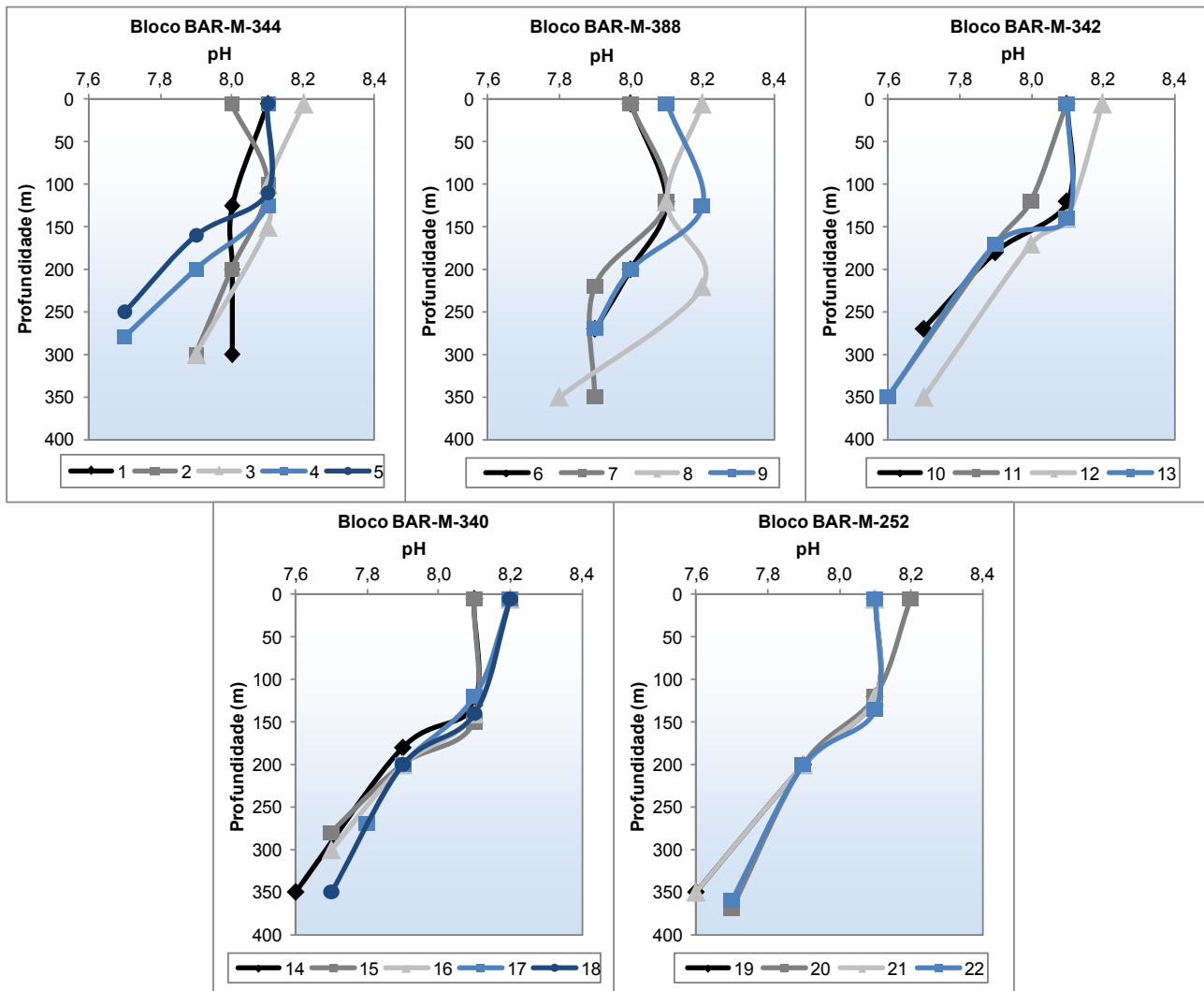


FIGURA II.6.1.2.7 – Valores de pH na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.9 – Distribuição dos valores de pH por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	pH			
		Sub-superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	8,00	8,00	7,90	7,70
	Máximo	8,20	8,10	8,10	8,00

Blocos BG Brasil	Estações	pH			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
	Média	8,10	8,08	7,98	7,84
	Desv. Pad.	0,07	0,04	0,08	0,13
	Mínimo	8,00	8,10	7,90	7,80
	Máximo	8,20	8,20	8,20	7,90
BAR-M-388	Média	8,08	8,13	8,03	7,88
	Desv. Pad.	0,10	0,05	0,13	0,05
	Mínimo	8,10	8,00	7,90	7,60
	Máximo	8,20	8,10	8,00	7,70
BAR-M-342	Média	8,13	8,08	7,93	7,65
	Desv. Pad.	0,05	0,05	0,05	0,06
	Mínimo	8,10	8,10	7,90	7,60
	Máximo	8,20	8,10	7,90	7,80
BAR-M-340	Média	8,16	8,10	7,90	7,70
	Desv. Pad.	0,05	0,00	0,00	0,07
	Mínimo	8,10	8,10	7,90	7,60
	Máximo	8,20	8,10	7,90	7,70
BAR-M-252	Média	8,13	8,10	7,90	7,65
	Desv. Pad.	0,05	0,00	0,00	0,06
	Mínimo	8,10	8,10	7,90	7,60
	Máximo	8,20	8,10	7,90	7,70

A distribuição vertical do pH foi semelhante à do oxigênio dissolvido, com valores menores com o aumento da profundidade. Esta relação é esperada uma vez que, nas águas superficiais, a fixação fotossintética de carbono inorgânico tende a elevar o pH da água — em função da diminuição das concentrações de CO₂ e ácido carbônico dissolvidos — e como um subproduto da fotossíntese, o oxigênio dissolvido. Em profundidades maiores, onde a fotossíntese é limitada pela luz, processos heterotróficos prevalecem e a produção de CO₂ e a consequente formação de ácido carbônico tendem a diminuir o pH das águas (PEDROSA *et al.*, 2006) (BG/AECOM, 2015).

- **Transparência**

A transparência da água é um parâmetro de avaliação visual analisado em campo, cujos resultados correspondem a profundidade máxima em que o observador consegue enxergar o equipamento utilizado na medição (um disco de *Secchi*), representaria a medição da penetração vertical da luz solar na coluna d'água. Os valores de transparência se relacionam diretamente com a incidência solar, que, por sua vez, varia devido a diversos outros fatores, como estação do ano e horário da medição, turbidez local, cor da água, descartes de efluentes, entre outros.

Nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 a transparência variou de 9,0 a 11,0 m, enquanto nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 observou-se variações sazonais entre as campanhas com medianas entre 5,0 e 10,0 m, porém atingindo um máximo de 71,0 m (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009; PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

Nos blocos do *Baseline* na Bacia de Barreirinhas a média da transparência observada foi de 11,4 m, com variações entre 10 e 15 m, o que revela indiretamente a penetrabilidade da luz solar (BG/AECOM, 2015). A **Figura II.6.1.2.8** mostra os perfis e a **Tabela II.6.1.2.10** abaixo mostra os valores encontrados durante a campanha *Baseline*.

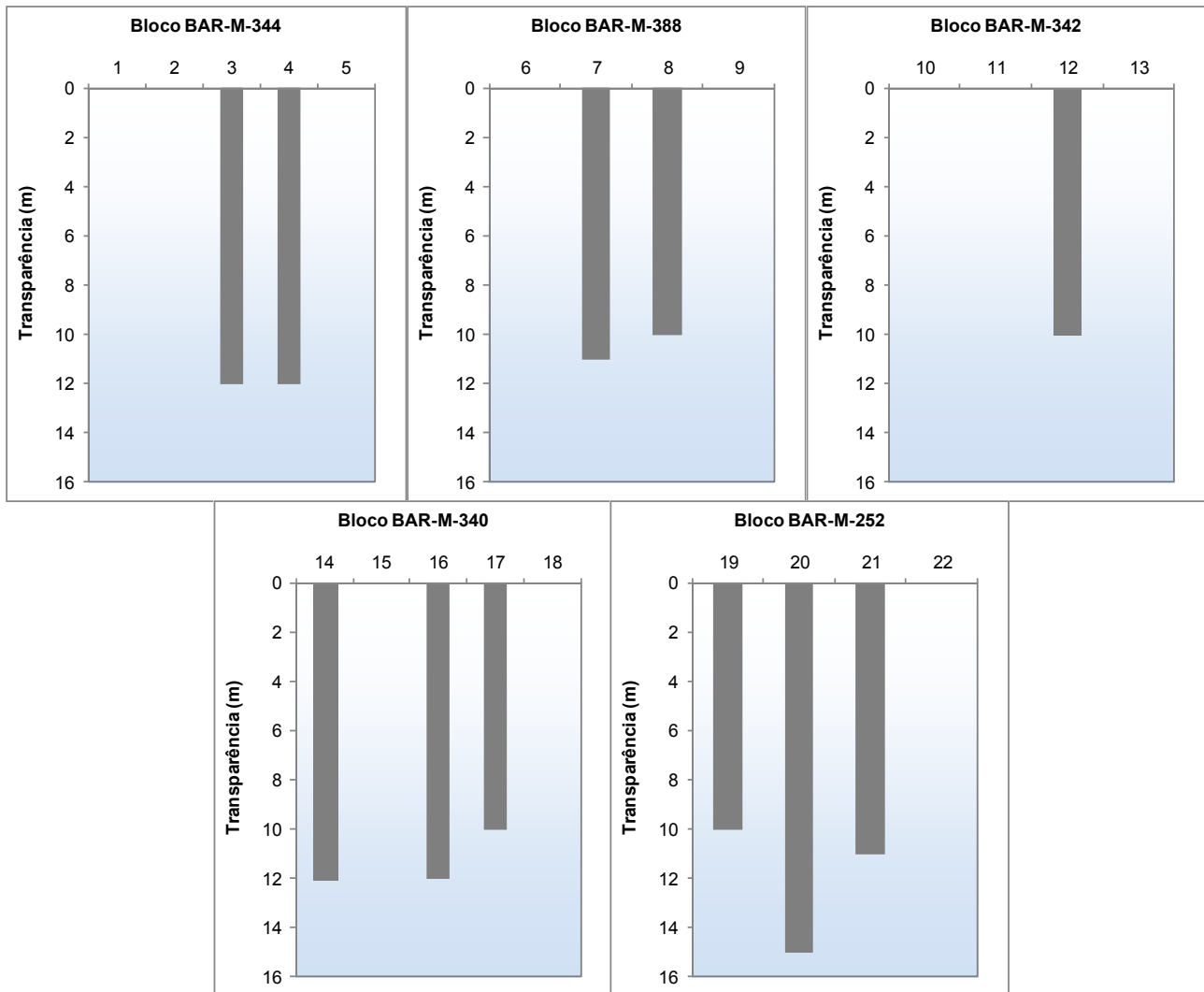


FIGURA II.6.1.2.8 – Perfis de transparência na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.10 – Distribuição dos valores de transparência por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Transparência (m)
BAR-M-344	Mínimo	12,00
	Máximo	12,00
	Média	12,00
	Desv. Pad.	0,00
BAR-M-388	Mínimo	10,00

Blocos BG Brasil	Estações	Transparência (m)
		Máximo
	Média	10,50
	Desv. Pad.	0,71
BAR-M-342	Mínimo	10,00
	Máximo	10,00
	Média	10,00
	Desv. Pad.	-
BAR-M-340	Mínimo	10,00
	Máximo	12,00
	Média	11,33
	Desv. Pad.	1,15
BAR-M-252	Mínimo	10,00
	Máximo	15,00
	Média	12,00
	Desv. Pad.	2,65

- **Sólidos em Suspensão Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)**

Os sólidos na água são constituídos de partículas orgânicas e inorgânicas, como partículas biogênicas, organismos vivos (fitoplâncton, bactéria e outros organismos) e mortos (material detritico) e partículas minerais. Os sólidos em suspensão totais (SST), também mencionados como material particulado em suspensão (MPS), referem-se às partículas presentes na água acima de 1,2 μm , partículas com tamanho inferior correspondem aos sólidos dissolvidos totais (SDT). AMINOT & CHAUSSEPIED (1983) mencionam concentrações de SST para áreas afastadas da costa entre cerca de 0,5 a 5 mg.L^{-1} . SOARES-GOMES & FIGUEIREDO (2002) afirmam que variações na concentração dos SDT, em geral, estão relacionadas a fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade e ventos. Já as variações da concentração dos SST, segundo AMINOT & CHAUSSEPIED (1983), são sazonais e de origem biológica, intempérica ou provenientes de aporte terrígeno natural ou antrópico.

Os resultados de sólidos em suspensão totais (SST) variaram entre 0,48 e 0,87 mg.L^{-1} na superfície, 0,28 a 0,64 mg.L^{-1} , no meio, e de 0,35 a 0,63 mg.L^{-1} , próximo ao fundo na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16. Os sólidos dissolvidos totais (SDT) na mesma área variaram de 39,89 a 42,04 mg.L^{-1} na superfície, de 39,98 a 42,36 mg.L^{-1} , no meio, e de 40,58 a 41,26 mg.L^{-1} , próximo ao fundo (**Figura II.6.1.2.9**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). Na área dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 só foram mensurados dados de MPS (ou SST), que variaram dentro da faixa citada por AMINOT & CHAUSSEPIED (*op. cit.*), como observa-se na **Figura II.6.1.2.10**. Salienta-se que as medianas similares entre as campanhas não caracterizam uma variação sazonal (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

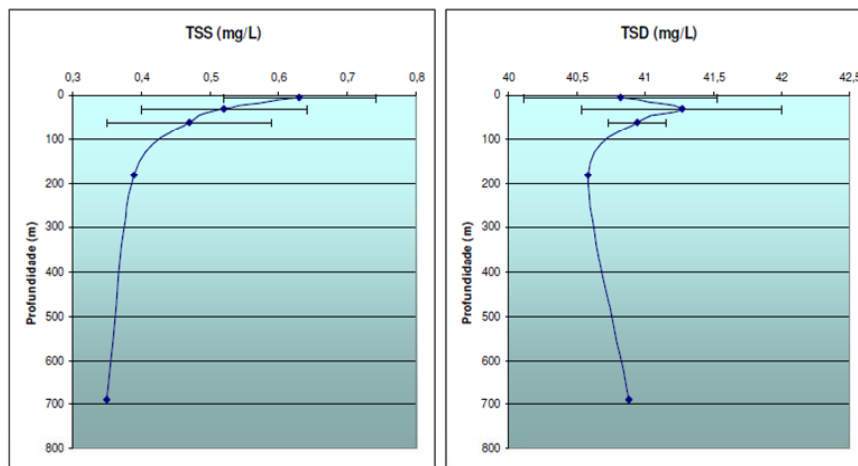


FIGURA II.6.1.2.9 – Valores de Sólidos em Suspensão Totais (SST ou TSS) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT ou TSD) (mg.L^{-1}) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

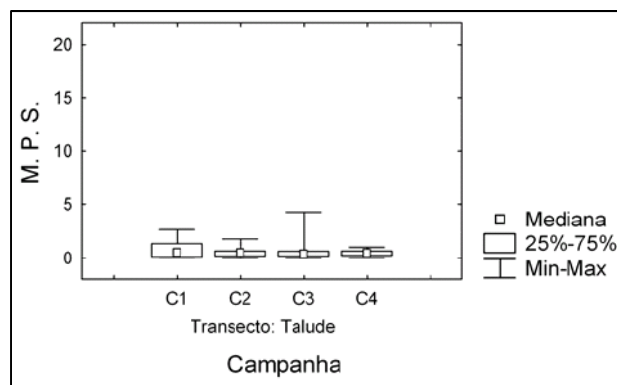


FIGURA II.6.1.2.10 – Valores de MPS (=SST) (mg.L^{-1}) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Considerando as estações avaliadas na Bacia de Barreirinhas no *Baseline*, os sólidos totais variaram entre 38,96 e 41,04 mg.L^{-1} (média e desvio padrão iguais a 40,24 e 0,70 mg.L^{-1} , respectivamente); os suspensos totais oscilaram entre 0,52 e 0,81 mg.L^{-1} , com média e desvio padrão iguais a 0,64 e 0,05 mg.L^{-1} , respectivamente; já os dissolvidos totais apresentaram valores mínimo e máximo equivalentes a 38,33 e 40,26 mg.L^{-1} , média e desvio padrão iguais a 39,60 e 0,68 mg.L^{-1} , nesta ordem. Tomando as médias de todas as estações por camada amostrada, cada uma apresenta contribuição de 98% de sólidos dissolvidos para o total de sólidos encontrados na água. A **Figura II.6.1.2.11** ilustra o perfil dos sólidos totais, que em geral compreende variação similar às frações, principalmente por ter contribuição majoritária da fração dissolvida. A variação horizontal dos perfis é bastante similar ao longo das estações. Já a variação vertical mostra que há tendência de diminuição dos valores com a profundidade, porém salienta-se que os sólidos suspensos por

vezes apresentam valores máximos acima ou no meio da termoclina (BG/AECOM, 2015). A **Tabela II.6.1.2.11** sintetiza os valores encontrados na campanha *Baseline* dos sólidos dissolvidos, suspensos e totais.

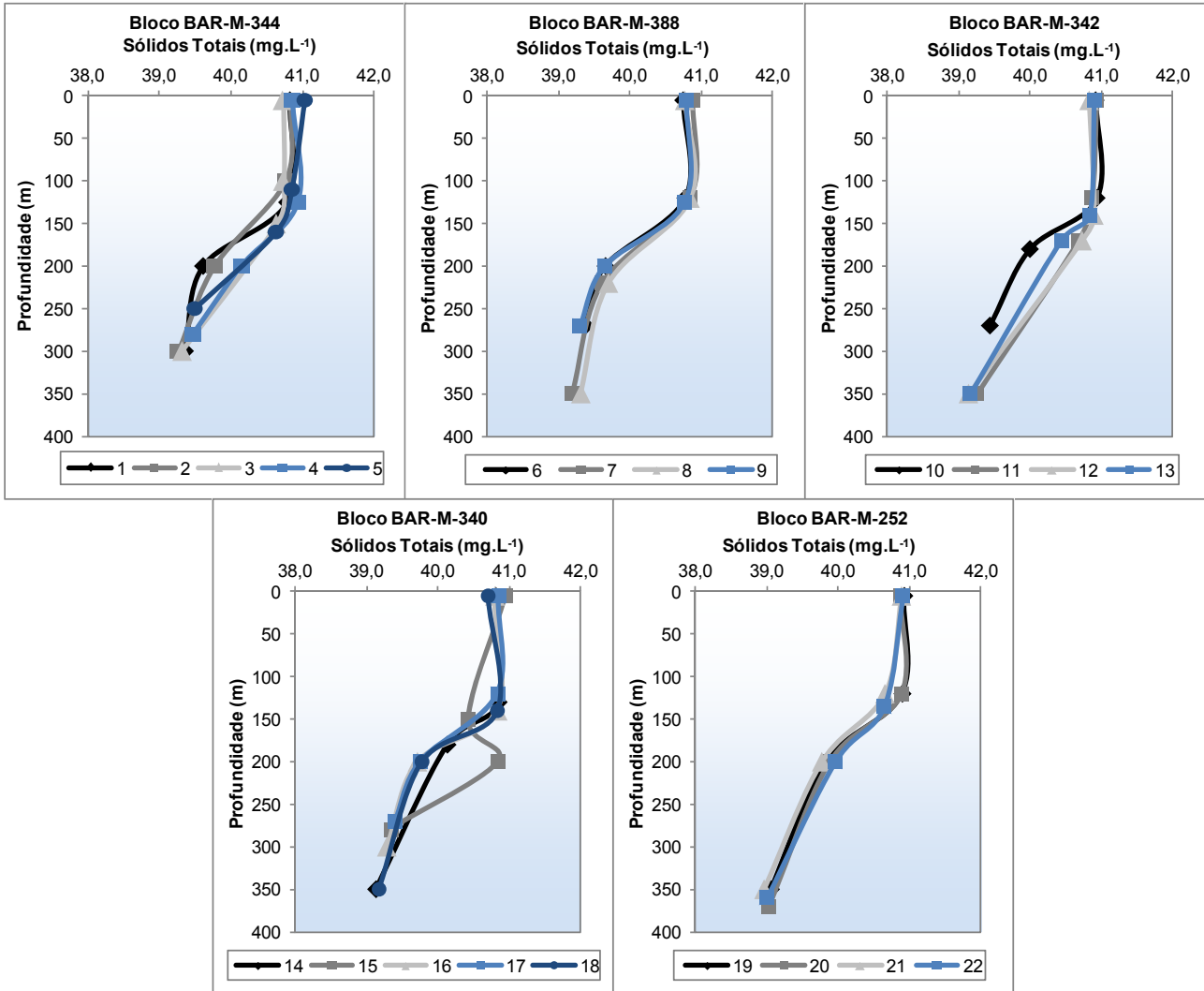


FIGURA II.6.1.2.11 – Perfis de sólidos totais na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.11 – Distribuição dos valores de sólidos totais, suspensos e dissolvidos por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)				Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)				Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR- M-344	Mínimo	40,73	40,73	39,62	39,27	0,54	0,55	0,52	0,59	40,17	40,17	39,05	38,64
	Máximo	41,04	40,94	40,64	39,50	0,81	0,71	0,72	0,67	40,23	40,23	40,03	38,91
	Média	40,86	40,82	40,16	39,39	0,66	0,62	0,62	0,62	40,20	40,19	39,55	38,77
	Desv. Pad.	0,11	0,08	0,47	0,10	0,10	0,06	0,07	0,03	0,03	0,03	0,47	0,12
BAR- M-388	Mínimo	40,75	40,77	39,61	39,18	0,54	0,58	0,59	0,57	40,17	40,15	39,02	38,61
	Máximo	40,88	40,84	39,70	39,38	0,64	0,64	0,65	0,66	40,25	40,25	39,05	38,78
	Média	40,80	40,81	39,65	39,29	0,59	0,61	0,61	0,60	40,21	40,20	39,04	38,69
	Desv. Pad.	0,06	0,04	0,04	0,08	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,07
BAR- M-342	Mínimo	40,83	40,84	40,00	39,14	0,65	0,63	0,61	0,59	40,18	40,21	39,31	38,54
	Máximo	40,93	40,93	40,73	39,44	0,73	0,72	0,69	0,67	40,24	40,21	40,09	38,77
	Média	40,90	40,88	40,46	39,25	0,69	0,67	0,64	0,63	40,21	40,21	39,82	38,62
	Desv. Pad.	0,05	0,04	0,33	0,14	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,00	0,36	0,10
BAR- M-340	Mínimo	40,70	40,42	39,71	39,13	0,59	0,63	0,59	0,57	40,03	39,77	39,12	38,54
	Máximo	40,94	40,85	40,84	39,40	0,68	0,65	0,62	0,63	40,26	40,20	40,21	38,77
	Média	40,82	40,75	40,04	39,27	0,64	0,64	0,61	0,60	40,18	40,11	39,43	38,67
	Desv. Pad.	0,09	0,18	0,47	0,11	0,04	0,01	0,01	0,02	0,09	0,19	0,47	0,10
BAR- M-252	Mínimo	40,87	40,64	39,77	38,96	0,66	0,67	0,62	0,62	40,19	39,97	39,12	38,33
	Máximo	40,93	40,90	39,96	39,06	0,74	0,70	0,69	0,70	40,21	40,20	39,27	38,40
	Média	40,90	40,77	39,86	39,01	0,70	0,68	0,66	0,65	40,20	40,09	39,20	38,36
	Desv. Pad.	0,02	0,14	0,08	0,04	0,03	0,01	0,03	0,04	0,01	0,13	0,08	0,03

➤ Clorofila-a e Parâmetros Inorgânicos

• Clorofila-a

O pigmento fotossintético clorofila-a está presente em todos os organismos fotoautotróficos, com isso, vem sendo utilizado como indicador da biomassa fitoplanctônica e, indiretamente, como um bom indicador das condições ambientais do ecossistema pelágico (JEFFREY *et al.*, 1997). Águas oceânicas apresentam características oligotróficas, ou seja, baixas concentrações de nutrientes e, com isso, menor produtividade primária, refletindo em menores concentrações de clorofila-a (LONGHURST & PAULY, 2007).

As concentrações de clorofila-a na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foram típicas de uma região considerada oligotrófica, apresentando valores inferiores a $0,45 \mu\text{g.L}^{-1}$ ($=0,45 \text{ mg.m}^{-3}$), com maiores concentrações obtidas nas amostras de superfície e meia profundidade e menores nas de fundo (**Figura II.6.1.2.12**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

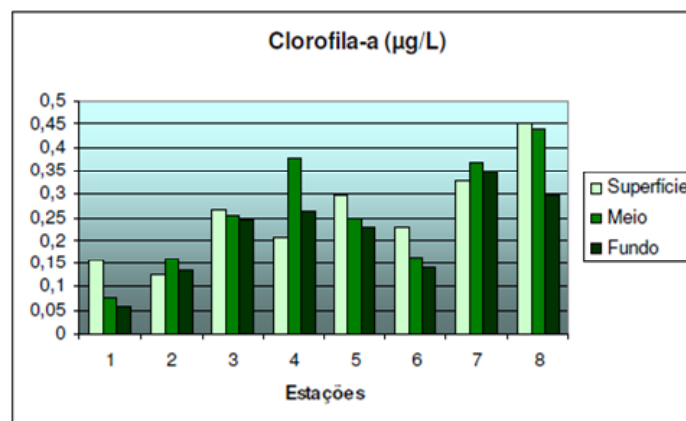


FIGURA II.6.1.2.12 – Valores de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Na Bacia de Barreirinhas (*Baseline*) os valores de clorofila-a na camada sub-superficial, registraram um mínimo de $0,04 \text{ mg.m}^{-3}$ e máximo de $0,68 \text{ mg.m}^{-3}$, com média de $0,19 \text{ mg.m}^{-3}$. Os maiores valores foram observados nas camadas mais superficiais, o que pode ser associado a produção primária maior na zona fótica (**Figura II.6.1.2.13** e **Tabela II.6.1.2.12**). Em adição, cita-se que os valores de clorofila a total da Bacia de Barreirinhas estão dentro do gradiente determinado pelo REVIZEE-Região Norte sub-área V, que estende-se do Golfão Maranhense a Foz do Parnaíba, com variação de $0,03$ a $0,59 \text{ mg.m}^{-3}$ (LABOHIDRO, 2004 *apud* BG/AECOM, 2015).

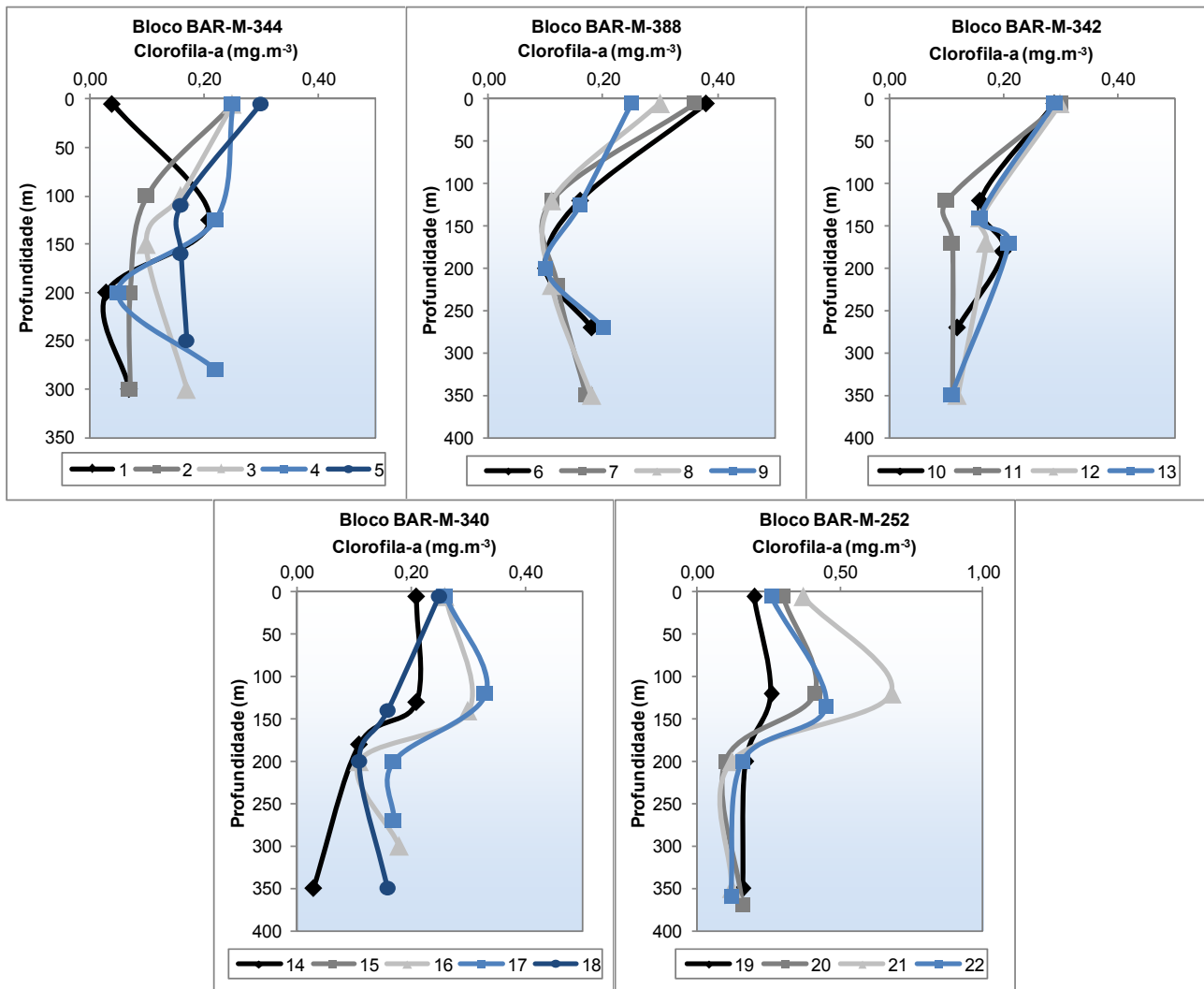


FIGURA II.6.1.2.13 – Perfis de clorofila-a na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.12 – Distribuição das concentrações de clorofila-a por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Clorofila-a (mg.m ⁻³)			
		Sub-superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	0,04	0,10	0,03	0,07
	Máximo	0,30	0,22	0,16	0,22
	Média	0,22	0,17	0,08	0,14
	Desv. Pad.	0,10	0,05	0,05	0,07
BAR-M-388	Mínimo	0,25	0,11	0,10	0,17
	Máximo	0,38	0,16	0,12	0,20
	Média	0,32	0,14	0,11	0,18
	Desv. Pad.	0,06	0,03	0,01	0,01
BAR-M-	Mínimo	0,29	0,10	0,11	0,11

Blocos BG Brasil	Estações	Clorofila-a (mg.m ⁻³)			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
342	Máximo	0,30	0,16	0,21	0,12
	Média	0,30	0,15	0,17	0,12
	Desv. Pad.	0,01	0,03	0,05	0,01
BAR-M- 340	Mínimo	0,21	0,16	0,06	0,03
	Máximo	0,26	0,38	0,17	0,18
	Média	0,25	0,28	0,11	0,12
	Desv. Pad.	0,02	0,09	0,04	0,07
BAR-M- 252	Mínimo	0,20	0,26	0,10	0,12
	Máximo	0,37	0,68	0,17	0,16
	Média	0,28	0,45	0,14	0,14
	Desv. Pad.	0,07	0,17	0,03	0,02

- **Macronutrientes (Amônia, Nitritos, Nitratos, Fosfatos e Silicatos)**

A análise dos nutrientes na água do mar em estudos ambientais é usual devido a dois fatores: seu papel fundamental para a vida e metabolismo do fitoplâncton (base da cadeia trófica) e a presença destes em efluentes domésticos e industriais, indicando, assim, despejo desse material no meio (AIDAR *et. al.*, 1993). LALLI & PARSONS (1997) destacaram a importância de algumas substâncias inorgânicas, como nitrito, fosfato, silicato, ferro e manganês para o metabolismo do fitoplâncton, agindo como limitantes quando encontrados em baixas concentrações. Neste estudo são abordados o nitrogênio, fósforo e silicato, em suas formas inorgânicas, considerados macronutrientes.

As três formas inorgânicas consideradas como nutrientes de nitrogênio correspondem aos íons amônio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻), que compõem o nitrogênio inorgânico dissolvido. Na **Figura II.6.1.2.14** observa-se a assimilação da fração inorgânica pelas algas, iniciando uma sequência de consumo da fração orgânica até a degradação da matéria pelas bactérias, disponibilizando os íons. Destaca-se que o nitrito corresponde a 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. Salienta-se que é comum a análise do nitrogênio amoniacal (ion amônio – NH₄⁺ + amônia livre – NH₃) ser referida pelo termo amônia, como observado nos trabalhos citados no presente estudo.

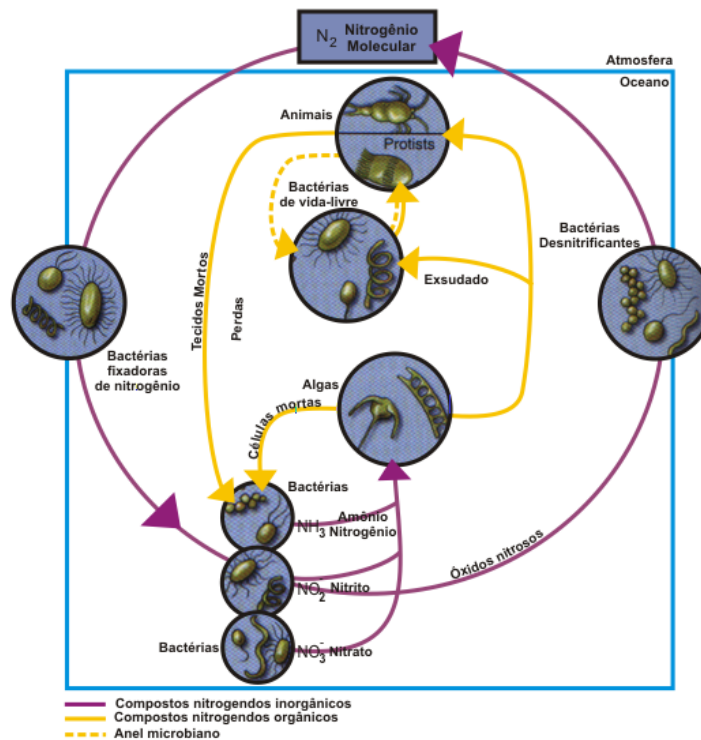


FIGURA II.6.1.2.14 – Ciclo do Nitrogênio.

Fonte: Adaptado de THURMAN (2001)

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 fito 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. A perda de massa é compensada pela entrada no meio marinho de fosfato de origem terrestre (MILLERO, 1996) (**Figura II.6.1.2.15**).

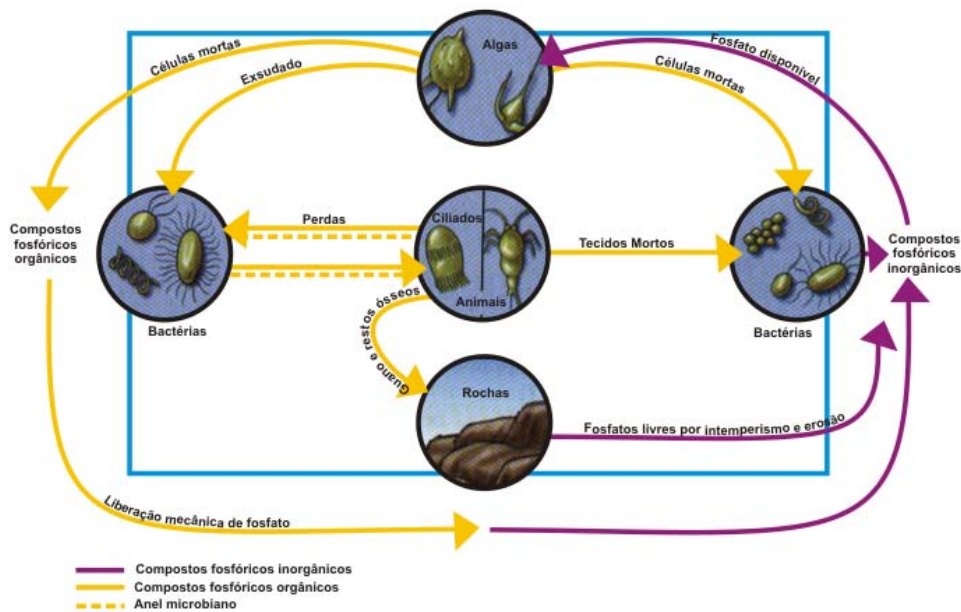


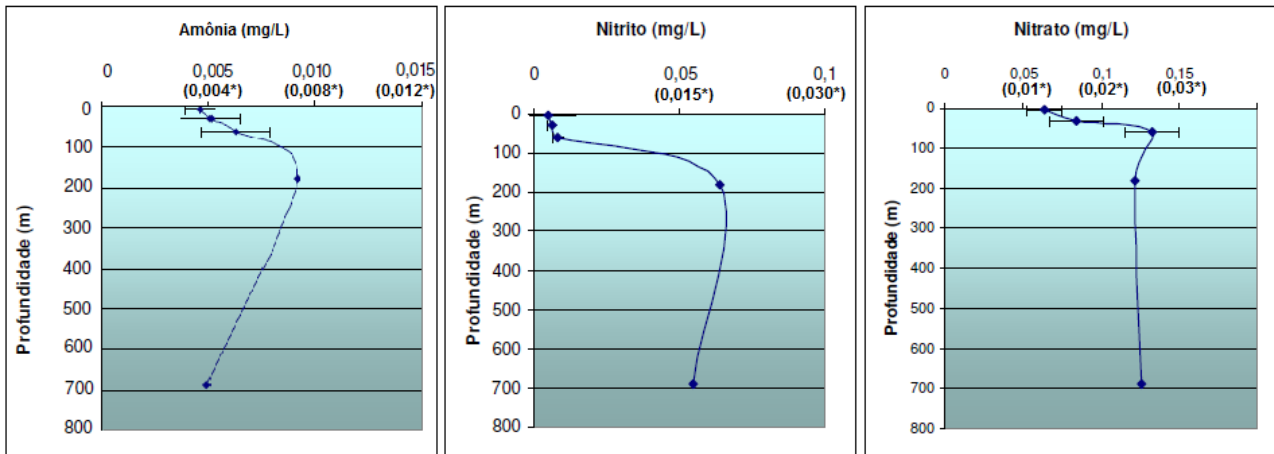
FIGURA II.6.1.2.15 – Ciclo do Fósforo.

Fonte: Adaptado de THURMAN (2001)

A importância do silicato se dá de forma diferenciada, ele também age como limitante às células planctônicas, porém mais especificamente para diatomáceas (fitoplâncton) e radiolárias (zooplâncton), por comporem os esqueletos desses organismos (HARRISON, 1999).

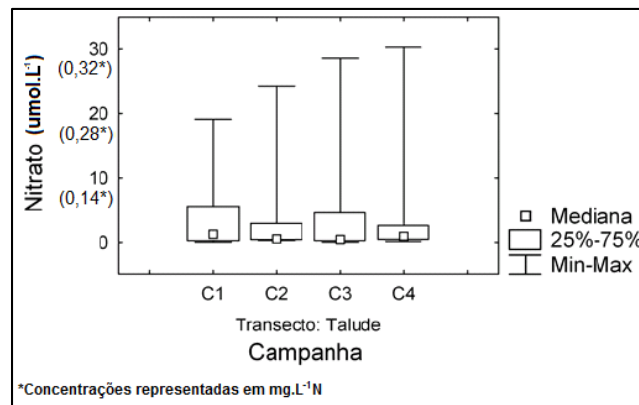
Nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16, a análise de nutrientes demonstrou baixas concentrações, comuns a águas oceânicas. As concentrações de nitrogênio amoniacal variaram de 0,0036 a 0,0058 mg.L⁻¹ (ou 0,0028 a 0,0045 mg.L⁻¹ N), nas amostras de superfície, de 0,0034 a 0,0074 mg.L⁻¹ (ou 0,0026 a 0,0058 mg.L⁻¹ N), nas amostras de meio, e de 0,0049 a 0,0092 mg.L⁻¹ (ou 0,0038 a 0,0072 mg.L⁻¹ N), nas amostras próximas ao fundo. O nitrito apresentou concentrações entre 0,0037 e 0,0064 mg.L⁻¹ (ou 0,0011 a 0,0019 mg.L⁻¹ N), nas amostras de superfície, entre 0,0041 e 0,0087 mg.L⁻¹ (ou 0,0012 a 0,0026 mg.L⁻¹ N), nas amostras de meio, e entre 0,0055 a 0,0106 mg.L⁻¹ (ou 0,0017 a 0,0032 mg.L⁻¹ N), nas amostras próximo ao fundo. Já o nitrato variou de 0,054 a 0,084 mg.L⁻¹ (ou 0,0012 a 0,0019 mg.L⁻¹ N), nas amostras de superfície, de 0,056 a 0,117 mg.L⁻¹ (ou 0,013 a 0,039 mg.L⁻¹ N), nas amostras de meio e de 0,117 a 0,171 mg.L⁻¹ (ou 0,026 a 0,039 mg.L⁻¹ N), nas amostras de fundo (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). Na **Figura II.6.1.2.16** estão representadas as concentrações de nitrito e nitrato ao longo da coluna d'água, onde as menores concentrações em superfície podem ser associadas ao consumo pelo fitoplâncton, enquanto o enriquecimento no fundo pode ser associado a influência da ACAS.

Na área dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 as análises de nitrito e nitrogênio amoniacal não encontraram resultados acima do limite de quantificação na grande maioria das estações e campanhas (com poucas exceções para nitrito na C3). Os valores de nitrato variaram entre valores abaixo do limite de detecção até 30,27 µmol.L⁻¹ (ou 0,42 mg.L⁻¹ N), com medianas inferiores, próximas aos valores observados nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (**Figura II.6.1.2.17**) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).



*Concentrações representadas em $\text{mg.L}^{-1}\text{N}$

FIGURA II.6.1.2.16 – Valores médios de nitrogênio amoniacal (representado como amônia), nitrito e nitrato (mg.L^{-1}) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (adaptado de OGX/PIR2/FUGRO, 2009 apud OGX/HABTEC, 2009).



*Concentrações representadas em $\text{mg.L}^{-1}\text{N}$

FIGURA II.6.1.2.17 – Valores de nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (adaptado de PETROBRAS, 2006 apud PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Na Bacia de Barreirinhas (*Baseline*) os íons do nitrogênio apresentaram variações similares as supracitadas, o nitrogênio amoniacal variou entre $<0,0046$ (LD) e $0,0083 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$, com valor médio e desvio padrão iguais a $0,0008$ e $0,0019 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$, respectivamente. As concentrações de nitrito oscilaram entre $<0,0003$ (LD) e $0,0012 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$, com média e desvio padrão iguais a $0,0003$ e $0,0004 \text{ mg.L}^{-1}\text{N}$, nesta ordem. Por fim, o nitrato apresentou concentrações entre $0,0021$ e $0,3545 \text{ mg.L}^{-1}$, com média e desvio padrão equivalentes a $0,1337$ e $0,1168 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$, respectivamente. O nitrogênio amoniacal e o nitrito apresentaram diversas amostras com concentrações não-detectáveis (85 e 51% do total, respectivamente), mas quando detectadas, revelaram aumento de concentração com a profundidade. O mesmo comportamento de aumento de valor é observado no nitrato, porém todas as concentrações quantificadas (**Figura II.6.1.2.18**). Ressalta-se

que pelo grande percentual de amostras não detectadas para nitrogênio amoniacal e nitrito, somente é apresentado gráfico referente ao nitrato (BG/AECOM, 2015).

As variações retrataram os processos naturais, com aumento das concentrações com o aumento da profundidade, em resposta ao consumo pelo fitoplâncton nas camadas superiores, onde não há limitação de luz para a fotossíntese. Salienta-se que os nutrientes nitrogenados apresentaram concentrações abaixo dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 Águas Salinas Classe 1, equivalentes a 0,40 mg.L⁻¹N para nitrogênio amoniacal, 0,07 mg.L⁻¹N para nitrito e 0,40 mg.L⁻¹N para nitrato. Na **Tabela II.6.1.2.13** estão resumidas as concentrações moleculares dos nutrientes nitrogenados do *Baseline* (mg.L⁻¹ de nitrogênio amoniacal - como NH₄⁻, nitrito – NO₂⁻ e nitrato – NO₃⁻) (BG/AECOM, *op. cit.*).

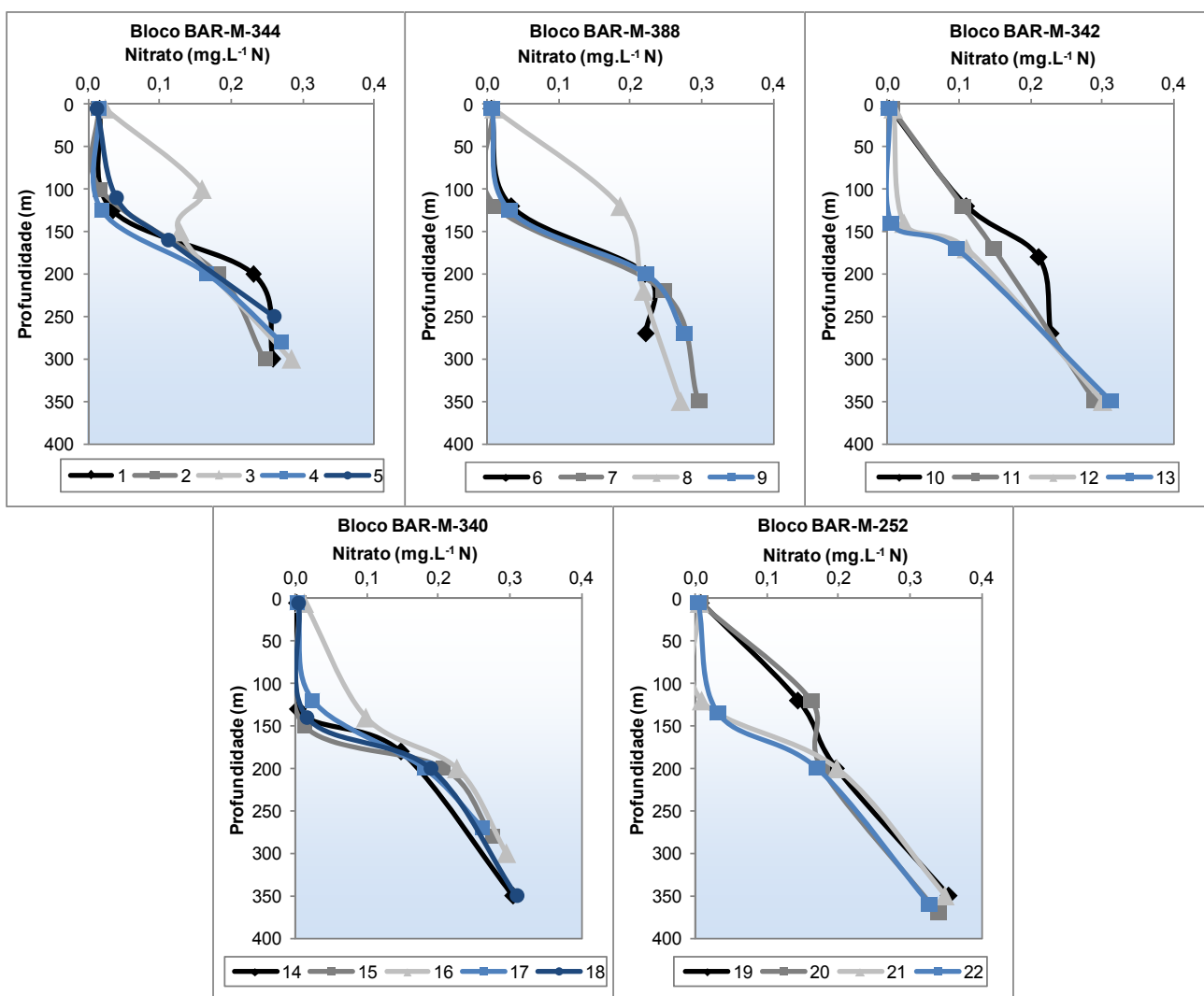


FIGURA II.6.1.2.18 – Perfis de nitrato na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

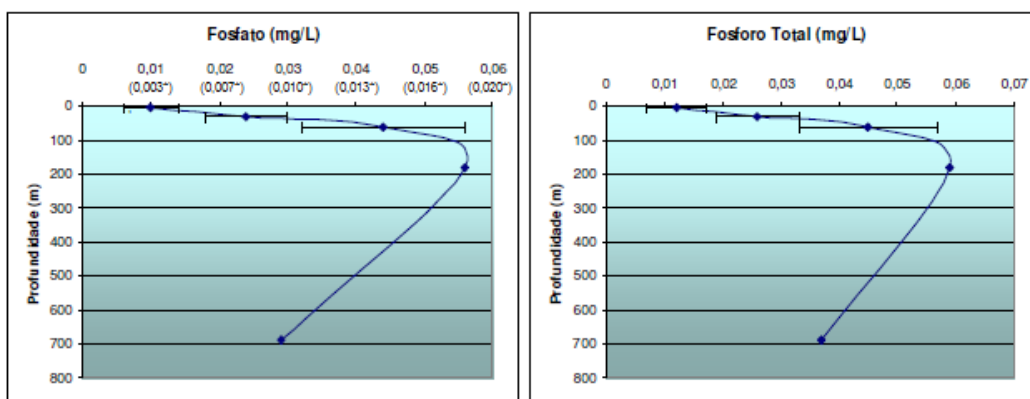
TABELA II.6.1.2.13 – Distribuição das concentrações dos íons de nitrogênio por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Amônia (mg.L ⁻¹ N)				Nitrito (mg.L ⁻¹ N)				Nitrito (mg.L ⁻¹ N)			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR- M-344	Mínimo	0,0044	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0004	0,0112	0,0160	0,1110	0,2461
	Máximo	0,0083	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0006	0,0007	0,0230	0,1580	0,2301	0,2829
	Média	-	-	-	-	-	-	0,0004	0,0005	0,0152	0,0527	0,1629	0,2627
	Desv. Pad.	-	-	-	-	-	-	0,0003	0,0002	0,0046	0,0597	0,0470	0,0138
BAR- M-388	Mínimo	0,0000	0,0000	0,0044	0,0048	0,0000	0,0006	0,0003	0,0006	0,0059	0,0107	0,2189	0,2221
	Máximo	0,0000	0,0000	0,0044	0,0065	0,0000	0,0006	0,0008	0,0009	0,0096	0,1863	0,2466	0,2963
	Média	-	-	-	-	-	-	0,0005	0,0008	0,0072	0,0655	0,2272	0,2661
	Desv. Pad.	-	-	-	-	-	-	0,0002	0,0002	0,0017	0,0812	0,0130	0,0314
BAR- M-342	Mínimo	0,0000	0,0000	0,0044	0,0046	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	0,0021	0,0049	0,0965	0,2290
	Máximo	0,0000	0,0000	0,0044	0,0058	0,0000	0,0000	0,0006	0,0012	0,0085	0,1105	0,2119	0,3132
	Média	-	-	-	0,0039	-	-	0,0005	0,0006	0,0051	0,0612	0,1421	0,2834
	Desv. Pad.	-	-	-	0,0026	-	-	0,0002	0,0005	0,0031	0,0548	0,0515	0,0375
BAR- M-340	Mínimo	<0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0003	<0,0003	0,0000	0,0003	0,0021	0,0035	0,1479	0,2618
	Máximo	<0,0046	0,0048	0,0045	0,0059	0,0006	0,0006	0,0009	0,0009	0,0125	0,0986	0,2260	0,3104
	Média	-	-	-	-	-	-	0,0002	0,0007	0,0055	0,0311	0,1903	0,2897
	Desv. Pad.	-	-	-	-	-	-	0,0004	0,0003	0,0042	0,0384	0,0294	0,0203
BAR- M-252	Mínimo	<0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0003	<0,0003	0,0000	0,0003	0,0038	0,0087	0,1705	0,3278
	Máximo	<0,0046	<0,0046	<0,0046	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0012	0,0076	0,1621	0,1979	0,3545
	Média	-	-	-	-	-	-	0,0004	0,0008	0,0058	0,0865	0,1855	0,3429
	Desv. Pad.	-	-	-	-	-	-	0,0005	0,0004	0,0016	0,0775	0,0140	0,0117

*Não são apresentadas médias e desvios para blocos / profundidades com maioria das amostras abaixo do limite de detecção.

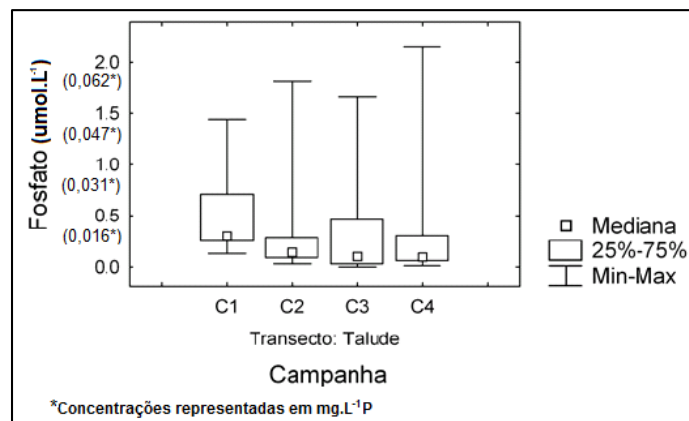
Quanto ao fosfato, nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16, as concentrações variaram de 0,006 a 0,018 mg.L⁻¹ (ou 0,002 a 0,006 mg.L⁻¹ P) nas amostras de superfície, de 0,016 a 0,036 mg.L⁻¹ (ou 0,005 a 0,012 mg.L⁻¹ P) nas amostras de meio, e de 0,026 a 0,062 mg.L⁻¹ (ou 0,009 a 0,020 mg.L⁻¹ P) nas amostras próximas ao fundo. O fósforo total apresentou concentrações de 0,009 a 0,022 mg.L⁻¹ (= mg.L⁻¹ P) nas amostras de superfície, de 0,019 a 0,040 mg.L⁻¹ (= mg.L⁻¹ P) nas amostras de meio, e de 0,027 a 0,064 mg.L⁻¹ (= mg.L⁻¹ P) (Figura II.6.1.2.19) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

O fosfato analisado nas estações próximas aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 apresentou resultados variando de abaixo do limite de detecção até 2,15 µmol.L⁻¹ (ou 0,067mg.L⁻¹ P) (Figura II.6.1.2.20) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).



*Concentrações representadas em mg.L⁻¹P

FIGURA II.6.1.2.19 – Valores médios de fosfato e fósforo total (mg.L⁻¹) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).



*Concentrações representadas em mg.L⁻¹P

FIGURA II.6.1.2.20 – Valores de fosfato (µmol.L⁻¹) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (adaptado de PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Na Bacia de Barreirinhas a campanha *Baseline* demonstrou as concentrações de fosfato na área, os resultados oscilaram entre <0,0031 (LD) e 0,0566 mg.L⁻¹ P, com média e desvio padrão iguais a 0,0185 e 0,0159 mg.L⁻¹ P, nesta ordem. Algumas amostras no meio e abaixo da termoclina estiveram acima do valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 Águas Salinas Classe 1 para polifostato (0,031 mg.L⁻¹ P), evidenciado a variabilidade natural do fosfato que tende a aumentar de concentração com a profundidade (**Figura II.6.1.2.21 e Tabela II.6.1.2.14**) (BG/AECOM, 2015).

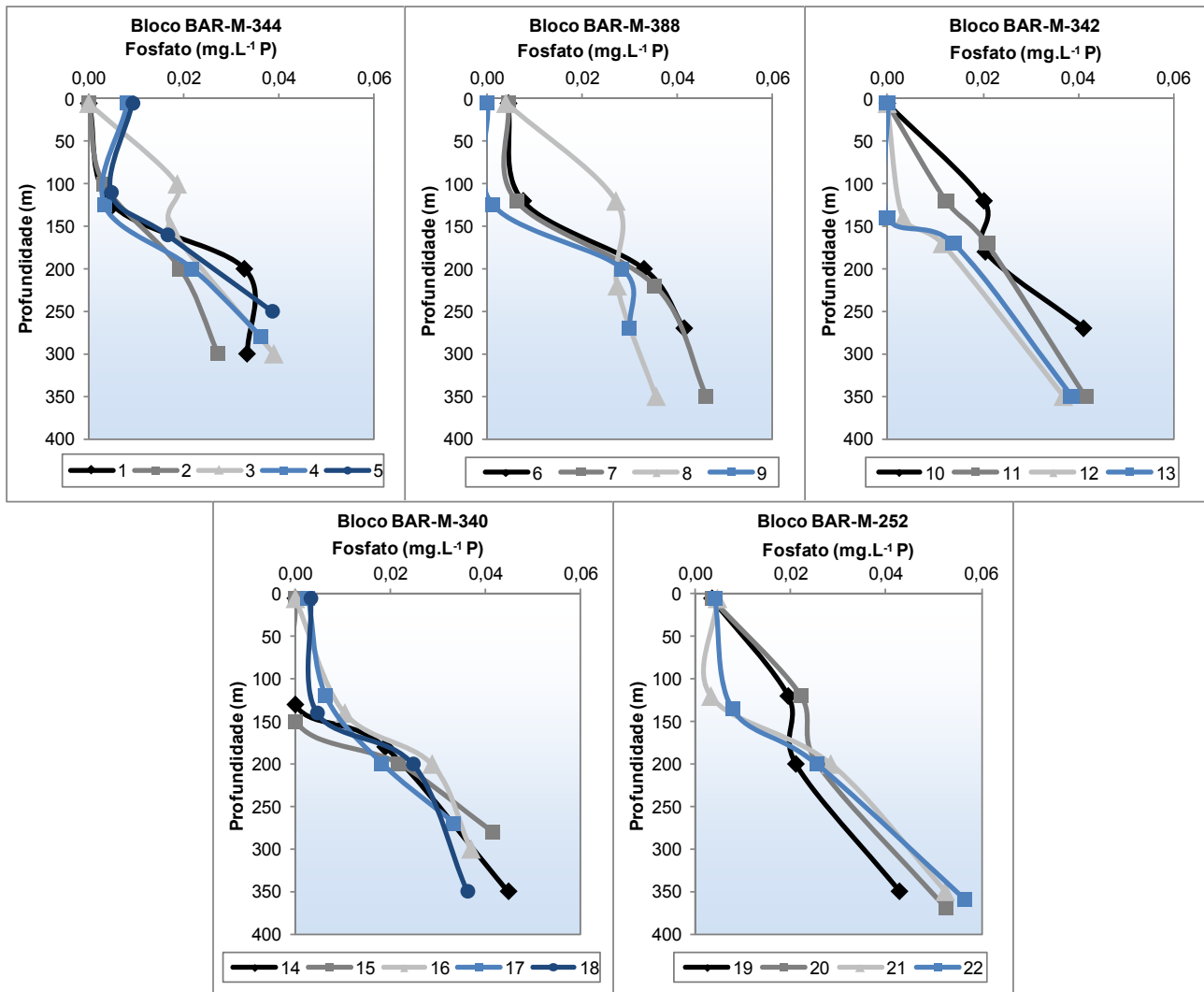


FIGURA II.6.1.2.21 – Perfis de fosfato na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.14 – Distribuição dos valores de fosfato por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Fosfato (mg.L ⁻¹ P)			
		Sub-superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	<0,0031	0,0031	0,0166	0,0270
	Máximo	0,0093	0,0186	0,0327	0,0389
	Média	-	0,0070	0,0214	0,0347
	Desv. Pad.	-	0,0065	0,0066	0,0049
BAR-M-388	Mínimo	<0,0031	0,0011	0,0273	0,0298
	Máximo	0,0045	0,0270	0,0352	0,0459
	Média	0,0032	0,0105	0,0309	0,0382
	Desv. Pad.	0,0022	0,0114	0,0038	0,0070
BAR-M-342	Mínimo	<0,0031	<0,0031	0,0115	0,0369
	Máximo	<0,0031	0,0203	0,0208	0,0414
	Média	-	0,0090	0,0167	0,0395
	Desv. Pad.	-	0,0091	0,0047	0,0022
BAR-M-340	Mínimo	<0,0031	<0,0031	0,0181	0,0332
	Máximo	0,0033	0,0104	0,0287	0,0448
	Média	-	0,0043	0,0224	0,0385
	Desv. Pad.	-	0,0044	0,0044	0,0046
BAR-M-252	Mínimo	0,0035	0,0033	0,0211	0,0429
	Máximo	0,0046	0,0223	0,0284	0,0566
	Média	0,0040	0,0132	0,0252	0,0511
	Desv. Pad.	0,0006	0,0091	0,0030	0,0058

*Não são apresentadas médias e desvios para blocos / profundidades com maioria das amostras abaixo do limite de detecção

A análise de silicato nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 demonstrou padrão similar aos demais nutrientes ao longo da coluna d'água (menores concentrações em superfície). Sendo a variação em superfície de 0,033 a 0,053 mg.L⁻¹, nas amostras de meio de 0,039 a 0,100 mg.L⁻¹ P, e nas amostras de fundo de 0,076 a 0,139 mg.L⁻¹ (**Figura II.6.1.2.22**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Nas estações próximas aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 observou-se faixas de concentrações mais elevadas comparadas as da Bacia de Pará-Maranhão e com grande variação entre as campanhas. A C1, realizada no inverno, apresentou as menores concentrações (**Figura II.6.1.2.23**) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

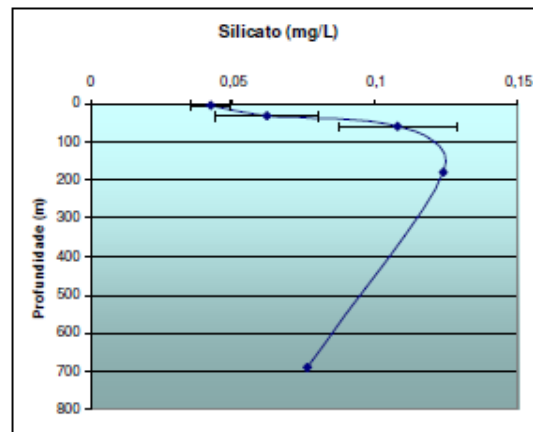


FIGURA II.6.1.2.22 – Valores médios de silicato (mg.L^{-1}) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

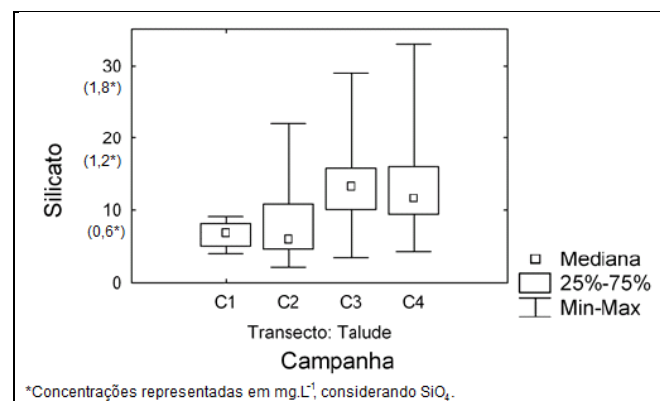


FIGURA II.6.1.2.23 – Valores de silicato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (adaptado de PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

No *Baseline* da Bacia de Barreirinhas o mesmo comportamento foi observado para o silicato, apresentando incremento em direção aos estratos mais profundos, com exceção da estação 14. Considerando todas as amostras, os valores oscilaram entre $<0,0300$ (LD) e $0,3607 \text{ mg.L}^{-1}$, com média e desvio padrão iguais a $0,0800$ e $0,0950 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente (Figura II.6.1.2.24 e Tabela II.6.1.2.15). Destaca-se que nas amostras de superfície 91% não apresentou concentrações acima do limite de detecção (BG/AECOM, 2015).

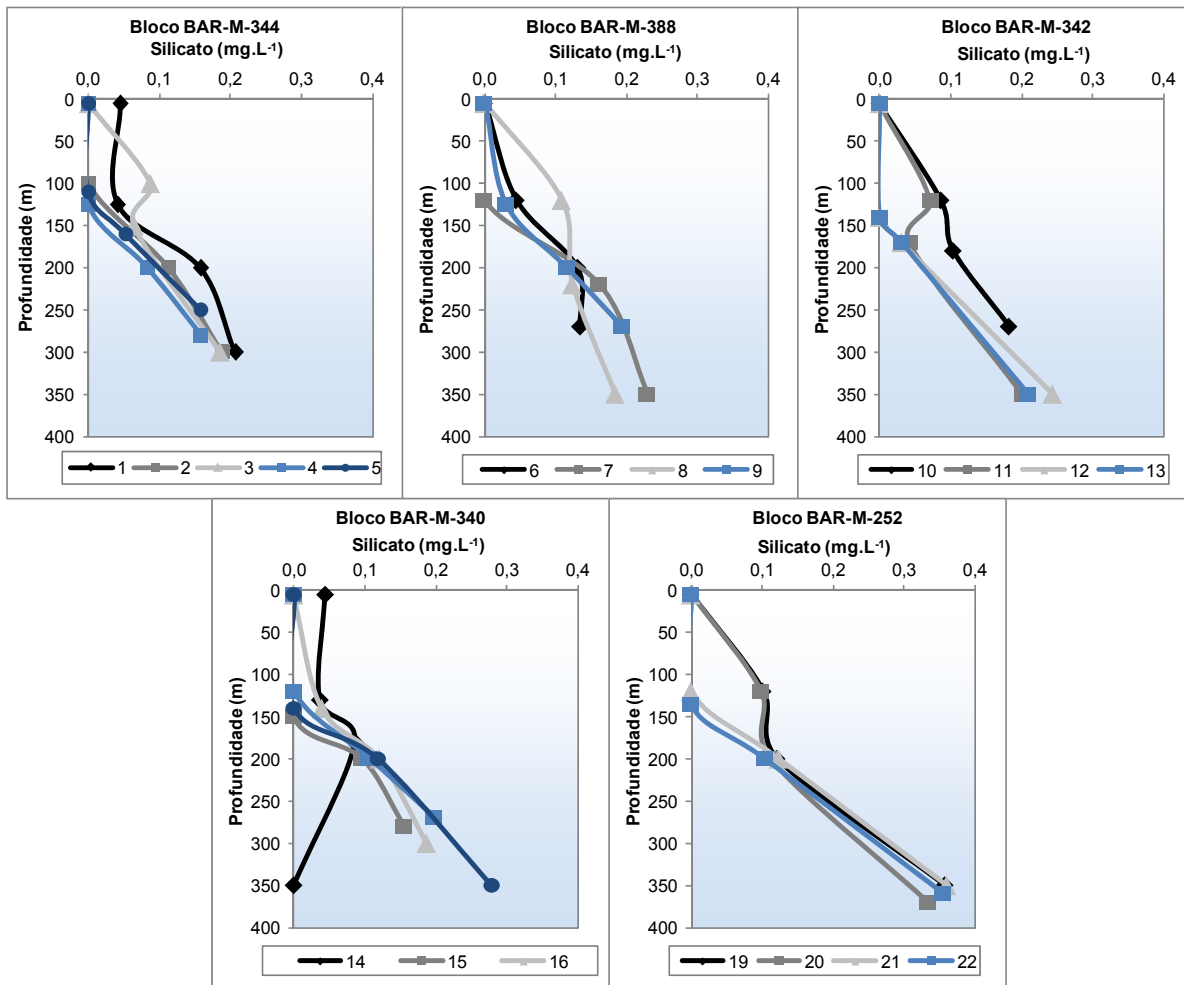


FIGURA II.6.1.2.24 – Perfis de silicato na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.15 – Distribuição dos valores de silicato por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Silicato (mg.L ⁻¹)			
		Sub-superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	<0,0300	0,0000	0,0525	0,1581
	Máximo	0,0449	0,0864	0,1581	0,2072
	Média	-	-	0,0940	0,1792
	Desv. Pad.	-	-	0,0425	0,0211
BAR-M-388	Mínimo	<0,0300	<0,0300	0,1158	0,1355
	Máximo	<0,0300	0,1091	0,1619	0,2298
	Média	-	0,0459	0,1334	0,1861
	Desv. Pad.	-	0,0460	0,0201	0,0389
BAR-M-342	Mínimo	<0,0300	<0,0300	0,0308	0,1822
	Máximo	<0,0300	0,0863	0,1035	0,2437
	Média	-	0,0395	0,0519	0,2093
	Desv. Pad.	-	0,0460	0,0348	0,0256

Blocos BG Brasil	Estações	Silicato (mg.L ⁻¹)			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M- 340	Mínimo	<0,0300	<0,0300	0,0863	<0,0300
	Máximo	0,0445	0,0396	0,1207	0,2793
	Média	0,0089	-	0,1057	0,1639
	Desv. Pad.	0,0199	-	0,0147	0,1024
BAR-M- 252	Mínimo	<0,0300	0,0000	0,1040	0,3336
	Máximo	<0,0300	0,1015	0,1237	0,3607
	Média	-	0,0499	0,1151	0,3521
	Desv. Pad.	-	0,0577	0,0091	0,0125

*Não são apresentadas médias e desvios para blocos / profundidades com maioria das amostras abaixo do limite de detecção

• Sulfetos

O enxofre pode ocorrer na água nas seguintes formas: enxofre molecular (S); íon sulfeto (S²⁻); íon sulfato (SO₄²⁻); íon sulfito (SO₃²⁻), sulfeto de hidrogênio (H₂S); dióxido de enxofre (SO₂); ácido sulfídrico (H₂SO₄) e em formas associado ao metal (FeS). SEGUI (2009) destaca a instabilidade do sulfeto na presença de oxigênio, sendo rapidamente oxidado a sulfato em ambientes aeróbicos sendo, por isso, dificilmente detectado em ambientes oceânicos naturais.

Somente no estudo dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foram realizadas análises de sulfeto em água, onde as concentrações variaram de 0,004 a 0,008 mg.L⁻¹, nas amostras de superfície, de 0,004 a 0,008 mg.L⁻¹, também nas amostras de meio, e de 0,004 a 0,011 mg.L⁻¹, nas amostras próximas ao fundo (**Figura II.6.1.2.25**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

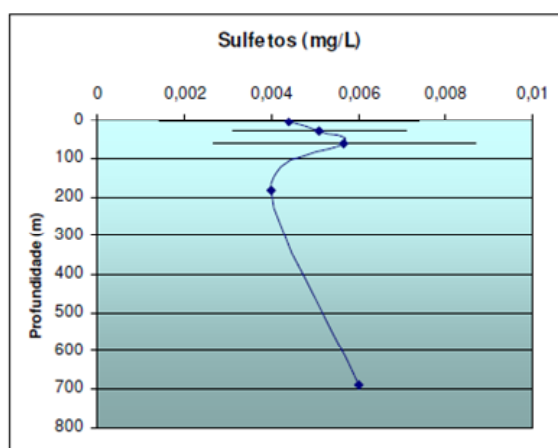


FIGURA II.6.1.2.25 – Valores médios de sulfeto (mg.L⁻¹) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Na Bacia de Barreirinhas (*Baseline*), as análises de sulfeto na água não apresentou concentrações detectáveis, com limite de detecção do método analítico equivalente a 0,0016 mg.L⁻¹ S. Este resultado revela

o estado oxidativo das águas estudadas. Cabe destacar que o limite de detecção apresentado é menor que o preconizado pela Resolução CONAMA 357/05 para Águas Salinas Classe 1 ($0,002 \text{ mg.L}^{-1} \text{ S}$) (BG/AECOM, 2015). O sulfeto neste estudo foi analisado como sulfeto de hidrogênio H_2S , gás parcialmente solúvel em água e de grande potencial tóxico, geralmente associado aos campos de petróleo, gás natural, refinarias, petroquímicas, minas de carvão, depósitos salinos (NaCl) e alguns tratamentos de efluentes industriais (MANIER *et al.*, 2007). Ressalta-se que diversos estudos (e. g., MIGLIACCIO, 2009; FRAUCHES-SANTOS *et al.* 2014) destacam o potencial corrosivo do H_2S , o que pode gerar danos às estruturas submarinhas.

➤ Carbono Orgânico Total

A dinâmica do carbono no mar é afetada por processos físicos como a difusão de CO_2 e advecção e processos biológicos como a produtividade primária e a abundância e composição do zooplâncton (LOURENÇO & MARQUES-JUNIOR, 2002). Os oceanos representam um importante reservatório de carbono da superfície terrestre, além das formas retidos em sedimentos, grande parte de carbono encontra-se nos oceanos sob a forma de carbono inorgânico dissolvido (PILSON, 1998). O carbono orgânico dissolvido (COD) somado ao carbono orgânico particulado (COP) constituem o carbono orgânico total (COT), parâmetro base para início da discussão da geoquímica orgânica marinha. THURMAN (1985) salienta que o COD (material filtrado em filtros de $0,45 \mu\text{m}$) trata-se da fração mais reativa comparada ao COP (material retido em filtros de $0,45 \mu\text{m}$), por incluir compostos no estado dissolvido, enquanto o carbono particulado corresponderia a fragmentos animais e vegetais e matéria orgânica incorporada a siltes e argilas..

Na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foi avaliado o parâmetro COT, onde os valores variaram de $1,00$ a $1,80 \text{ mg.L}^{-1}$, na superfície, de $0,90$ a $1,10 \text{ mg.L}^{-1}$, no meio, e de $0,80$ a $1,10 \text{ mg.L}^{-1}$, próximo ao fundo (**Figura II.6.1.2.26**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). As maiores concentrações nas menores profundidades podem ser associadas a maior presença de material biológico nessas camadas, majoritariamente plâncton.

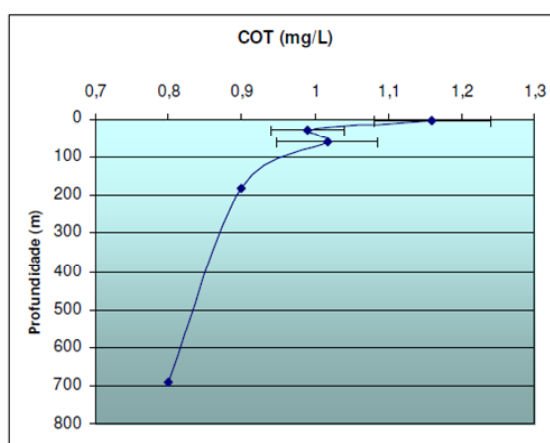


FIGURA II.6.1.2.26 – Valores médios de carbono orgânico total (COT) (mg.L^{-1}) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Ao longo das estações e profundidades analisadas na campanha *Baseline* na Bacia de Barreirinhas, as concentrações de COT variaram entre 0,75 e 1,21 mg.L⁻¹, e valores médio e desvio padrão iguais a 0,89 e 0,08 mg.L⁻¹. As concentrações parecem ter uma distribuição homogênea tanto horizontal e como verticalmente. Os perfis apresentam valores médios semelhantes e desvios padrões baixos, revelando a pouca variabilidade ao longo da coluna d'água amostrada (**Figura II.6.1.2.27** e **Tabela II.6.1.2.16**). Salienta-se que as concentrações de COT na água na campanha *Baseline* estiveram sempre abaixo do limite de 3,0 mg.L⁻¹ preconizado pela Resolução CONAMA 357/05 para Águas Salinas Classe 1 (BG/AECOM, 2015).

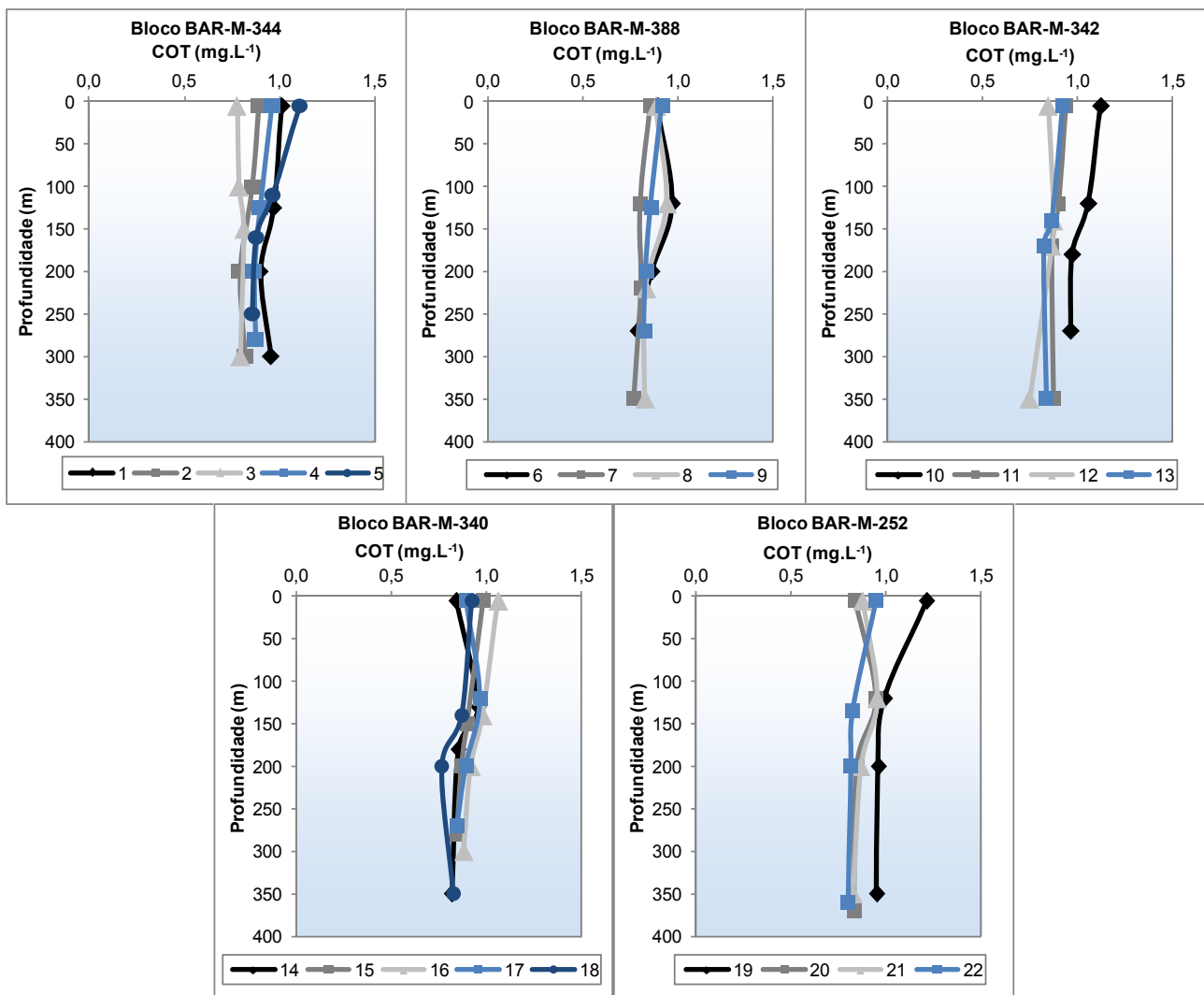


FIGURA II.6.1.2.27 – Perfis de COT na água na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.16 – Distribuição dos valores de COT por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Carbono Orgânico Total (mg.L ⁻¹)			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR-M-344	Mínimo	0,78	0,79	0,79	0,79
	Máximo	1,11	0,97	0,90	0,95
	Média	0,95	0,89	0,85	0,86
	Desv. Pad.	0,12	0,08	0,04	0,06
BAR-M-388	Mínimo	0,86	0,80	0,80	0,76
	Máximo	0,92	0,97	0,86	0,83
	Média	0,89	0,89	0,83	0,80
	Desv. Pad.	0,03	0,08	0,02	0,03
BAR-M-342	Mínimo	0,84	0,86	0,82	0,75
	Máximo	1,12	1,06	0,97	0,96
	Média	0,96	0,92	0,88	0,85
	Desv. Pad.	0,12	0,09	0,06	0,09
BAR-M-340	Mínimo	0,84	0,87	0,76	0,82
	Máximo	1,06	0,98	0,92	0,88
	Média	0,94	0,93	0,86	0,84
	Desv. Pad.	0,08	0,05	0,06	0,02
BAR-M-252	Mínimo	0,84	0,82	0,81	0,80
	Máximo	1,21	0,99	0,96	0,95
	Média	0,97	0,93	0,87	0,85
	Desv. Pad.	0,17	0,07	0,06	0,07

➤ Razões C:N:P

Para corpos hídricos é comum a utilização de razões entre os principais macronutrientes (nitrogênio e fósforo) para discussão de processos de eutrofização e identificação de nutrientes limitantes para o fitoplâncton. A chamada razão de *Redfield* é utilizada com frequência como indicador de limitação pela comunidade fitoplanctônica, embora seja discutida por outros autores a luz das variações no estado nutricional dos organismos e na sua variabilidade genética (como GEIDER & LA ROCHE, 2002, por exemplo). A relação de *Redfield* (C106H118O45N16P) conclui que as algas demandam cerca de 16 vezes mais nitrogênio do que fósforo, para avaliar a proporção no ambiente em estudo basta dividir as concentrações totais de nitrogênio pelas de fósforo (REYNOLDS, 1997). Razões consideravelmente superiores a 16 indicam o fósforo como nutriente limitante.

UNEP-IETC (1999) menciona que sistemas eutróficos, os quais são mais afetos a florações de cianobactérias, apresentam baixa relação N:P, ao contrário de sistemas mesotróficos e oligotróficos. SALLAS & MARTINO (1990) propõem a razão N:P de 9:1, sendo sistemas com razões inferiores a 9 tidos como limitados por nitrogênio e WETZEL (2001) considera a razão N:P de 7:1 como aquela requerida para o crescimento balanceado do fitoplâncton. REDFIELD (1958) destaca a preocupação com o crescimento das cianobactérias (pelo alto potencial de toxicidade), posto que em ambientes com nitrogênio limitante esse grupo se reproduz devido sua capacidade de fixar o nitrogênio diretamente da atmosfera.

Para o estudo nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foram calculadas razões N:P, considerando as frações dissolvidas, que tiveram médias e respectivos desvios de $15,26 \pm 4,56$ para as amostragens de subsuperfície, $7,42 \pm 1,68$ para as amostragens de meio e $6,59 \pm 2,59$ para as amostragens de fundo (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Na campanha *Baseline* as razões entre N:P dissolvido apresentaram valores próximos aos citados por REDFIELD, ou seja próximos a 16 na maioria das estações, demonstrando que o ambiente apesar das baixas concentrações de nutrientes não representariam uma limitação para o fitoplâncton. Destaca-se que na camada de subsuperfície os valores foram menores, o que pode estar associado as menores concentrações de nitrogênio nessa profundidade pelo maior consumo (**Tabela II.6.1.2.16**) (BG/AECOM, 2015).

As razões C:N e C:P são mais usuais na análise de sedimentos para avaliar a origem da matéria orgânica, como será discutido mais adiante. Para a água do mar, a partir dos valores calculados considerando nitrogênio e fósforo inorgânicos dissolvidos (íons de nitrogênio e fosfato) se destacam as variações verticais (**Tabela II.6.1.2.17**). Ambas as razões apresentaram valores mais elevados em subsuperfície, mais afastados da relação de *Redfield*, devido as menores concentrações tanto de fósforo quanto de nitrogênio nas camadas superficiais (BG/AECOM, 2015). Os valores observados nas menores profundidades demonstram tendência a limitação dos nutrientes nessas zonas, zona de maior produção primária, ou seja, zona de maior consumo de nutrientes.

TABELA II.6.1.2.17 – Distribuição dos valores de razão C:N:P em cada estação por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	N:P				C:N				C:P			
		Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina	Sub- superfície	Acima termoclina	Meio termoclina	Abaixo termoclina
BAR- M-344	1	-	14,88	15,63	17,17	50,89	33,31	4,54	4,32	-	495,72	70,94	74,17
	2	-	11,53	21,07	20,22	81,21	62,42	5,07	3,86	-	719,88	106,79	78,09
	3	-	18,84	16,45	16,14	39,36	5,80	7,45	3,27	-	109,33	122,52	52,78
	4	4,98	11,62	16,86	16,53	61,39	59,46	6,12	3,78	305,45	690,97	103,11	62,43
	5	2,67	17,99	14,89	14,90	115,10	29,03	9,17	3,85	307,88	522,34	136,49	57,32
BAR- M-388	6	2,92	9,81	14,87	11,91	176,58	33,72	4,55	4,12	514,83	330,89	67,67	49,05
	7	3,16	3,84	15,56	14,63	156,04	87,12	3,79	2,93	493,50	334,44	58,93	42,94
	8	5,43	15,31	17,78	16,94	107,43	5,87	4,43	3,55	582,97	89,95	78,71	60,14
	9	-	63,46	17,86	20,86	155,05	31,74	4,27	3,41	-	2014,32	76,34	71,15
BAR- M-342	10	-	12,08	22,87	12,64	484,81	11,15	5,34	4,78	-	134,63	122,10	60,50
	11	-	18,92	16,36	15,51	158,09	9,90	6,54	3,51	-	187,30	107,05	54,35
	12	-	15,52	21,44	18,42	115,71	43,34	9,01	2,83	-	672,48	193,19	52,17
	13	-	-	15,60	18,33	512,22	205,71	9,86	3,05	-	-	153,90	55,91
BAR- M-340	14	-	-	17,37	15,09	467,22	319,00	6,72	3,12	-	-	116,74	47,13
	15	-	-	21,18	14,81	176,44	79,28	4,87	3,55	-	-	103,23	52,54
	16	-	21,12	17,45	17,79	94,49	11,51	4,73	3,46	-	243,20	82,49	61,55
	17	2,06	10,21	22,65	17,85	434,58	39,21	5,60	3,67	893,34	400,38	126,87	65,59
	18	3,05	7,77	16,97	19,36	239,30	62,20	4,69	3,04	728,83	483,37	79,55	58,85
BAR- M-252	19	4,81	16,27	20,65	18,33	186,36	8,08	5,69	3,13	895,95	131,45	117,57	57,39
	20	3,92	16,12	15,23	14,34	157,88	6,82	5,59	2,84	619,20	109,90	85,06	40,74
	21	2,67	5,89	15,48	14,78	182,50	127,66	5,08	2,75	487,27	751,72	78,67	40,58
	22	2,01	8,92	14,88	12,86	289,82	30,31	5,54	2,83	582,48	270,28	82,48	36,44
Mínimo		2,01	3,84	14,87	11,91	39,36	5,80	3,79	2,75	305,45	89,95	58,93	36,44
Máximo		5,43	63,46	22,87	20,86	512,22	319,00	9,86	4,78	895,95	2014,32	193,19	78,09
Média		3,42	15,80	17,69	16,34	201,93	59,21	5,85	3,44	582,88	457,50	103,20	55,99
Desvio Padrão		1,19	12,46	2,68	2,43	144,59	74,77	1,67	0,53	197,83	438,57	31,94	10,81

➤ Parâmetros Orgânicos (Fenóis e Hidrocarbonetos)

• Fenóis

Os fenóis são compostos pouco solúveis ou insolúveis em água, ligeiramente ácidos, obtidos principalmente através da extração de óleos. Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais e também por influência de atividades petrolíferas.

Nas amostras analisadas nas áreas dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 as análises de fenóis demonstraram majoritariamente concentrações não detectáveis, no entanto, foram observadas algumas concentrações consideradas anômalas para região. Nas amostras de superfície as concentrações variaram de não detectável a 0,059 mg.L⁻¹, no meio de não detectável a 0,270 mg.L⁻¹ e no fundo de não detectável a 0,120 mg.L⁻¹. Alguns teores máximos chegaram a ultrapassar o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, para águas de classe 1 (0,060 mg.L⁻¹) (**Figura II.6.1.2.28**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). OGX/PIR2/FUGRO (2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009) destacou que devido aos picos de fenóis, esse parâmetro deveria ser melhor avaliado em campanhas futuras para confirmar se realmente trataram-se de valores de *background* natural, posto que não eram esperadas essas concentrações para uma região onde não existem atividades de origem antrópica em andamento.

Salienta-se que os blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 apresentaram resultados variando de abaixo do limite de detecção até 2,15 µmol.L⁻¹ (ou 0,067mg.L⁻¹ P) (**Figura II.6.1.2.28**) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

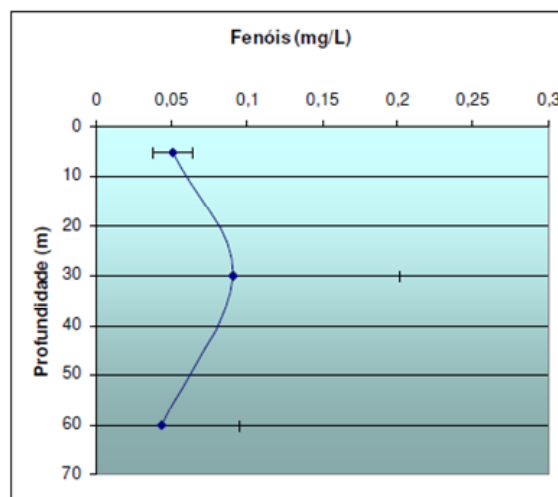


FIGURA II.6.1.2.28 – Valores médios de fenóis (mg.L⁻¹) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Nas análises realizadas na campanha *Baseline* na Bacia de Barreirinhas não foram encontradas concentrações de fenóis acima do limite de quantificação do método analítico. Destaca-se que o limite de quantificação

(LQ) dos fenóis foi igual a $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$ em todas as amostras, valor este que é abaixo do preconizado pela Resolução CONAMA 357/05 Águas Salinas Classe 1 ($0,06 \text{ mg.L}^{-1}$).

- **Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs)**

Hidrocarbonetos de petróleo são derivados de gasolina, óleo diesel, óleo combustível, óleo lubrificante, entre outros. Os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) correspondem ao somatório das frações dos hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP) e a mistura complexa não resolvida (MCNR). Por MCNR entende-se o conjunto de compostos que não pode ser resolvido por cromatografia gasosa, correspondendo a uma elevação da linha de base no cromatograma. Os HRP, por sua vez, incluem os n-alcenos, pristano e fitano (isoprenóides), mas também outros picos identificados que não puderam ser relacionados a um composto específico (WAGENER *et. al.*, 2006). WAGENER *et. al.* (2006) também destacaram as diferentes fontes de HTP na água do mar, podendo ser natural ou antrópica. Como fontes naturais seriam os HTPs produzidos pela atividade biológica de plantas e animais ou resultantes da combustão natural de biomassa ou transformações diagenéticas de matéria orgânica (GESAMP, 1993; Hunt, 1996 *apud* WAGENER *et. al.*, 2006). Como fontes antrópicas cita-se as associadas ao petróleo e seus derivados e à combustão incompleta de matéria orgânica (WAGENER *et. al.*, 2006).

As análises realizadas na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 não demonstraram concentrações acima do limite de detecção para n-alcenos, mistura complexa não resolvida (MCNR) ou hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) em nenhuma das amostras de água coletadas e analisadas (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). No estudo dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 foram mencionados somente os dados de HTP referentes a duas campanhas (C1 e C2), sendo que os mesmos não foram citados por transecto (da área costeira até o talude), e sim somente o total de conjunto de dados, nos quais o mínimo correspondeu a $0,1$ e o máximo a $128 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$.

Assim como para os fenóis e como a maioria dos dados secundários citados, não foram encontradas concentrações quantificáveis de HTP no *Baseline* da Bacia de Barreirinhas, com resultados de C10 a C36 (mais pristano e fitano), n-alcenos, HRP e MCNR equivalente a $<15,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ (LQ) e o total de HTP igual a $<435,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ (LQ) (BG/AECOM, 2015).

- **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)**

As principais fontes de HPAs no ambiente aquático são os derramamentos de óleo, deposições atmosféricas, águas residuais, lixiviação e biossíntese (KENNISH, 1997). Campos de produção *offshore* de óleo contribuem para a elevação da concentração dos HPAs no ambiente marinho tanto via atmosférica quanto através do descarte de material contendo resíduo oleoso. Por isso, o HPA, juntamente com o HTP e metais, configura-se como um dos principais indicadores de contaminação. Kennish (*op. cit.*) cita concentrações médias de $0,4 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ para águas superficiais do Oceano Atlântico, variando de $0,13$ a $1,3 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Law (1981) sugere um limite de $1 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ de HPAs para águas sem sinais significativos de influência antrópica. Salienta-se que há mais de cem diferentes HPAs, sendo que 16 deles são considerados como poluentes prioritários de acordo com EPA (Environmental Protection Agency), onde incluem-se o benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno e indeno[1,2,3-cd]pireno, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[g,h,i]perileno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno, fenantreno e

pireno (USEPA, 2007).

Destaca-se que no estudo referente à área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 não foram detectadas concentrações de nenhum dos 16 HPAs prioritários nas amostras de água (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). Em PETROBRAS (2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010) as concentrações de HPAs para a região próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 apresentaram variações entre as campanhas realizadas, de abaixo do limite de detecção até $1,78 \mu\text{g.L}^{-1}$, com máximos na C1. Destaca-se que uma das quatro campanhas abordadas no estudo dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 teve as análises de HPAs desconsideradas devido a indicativos de contaminação, assim como alguns resultados da C1, que também indicaram essa possibilidade. Salienta-se que o naftaleno foi responsável pelas maiores concentrações dentre os 16 HPAs abordados.

Na campanha *Baseline* realizada na Bacia de Barreirinhas os HPAs também não foram observados em concentrações quantificáveis. Foram analisados dentre os HPAs, os 16 prioritários e o somatório de HPAs, apresentando resultados iguais a $<0,013 \mu\text{g.L}^{-1}$ (LD), além dos homólogos alquilados, equivalentes a $<0,075 \mu\text{g.L}^{-1}$ (LQ) (BG/AECOM, 2015).

D. Caracterização da Qualidade do Sedimento

O sedimento é composto por camadas de partículas minerais e orgânicas que se encontram em contato com a parte inferior de corpos d'água (SEDNET, 2008). GIANNINI & RICCOMINI (2003) salientam que o conceito de sedimento inclui tudo o que se deposita, com transporte prévio químico ou mecânico, por vias físicas, químicas, biológicas ou bioquímicas, em um corpo d'água. Neste compartimento se instalam diversas formas de vida aquáticas, ressaltando que o mesmo constitui um ambiente de deposição e acumulação de diversos compostos contaminantes, como os metais e poluentes orgânicos. Posto isso, faz-se necessário o conhecimento do sedimento da área de influência do empreendimento, fundamentando futuras avaliações de possíveis alterações na qualidade desse sedimento em razão da instalação e operação do empreendimento.

➤ Composição Granulométrica e Concentrações de Carbonato

A granulometria do sedimento marinho é resultante de diversos fatores, como entrada de material alóctone, transporte do material autóctone e a velocidade de corrente determinando a taxa de transporte e sedimentação. A caracterização granulométrica é feita pela determinação das porcentagens em massa dos grãos em cada classe granulométrica (frações). Essa análise representa um parâmetro físico importante para caracterização do ambiente, principalmente em função da tendência de correlação com as concentrações dos demais parâmetros. O conhecimento da granulometria local também é importante pela associação com a distribuição, ocorrência e abundância dos organismos da macrofauna bentônica, que dependem das características do substrato, disponibilidade de alimento e estabilidade do ambiente (NYBAKKEN, 2001). Ressalta-se que diferentes tipos de sedimentos podem condicionar comunidades distintas, não só quanto à composição específica, mas também quanto à dominância em termos de grandes grupos taxonômicos (CARDOSO, 2006).

A avaliação da granulometria nas estações analisadas na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 revelou predominância de areia em praticamente todas as estações, com média geral superior a 70% e intervalo de 49,82 a 98,7% (com valores entre 0,94 e 23,57% para a areia muito grossa, 5,83 a 40,70% para a areia grossa, 14,09 a 33,81% para a areia média, 4,91 a 22,34% para a areia fina e entre 0,51 a 14,39% para a areia muito fina). O cascalho apresentou participação média entre 0,38 e 33,16%, seguido do silte, com valores entre 0,00 e 37,42%, e da argila, com valores entre 0,00 e 12,38%. A classificação textural predominante correspondeu a areia grossa, sendo que, a partir da classificação textural de Folk, o sedimento foi definido como sendo majoritariamente areia com cascalho (**Figura II.6.1.2.29**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

A análise da granulometria no estudo sobre os blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, que analisou estações no talude próximas a estes blocos, também demonstrou o predomínio de areia (considerando a soma das frações de areia), porém com destaque para as frações de areia fina e muito fina, além de uma maior participação de silte comparada a das estações da bacia Pará-Maranhão (**Figura II.6.1.2.30**) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

O levantamento de PIATAM (2008) apresentou as classificações granulométricas (baseada em Shepard) para a região oceânica no Nordeste / Norte do país, onde observa-se relação direta com a batimetria / relevo de fundo, com predomínio de areia até área do talude / quebra da plataforma, seguida de predomínio de lama nas áreas mais profundas (**Figura II.6.1.2.31**). Esse padrão condiz com os resultados de outros levantamentos (dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 e BM-POT-16 e BM-POT-17), que se localizam em áreas mais rasas comparadas aos blocos da BG e demonstraram predomínio de areia. A área de interesse da BG na Bacia de Barreirinhas localiza-se em área de predomínio de lama, com exceção do Bloco BAR-M-252 e BAR-M-388, que em suas porções mais a sul apresentam áreas com areia e cascalho (**Figura II.6.1.2.31**). Outro ponto de destaque na **Figura II.6.1.2.31** é a existência de “manchas” esparsas com predomínio de outros tipos de fundo que não o padrão citado anteriormente.

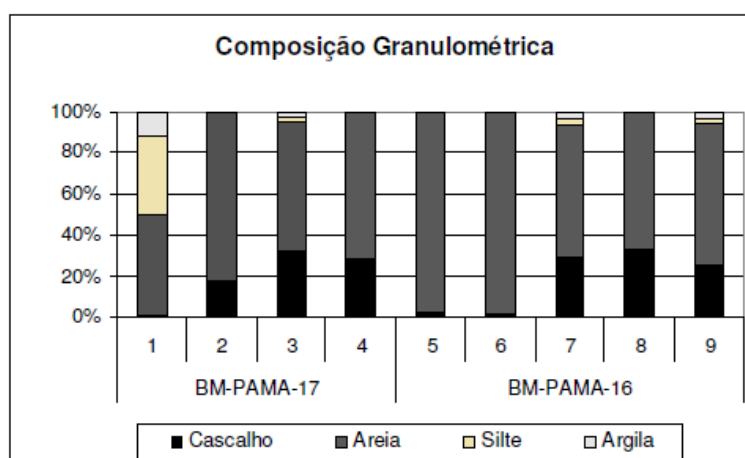


FIGURA II.6.1.2.29 – Composição granulométrica do sedimento (%) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

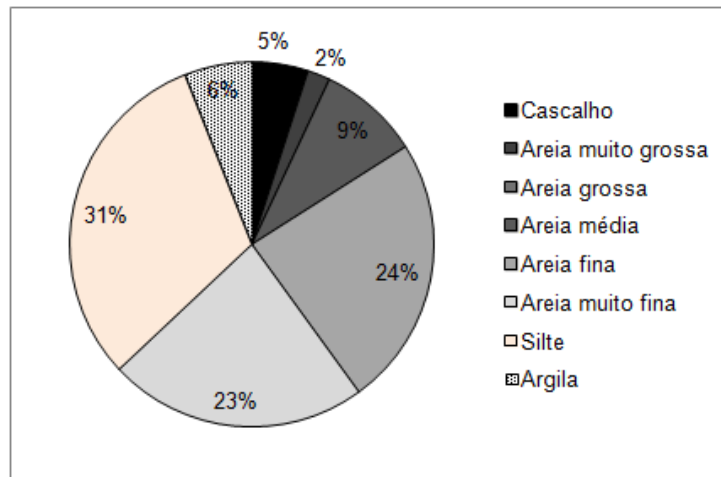


FIGURA II.6.1.2.30 – Composição granulométrica do sedimento (%) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, valores correspondentes a granulometria média considerando 9 estações amostradas em 4 campanhas (adaptado de PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

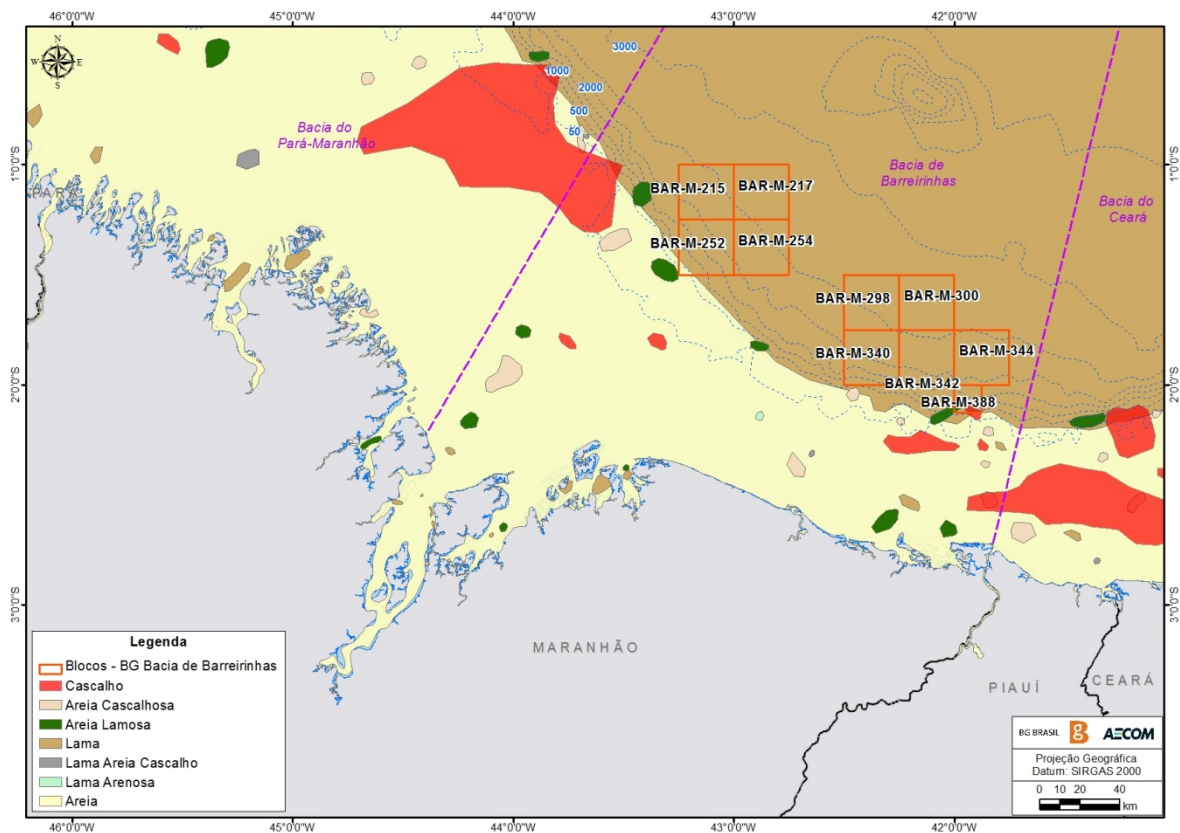


FIGURA II.6.1.2.31 – Distribuição da granulometria (%) do sedimento em parte da Bacia de Barreirinha, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica" (adaptado de PIATAM, 2008).

A análise da granulometria nas 22 estações ao longo dos blocos na campanha *Baseline* de Barreirinhas demonstrou predominância de silte na maioria das estações, com exceções correspondentes as estações 4 e 14 e as do bloco BAR-M-252, onde a fração arenosa superou ligeiramente a de silte (considerando a média). Estes resultados corroboram o levantamento do Projeto PIATAM. A média geral de contribuição de silte para a granulometria na área estudada correspondeu a 56,66%, seguido pela contribuição de areia com 31,91% e argila com 11,43%. A estação 21 apresentou a menor contribuição de silte, com 38,39%, e a estação 16 a maior, com 74,26%. Cabe destacar que não foram observadas contribuições de cascalho em nenhuma estação e também não foi observado padrão em relação à profundidade (**Figura II.6.1.2.32 e Tabela II.6.1.2.18**). As classificações gerais de textura (classificação de Folk) definiram o sedimento como lama arenosa na grande maioria das estações, com exceção das estações 15 e 21, classificadas como areia lamosa (BG/AECOM, 2015).

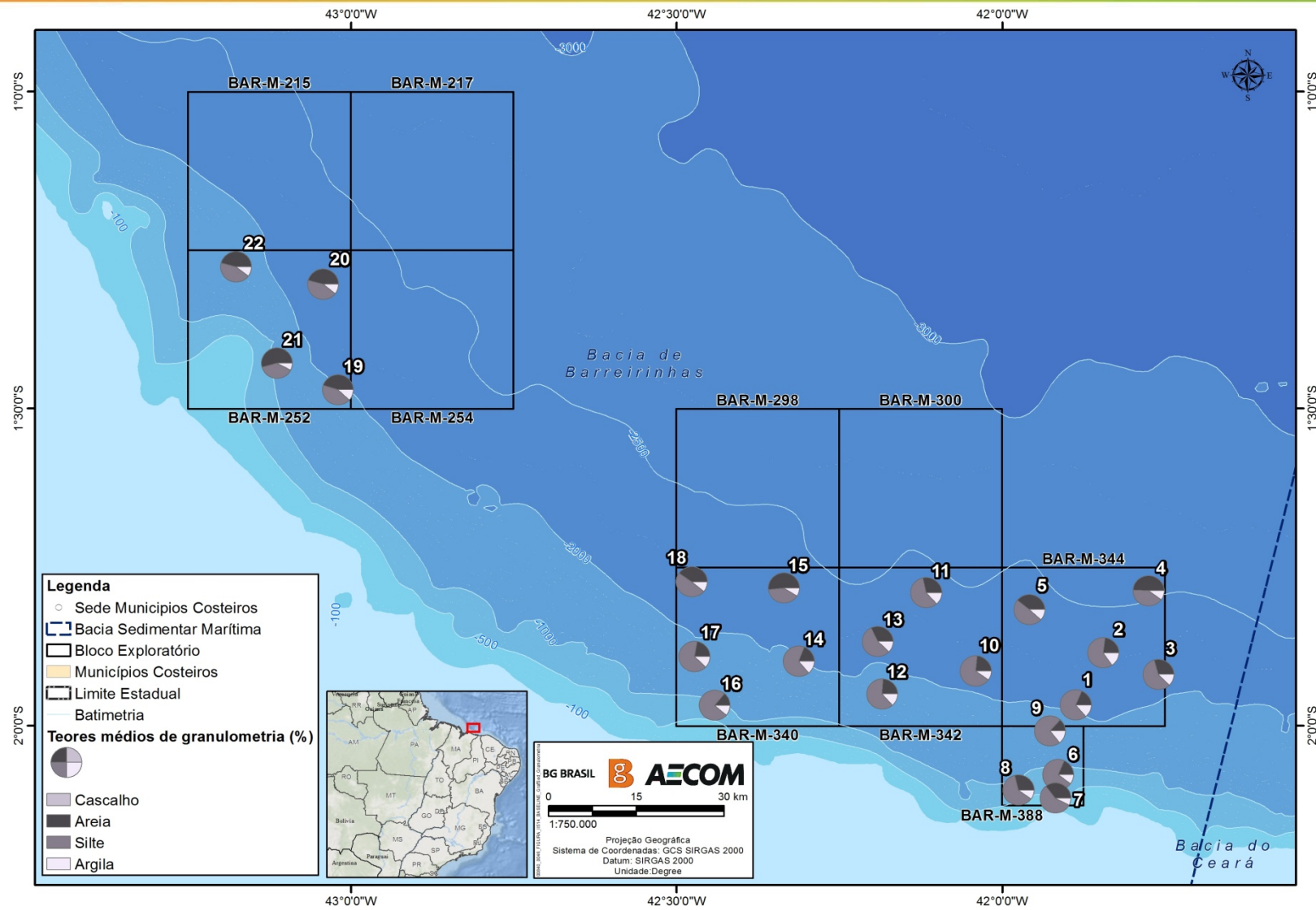


FIGURA II.6.1.2.32 – Teor médio em percentual (%) de cada classe granulométrica do sedimento marinho na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.18 – Distribuição dos percentuais por classe granulométrica por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Granulometria (%)							
		Cascalho	Areia Muito Grossa	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito Fina	Silte	Argila
BAR-M-344	Mínimo	0,00	0,03	2,41	4,46	3,88	6,51	41,02	0,91
	Máximo	0,00	0,91	13,87	17,67	8,67	8,63	67,79	15,35
	Média	0,00	0,28	7,65	10,51	5,78	7,61	55,50	12,66
	Desv. Pad.	0,00	0,36	4,53	5,49	1,91	0,78	10,56	2,01
BAR-M-388	Mínimo	0,00	0,00	0,30	1,92	3,09	7,99	56,94	7,62
	Máximo	0,00	0,00	2,27	5,51	10,43	17,21	72,67	14,02
	Média	0,00	0,00	1,14	3,34	6,47	13,03	65,61	10,41
	Desv. Pad.	0,00	0,00	0,82	1,54	3,35	4,59	7,64	2,66
BAR-M-342	Mínimo	0,00	0,00	0,42	1,65	5,85	9,06	55,92	9,70
	Máximo	0,00	0,19	5,26	10,98	6,75	15,76	66,62	13,39
	Média	0,00	0,09	2,31	5,82	6,37	12,55	60,83	12,06
	Desv. Pad.	0,00	0,10	2,23	4,09	0,42	2,75	4,75	1,71
BAR-M-340	Mínimo	0,00	0,00	0,13	1,23	3,34	8,01	39,59	0,76
	Máximo	0,00	0,55	11,80	20,62	8,52	10,06	74,26	8,38
	Média	0,00	0,15	5,16	9,45	5,49	9,29	58,98	4,35
	Desv. Pad.	0,00	0,23	5,47	8,17	2,15	0,77	14,37	2,77
BAR-M-252	Mínimo	0,00	0,05	5,80	0,95	1,14	10,39	3,67	7,47
	Máximo	0,00	0,37	9,17	9,60	15,32	15,98	12,64	12,03
	Média	0,00	0,20	7,48	4,50	12,57	12,77	42,09	10,19
	Desv. Pad.	0,00	0,15	1,40	3,68	3,14	2,43	3,75	1,94

Quanto à contribuição de teores de carbonatos no sedimento, salienta-se que a presença dos mesmos deve-se essencialmente aos fragmentos de exo e endoesqueletos de organismos marinhos. Nas plataformas continentais, a acumulação do carbonato de cálcio (CaCO_3) ocorre principalmente por organismos bentônicos (moluscos, foraminíferos bentônicos, briozoários, corais, etc.). Todavia, em ambientes pelágicos, a maior parte dessas partículas biogênicas presentes nos sedimentos marinhos provém de organismos planctônicos (DIAS, 2004). O mesmo autor salienta que fragmentos de esqueletos de vertebrados aparecem eventualmente nos sedimentos marinhos; entretanto, as partículas biogênicas carbonatadas mais comuns são provenientes de foraminíferos, de pterópodes, de coccolitoforídeos e de ostrácidas, ressaltando que a origem e abundância de partículas biogênicas é bastante heterogênea nos sedimentos marinhos.

A composição carbonática do sedimento na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foi bastante representativa em todas as estações, com valores entre 42,74 e 98,07%, sendo a maioria das estações com valores superiores a 70% (**Figura II.6.1.2.33**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009). O estudo de caracterização dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 mencionou percentual de carbonatos entre 68 e 75 % para as estações do talude, considerando as quatro campanhas realizadas (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

O levantamento de PIATAM (2008) para teores de carbonato no fundo englobou uma área menor quando comparado ao levantamento da granulometria, onde não se incluíram totalmente os blocos da BG na Bacia de Barreirinhas. Contudo, na **Figura II.6.1.2.34** é possível observar uma tendência ao aumento dos percentuais de carbonato, com o aumento da profundidade na direção da Bacia de Barreirinhas; onde infere-se que os teores de carbonato nos blocos do presente estudo sejam superiores a 50%. Esta tendência foi corroborada na campanha *Baseline*, apresentada a seguir.

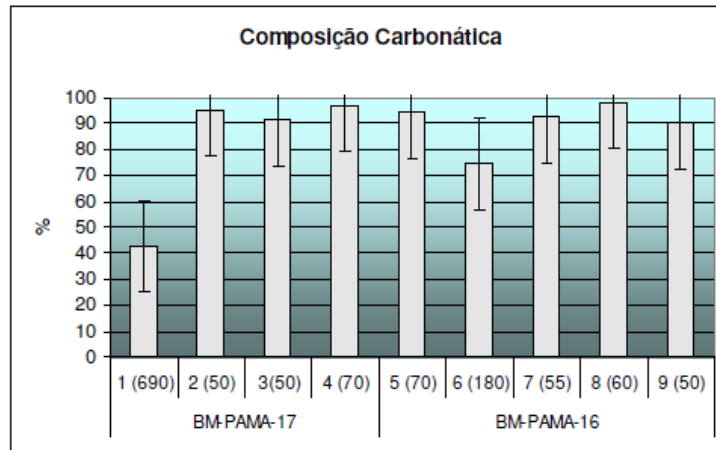


FIGURA II.6.1.2.33 – Composição carbonática do sedimento (%) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

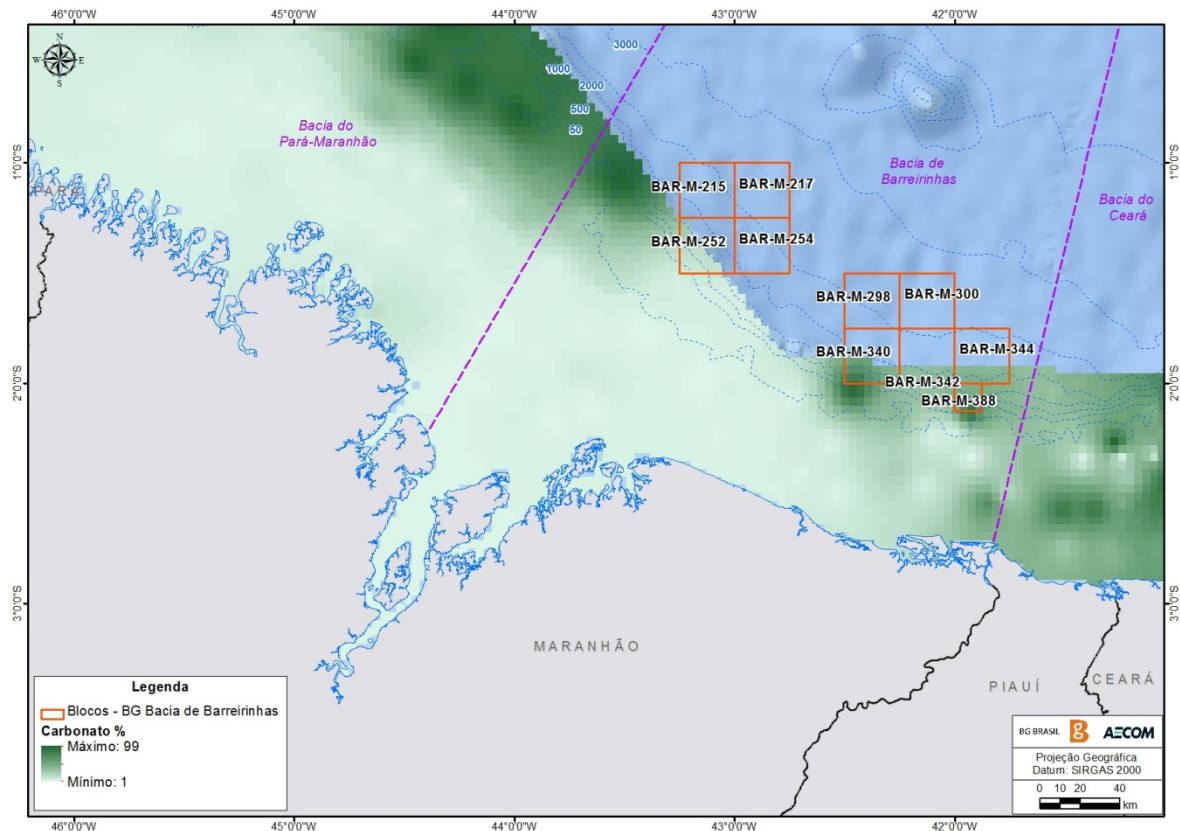


FIGURA II.6.1.2.34 – Distribuição das concentrações de carbonato (%) no sedimento em parte da Bacia de Barreirinha, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica" (adaptado de PIATAM, 2008). Ressalta-se que a faixa de concentrações considerada um gradiente uniforme do valor mínimo ao máximo.

Na Bacia de Barreirinhas (*Baseline*) também observou-se a tendência a altas concentrações de carbonato ao longo de toda a área estudada, demonstrando também grande homogeneidade, variando de 77,91% a 90,45% (**Figura II.6.1.2.35 e Tabela II.6.1.2.19**). Não foi observado padrão espacial, tanto em relação aos blocos, quanto em relação às profundidades (BG/AECOM, 2015).

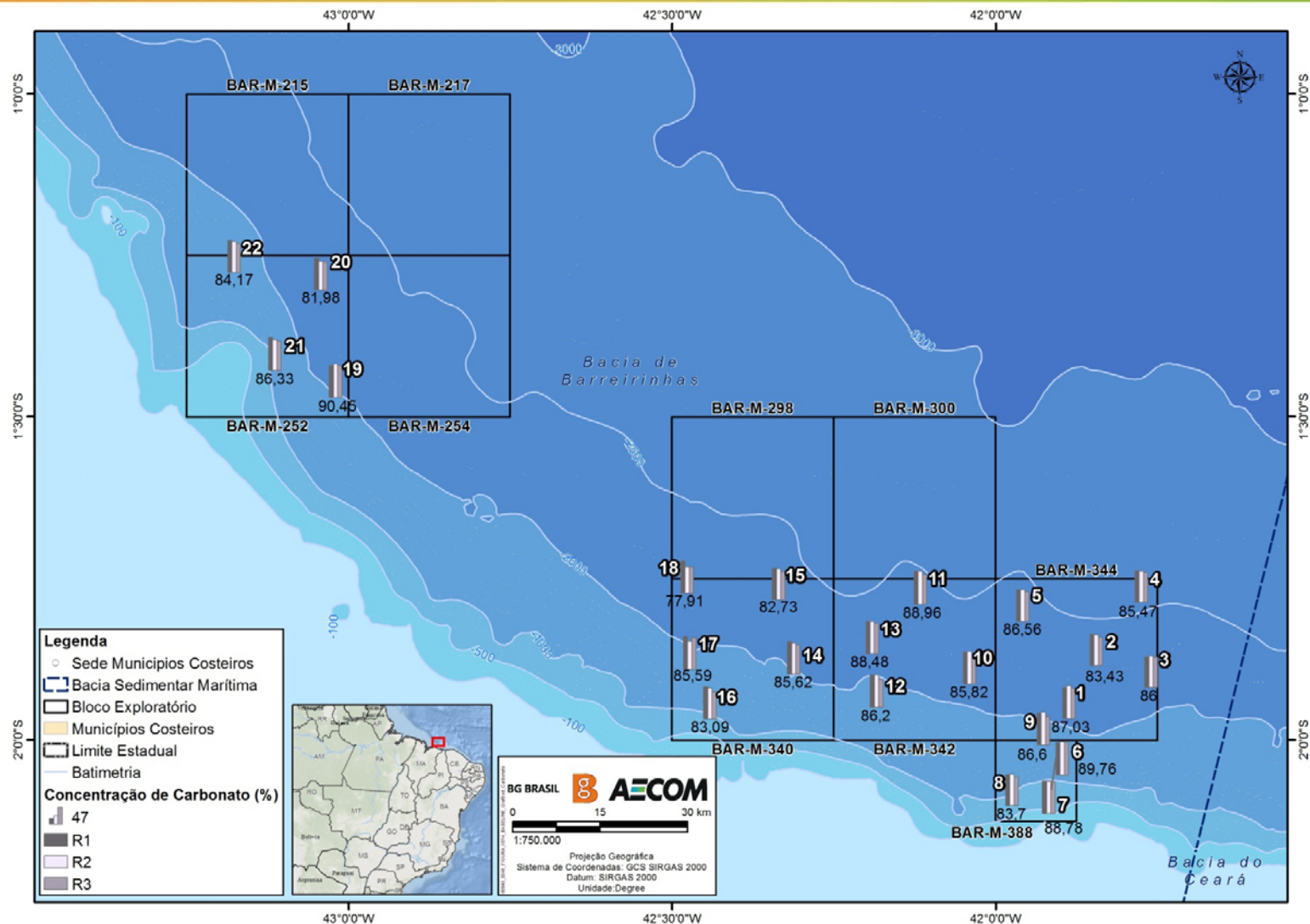


FIGURA II.6.1.2.35 – Valores de carbonato (%) no sedimento na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.19 – Distribuição dos percentuais de carbonato por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Carbonato (%)
BAR-M-344	Mínimo	83,43
	Máximo	87,03
	Média	85,70
	Desv. Pad.	1,40
BAR-M-388	Mínimo	83,70
	Máximo	89,76
	Média	87,21
	Desv. Pad.	2,69
BAR-M-342	Mínimo	85,82
	Máximo	88,96
	Média	87,36
	Desv. Pad.	1,58
BAR-M-340	Mínimo	77,91
	Máximo	85,62
	Média	82,99
	Desv. Pad.	3,15
BAR-M-252	Mínimo	81,98
	Máximo	90,45
	Média	85,73
	Desv. Pad.	3,61

➤ Metais

As concentrações de metais no sedimento podem ter fonte autóctone ou alóctone, relacionadas a características naturais do ambiente ou a fatores antrópicos. Os metais ferro, alumínio e manganês, por exemplo, são encontrados naturalmente em altas concentrações no ambiente, indicando o tipo de rocha originária do sedimento. A diferença entre metais que podem ser considerados catalisadores bioquímicos, como ferro, manganês, cobre e zinco, e os chamados metais pesados, mercúrio, o cádmio e o chumbo, com maior potencial tóxico à biota e maior biodisponibilidade é uma questão importante na análise de metais. CARVALHO *et al.* (1991) destacaram que a concentração total de metais na água, a biodisponibilidade destes e a concentração encontrada nos organismos marinhos dependem de diversos fatores, como elemento envolvido, fonte, carga total de metais e possível organismo afetado. Elementos traço como o mercúrio, o cádmio, o se destacam pela alta toxicidade, por serem capazes de interferir em reações enzimáticas, através da mudança de conformação das enzimas, além de apresentarem efeito cumulativo (JOIRIS *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 2002).

A disponibilidade dos metais também vem sendo relacionada à presença de sulfetos no meio, pois os complexos sulfeto-metálicos são precipitados muito estáveis e pouco reativos quimicamente, ou seja, quanto maior for a presença de complexos sulfeto-metálicos, menos disponíveis os metais e, por consequência, menos tóxicos os sedimentos (WASSERMAN, 2005; MACHADO *et al.*, 2004).

POZZEBON *et al.* (2005) destacaram que atividades de exploração de óleo e gás *offshore* podem liberar metais ao meio, posto que estes são constituintes de fluidos de perfuração, do petróleo e do material sedimentar em diferentes concentrações, conforme o tipo e origem do óleo e da rocha geradora ou da formação. O bário, por exemplo, tende a baixas concentrações em ambientes naturais, podendo as elevações em seus teores funcionarem como indicativo de influência de atividade de perfuração de poços. LACERDA *et al.*, (2006) destacaram que a análise das variações nas concentrações de metais tem como fator de dificuldade a falta de caracterizações mais detalhadas de “*background*” regionais e da influência potencial do aporte continental sobre a plataforma.

No levantamento de OGX/PIR2/FUGRO (2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009) para os blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foram analisados os metais alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), mercúrio (Hg), níquel (Ni), vanádio (V) e zinco (Zn). Os metais cádmio, chumbo e mercúrio não foram detectados em nenhuma das amostras de sedimento analisadas e os demais, de uma maneira geral, apresentaram certa homogeneidade dos resultados obtidos para cada estação, conforme observado na **Figura II.6.1.2.36**. Salienta-se, como exceção a citada homogeneidade, a distribuição do metal bário, que apresentou uma concentração bem mais elevada em uma estação (estação 6, com 361 mg.kg^{-1}), o que foi interpretado como uma possível influência continental na composição do sedimento desse local.

O estudo de LACERDA *et al.* (2012) abordou a distribuição de metais no sedimento a partir dos mesmos dados utilizados para o estudo de caracterização dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, ou seja, dados das campanhas de monitoramento realizadas pela PETROBRAS entre 2002 e 2004. A **Tabela II.6.1.2.20** apresenta os valores de média, mínimo e máximo para metais no sedimento na Bacia Potiguar citados por LACERDA *et al.* (2012), onde verifica-se as concentrações englobando desde a área costeira até o talude, discriminados por campanha. Destaca-se que as faixas foram semelhantes as encontradas pelo estudo na Bacia Pará-Maranhão, inclusive com oscilação das concentrações de bário, o que pode demonstrar uma tendência natural a concentrações mais elevadas deste metal distribuídas de forma heterogênea nas bacias do norte/nordeste do país.

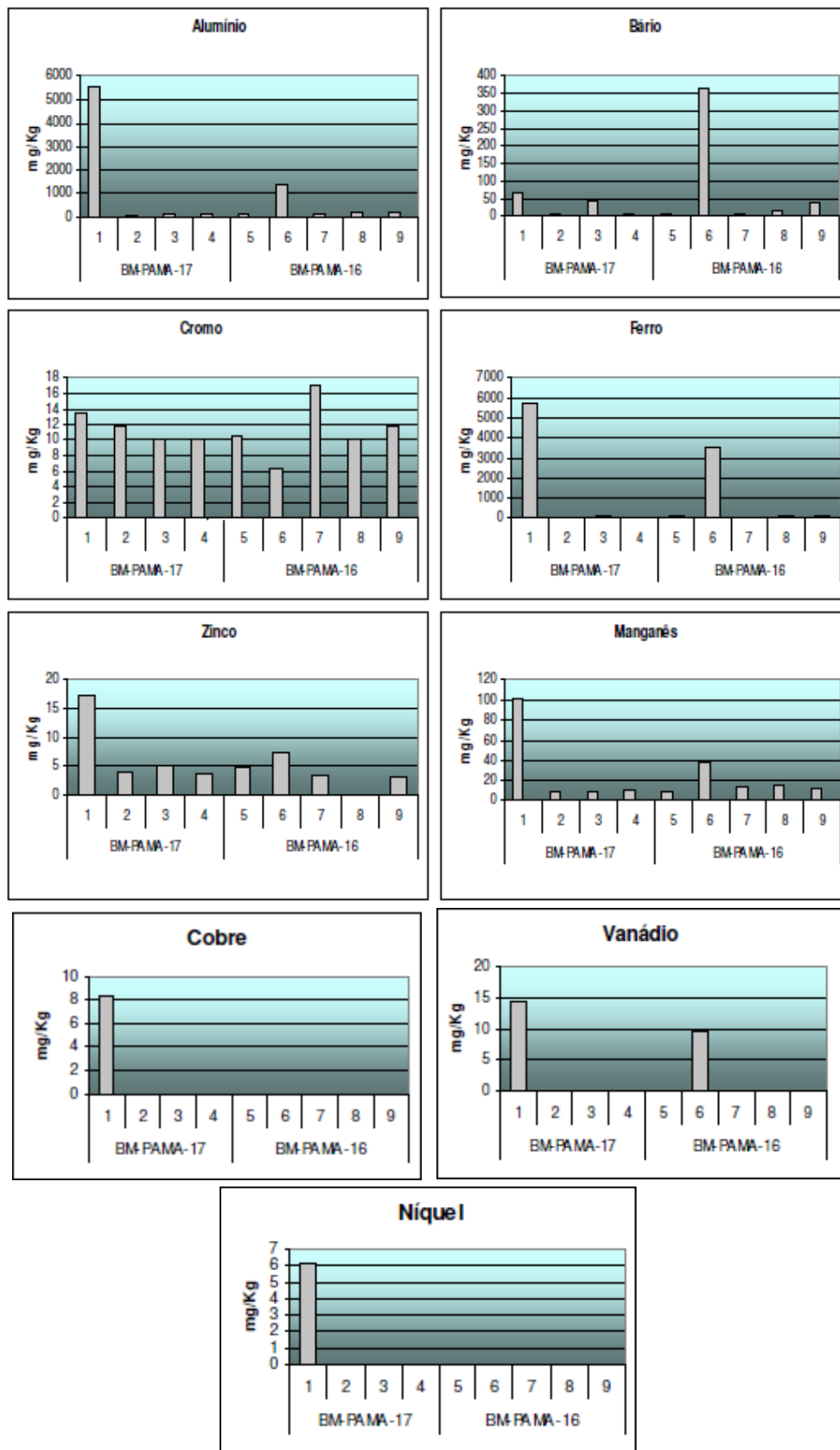
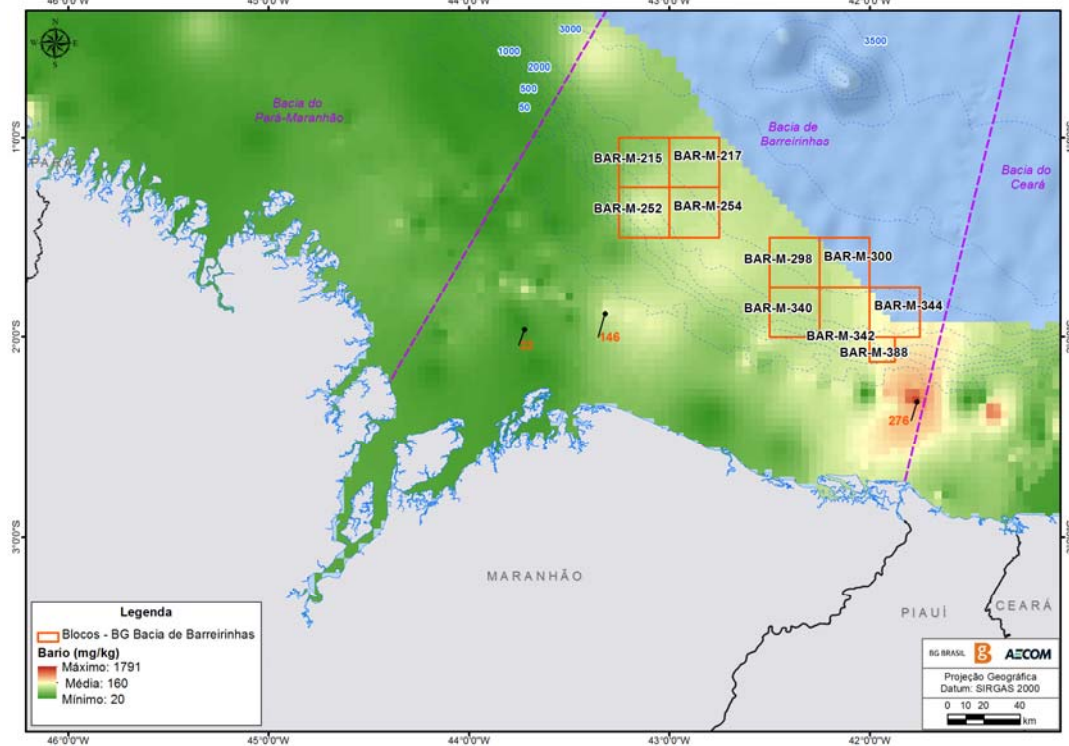
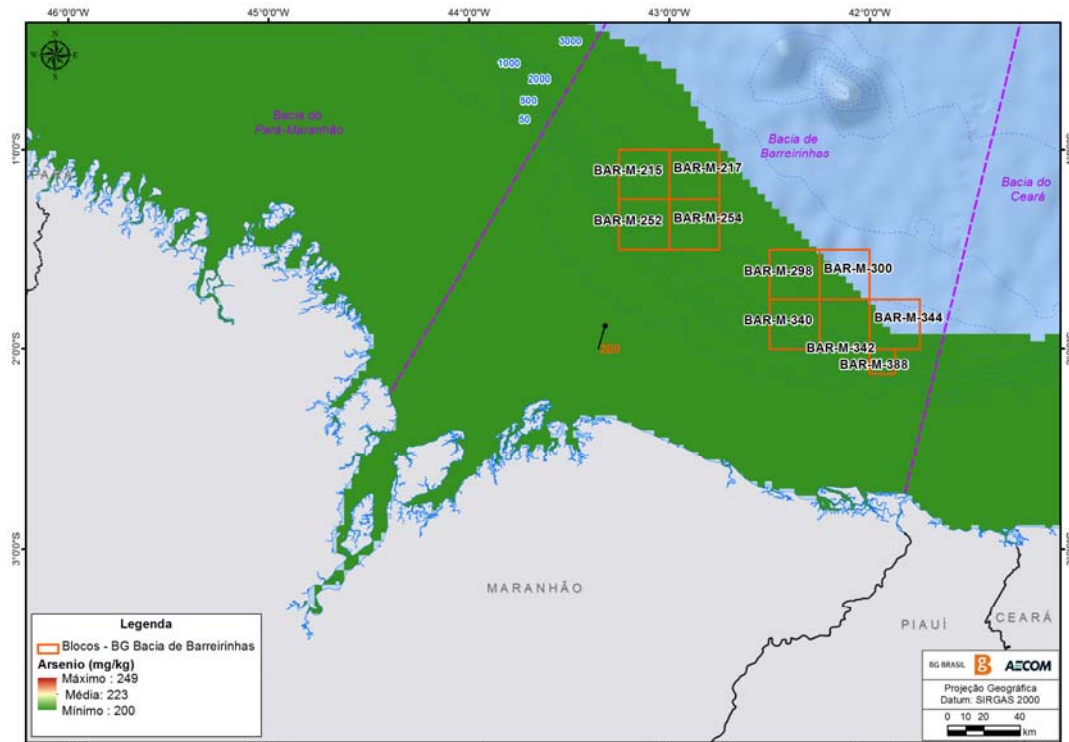


FIGURA II.6.1.2.36 – Concentrações de metais no sedimento (mg.kg⁻¹) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (adaptado de OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

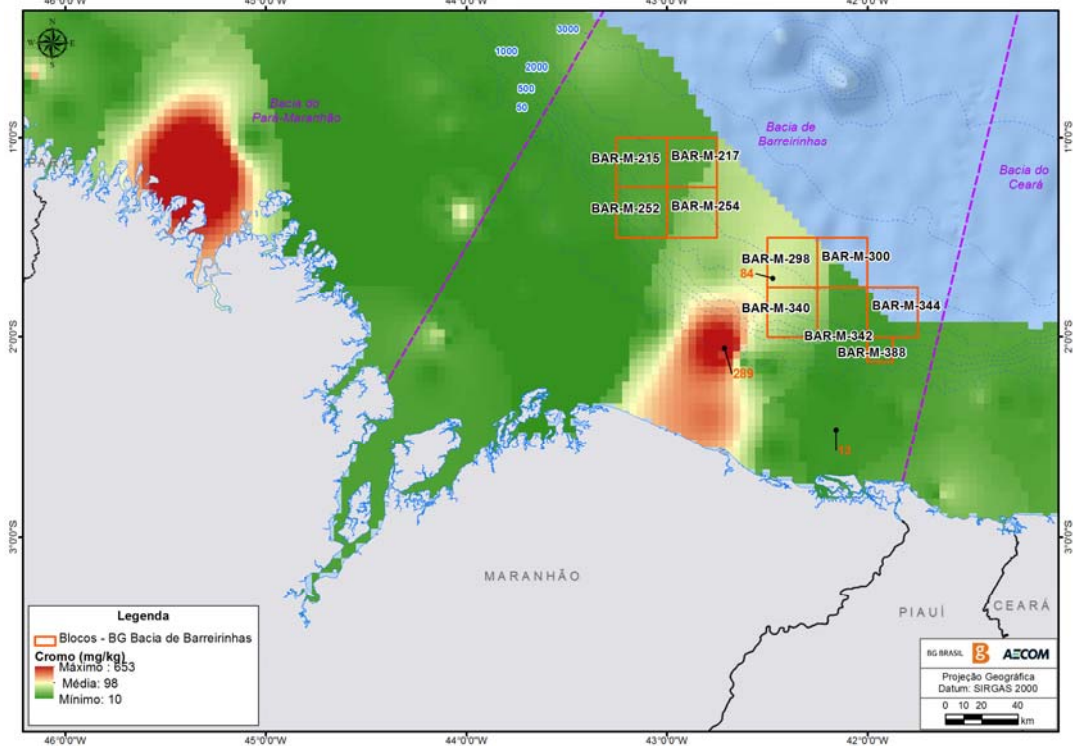
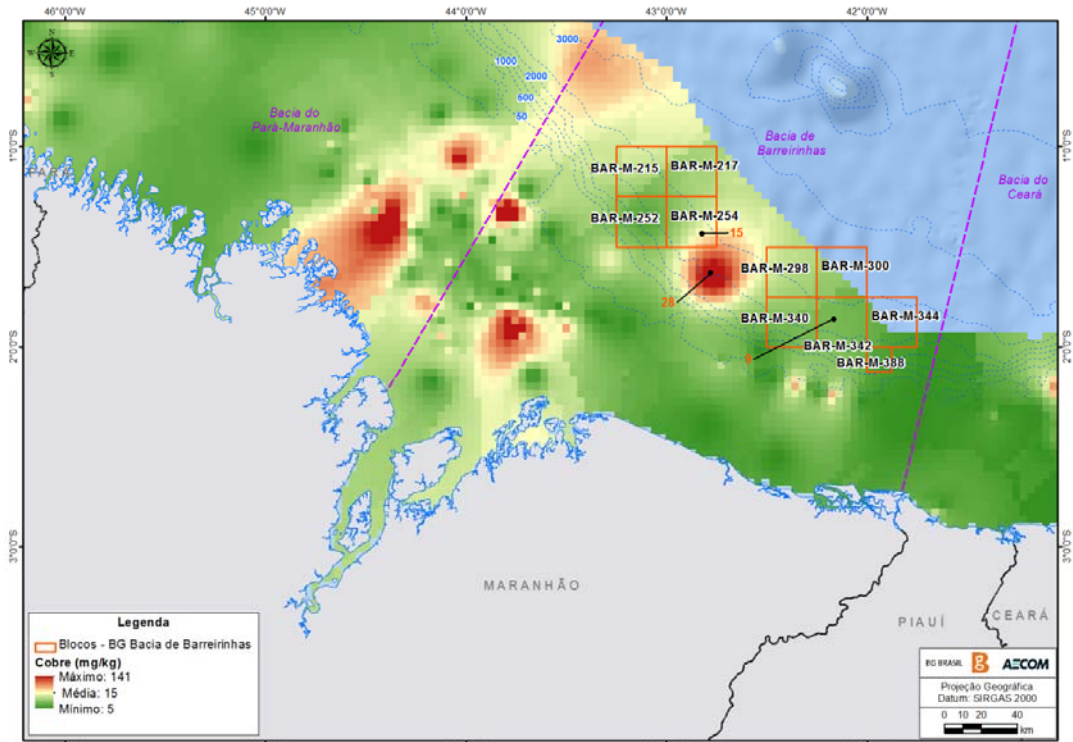
TABELA II.6.1.2.20 – Concentrações de metais no sedimento (mg.kg^{-1}) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 *apud* LACERDA *et al.*, 2012). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

Metal (mg.kg^{-1})	Média (Mínimo – Máximo)			
	C1	C2	C3	C4
Alumínio	1.300 (200 -5.000)	700 (100 – 13.400)	3.200 (400 – 26.300)	200 (100 – 22.200)
Bário	43 (3–503)	34 (6–332)	109 (7–700)	14 (<2–1,125)
Cádmio	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Chumbo	4,2 (0,6–19)	0,4 (<0,1–7)	1,8 (0,1–12)	1,2 (<0,3–13)
Cobre	1,3 (0,6–6,2)	0,1 (<0,1–6,6)	0,3 (<0,1–2,1)	0,2 (<0,1–3,8)
Cromo	6,6 (<0,1–25)	5,5 (2,4–23)	6,8 (3,1–31)	7,5 (5,6–24)
Ferro	1.500 (300 – 6.900)	600 (100 – 7.100)	1.100 (200 – 7.100)	1.100 (200 – 19.800)
Manganês	60 (10–365)	16 (5–147)	27(4–236)	23 (5–261)
Mercurío	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel	1,1 (<0,1–4,4)	0,2 (<0,1–7,0)	0,8 (0,2–7,5)	0,6 (<0,1–9,4)
Vanádio	3,6 (0,3–17)	5,2 (2,1–40)	3,0 (0,6–54)	3,5 (5,8–43)
Zinco	3,1 (<0,1–36)	0,2 (<0,1–13)	1,5 (0,4–23)	1,2 (<0,2–20)

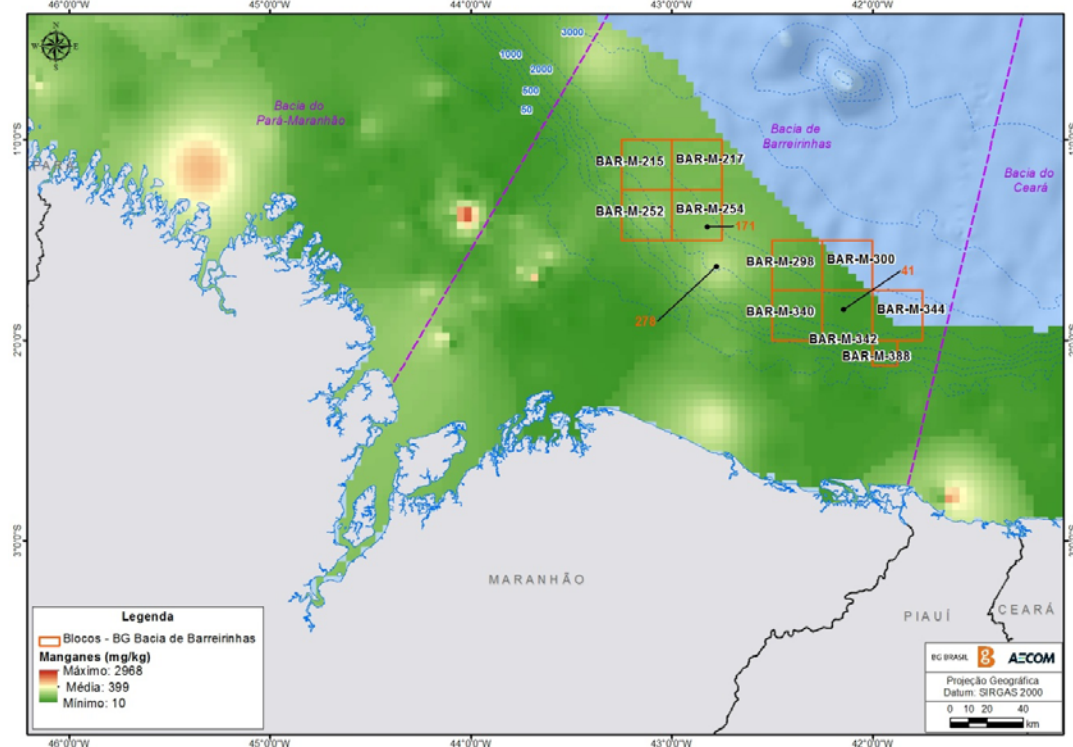
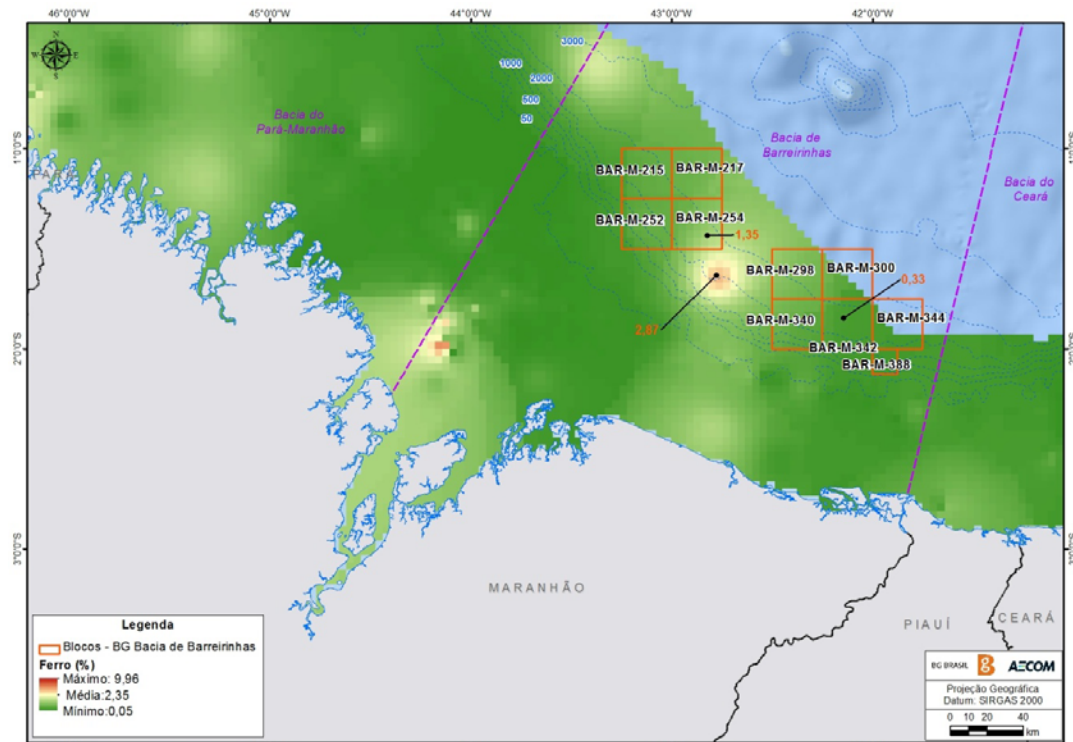
A partir do levantamento de PIATAM (2008) com dados da CPRM (1985) foi possível elaborar mapas de distribuição de metais na área Norte do país, com enfoque no presente estudo para a Bacia de Barreirinhas. Na **Figura II.6.1.2.37** são apresentadas imagens da distribuição das concentrações de arsênio (As), bário (Ba), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), vanádio (V) e zinco (Zn). Concentrações de cádmio e mercúrio não foram detectados, por isso, não estão representadas. Os mapas permitem observar principalmente ordens de grandeza e padrões de distribuição (heterogêneo ou homogêneo). Destaca-se que arsênio e zinco apresentaram distribuição mais homogênea na área, apresentando valores em torno de 200 mg.kg^{-1} . Dentre os demais, destacam-se com ordens de grandeza menores os metais cobre, níquel, chumbo e vanádio (com concentrações para área dos blocos da BG em entre 5 e 35 mg.L^{-1}). Já para o bário é possível notar uma distribuição bastante heterogênea, mas com prováveis concentrações próximas a 150 mg.kg^{-1} nos blocos da BG. Os metais cromo, ferro e manganês, mesmo considerando somente as áreas dos blocos da BG, apresentaram grande intervalo, embora com concentrações baixas comparadas ao restante da Bacia de Barreirinhas (cerca de 10 a 100 mg.kg^{-1} para Cr, 50 a 150 mg.kg^{-1} para Mn e 0,5 a 1,5% para Fe, o mesmo que 5.000 a $15.000 \text{ mg.kg}^{-1}$).



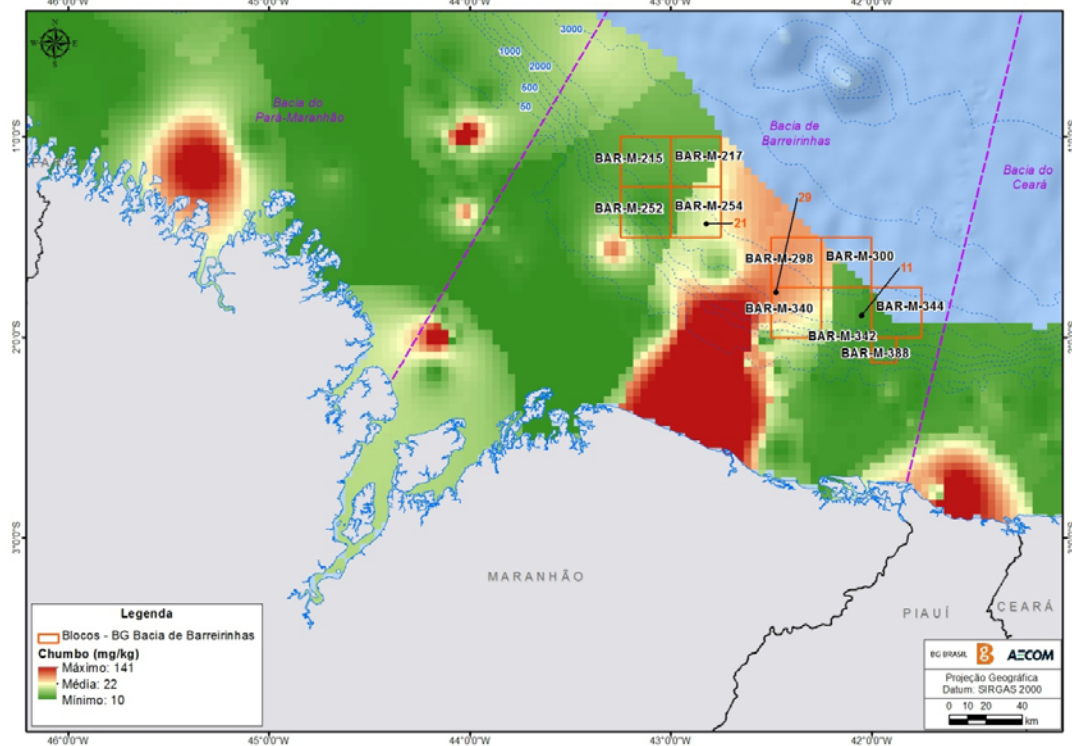
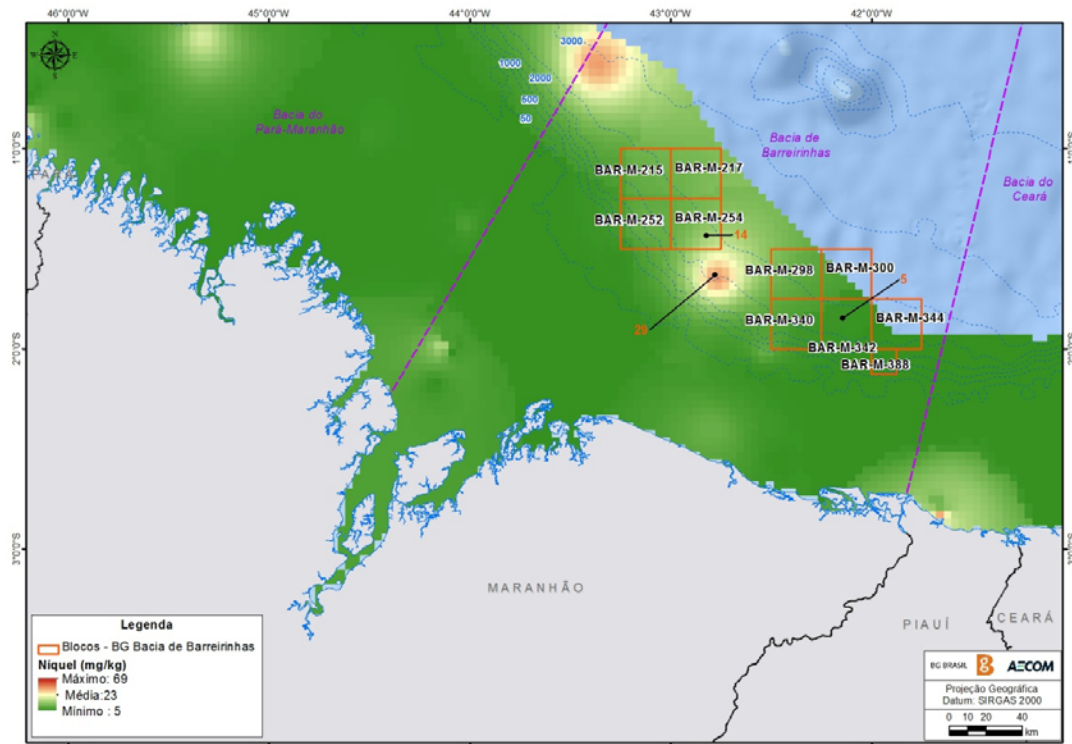
Continua



Continua



Continua



Continua

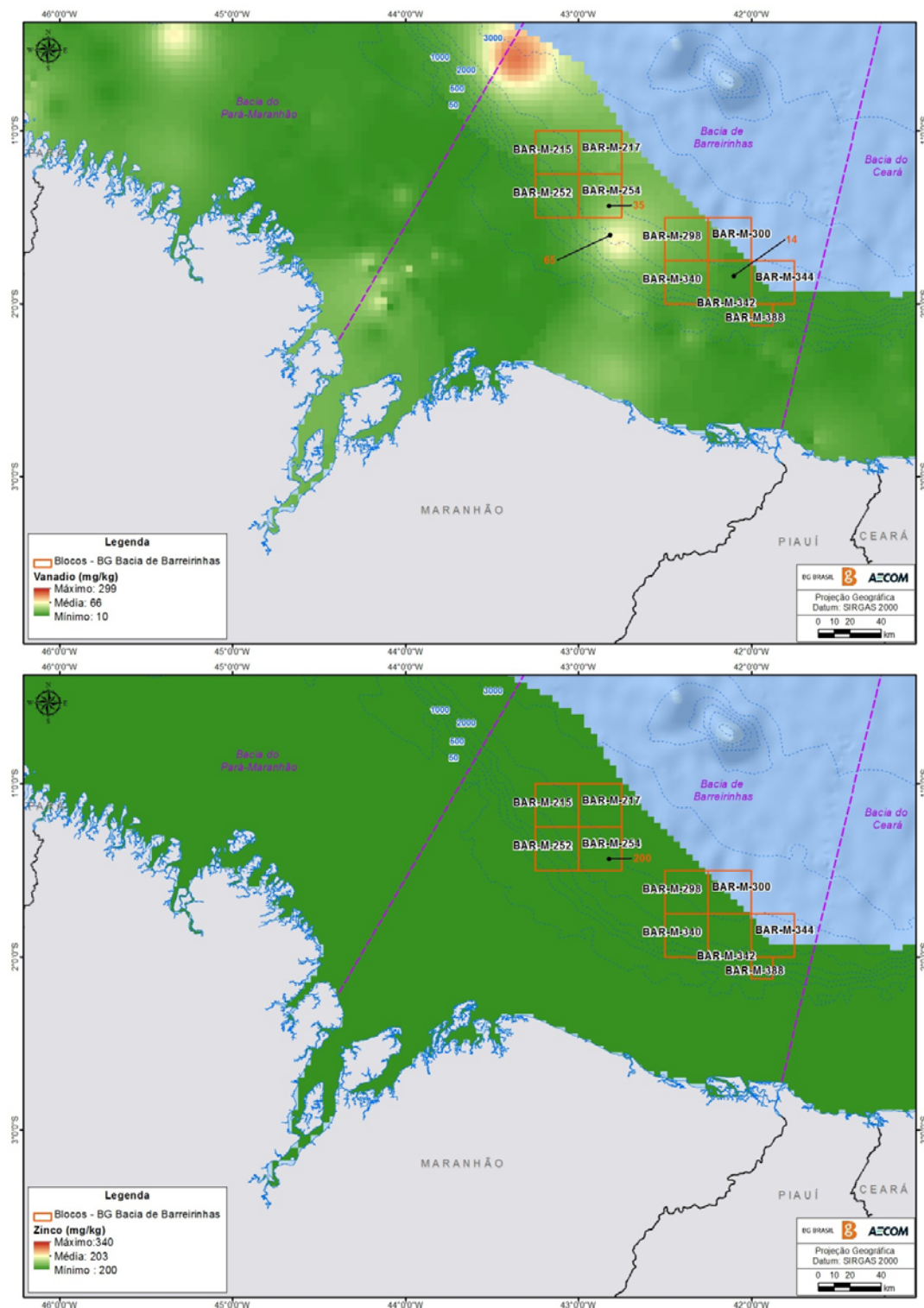
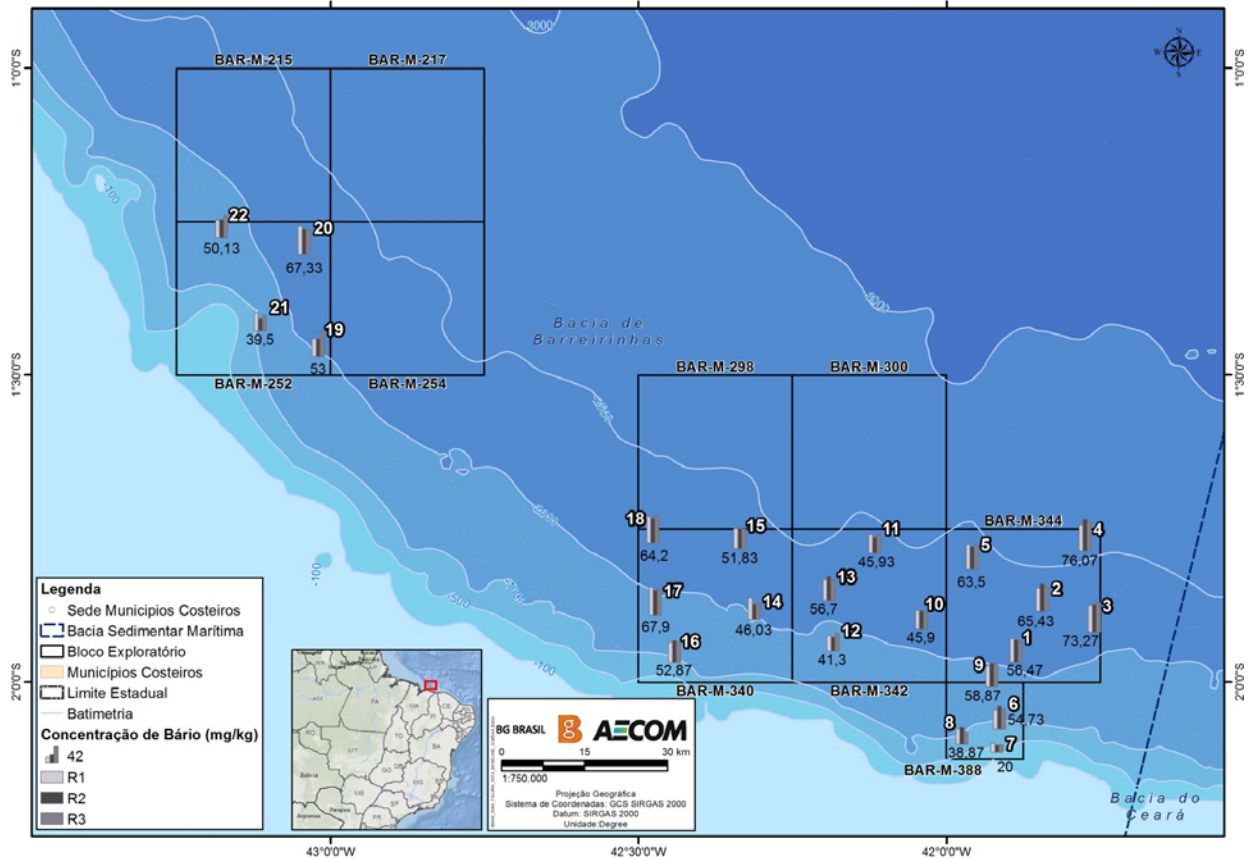
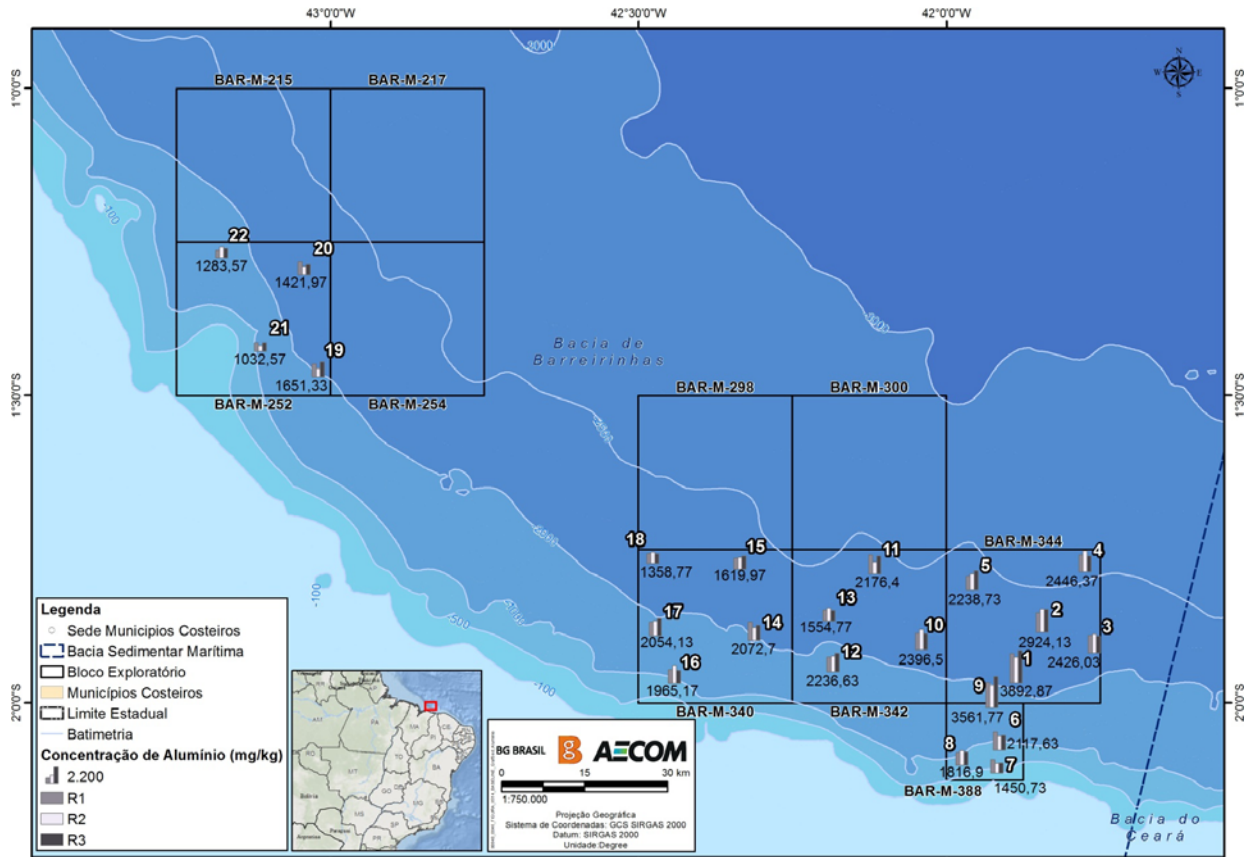


FIGURA II.6.1.2.37 – Distribuição das concentrações de metais no sedimento em parte da Bacia de Barreirinha, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica". Adaptado de PIATAM (2008). Ressalta-se que a faixa de concentrações considerada a média das concentrações como valor central, com o desvio a partir da média formando o gradiente de cores. Os valores em laranja exemplificam concentrações para auxiliar a observação da distribuição na área.

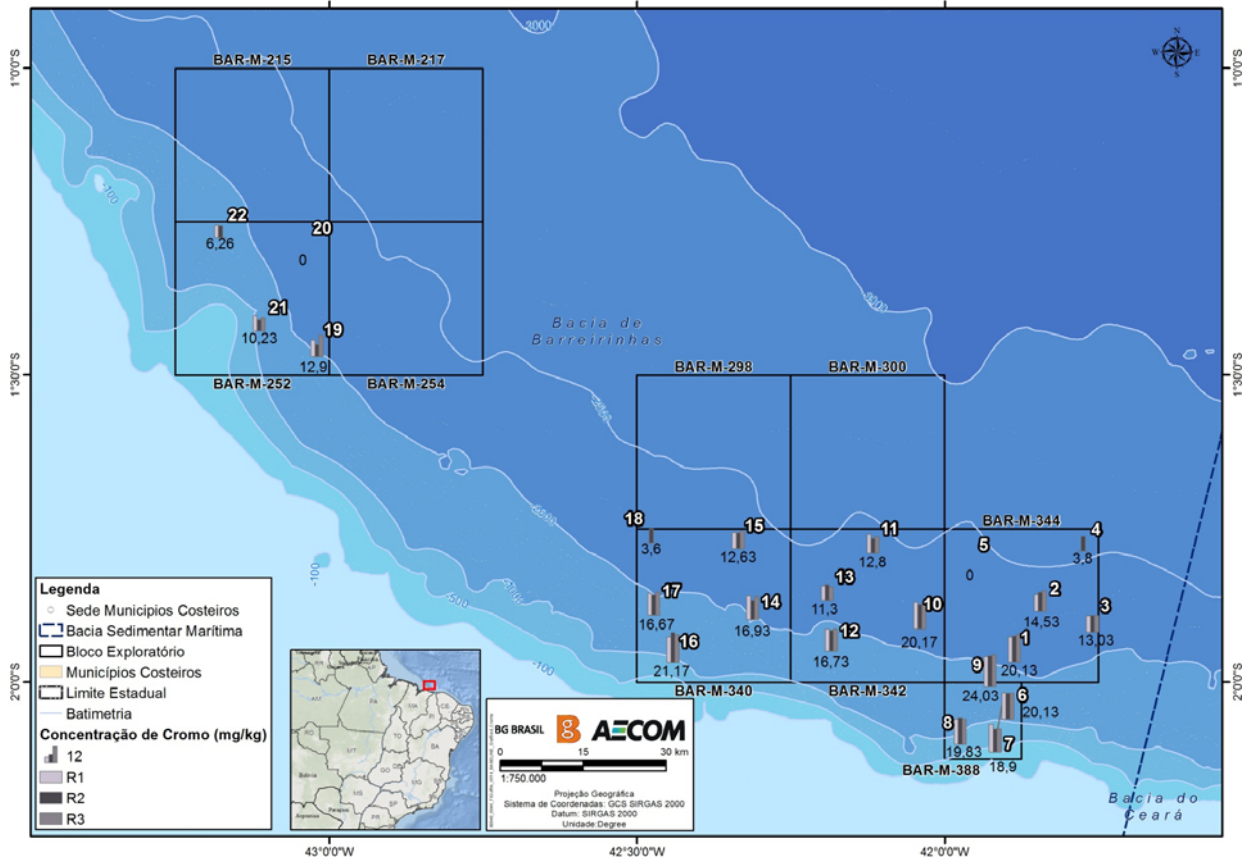
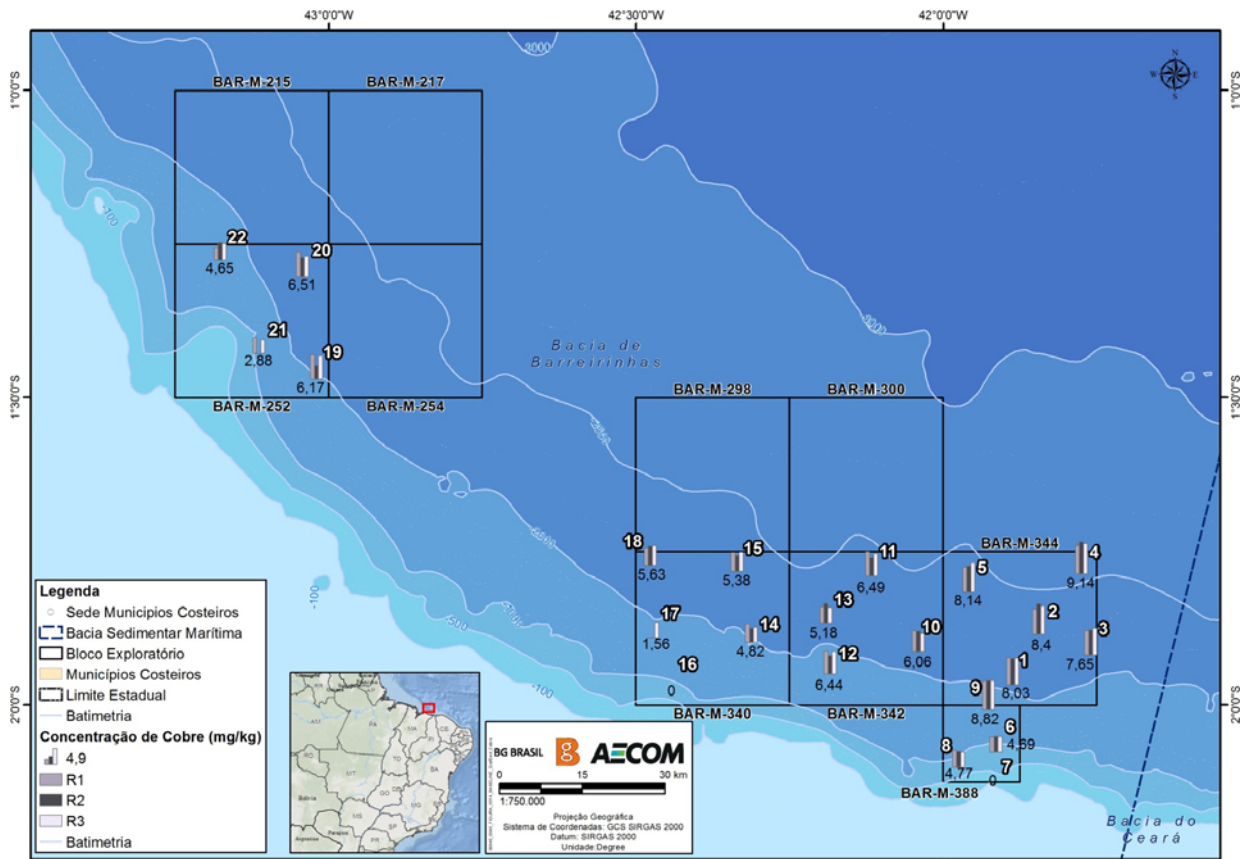
Na campanha *Baseline* realizada na Bacia de Barreirinhas foram analisados os metais alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), vanádio (V) e zinco (Zn). Os metais arsênio, cádmio e mercúrio não foram encontrados em concentrações acima do limite de quantificação em nenhuma estação, apresentando os seguintes limites de quantificação (As entre 2,6 e 3,9 mg.kg⁻¹, Cd total – entre <0,613 e <0,873 mg.kg⁻¹ e Hg – entre <0,061 e <0,080 mg.kg⁻¹). O metal chumbo foi observado em somente uma estação, a estação 9 do Bloco BAR-M-388 em suas três réplicas, com valores entre 4,77 e 5,43 mg.kg⁻¹. Os valores observados nesta estação foram baixos, muito similares aos limites de quantificações (que variaram entre 3,81 e 5,25 mg.kg⁻¹). Salienta-se que o metal chumbo não será representado graficamente.

Para o metal Al as concentrações variaram entre 1032,6 e 3892,9 mg.kg⁻¹, com média de 2077,3 mg.kg⁻¹, com o bloco BAR-M-252 tendendo a menores concentrações, enquanto o BAR-M-344 tendeu a valores maiores. Para o metal Ba as concentrações apresentaram média de 54,1 mg.kg⁻¹, com variação entre 20,0 e 76,1 mg.kg⁻¹, sendo a menor concentração observada no bloco BAR-M-388 e a maior no bloco BAR-M-344. As concentrações de Cu variaram de abaixo do limite de quantificação (cerca de 4,00 mg.kg⁻¹), em duas estações, até 9,14 mg.kg⁻¹ em uma estação do bloco BAR-M-344, com ligeira tendência de aumento das concentrações com a profundidade. Assim como o Cu, as concentrações de Cr na área estudada também tenderam a baixos valores variando de abaixo do limite de quantificação (cerca de 10 mg.kg⁻¹) até 24,03 mg.kg⁻¹ no bloco BAR-M-388, porém com tendência de diminuição com o aumento da profundidade. O Fe já apresentou ordem de grandeza elevada, com valores entre 2851,2 e 8912,1 e média de 5406,2 mg.kg⁻¹, sendo a menor concentração observada no bloco BAR-M-388 e a maior no bloco BAR-M-252, correspondentes aos blocos mais distantes entre si. As concentrações de Mn variaram entre 38,30 e 168,06 mg.kg⁻¹, com menor concentração na estação de menor profundidade (estação 7 – bloco BAR-M-388), e maior no bloco BAR-M-342. As concentrações de Ni ao longo da Bacia de Barreirinhas variaram de não quantificadas (várias estações e réplicas) até 6,62 mg.kg⁻¹ no bloco BAR-M-388. As concentrações de V apresentaram valores oscilantes, com uma estação com resultado abaixo do limite de quantificação (estação 7 – bloco BAR-M-388) até 27,77 mg.kg⁻¹, na estação 9, localizada no mesmo bloco. O Zn apresentou valores entre 13,87 e 43,53 mg.kg⁻¹, com a menor concentração observada no bloco BAR-M-344, e a maior no bloco BAR-M-252 (BG/AECOM, 2015) (**Figura II.6.1.2.38 e Figura II.6.1.2.21**).

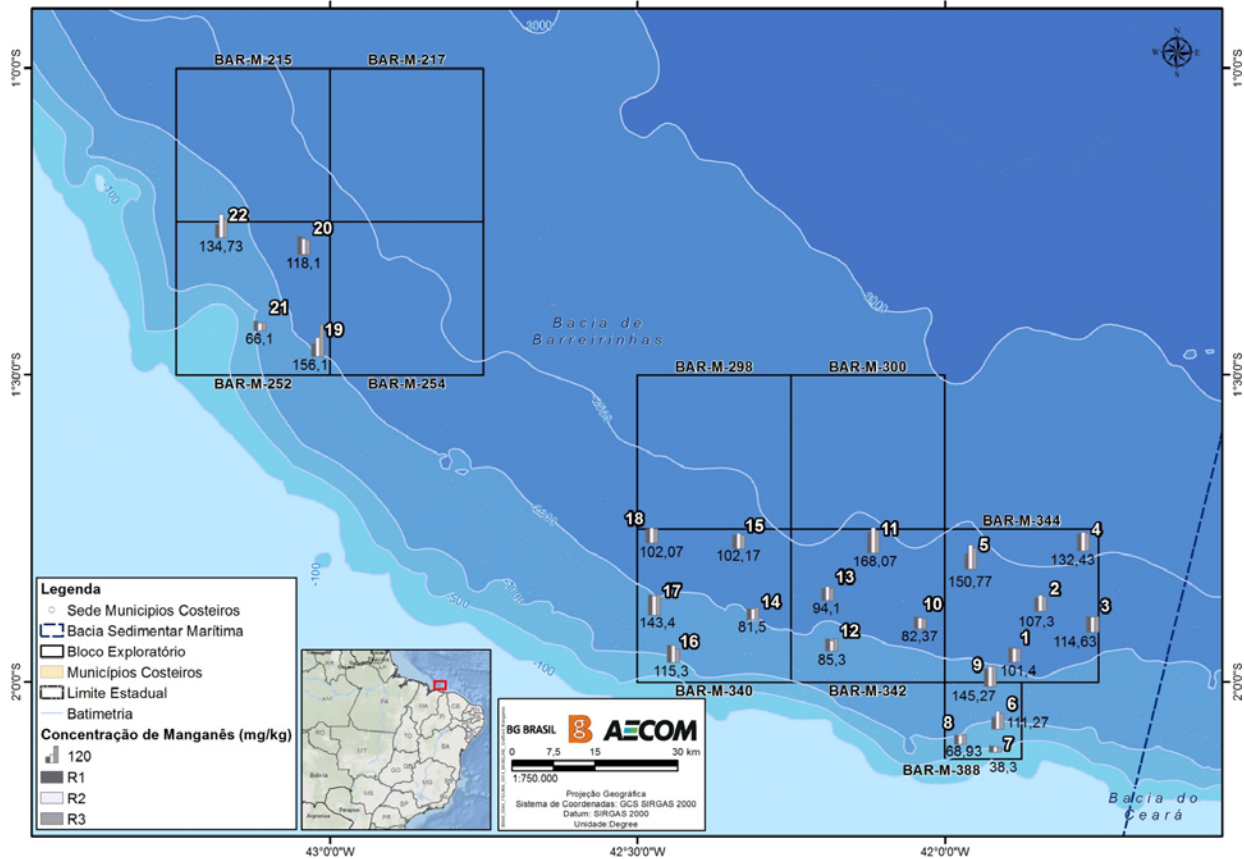
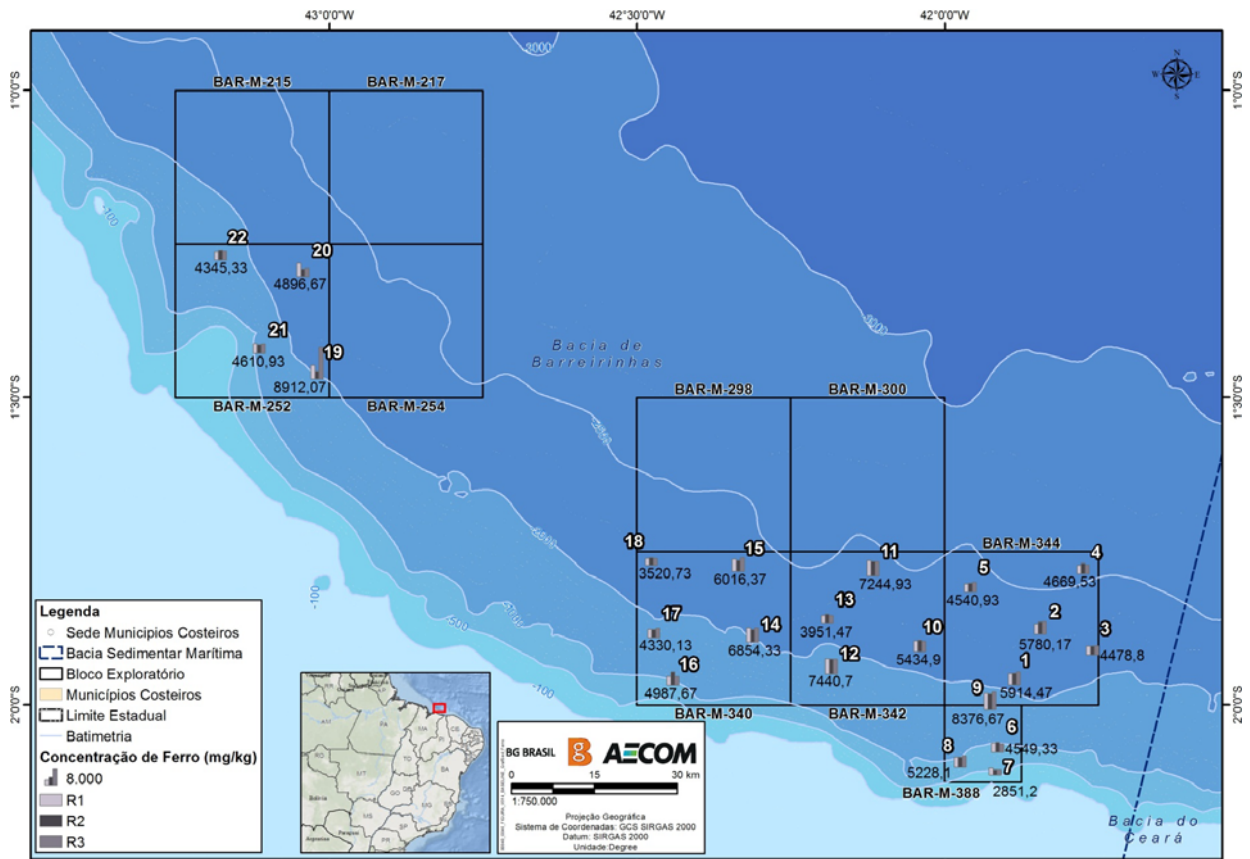
A distribuição de metais na Bacia de Barreirinhas demonstrou ser, em geral, semelhantes ao verificado em outros estudos na região, com maiores concentrações dos metais ferro, alumínio e manganês e baixas concentrações dos chamados metais pesados. As concentrações não apresentaram diferenças significativas entre as estações, com exceção do cromo com maiores valores próximo a costa (sugerindo aporte continental) e do cobre com ligeira tendência de aumento das concentrações com a profundidade (afastado da costa). Ressalta-se que as concentrações de bário foram baixas e equivalentes a outras regiões que não sofreram influência antropogênica. Essa assertiva é baseada em valores de referência citados por NEFF (2002), como faixa de intervalo de 50 e 1.500 mg.kg⁻¹ representando regiões não contaminadas por bário e concentrações predominantemente inferiores a 1.000 mg.kg⁻¹ como valores basais.



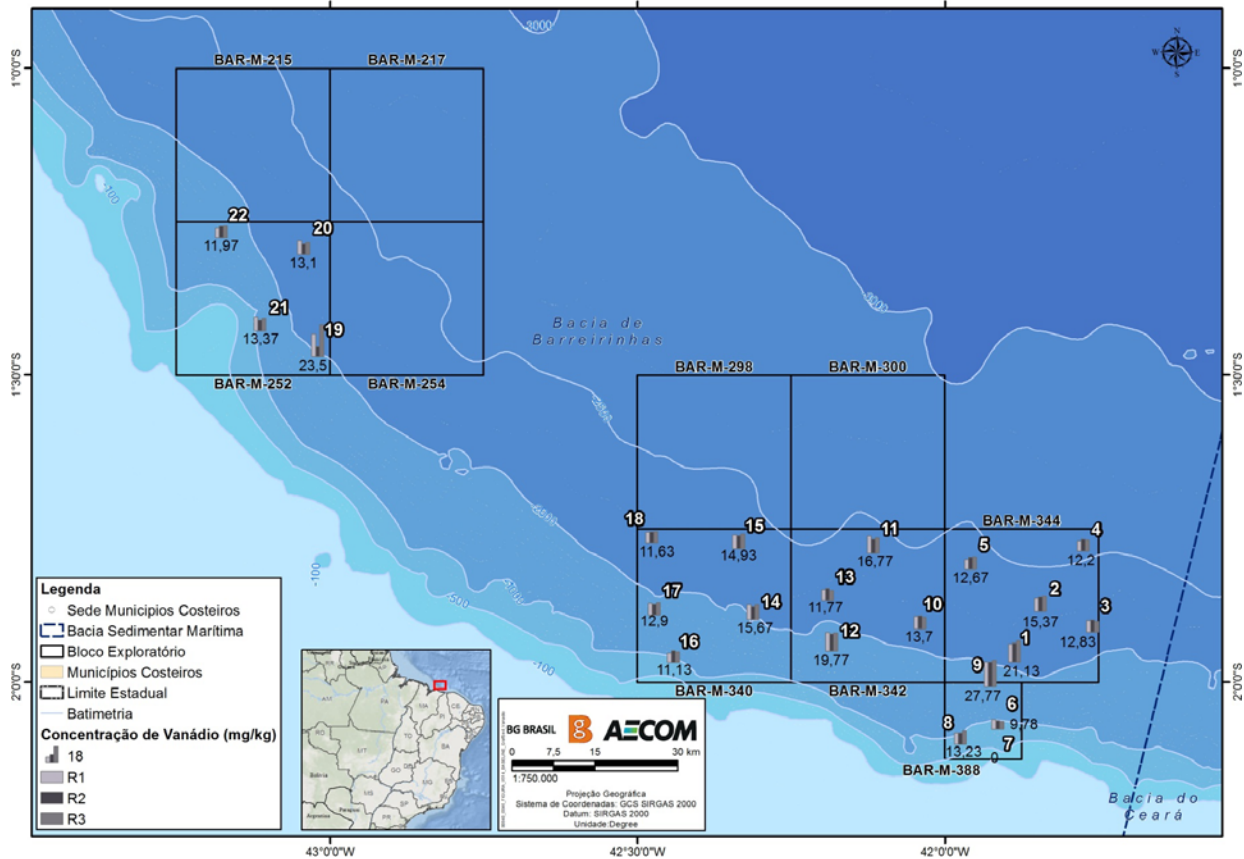
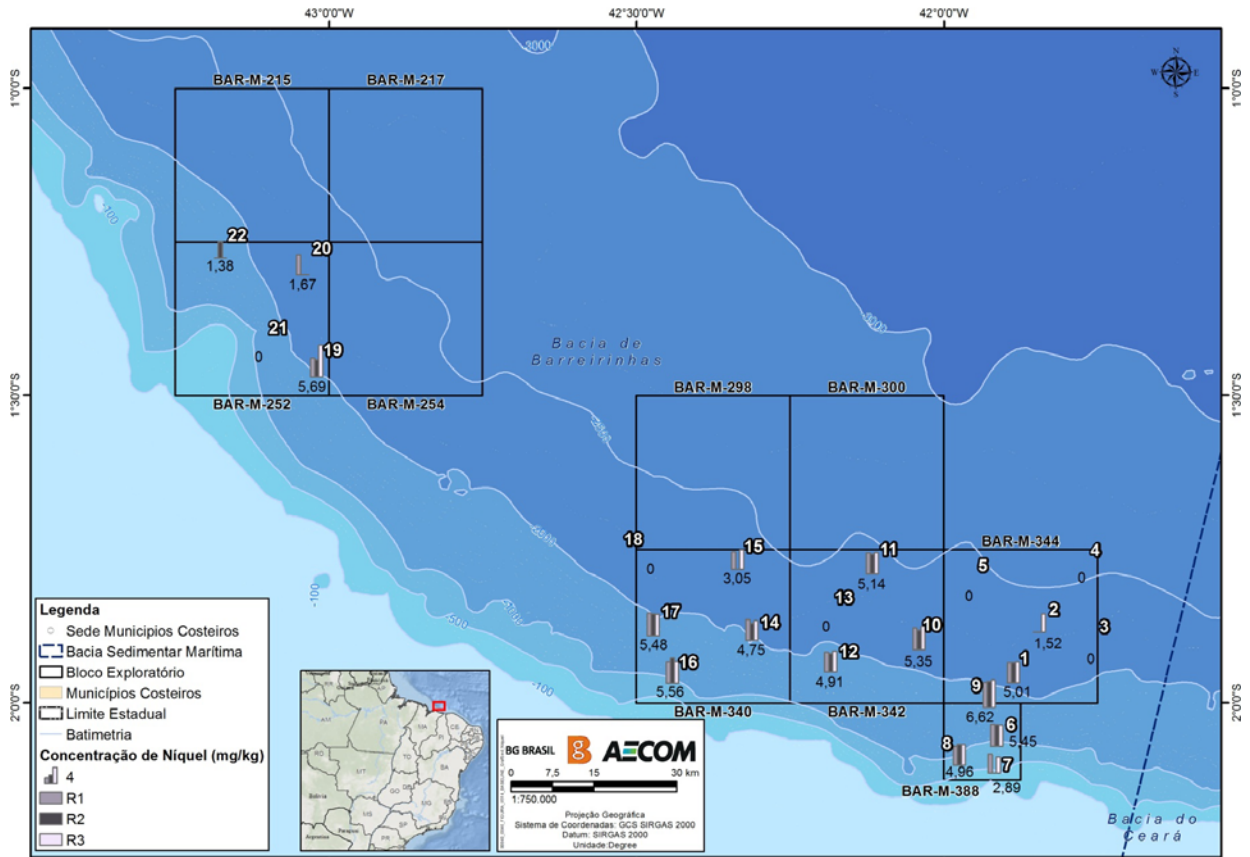
Continua



Continua



Continua



Continua

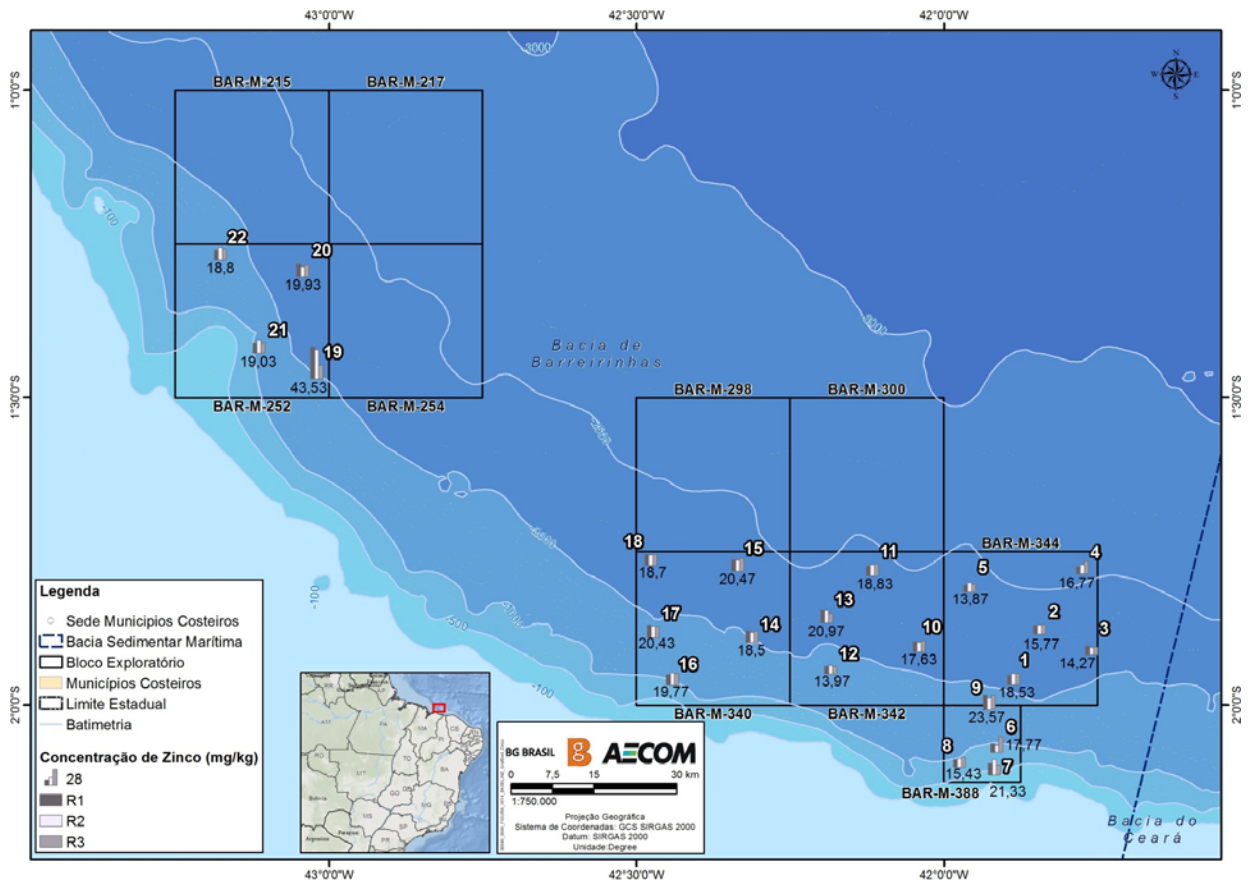


FIGURA II.6.1.2.38 – Valores de metais no sedimento na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.21– Distribuição das concentrações de metais por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Metais (mg.kg ⁻¹)												
		Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
BAR-M-344	Mínimo	2238,73	<LQ	56,47	<LD	<LQ	7,65	4478,80	<LD	101,40	<LQ	<LQ	12,20	13,87
	Máximo	3892,87	<LQ	76,07	<LD	<LQ	9,14	5914,47	<LD	150,77	<LQ	<LQ	21,13	18,53
	Média	2785,63	-	66,95	-	-	8,27	5076,78	-	121,31	-	-	14,84	15,84
	Desv. Pad.	668,70	-	7,86	-	-	0,55	708,35	<LD	20,18	-	-	3,73	1,90
BAR-M-388	Mínimo	1450,73	<LQ	20,00	<LD	18,90	<LQ	2851,20	<LD	38,30	4,33	<LQ	<LQ	15,43
	Máximo	3561,77	<LQ	58,87	<LD	24,03	<LQ	8376,67	<LD	145,27	6,62	<LQ	<LQ	23,57
	Média	2236,76	-	43,12	-	20,73	-	5251,33	-	90,94	5,34	-	-	19,53
	Desv. Pad.	924,47	-	17,66	-	2,27	-	2310,97	-	46,97	0,97	-	-	3,63
BAR-M-342	Mínimo	1554,77	<LQ	41,30	<LD	11,30	5,18	3951,47	<LD	82,37	<LQ	<LQ	11,77	13,97
	Máximo	2396,50	<LQ	56,70	<LD	20,17	6,49	7440,70	<LD	168,07	<LQ	<LQ	19,77	20,97
	Média	2091,08	-	47,46	-	15,25	6,04	6018,00	-	107,46	-	-	15,50	17,85
	Desv. Pad.	369,40	-	6,53	-	4,00	0,61	1647,22	-	40,71	-	-	3,51	2,93
BAR-M-340	Mínimo	1358,77	<LQ	46,03	<LD	10,80	<LQ	3520,73	<LD	81,50	<LQ	<LQ	11,13	18,50
	Máximo	2072,70	<LQ	67,90	<LD	21,17	<LQ	6854,33	<LD	143,40	<LQ	<LQ	15,67	20,47
	Média	1814,15	-	56,57	-	15,64	-	5141,85	-	108,89	-	-	13,25	19,57
	Desv. Pad.	313,18	-	9,13	-	4,05	-	1323,64	-	22,77	-	-	1,99	0,93
BAR-M-252	Mínimo	1032,57	<LQ	39,50	<LD	<LQ	4,32	4345,33	<LD	66,10	<LQ	<LQ	11,97	18,80
	Máximo	1651,33	<LQ	67,33	<LD	<LQ	6,51	8912,07	<LD	156,10	<LQ	<LQ	23,50	43,53
	Média	1347,36	-	52,49	-	-	5,41	5691,25	-	118,76	-	-	15,48	25,33
	Desv. Pad.	258,93	-	11,47	-	-	1,09	2158,98	-	38,40	-	-	5,38	12,15

➤ Nutrientes e Matéria Orgânica

A composição elementar da matéria orgânica nos sedimentos marinhos são expressos como carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT). Uma proporção superior a 95% da matéria orgânica primária é mineralizada por processos biológicos e químicos na coluna d'água e nos primeiros centímetros do topo da coluna sedimentar (HASS *et al.*, 2002). A pequena parcela que atinge o fundo oceânico pode ter sua origem caracterizada, através da análise elementar de carbono e nitrogênio. Destaca-se que a influência do aporte continental na região de plataforma continental pode ser percebida a mais de 200 km da costa, em profundidades maiores do que 1000 m. Salienta-se que a análise dos constituintes da matéria orgânica permite especular, através de razões diagnósticas, sobre origens da matéria orgânica (STEIN, 1991). Conhecer a contribuição orgânica do sedimento também é importante pela interação entre os processos no meio. FABIANO & DANOVARO (1994), por exemplo, discutem a fração lábil e refratária da matéria orgânica no sedimento destacando a rápida remineralização da fração lábil por ação bacteriana, disponibilizando a MOT para o níveis tróficos superiores, como os organismos bentônicos, enquanto a fração refratária sofre degradação mais lenta, até ficarem disponíveis para os organismos superiores..

- **Nutrientes (nitrogênio e fósforo)**

Em OGX/PIR2/FUGRO (2009 apud OGX/HABTEC, 2009) foram reportados, para os blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16, os teores de Nitrogênio Kjeldahl e Fósforo Total. Salienta-se que a análise de Nitrogênio Kjeldahl (N-Kjeldahl) corresponde a combinação de nitrogênio amoniacal e orgânico. Os valores N-Kjeldahl reportados variaram de 0,096 a 0,157% (**Figura II.6.1.2.39**).

Quanto ao fósforo, é importante salientar que o elemento pode ser encontrado no sedimento como espécie orgânica (ácidos nucleicos e substâncias húmicas) ou na forma de sais complexados com cálcio, ferro e alumínio ou adsorvido na superfície de minerais. As condições ambientais predominantes do ambiente regulam a retenção ou a liberação de fósforo dos sedimentos (SILVA & TOLEDO, 1997). Na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16, o fósforo variou de 0,033 a 0,046% (**Figura II.6.1.2.39**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 apud OGX/HABTEC, 2009).

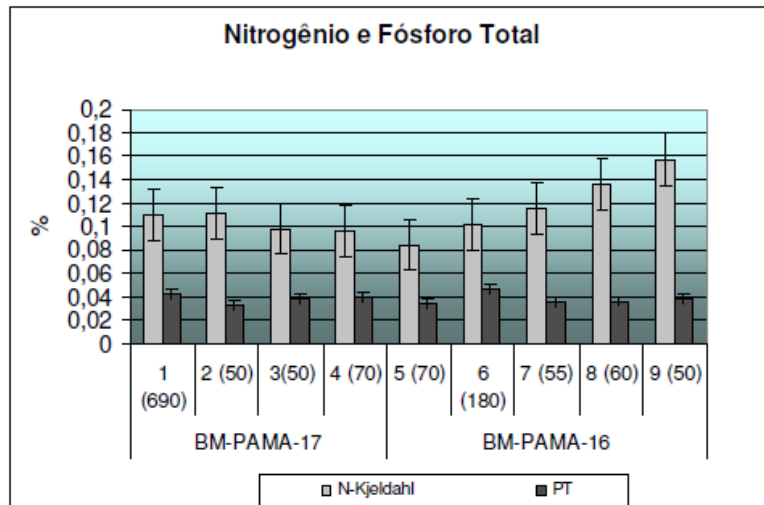


FIGURA II.6.1.2.39 – Concentrações de nitrogênio kjeldahl e fósforo total no sedimento (%) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (adaptado OGX/PIR2/FUGRO, 2009 apud OGX/HABTEC, 2009).

Na avaliação local, ou seja, na campanha *Baseline* na Bacia de Barreirinhas, a média de nitrogênio Kjeldahl total correspondeu a $502,4 \text{ mg.kg}^{-1}$, com valores variando desde $289,9$ a $865,9 \text{ mg.kg}^{-1}$. A distribuição das concentrações demonstrou influência espacial, com as estações distribuídas a sudoeste na Bacia tendendo a concentrações maiores, enquanto as estações do Bloco BAR-M-252 tenderam a concentrações mais baixas (**Figura II.6.1.2.40 e Tabela II.6.1.2.22**). Para o fósforo total as concentrações demonstraram comportamento similar, com as mesmas estações se destacando (6, 7, 8, 9, 16, e 17), concentrações médias variando entre $241,0$ e $528,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**Figura II.6.1.2.41 e Tabela II.6.1.2.22**). Ressalta-se que as concentrações de fósforo apresentaram correlação positiva ($R=0,825$) forte com as concentrações de silte, ratificando a característica dos sedimentos mais finos de acumularem matéria orgânica (BG/AECOM, 2015).

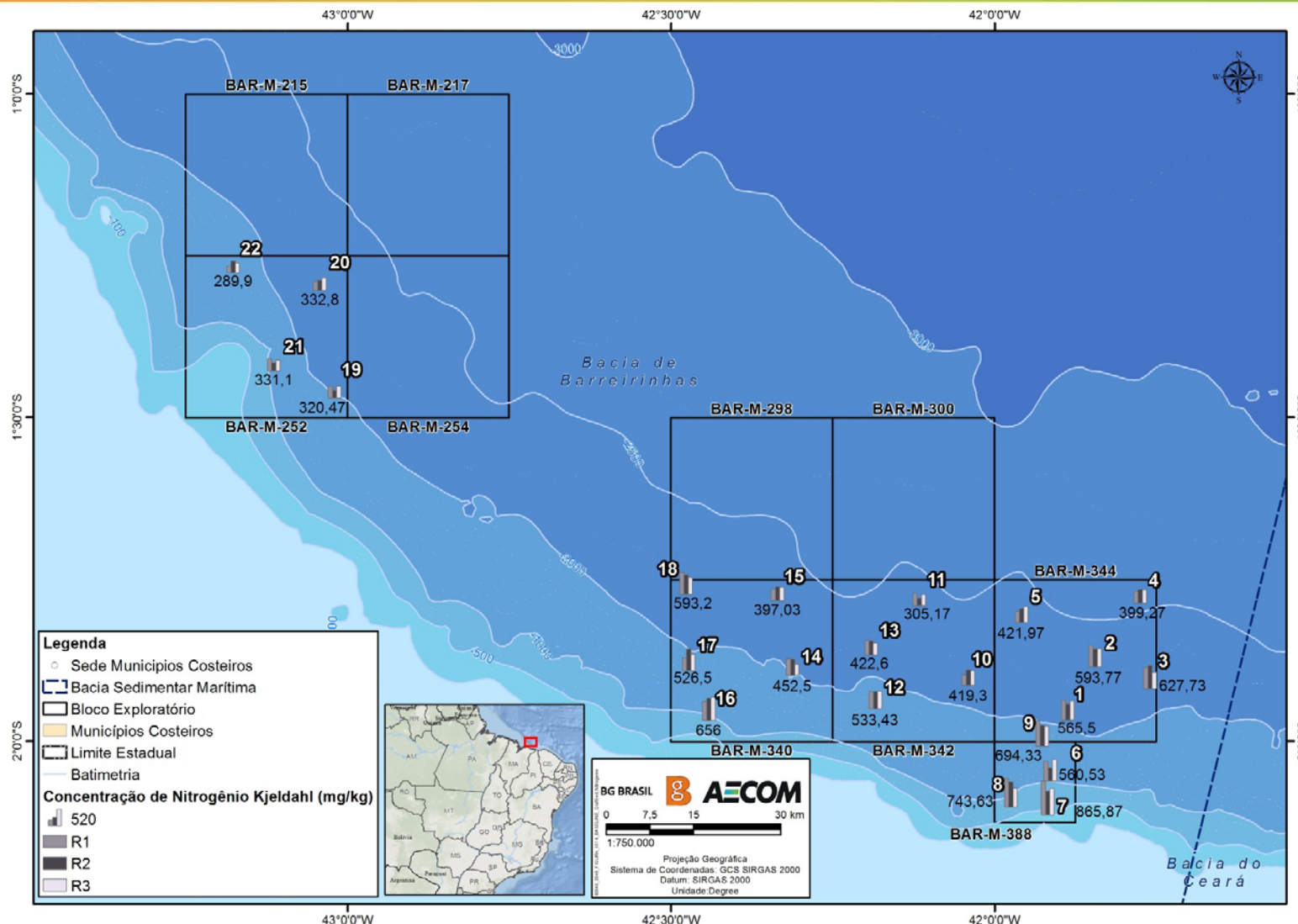


FIGURA II.6.1.2.40 – Valores de nitrogênio no sedimento na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

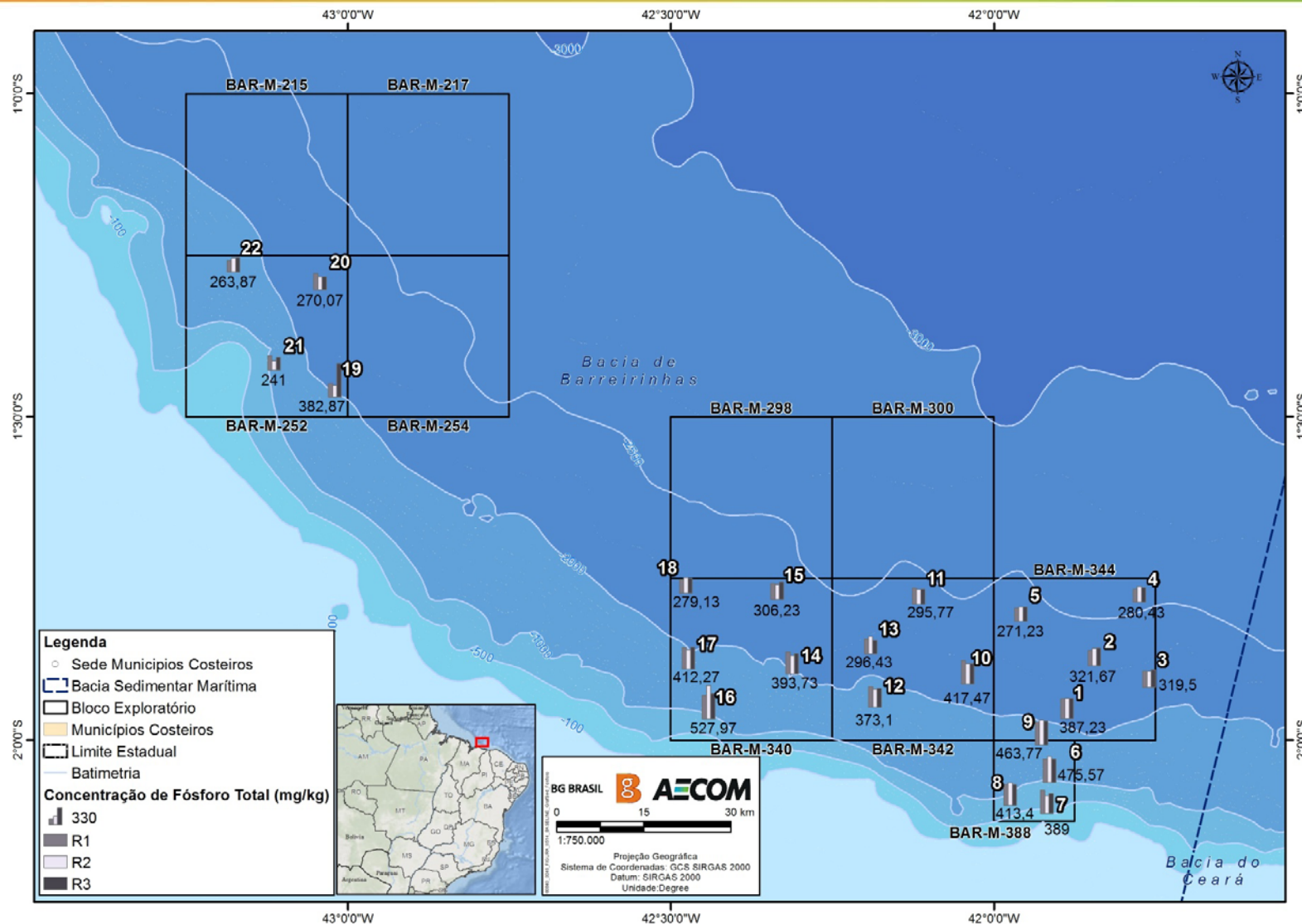


FIGURA II.6.1.2.41 – Valores de fósforo no sedimento na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.22 – Distribuição dos valores de nitrogênio e fósforo por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	Nutrientes (mg.kg ⁻¹)	
		Nitrogênio Total	Fósforo Total
BAR-M-344	Mínimo	399,27	271,23
	Máximo	627,73	387,23
	Média	521,65	316,01
	Desv. Pad.	104,03	45,79
BAR-M-388	Mínimo	560,53	389,00
	Máximo	865,87	475,57
	Média	716,09	435,43
	Desv. Pad.	126,31	41,05
BAR-M-342	Mínimo	305,17	295,77
	Máximo	533,43	417,47
	Média	420,13	345,69
	Desv. Pad.	93,20	60,06
BAR-M-340	Mínimo	397,03	279,13
	Máximo	656,00	527,97
	Média	525,05	383,87
	Desv. Pad.	104,22	98,32
BAR-M-252	Mínimo	289,90	241,00
	Máximo	332,80	382,87
	Média	318,57	289,45
	Desv. Pad.	19,88	63,52

- **Carbono Orgânico Total (COT) e Matéria Orgânica Total (MOT)**

Quanto ao carbono orgânico total (COT), os valores observados para os blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 variaram de 1,19 a 3,26%, para matéria orgânica total (MOT) a variação foi entre 2,09 e 5,78% (**Figura II.6.1.2.42**) (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Os resultados de COT para o estudo de caracterização dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 também só foram disponibilizadas por faixas (mínimo, máximo e mediana) englobando os quatro transectos (da área costeira até o talude), separados por campanha. A **Tabela II.6.1.2.23** apresenta as faixas de concentrações encontradas, onde destaca-se a grande variação de COT – de 0,002 a 9,14 % – (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010), onde os máximos provavelmente correspondem a estações mais costeiras.

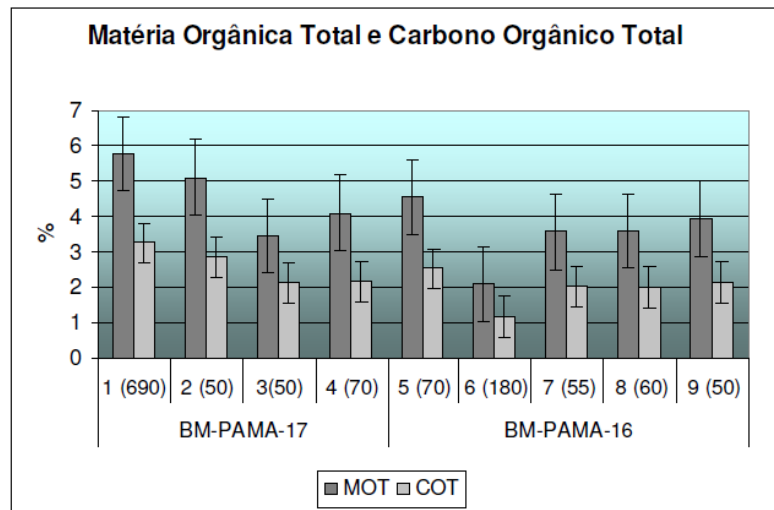


FIGURA II.6.1.2.42 – Concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) nos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (adaptado OGX/PIR2/FUGRO, 2009 apud OGX/HABTEC, 2009).

TABELA II.6.1.2.23 – Concentrações de COT no sedimento (mg.kg^{-1}) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 apud PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

COT (%) / Campanhas	C1	C2	C3	C4
Mínimo	0,005	0,002	0,005	0,043
Máximo	0,41	4,01	1,98	9,14
Mediana	0,06	0,09	0,06	0,12

Na Bacia de Barreirinhas (*Baseline*) as concentrações de COT ao longo das estações estudadas apresentaram valores médios entre 1,82 e 3,67% e não foram observadas diferenças significativas entre os blocos ($p=0,113$) (**Figura II.6.1.2.43** e **Tabela II.6.1.2.24**). Cabe acrescentar que tanto no estudo dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, quanto na campanha *Baseline* de Barreirinhas não foram mensuradas as concentrações de matéria orgânica total. A concentração de carbono orgânico no sedimento é o indicador mais utilizado para contabilizar a matéria orgânica, uma vez que aproximadamente 50 % da maioria dos compostos que compõem a matéria orgânica consistem de carbono (BIANCHI, 2007).

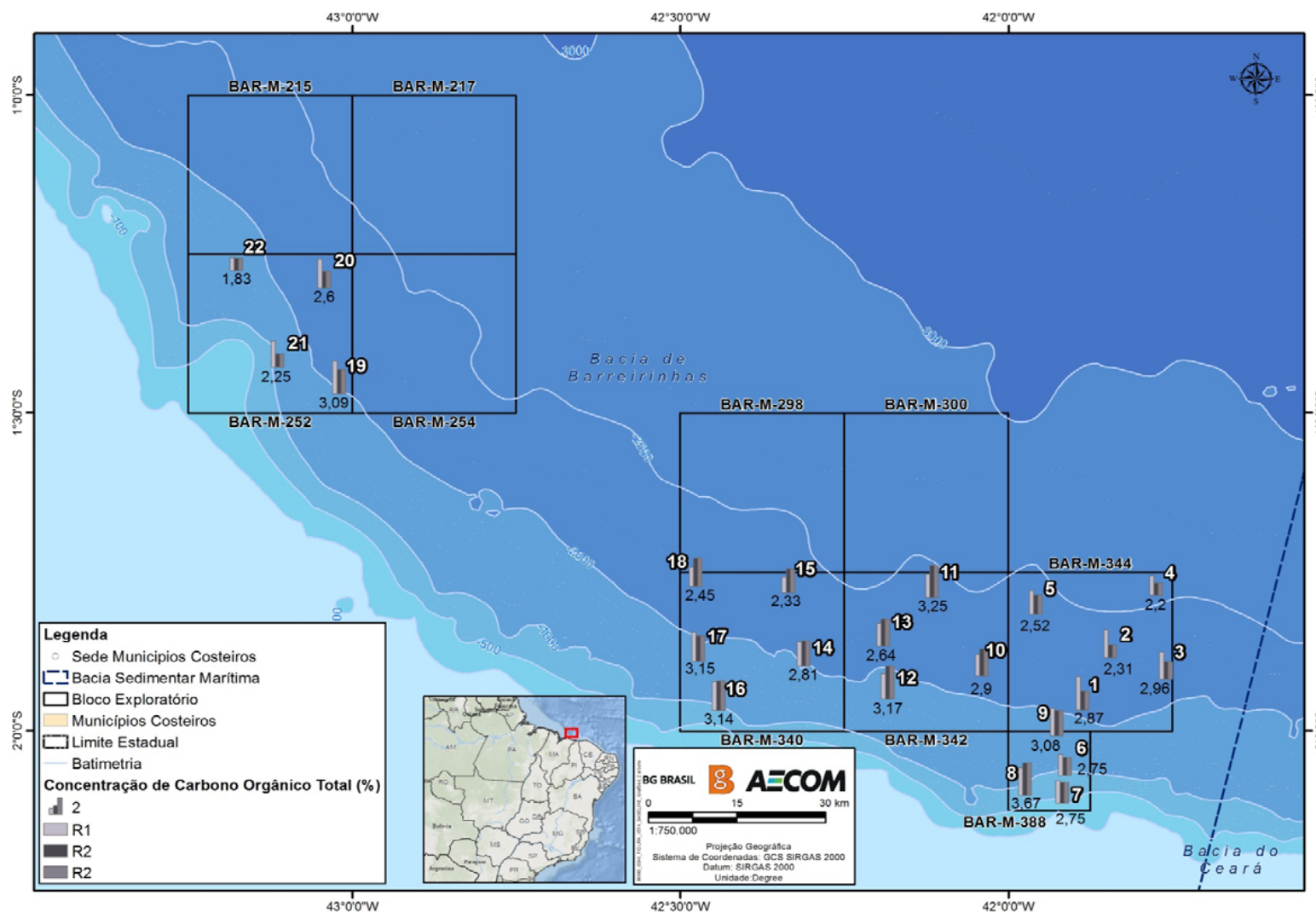


FIGURA II.6.1.2.43 – Valores de COT no sedimento na região dos Blocos BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352, Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.24 – Distribuição dos valores de COT por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	COT (%)
BAR-M-344	Mínimo	2,20
	Máximo	2,96
	Média	2,57
	Desv. Pad.	0,34
BAR-M-388	Mínimo	2,75
	Máximo	3,67
	Média	3,07
	Desv. Pad.	0,44
BAR-M-342	Mínimo	2,64
	Máximo	3,25
	Média	2,99
	Desv. Pad.	0,28
BAR-M-340	Mínimo	2,33
	Máximo	3,15
	Média	2,78
	Desv. Pad.	0,38
BAR-M-252	Mínimo	1,83
	Máximo	3,09
	Média	2,44
	Desv. Pad.	0,54

- **Razões C:N:P**

O cálculo das razões C:N e C:P podem ser utilizadas para determinar a provável origem dos teores de nitrogênio no sedimento. Segundo Prahl *et al.* (1994) é possível distinguir a matéria orgânica originada de algas das de plantas terrestres. Stein (1991) mencionou que razões C:N inferiores a 10 demonstram origem estritamente marinha. De acordo com Ingall & Cappellen (1990) e Meyers (1994) (*apud* SANTOS, 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 2.000. Muller & Mathesius (1999) citam razão C:N indicativas de organismos bentônicos, que são ricos em proteínas, próximos a 4,0.

Para a área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 foram calculadas as razões C:N:P, porém com a ressalva dos valores de nitrogênio nesse estudo terem correspondido ao N-Kjeldahl, que não inclui todas as frações inorgânicas, o que pode levar a uma certa subestimativa nos valores desta razão. Os resultados obtidos para razão C:N variaram de 13,61 a 34,58, com média de 24,23 (DP= 7,97), para N:P, entre 5,07 e 9,44, com média de 6,85 (DP= 1,54), e para C:P, entre 68,99 e 230,3, com média de 164,55 (DP= 46,65). Verificou-se para área que as razões C:P obtidas são típicas de ambiente marinho, porém C:N indicando uma possível contribuição terrestre na matéria orgânica presente nos sedimentos marinhos (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Ressalta-se que a natureza (orgânica ou inorgânica) do nitrogênio pode ser verificada através da simples correlação dos teores de COT e NT. A presença de forte correlação linear positiva entre os dois conjuntos de dados permite confirmar a natureza orgânica do nitrogênio. Já a baixa razão C:N sugere a presença de nitrogênio residual de natureza inorgânica. Na maioria dos sedimentos, a concentração de nitrogênio inorgânico é pequena quando comparada ao conteúdo de nitrogênio orgânico. Entretanto, em sedimentos contendo baixa concentração de matéria orgânica (COT < 0,3%), o nitrogênio inorgânico pode representar uma grande fração do nitrogênio residual. A conversão de nitrogênio orgânico para a forma inorgânica por bactérias fixadoras de nitrogênio constitui uma fonte natural de nitrogênio inorgânico para o sedimento. (MEYERS, 1997).

Na Bacia de Barreirinhas para as estações amostradas na campanha *Baseline* os resultados foram em geral similares aos dos blocos da Bacia Pará-Maranhão. As concentrações mais baixas de nitrogênio refletiram nos resultados das razões calculadas, demonstrando aporte de fósforo maior, levando a razões maiores que 1 (**Figura II.6.1.2.25**). Os valores de razão C:N indicaram aporte continental, enquanto as razões C:P apresentaram valores próximos a 106, remetendo origem marinha, o que infere o aporte misto da região (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.25 – Razões C:N:P nas estações analisadas na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos	Estações	Razão N:P			Razão C:N			Razão C:P		
BAR-M-344	1	3,5	2,8	3,4	59,0	57,2	79,1	207,4	161,7	266,2
	2	5,0	3,7	3,7	41,8	32,1	70,8	211,3	117,2	262,1
	3	4,6	5,2	3,3	59,4	45,5	71,4	271,8	239,0	237,6
	4	3,1	3,1	3,2	53,1	62,7	43,9	164,0	195,5	142,5
	5	2,9	3,5	3,9	124,2	59,1	48,3	357,8	207,8	187,9
BAR-M-388	6	2,9	1,8	3,2	64,2	95,7	38,0	187,8	171,8	121,4
	7	5,2	4,8	4,7	45,3	35,4	33,0	236,6	169,1	156,1
	8	4,8	4,0	3,2	32,0	40,0	30,7	152,4	159,0	98,5
	9	4,0	3,0	3,0	38,2	49,9	61,0	152,0	150,9	182,3
BAR-M-342	10	1,5	2,7	2,5	104,0	72,3	100,3	160,4	196,9	251,6
	11	2,6	1,7	2,6	128,9	122,2	104,2	331,7	206,6	265,9
	12	2,9	3,3	3,3	43,1	46,9	62,3	125,5	155,7	205,5
BAR-M-340	13	3,5	2,9	3,1	92,0	70,3	100,8	322,8	206,9	308,0
	14	2,6	3,2	1,9	67,5	54,5	106,9	178,0	172,3	202,4
	15	2,5	3,4	2,8	109,4	51,8	45,9	273,1	175,4	127,3
	16	2,8	2,3	3,2	6,9	34,1	25,3	194,3	79,7	81,7
	17	2,1	3,9	2,6	74,0	60,2	51,4	156,6	235,2	132,6
	18	5,7	4,5	4,0	61,0	45,3	82,3	345,1	203,4	333,1
BAR-M-252	19	3,0	2,3	1,2	95,0	112,4	75,3	284,3	255,9	93,6
	20	1,9	2,9	3,6	120,3	63,0	97,4	229,7	183,5	349,7
	21	3,0	3,2	3,0	83,6	129,1	87,0	249,9	413,7	259,8
	22	2,0	3,0	2,3	192,5	116,8	155,9	385,8	345,6	353,0
Mínimo		1,5	1,7	1,2	6,9	32,1	25,3	125,5	79,7	81,7
Máximo		5,7	5,2	4,7	192,5	129,1	155,9	385,8	413,7	353,0
Média		3,3	3,2	3,1	77,1	66,2	71,4	235,4	200,1	210,0
Desvio Padrão		1,1	0,9	0,7	41,4	29,8	31,8	76,6	70,8	84,7

➤ Parâmetros Orgânicos – Hidrocarbonetos

• Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)

A análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) nos campos de produção *offshore* de óleo é importante pela contribuição potencial das atividades na elevação da concentração de HPA no ambiente marinho, seja por via atmosférica ou por descarte de material contendo resíduo oleoso. O descarte desses resíduos de óleo pode ocorrer associado ao descarte de água de produção e fluido de perfuração, ou em maior escala, em acidentes envolvendo óleo. Destaca-se que os principais HPA presentes no petróleo bruto são o naftaleno, o fenantreno e seus derivados alquilados (UNEP, 1991). Ressalta-se que, apesar da predominante origem pirolítica, os HPA também são formados por fontes naturais, a observação desses compostos em microalgas, bactérias e plantas são exemplos clássicos de sua origem biogênica (NIAUSSAT *et al.*, 1970; BORNEFF *et al.*, 1968). Estes compostos são ambientalmente importantes devido às suas propriedades tóxicas.

No estudo referente a área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 as análises dos teores de HPAs (que refletem o somatório dos 16 compostos aromáticos prioritários da lista da USEPA) não apresentaram concentrações detectáveis (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

Os resultados de HPA para as estações amostrais abordadas no estudo de caracterização dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 foram disponibilizadas por mínimo e máximo englobando os 4 transectos (da área costeira até o talude), onde verificou-se uma variação de <0,5 a 798 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Tabela II.6.1.2.26) (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010).

TABELA II.6.1.2.26 – Concentrações de HPA total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) no sedimento (mg.kg^{-1}) na área próxima aos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 (PETROBRAS, 2006 *apud* PETROBRAS/AECOM, 2010). Salienta-se que a C1 foi realizada no inverno, a C2 e a C4 no outono e a C3 na primavera.

HPA ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) / Campanhas	C1	C2	C3	C4
Mínimo	<0,5	<0,6	<0,6	<0,7
Máximo	63	19	25	474

Destaca-se que não foram encontradas concentrações de HPA acima do limite de quantificação do método analítico em nenhuma estação da campanha *Baseline* realizada na Bacia de Barreirinhas. Foram analisados os 16 HPAs prioritários (Naftaleno, Acenaftileno, Acenaftileno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e Benzo(ghi)perileno e compostos alquilados (naftalenos, fluorenos, fenatrenos e pirenos). A Tabela II.6.1.2.27 abaixo apresenta os LQs mínimos e máximos para HPAs totais em cada bloco.

TABELA II.6.1.2.27 – Valores de LQs das análises de HPAs por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	HPAs total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
BAR-M-344	Mínimo	<6,61
	Máximo	<7,87
BAR-M-388	Mínimo	<5,85
	Máximo	<7,04
BAR-M-342	Mínimo	<5,89
	Máximo	<7,09
BAR-M-340	Mínimo	<6,32
	Máximo	<7,18
BAR-M-252	Mínimo	<5,24
	Máximo	<6,70

Para efeito de comparação, as concentrações de HPAs em regiões consideradas sem contaminação variam entre 8,0 e 500 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Já em regiões sujeitas à influência de plataformas de produção de petróleo, como as plataformas de Pargo e Pampo da Petrobras, localizadas na plataforma sudeste do Brasil, concentrações de hidrocarbonetos aromáticos variaram entre 6,0 e 2.095 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (TOLDO JR & AYUP-ZOUAIN, 2004; PETROBRAS, 2001). Para a agência de proteção ambiental americana, concentrações de HPAs totais superiores 4.020 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ indicam contaminação (USEPA, 1996). Quanto a limites seguros para biota, o Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (NY DEC/EUA, 1999) estipula que para não haver algum efeito tóxico à biota bentônica marinha o nível de naftaleno não deve ultrapassar 30,0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Já a resolução CONAMA 344/2004 (região de água salina/salobra) estipulou como limite seguro o valor de 3.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de HPA total. A *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) cita para diversos HPAs valores guias para proteção da vida aquática (ISQGs - nível de efeito provisório e PEL - nível de efeito provável), sendo os valores mais restritivos correspondentes a 6,22 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de ISQG e 135 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de PEL para o Dibenz(a,h)anthracene em ambiente marinho. Os limiares críticos citados pela literatura corresponderam a concentrações superiores aos LQs empregados neste estudo.

- **Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTPs)**

Os hidrocarbonetos no meio ambiente oceânico têm diversas fontes e proporções variáveis. A análise detalhada da distribuição dos hidrocarbonetos permite traçar sua origem e diferenciar os hidrocarbonetos autóctones (*e. g.*, derivados de algas, zooplâncton ou bactérias) dos alóctones, que são provenientes de detritos naturais ou fósseis (*e. g.*, produtos de exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição). Os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) correspondem ao somatório das frações dos hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP) e a mistura complexa não resolvida (MCNR). A concentração de HTP é um parâmetro usado para avaliação expedita do estado de contaminação ambiental, uma vez que vincula o sedimento com as concentrações das frações de hidrocarbonetos saturados e aromáticos do petróleo ou outros resíduos das atividades petrolíferas vertidos sobre o substrato marinho (VOLKMAN *et al*, 1992).

Assim como para os HPAs, não foram observados valores de HTP, n-alcanos e MCNR nas amostras de sedimento coletadas na área dos blocos BM-PAMA-17 e BM-PAMA-16 (OGX/PIR2/FUGRO, 2009 *apud* OGX/HABTEC, 2009).

A campanha *Baseline* também não encontrou concentrações quantificáveis de HTP em nenhuma estação amostrada na Bacia de Barreirinhas. A **Tabela II.6.1.2.28** demonstra os mínimos e máximos de LQs aplicados nas análises por bloco. ELIAS *et al.* (2000) citaram para sedimentos do litoral brasileiro sob pouca influência antrópica, como no caso dos sedimentos da plataforma Continental Amazônica, máximos da ordem de 2.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. E como valores de referência para a análise da qualidade ambiental baseada nas concentrações de HTP em sedimentos marinhos têm sido mencionados na faixa de 100.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, para sedimentos não poluídos (VOLKMAN *et al.* 1980), e entre 300.000 e 5000.000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, para sedimentos comprovadamente poluídos (ZHANG *et al.* 2000).

TABELA II.6.1.2.28 – Valores de LQs das análises de HTPs por Blocos na Bacia de Barreirinhas (BG/AECOM, 2015).

Blocos BG Brasil	Estações	n-Alcanos	HRP	MCNR	HTP
		$(\mu\text{g.kg}^{-1})$			
BAR-M-344	Mínimo	<0,66	<0,66	<0,66	<19,20
	Máximo	<0,79	<0,79	<0,79	<22,80
BAR-M-388	Mínimo	<0,59	<0,59	<0,59	<17,00
	Máximo	<0,70	<0,70	<0,70	<20,40
BAR-M-342	Mínimo	<1,96	<1,96	<1,96	<57,00
	Máximo	<2,36	<2,36	<2,36	<68,60
BAR-M-340	Mínimo	<2,11	<2,11	<2,11	<61,10
	Máximo	<2,39	<2,39	<2,39	<69,40
BAR-M-252	Mínimo	<0,55	<0,55	<0,55	<15,80
	Máximo	<2,23	<2,23	<2,23	<64,70

- **Biomarcadores (Terpanos, hopanos e esteranos)**

Entre os hidrocarbonetos do petróleo se incluem n-alcanos, isoalcanos, cicloalcanos e aromáticos (como os compostos analisados nos itens de HTP e HPA). Uma parcela dos cicloalcanos inclui os chamados biomarcadores do petróleo, que possuem estrutura bastante complexa e podem ser divididos em terpanos, hopanos e esteranos (COIMBRA, 2006). De acordo com BARRICH & HEDGES (1981 *apud* FARIAS, 2006), biomarcadores são compostos orgânicos, oriundos de moléculas de organismos vivos que durante a maturação sofreram modificações. A princípio as modificações acarretam na perda da funcionalidade e, em seguida, sofrem transformações relacionadas às características do ambiente de formação. Esses compostos possuem fonte específica e estabilidade molecular, o que é interpretado como uma assinatura de origem (SIMONEIT, 1984 *apud* FARIAS, *op. cit.*).

O perfil de distribuição destes compostos, presentes em uma determinada amostra, reflete o paleoambiente em que foram depositados. A composição dos biomarcadores sofre a influência também do aporte de matéria orgânica (marinha ou continental) e das suas transformações, como maturação e biodegradação. As

abundâncias relativas entre os terpanos/hopanos e esteranos pode indicar evolução térmica, nível de biodegradação dos sedimentos e contribuições de alguns tipos de organismos (KILLOPS *et al.*, 1994; SARMIENTO *et al.*, 2011). BIANCHI & CANUEL (2011) destacaram que a aplicação de biomarcadores químicos ocorre em função da estrutura e estabilidade inerente da molécula, mas também devem ser consideradas as características físico-químicas e as condições de deposição do ambiente estudado. Em alguns ambientes biomarcadores químicos mais lábeis podem ser transformados ou decompostos após a senescência ou morte por ação microbiana e / ou de metazoários, infecção viral e lise celular e quebra fotoquímica. Cabe ressaltar que os hopanos são terpanos pentacíclicos.

A análise dos biomarcadores por cromatografia observa principalmente a geração de fragmentogramas dos íons m/z 191 (por terpanos e hopanos) e m/z 217 (pelos esteranos) em perfis cromatográficos. A análise vem sendo utilizada na área ambiental principalmente para análise de origem de óleo, seja diretamente no óleo ou sedimento de regiões possivelmente contaminadas (*e. g.*, KILLOPS *et al.*, 1994, COIMBRA, 2006; LIMA *et al.*, 2007; SPRINGER, 2007; BARRAGAN, 2012; WANG *et al.*, 1999).

Na campanha *Baseline* na Bacia de Barreirinhas foram realizadas análises destes biomarcadores. Por se tratarem de análises ainda pouco comuns nas caracterizações e monitoramentos de atividades de O&G não são apresentados neste item dados secundários de regiões similares / próximas a bacia estudada, porém outras referências são citadas adiantes de forma comparativa. Na **Tabela II.6.1.2.29** são apresentadas as razões e os códigos referentes observados no sedimento da Bacia de Barreirinhas. A tabela seguinte apresenta as médias, medianas e desvio padrão dos totais de terpanos e esteranos e valores das razões entre os compostos identificados (**Tabela II.6.1.2.30**) (BG/AECOM, 2015).

Algumas razões apresentadas salientam características do sedimento local. A razão hopanos/esteranos tem valores menores que 4 associados a matéria orgânica de origem marinha e maiores que 7 a origem terrestre (BARRAGAN, 2012). No *Baseline* foram encontrados valores intermediários, o que pode indicar mistura, como já observado nas razões C:N:P. Os valores de $Ts/(Tm+Ts)$ baixos indicam ambientes óxidos, provavelmente oriundo de rochas carbonáticas, enquanto valores maiores indicariam ambientes anóxicos, com origem associada a ambiente hipersalinos (COLLINA, 2011). Entre o sedimento analisado neste estudo verificou-se tendência geral a baixos valores de $Ts/(Tm+Ts)$ (BG/AECOM, 2015).

Entre os esteranos, a proporção entre C27, C28 e C29 também indica essa diferença de origem, sendo o predomínio de C27 sobre C28 e C29 associado a organismos do fitoplâncton e zooplâncton e o predomínio de C29 associado a vegetais superiores (WHELAN & FARRINGTON, 1992; COLLINA, 2011; BARRAGAN, 2012; VECCHIA, 2009). Salienta-se que o esterano C28 é geralmente encontrado em menor abundância e indica algas mais específicas, principalmente lacustres (BARRAGAN, 2012). Na Bacia de Barreirinhas o C29 predominou o que indica origem terrestre, porém com valores bem próximos de C27 e C29, inferindo também a mistura do aporte (BG/AECOM, 2015).

TABELA II.6.1.2.29 – Códigos das razões entre biomarcadores orgânicos identificados no sedimento marinho durante a campanha *Baseline*, Bacia de Barreirinhas, 2014 (BG/AECOM, 2015).

Códigos	Razões
Tri/Hopanos	Tetracíclicos / Hopanos (Pentacíclicos)
TS/TS+TM	18 α (H)-22,29,30-trisnorneohopano C27 / 18 α (H)-22,29,30-trisnorneohopano C27 + 17 α (H)-22,29,30-trisnorhopano C27
Norneo/H29	18 α -30-norneohopano / 17 α (H), 21 β (H)-30-norhopano C29
H28/H30	17 α (H), 21 β (H) -28,30-bisnorhopano / 17 α (H), 21 β (H)- hopano C30
H29/H30	17 α (H), 21 β (H)-30-norhopano C29 / 17 α (H), 21 β (H)- hopano C30
OL/H30	Oleanano / 17 α (H), 21 β (H)- hopano C30
GAM/H30	Gamacerano C30 / 17 α (H), 21 β (H)- hopano C30
H35/H34	17 α (H), 21 β (H)-30-pentakishomohopano + 17 α (H), 21 β (H)-30-pentakishomohopano / 17 α (H), 21 β (H)-30-tetrakishomohopano + 17 α (H), 21 β (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)
bb/(aa+bb)	[C29 $\alpha\beta\beta$ (R+S)] / [C29 $\alpha\beta\beta$ (R+S) + C29 $\alpha\alpha\alpha$ (R+S)] (m/z 217)
% - 27	[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
% - 28	[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
% - 29	[C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R) / [C27 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C28 $\alpha\beta\beta$ (S+R) + C29 $\alpha\beta\beta$ (S+R)]x100
DIA/REG Chol	Diasteranos / Esteranos Regulares

TABELA II.6.1.2.30 – Biomarcadores orgânicos (terpanos e esteranos) e razões entre os compostos no sedimento marinho do Bloco BAR-M-344 durante a campanha *Baseline*, Bacia de Barreirinhas, 2014 (BG/AECOM, 2015).

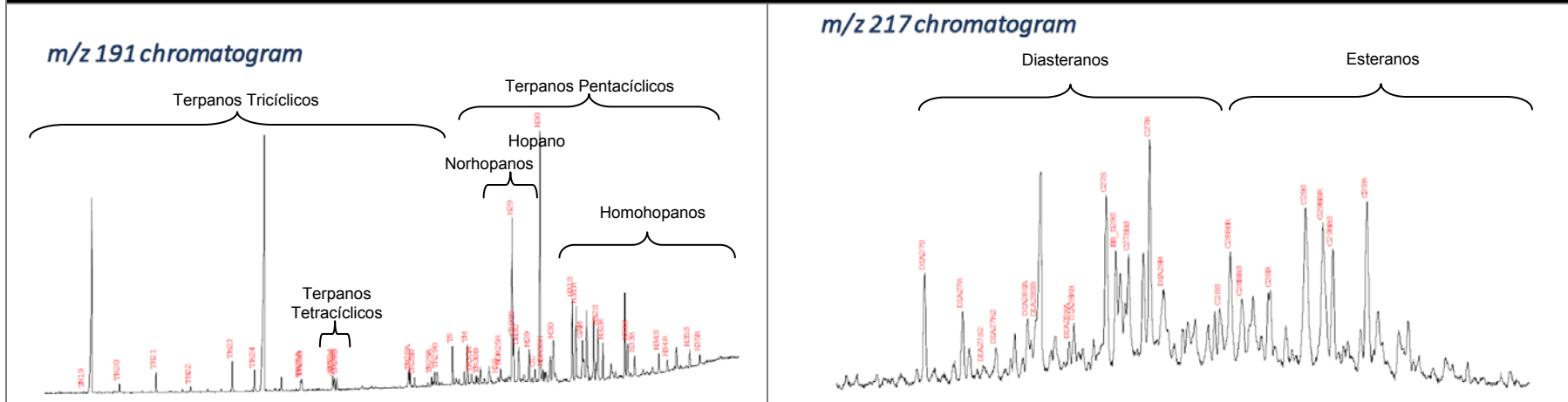
Biomarcadores e Razões	BAR-M-344			BAR-M-388			BAR-M-342			BAR-M-340			BAR-M-252		
	Média	Mediana	Desvio Padrão	Média	Mediana	Desvio Padrão	Média	Mediana	Desvio Padrão	Média	Mediana	Desvio Padrão	Média	Mediana	Desvio Padrão
Hopanos/Esteranos	5,55	5,59	0,67	5,85	6,13	1,00	5,52	5,59	0,43	3,71	5,29	2,58	3,99	5,55	2,45
Tri/Hopanos	0,22	0,21	0,03	0,19	0,19	0,03	0,21	0,20	0,02	0,15	0,19	0,10	0,15	0,20	0,09
TS/TS+TM	0,47	0,49	0,04	0,46	0,45	0,04	0,47	0,49	0,04	0,31	0,44	0,22	0,32	0,44	0,21
Norneo/H29	0,28	0,28	0,02	0,27	0,26	0,02	0,28	0,28	0,02	0,18	0,25	0,13	0,19	0,28	0,12
H28/H30	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01
H29/H30	0,61	0,61	0,04	0,58	0,59	0,04	0,61	0,61	0,04	0,38	0,55	0,28	0,42	0,61	0,28
OL/H30	0,07	0,06	0,02	0,05	0,04	0,01	0,07	0,06	0,01	0,05	0,05	0,03	0,05	0,06	0,03
GAM/H30	0,16	0,15	0,02	0,18	0,16	0,09	0,16	0,16	0,01	0,11	0,14	0,07	0,12	0,15	0,06
H35/H34	0,86	0,85	0,10	0,85	0,86	0,09	0,84	0,84	0,08	0,57	0,78	0,40	0,59	0,79	0,36
25NOR/HOP	0,88	0,88	0,18	0,82	0,77	0,25	0,89	0,88	0,14	0,60	0,73	0,37	0,62	0,83	0,33
TET24/26Tri	0,50	0,49	0,04	0,49	0,48	0,05	0,50	0,49	0,02	0,31	0,47	0,24	0,34	0,49	0,22
21/23Tri	0,76	0,81	0,13	0,81	0,84	0,18	0,78	0,81	0,10	0,51	0,58	0,35	0,57	0,78	0,33
26/25Tri	1,04	1,03	0,08	1,09	1,09	0,06	1,04	1,03	0,04	0,66	1,00	0,49	0,72	1,03	0,47
Terpanos	1381,60	1119,00	668,26	1475,00	1255,50	679,21	1306,61	1133,00	455,15	1052,03	980,00	446,18	1124,91	1119,00	498,99
Esteranos	240,40	194,00	94,74	246,83	228,00	94,10	234,46	214,50	72,93	177,96	177,00	80,00	192,40	190,00	89,11
20S/(20S+20R)	0,52	0,52	0,03	0,54	0,53	0,04	0,51	0,52	0,02	0,33	0,50	0,25	0,35	0,51	0,24
bb/(aa+bb)	0,45	0,45	0,01	0,45	0,44	0,02	0,44	0,44	0,01	0,28	0,43	0,22	0,30	0,44	0,21
% - 27	33,34	33,90	2,14	33,43	33,83	4,07	33,44	33,90	1,62	21,15	31,28	15,85	22,67	31,81	15,12
% - 28	26,29	26,26	1,05	25,62	25,33	1,25	26,42	26,50	0,68	16,37	25,33	12,78	17,90	26,26	12,36
% - 29	40,36	40,26	1,78	40,95	41,40	3,10	39,99	40,31	1,18	25,84	39,98	19,84	27,62	40,26	18,91
DIA/REG Chol	0,48	0,48	0,06	0,50	0,52	0,07	0,48	0,48	0,06	0,33	0,43	0,23	0,33	0,43	0,20

Na **Figura II.6.1.2.44** abaixo são apresentados exemplos representativos dos cromatogramas das análises de sedimentos na Bacia de Barreirinhas para os fragmentos de m/z 191 e m/z 217. É importantes destacar o comportamento similar ao longo das estações mantendo a mesma tendência geral. Para os terpanos (fragmentograma m/z 191) observou-se picos de hopanos, mas também verificou-se picos grandes de compostos não identificados, terpanos tricíclicos e até tetracíclicos (menores), além de concentrações muito baixas de gamacerano (GAM) e oleano (OL). Provavelmente estes compostos não identificados tratam-se de compostos típicos da região, sem padrões de análise. Para os esteranos (fragmentograma m/z 217) observou-se distribuição relativamente homogênea com picos de diasteranos e esteranos (BG/AECOM, 2015).

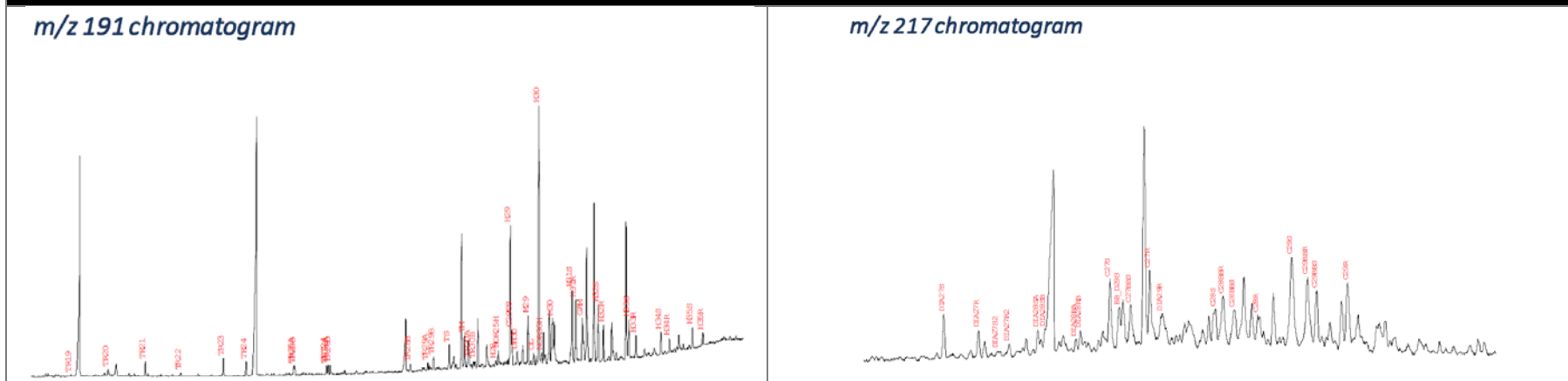
Para uma observação comparativa com os cromatogramas do *Baseline*, onde infere-se ausência de influência de atividades antrópicas, são apresentados resultados para amostras de óleos (**Figura II.6.1.2.45** e **Figura II.6.1.2.46**) e de outros sedimentos (**Figura II.6.1.2.47**). Nas amostras de óleo os hopanos se destacaram no fragmentograma m/z 191, com ausência ou baixa concentração de terpanos tricíclicos, e quanto aos esteranos (fragmentograma m/z 217) há destaque para as cadeias longas, a partir do C27, com maiores concentrações de alguns diasterenos e dos esteranos. Para as amostras de sedimento de áreas potencialmente contaminadas por óleo, o exemplo mostra uma área mais antropizada e uma área controle. O sedimento da área portuária apresentou cromatogramas mais similares aos de óleo, enquanto na área controle os terpanos tricíclicos apareceram mais, comparado ao óleo, e os esteranos tiveram melhor distribuição. Os resultados observados para a área controle se assemelharam mais aos observados para a Bacia de Barreirinhas, embora VEIGA (2003) tenha indicado que mesmo sua área controle apresentou indícios de contaminação petrogênica (BG/AECOM, 2015).

Destaca-se que a presença do pico de hopano (H30) tanto em Maragogipe (VEIGA, 2003), quanto nos sedimentos aqui analisados podem remeter a matéria orgânica associada a óleo. VECCHIA (200) destacou que hopanos inseridos no ambiente de forma natural e recente têm preferência pela configuração $\beta\beta$ e, para hopanos com mais de 31 carbonos, estereoquímica R no carbono 22, o que não ocorreu no *Baseline*. Cabe destacar, entretanto que as análises de biomarcadores apresentam maior aplicação associada a análises comparativas entre locais potencialmente poluídos e óleos, não havendo valores específicos que indiquem contaminação. A afirmação de indício de óleo deve considerar um conjunto de fatores e razões. Como observado pelas razões, a área estudada tem contribuição de sedimentos terrestres e por sua localização em regiões de quebra da plataforma e de canais uma hipótese coerente seria de hopanos como reflexo de sedimentos antigos com matéria orgânica acumulada. Os esteranos, assim como as análises de HTPs e HPAs corroboram a hipótese de ausência local de óleo, além da uniformidade dos resultados entre as estações distantes entre si (o que descarta contaminações pontuais) (BG/AECOM, 2015).

1 – Bloco BAR-M-344



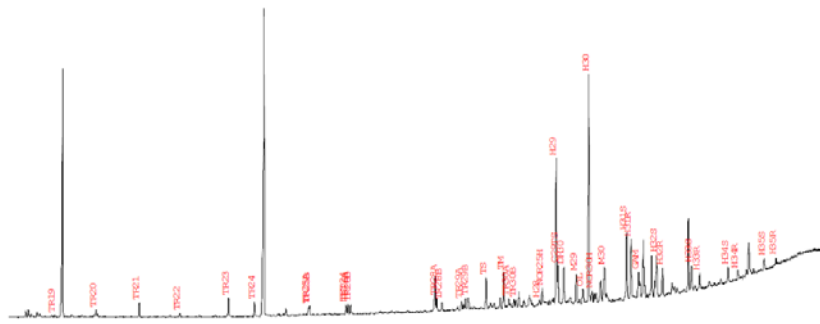
7 – Bloco BAR-M-338



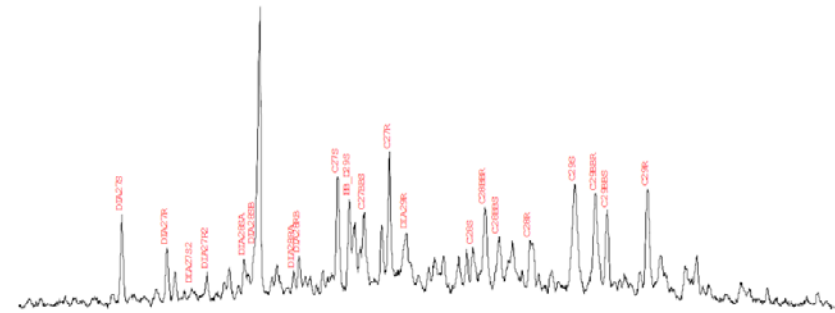
Continua

11 – Bloco BAR-M-342

m/z 191 chromatogram

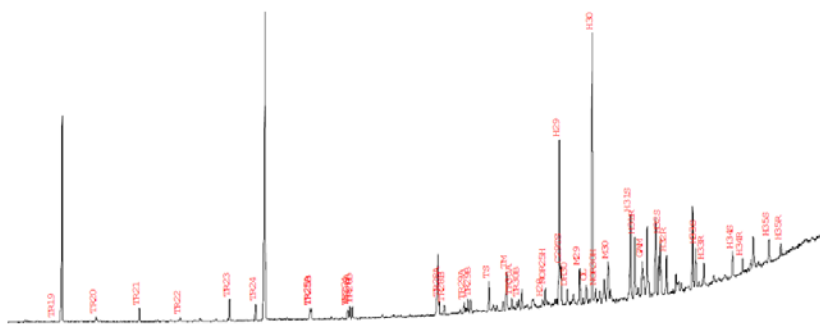


m/z 217 chromatogram

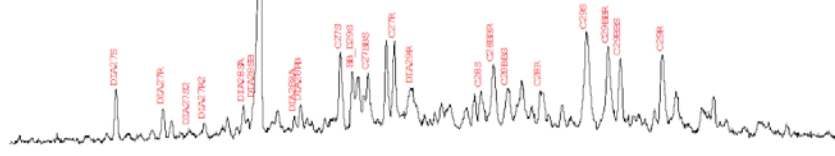


17 – Bloco BAR-M-340

m/z 191 chromatogram



m/z 217 chromatogram



Continua

22 – Bloco BAR-M-252

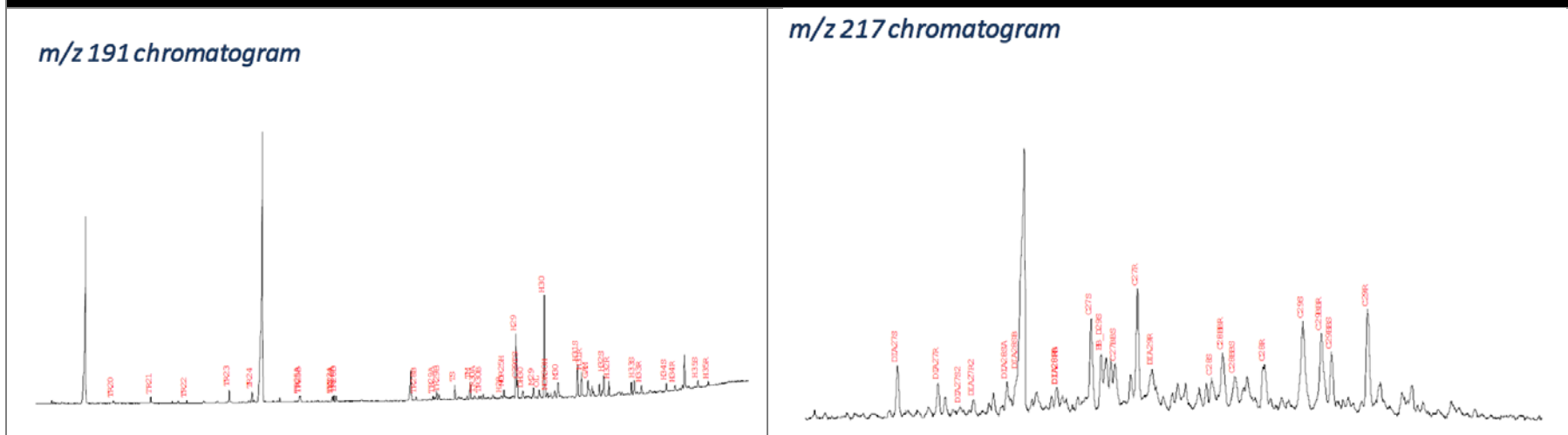


FIGURA II.6.1.2.44 – Exemplos de cromatogramas a partir da análise de biomarcadores de petróleo (terpanos e esteranos) no sedimento marinho durante a campanha *Baseline*, Bacia de Barreirinhas, 2014 (BG/AECOM, 2015).

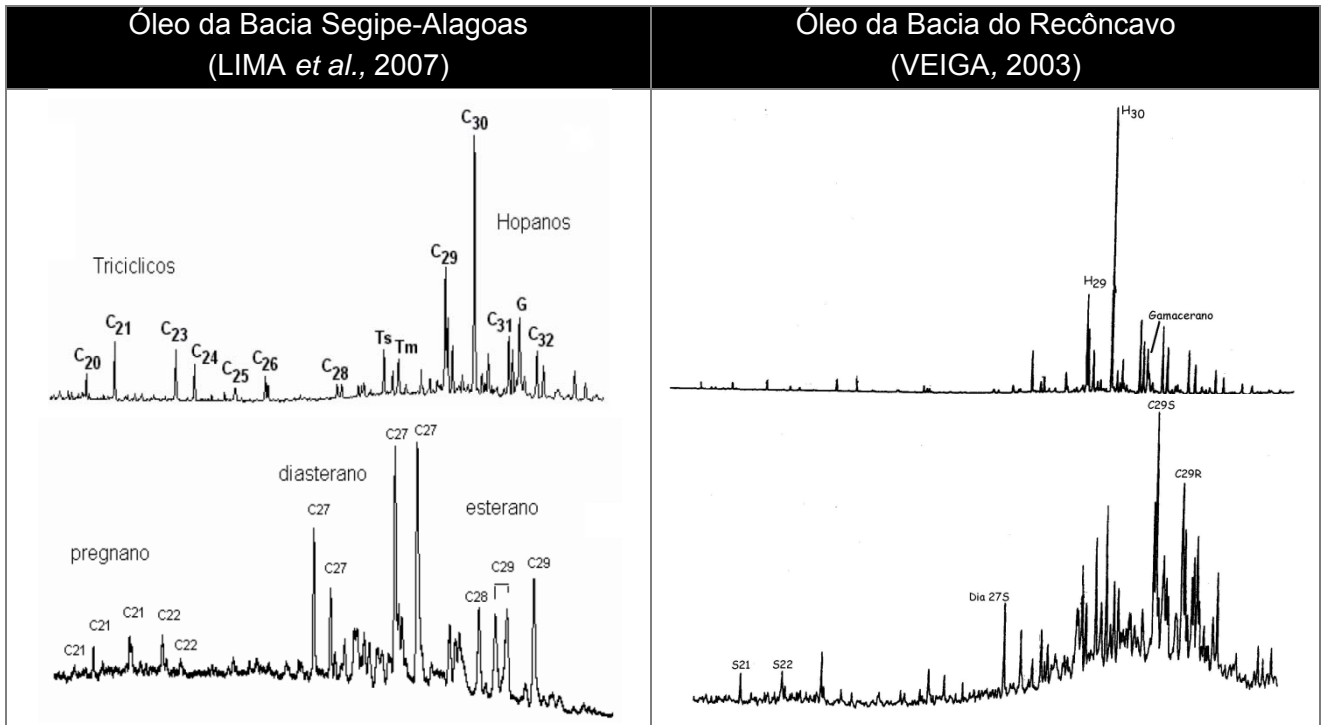


FIGURA II.6.1.2.45 – Exemplos de cromatograma de óleos da Bacia Sergipe-Alagoas e Bacia do Recôncavo (m/z 191 – acima e m/z – 217 - abaixo) (BG/AECOM, 2015).

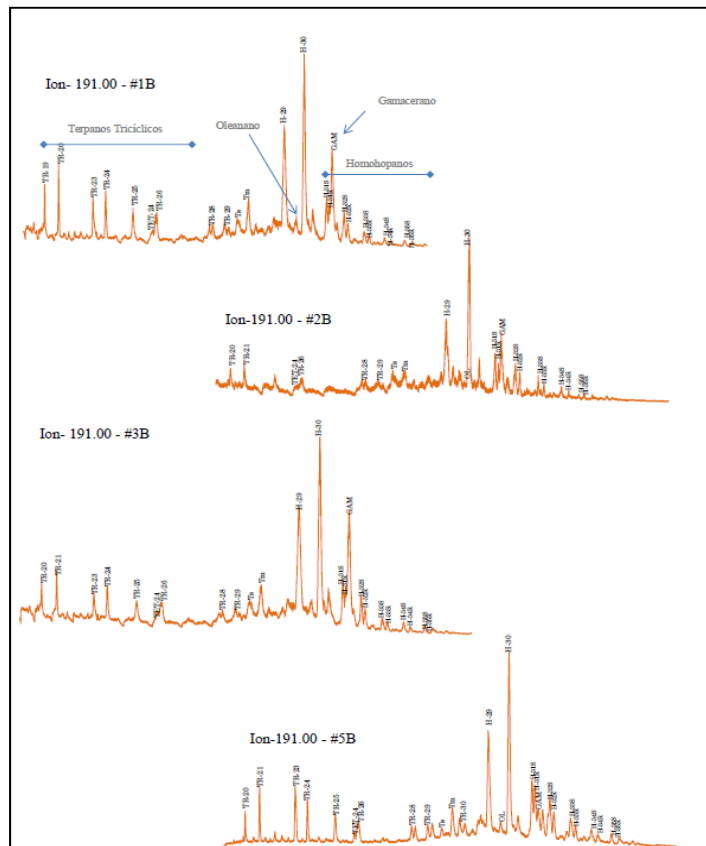


FIGURA II.6.1.2.46 – Exemplos de óleos do Brasil – diversas amostras (m/z 191) (BARRAGAN, 2012).

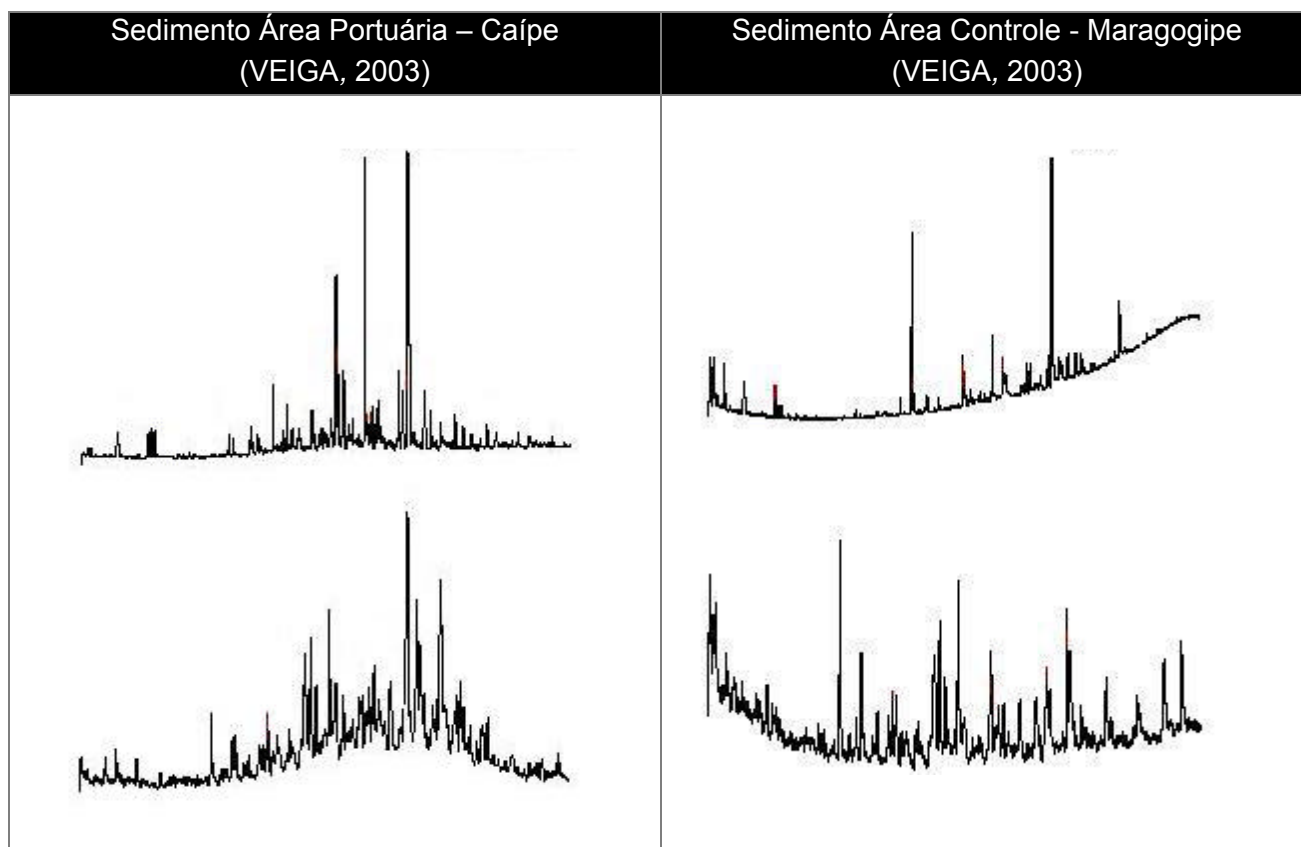


FIGURA II.6.1.2.47 – Exemplos de cromatograma de sedimentos (m/z 191 – acima e m/z – 217 - abaixo) (BG/AECOM, 2015).