

5.1.4.2. Qualidade do Sedimento

A caracterização da qualidade do sedimento da Bacia do Pará-Maranhão foi feita com base nos dados do Projeto de Caracterização Ambiental (*Baseline*) dos Blocos PAMA-M-591 e PAMA-M-624, Bacia do Pará-Maranhão, coordenado pela OGX Petróleo e Gás Ltda e desenvolvido pela parceria PIR2 Consultoria Ambiental Ltda. e FUGRO Oceansatpeg S.A., durante o mês de fevereiro de 2009. Durante esta campanha foram realizadas coletas em 11 pontos amostrais nas áreas dos Blocos PAMA-M-591 (BM-PAMA-16) e PAMA-M-624 (BM-PAMA-17) entre as isóbatas de 50 e 700 m; Tais dados por serem recentes e se localizarem exatamente na área de estudo, permitem uma avaliação local específica e precisa das condições físico-químicas dos sedimentos de fundo dos blocos em questão.

A malha amostral implementada na campanha OGX\PIR2\FUGRO (2009), considerando os parâmetros físicos-químicos, foi composta por 9 estações, sendo quatro estações situadas no bloco BM-PAMA-17 (estações 1, 2, 3 e 4) e cinco estações no Bloco BM-PAMA-16 (estações 5, 6, 7, 8, e 9), distribuídas de maneira aproximadamente uniforme.

O Mapa 5.1.4.2-1 apresenta a localização das estações de coleta de sedimento do estudo OGX/PIR2/FUGRO (2009).

Mapa 5.1.4.2-1. Localização das estações de coleta de sedimento **(A3)**.

Mapa 5.1.4.2-1. Localização das estações de coleta de sedimento (A3).

A estação 9 foi determinada em função da existência nesta locação de um antigo poço perfurado nos anos 70. Assim foi realizada apenas uma coleta de sedimento para verificar a possível existência de uma contaminação local nessa área, previamente ao início de qualquer atividade no bloco pela OGX.

As amostras de sedimentos foram coletadas através do lançamento de um *box-core* de área de 0,25 m² (50 x 50cm). Essa amostragem foi possível devido ao uso de um equipamento robusto (pesado) o suficiente para penetrar no sedimento e obter amostras que não chegassem lavadas ao convés, permitindo assim que fossem subamostrados os estratos superficiais do sedimento.

De cada *box-core* foram retiradas as amostras para cada análise, sendo coletadas amostras da macro e meiofauna em triplicata, devido às características naturais das comunidades bentônicas (distribuição em manchas). Estas amostragens em triplicata visaram propiciar a utilização de técnicas estatísticas mais avançadas, que possibilitassem uma análise ambiental mais precisa da área e também identificar quais dos parâmetros ambientais medidos eram mais importantes na estruturação destas comunidades. As triplicatas foram obtidas através de três lançamentos do *box-core* em cada estação, sendo retiradas uma amostra de macro e uma amostra de meiofauna de cada lançamento.

As metodologias de coleta, preparo e análise utilizadas na campanha de caracterização ambiental estão descritas nos Quadros 5.1.4.2-1 e 5.1.4.2-2, abaixo.

Quadro 5.1.4.2-1. Procedimentos adotados na amostragem de água e no tratamento das alíquotas destinadas às análises dos diferentes parâmetros físico-químicos

AMOSTRA	PARÂMETROS	FRASCARIA	PRESERVAÇÃO/ FIXAÇÃO	CONSERVAÇÃO
Sedimento	granulometria e teor de carbonatos	saco plástico com fecho tipo zip	-	congelamento
	metais (totais e biodisponíveis)	pote plástico 50 mL, tampa de rosca	-	refrigeração
	HTP e HPA	frasco de vidro 100mL, tampa de rosca com batoque de teflon	-	refrigeração
	MOT, COT, nitrogênio, fósforo e sulfetos	frasco plástico 250 mL, tampa de rosca	-	refrigeração
	macrofauna bentônica	pote plástico 1.000 mL, tampa de rosca	formoldeído final a 4%	solução temperatura ambiente
	meiofauna bentônica	pote plástico 250 mL, tampa de rosca	formoldeído final a 4%	solução temperatura ambiente

Quadro 5.1.4.2-2. Metodologia de análise, limites de detecção e de quantificação alcançados dos diferentes parâmetros químicos, físico-químicos, orgânicos e inorgânicos do sedimento.

PARÂMETROS	METODOLOGIA DE ANÁLISE	LIMITE DE DETECÇÃO ALCANÇADO	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO ALCANÇADO
Matéria orgânica total	gravimetria	-	-
Carbono	combustão catalítica	-	-
Nitrogênio	análises colorimétricas	-	-
Fósforo	digestão ácida	-	-
Sulfetos	standard 4500 S2-.F	20 mg.kg ⁻¹	60 mg.kg ⁻¹
Granulometria	gravimetria	não se aplica	
Carbonatos	dissolução ácida	-	-
Ferro total e biodisponível	EPA 6010	5,0 mg.kg ⁻¹	15,0 mg.kg ⁻¹
Alumínio total e biodisponível	EPA 6010	4,0 mg.kg ⁻¹	12,0 mg.kg ⁻¹
Bário total e biodisponível	EPA 6010	5,0 mg.kg ⁻¹	9,0 mg.kg ⁻¹
Cobre total e biodisponível	EPA 6010	0,50 mg.kg ⁻¹	1,50 mg.kg ⁻¹
Cromo total e biodisponível	EPA 6010	0,50 mg.kg ⁻¹	1,50 mg.kg ⁻¹
Chumbo total e biodisponível	EPA 6010	0,15 mg.kg ⁻¹	0,50 mg.kg ⁻¹
Cádmio total e biodisponível	EPA 6010	0,10 mg.kg ⁻¹	0,25 mg.kg ⁻¹
Zinco total e biodisponível	EPA 6010	1,0 mg.kg ⁻¹	2,5 mg.kg ⁻¹
Níquel total e biodisponível	EPA 6010	0,30 mg.kg ⁻¹	1,00 mg.kg ⁻¹
Vanádio total e biodisponível	EPA 6010	0,244 mg.kg ⁻¹	0,732 mg.kg ⁻¹
Mercúrio total e biodisponível	EPA 7471	0,20 mg.kg ⁻¹	0,30 mg.kg ⁻¹
Manganês total e biodisponível	EPA 6010	0,50 mg.kg ⁻¹	1,5 mg.kg ⁻¹
HTP (com n-alcanos e MCNR)	EPA 8015	166 mg.kg ⁻¹	500 mg.kg ⁻¹
HPA (16 compostos prioritários)	EPA 8270	1,5 µg.kg ⁻¹	4,5 µg.kg ⁻¹

a) Textura sedimentar (granulometria, teor de carbonatos e matéria orgânica)

Características do sedimento como a composição granulométrica e química exercem importante papel na estruturação das comunidades bentônicas nos substratos inconsolidados (Snelgrove & Butman, 1994). Assim, é de suma importância avaliar e monitorar as características do sedimento, juntamente com as comunidades bentônicas, buscando um entendimento mais abrangente das eventuais mudanças que estas comunidades podem sofrer. Paralelamente, a caracterização do sedimento fornece subsídios para a distinção de eventuais mudanças nas suas características superficiais em virtude de atividades de exploração e perfuração de poços.

A análise granulométrica do sedimento revelou a predominância de areia em praticamente todas as estações com uma média geral superior a 70%, mas com uma fração variável entre as estações apresentando valores entre 49,82 e 98,7% da amostra (Quadro 5.1.4.2-3 e Figura 5.1.4.2-1). O fracionamento da areia foi igualmente diferenciado entre as estações, apresentando 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 uma participação média bastante inferior a da areia com valores 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% (Quadro 5.1.4.2-3). As amostras coletadas apresentaram uma classificação textural variável sendo classificadas como areia de muito fina a grossa, e de platicúrtica a leptocúrtica (Quadro 5.1.4.2-4).

Quadro 5.1.4.2-3. Composição granulométrica (%) nas amostras de sedimento coletadas nas 9 estações da campanha de *baseline* nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

BLOCOS	ESTAÇÕES	CASCALHO (%)	AREIA MUITO GROSSA (%)	AREIA GROSSA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MUITO FINA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
PAMA-M-624	1 (690)	0,38	0,94	5,83	14,09	14,57	14,39	37,42	12,38
	2 (50)	17,23	23,57	33,45	20,34	4,91	0,51	0	0
	3(50)	31,88	10,83	12,44	14,21	18,27	7,53	2,34	2,51
	4 (70)	27,92	16,23	18,76	19,76	14,72	2,61	0	0
PAMA-M-591	5 (70)	1,9	16,14	40,7	33,81	6,85	0,59	0	0
	6 (180)	1,22	11,31	32,41	30,22	22,34	2,49	0	0
	7 (55)	28,66	15,93	13,41	14,27	13,62	7,31	4,11	2,69
	8 (60)	33,16	10,55	13,01	14,83	17,1	11,36	0	0
	9 (50)	24,79	15,51	14,4	16,28	14,91	7,85	3,6	2,66
Média		18,57	13,45	20,49	19,76	14,14	6,07	5,27	2,25
Desvio padrão		13,83	6,17	11,96	7,39	5,39	4,87	12,17	4,01

*Em negrito a profundidade máxima (m) de cada estação.

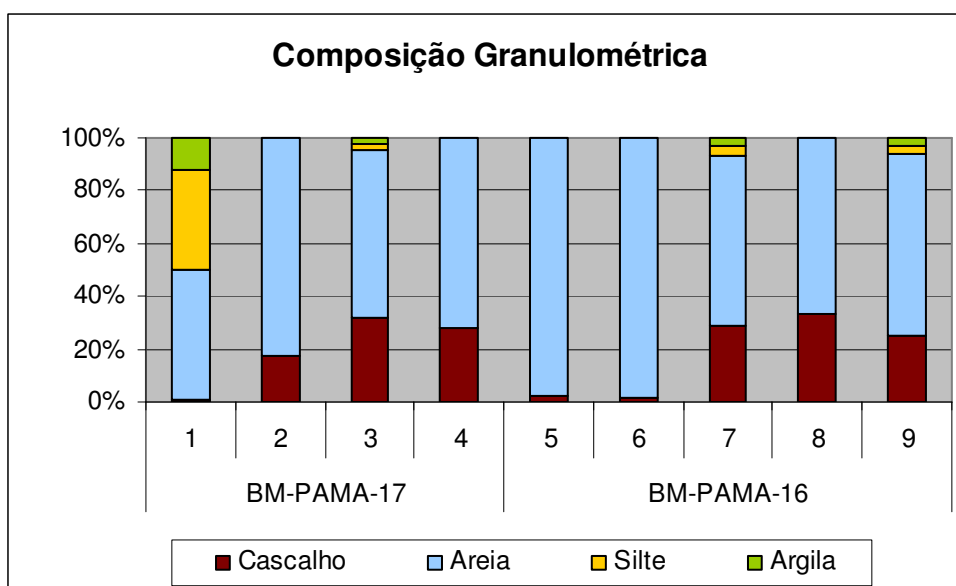


Figura 5.1.4.2-1. Composição granulométrica do sedimento para cada uma das amostras coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

Quadro 5.1.4.2-4. Classificação textural do sedimento nas amostras de sedimento coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. *Em negrito a profundidade média (m) de coleta em cada estação.

BLOCOS	ESTAÇÕES	MÉDIA	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DE FOLK	SELECIONAMENTO	CURTOSE	ASSIMETRIA
BM-PAMA-17	1 (690)	Areia muito fina	Areia lamosa com cascalho esparso	Pobremente selecionada	Leptocúrtica	Assimetria negativa
	2 (50)	Areia grossa	Areia com cascalho	Pobremente selecionada	Platicúrtica	Aproximadamente simétrica
	3(50)	Areia grossa	Cascalho arenoso	Muito pobremente selecionada	Platicúrtica	Assimetria negativa
	4 (70)	Areia grossa	Areia com cascalho	Pobremente selecionada	Platicúrtica	Aproximadamente simétrica
BM-PAMA-16	5 (70)	Areia grossa	Areia com cascalho esparso	Moderadamente selecionada	Mesocúrtica	Aproximadamente simétrica
	6 (180)	Areia média	Areia com cascalho esparso	Pobremente selecionada	Mesocúrtica	Aproximadamente simétrica
	7 (55)	Areia grossa	Areia com cascalho	Muito pobremente selecionada	Platicúrtica	Assimetria positiva
	8 (60)	Areia grossa	Cascalho arenoso	Muito pobremente selecionada	Platicúrtica	Assimetria negativa
	9 (50)	Areia grossa	Areia com cascalho	Muito pobremente selecionada	Platicúrtica	Aproximadamente simétrica

Espacialmente, para a composição granulométrica, pôde ser distinguido um discreto padrão entre as características do sedimento das estações situadas mais distantes do talude (estações 2, 3, 4, 7, 8 e 9), quando comparadas às estações mais próximas ao talude e já no talude (estações 1, 5 e 6). Nas estações situadas mais afastadas do talude, o sedimento, apresenta características granulométricas mais semelhantes entre si, apresentando predominância de areia e cascalho, do que as apresentadas pelas estações próximas ao talude como pode ser observado na variação dos percentuais dos componentes granulométricos (Quadro 5.1.4.2-3).

A composição carbonática do sedimento foi bastante representativa em todas as estações apresentando valores entre 42,74 e 98,07% (Quadro 5.1.4.2-5 e Figura 5.1.4.2-2). Todas as estações, com exceção da estação 1, apresentaram valores superiores a 70% e foram caracterizadas por apresentar grande quantidade de sedimentos biodetríticos.

Quadro 5.1.4.2-5. Composição carbonática (%) nas amostras de sedimento coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

BLOCOS	ESTAÇÕES	CARBONATOS (%)
BM-PAMA-17	1 (690)	42,74
	2 (50)	95,18
	3(50)	91,28
	4 (70)	96,77
BM-PAMA-16	5 (70)	94,06
	6 (180)	74,56
	7 (55)	92,39
	8 (60)	98,07
	9 (50)	90,36
Média		86,16
Desvio padrão		17,68

*Em negrito a profundidade média (m) de coleta em cada estação.

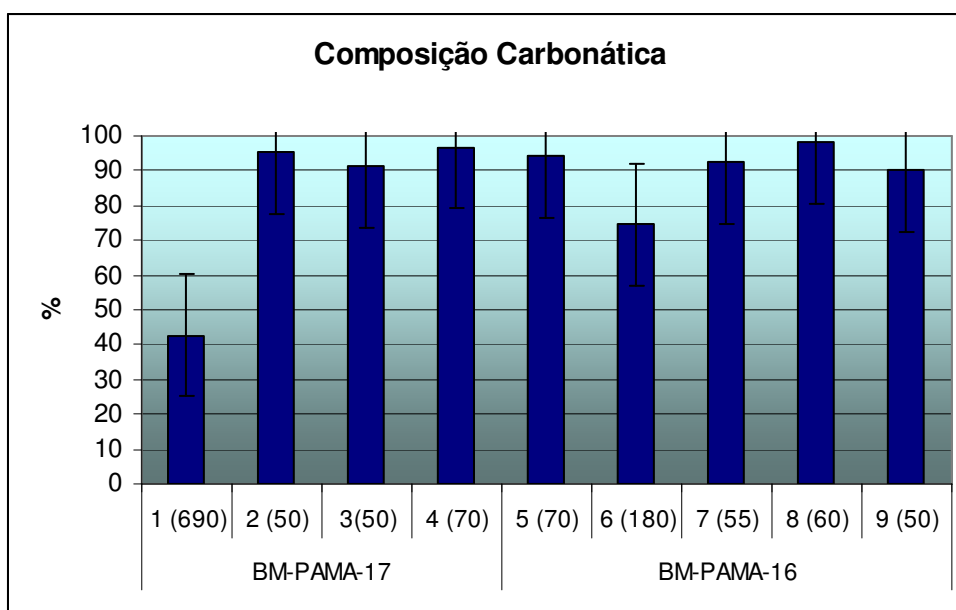


Figura 5.1.4.2-2. Composição carbonática (%) nas 9 estações da campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. Entre parênteses a profundidade máxima das estações.

Para a composição carbonática foi observado um padrão espacial onde com exceção da estação 1 que está localizada no talude em uma profundidade diferente das outras estações (estação 1 com 690 m), todas as outras estações apresentaram uma representatividade de carbonatos superior a 70% (Figura 5.1.4.2-2).

b) Matéria Orgânica, Carbono total, Nitrogênio e Fósforo

A matéria orgânica presente no sedimento é composta por uma mistura de diferentes classes de materiais, que possuem uma vida média no sedimento, que pode variar de segundos a milhares de anos. Desta maneira, o tempo de residência destas diferentes frações que compõem a matéria orgânica no sedimento é dependente da qualidade de matéria que se deposita no substrato (Soertaert *et al.*, 1996). Vários estudos atestam que a qualidade e o tipo de matéria orgânica disponível no sedimento são de suma importância na estruturação das comunidades bentônicas (Fabiano & Danovaro, 1999), bem como para as estratégias tróficas dominantes em um determinado ambiente.

O percentual de matéria orgânica total (MOT) no sedimento variou de 2,09 a 5,78%, enquanto que o carbono total (CT) variou de 1,19 a 3,26% (Quadro 5.1.4.2-6 e Figura 5.1.4.2-3).

Para o nitrogênio Kjeldahl os valores observados entre as estações variaram de 0,096 a 0,157%, e para o fósforo variaram de 0,033 a 0,046% (Quadro 5.1.4.2-6 e Figura 5.1.4.2-4).

Quadro 5.1.4.2-6. Matéria Orgânica, carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total (%) nas amostras de sedimento coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

BLOCOS	ESTAÇÕES	MATÉRIA ORGÂNICA (%)	CT (%)	N-KJELDAHL (%)	PT (%)
BM-PAMA-17	1 (690)	5,78	3,26	0,110	0,042
	2 (50)	5,10	2,85	0,112	0,033
	3(50)	3,45	2,12	0,098	0,038
	4 (70)	4,10	2,17	0,096	0,039
BM-PAMA-16	5 (70)	4,55	2,53	0,084	0,034
	6 (180)	2,09	1,19	0,102	0,046
	7 (55)	3,58	2,03	0,116	0,035
	8 (60)	3,59	2,01	0,136	0,036
	9 (50)	3,94	2,13	0,157	0,038
Média		4,02	2,25	0,112	0,038
Desvio padrão		1,06	0,58	0,022	0,004

*Em negrito a profundidade média (m) de coleta em cada estação.

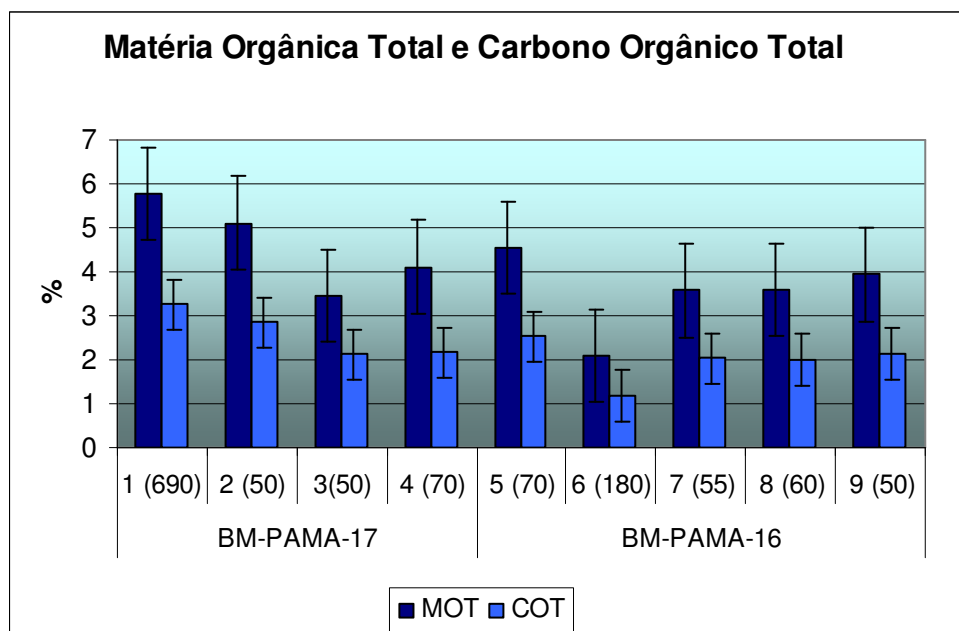


Figura 5.1.4.2-3. Porcentagens de matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT) nas 9 estações da campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. Entre parênteses a profundidade máxima das estações.

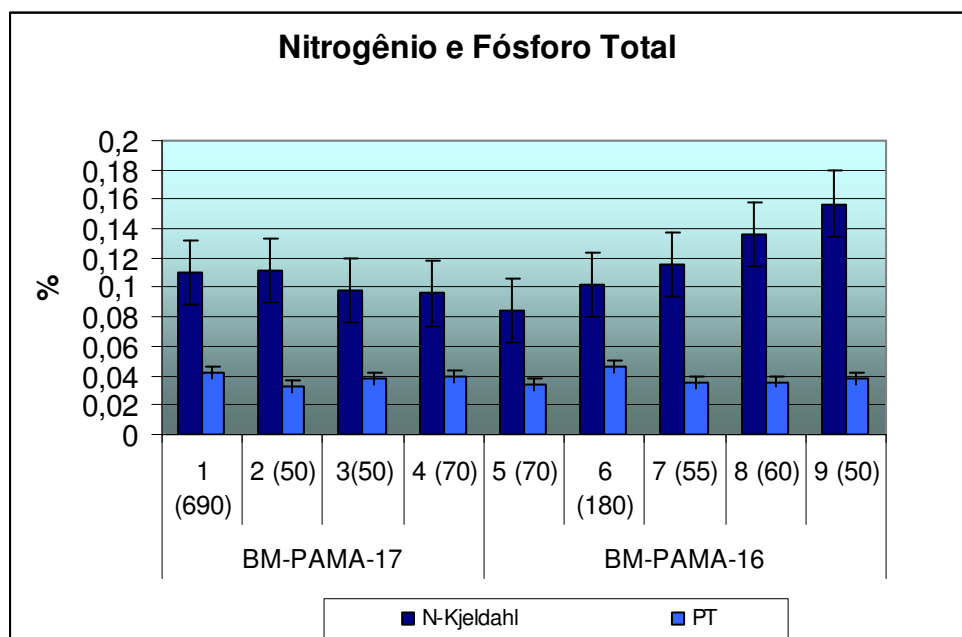


Figura 5.1.4.2-4. Porcentagens de nitrogênio (n-Kjeldal) e fósforo total (PT) nas 9 estações da campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. Entre parênteses a profundidade máxima das estações.

Não foi distinguido qualquer padrão espacial para os percentuais de matéria orgânica total, carbono total, nitrogênio ou fósforo. Os resultados observados podem ser considerados normais, sendo similares aos observados em outros estudos da região norte (Siqueira *et al.*, 2006), enquadrando-se também em resultados observados em outros locais da plataforma continental brasileira (PETROBRAS, 2001; Romankevich, 1984; Jennerjahn & Lttekot, 1997).

As razões entre os elementos constituintes da composição elementar da matéria orgânica (C, N e P) é uma importante ferramenta nos estudos ambientais, pois podem fornecer indicações da origem da matéria orgânica.

Os valores obtidos de nitrogênio e fósforo são equivalentes a fração total do elemento no sedimento. Porém, para determinação da razão C:P e C:N, o correto seria a utilização dos dados de fósforo e nitrogênio orgânico. Logo, existe certa sub-estimativa nos valores desta razão. Os resultados obtidos para razão C:N, N:P e C:P, estão apresentados no Quadro 5.1.4.2-7, abaixo. Os valores médios das razões C:N ($24,23 \pm 7,27$), N:P ($6,85 \pm 1,54$) e C:P ($161,65 \pm 46,65$) encontram-se dentro da faixa de variação esperada para o ambiente marinho. As razões C:N e N:P ainda indicam uma possível contribuição terrestre na matéria orgânica presente nos sedimentos marinhos.

Quadro 5.1.4.2-7. Razões C:N, N:P e C:P na Bacia do Pará-Maranhão (média e desvio padrão) e outros compartimentos marinhos (Lerman *et al.*, 2004).

COMPARTIMENTO		C:N	N:P	C:P	
BM-PAMA-17	1 (690)	34,58	5,99	206,98	
	2 (50)	29,69	7,76	230,30	
	3(50)	25,24	5,89	148,77	
	4 (70)	26,37	5,63	148,38	
BM-PAMA-16	5 (70)	35,14	5,65	198,43	
	6 (180)	13,61	5,07	68,99	
	7 (55)	20,42	7,58	154,67	
	8 (60)	17,24	8,63	148,89	
	9 (50)	15,83	9,44	149,47	
Média		24,23	6,85	161,65	
Desvio Padrão		7,97	1,54	46,65	
OUTROS COMPARTIMENTOS		C:N	N:P	C:P	
Ambiente Marinho	Sedimento		12,5	20	250
	Fitoplâncton		6,97	15,5	108
	Zooplâncton		6,24	16,5	103
	Plâncton médio		6,62	16	106
	Plantas Bentônicas		18,3	30	550
	M.O. em Suspensão		7,69	47,6	366
	Particulado Orgânico	Superfície	55,3	1,9	105
		Fundo	8,15	13	106
Ambiente Terrestre	Plantas Vasculares		91,3	9	822
	Gimnospermas		5,45 - 48,3	24-71	387-1160
	Angiospermas		até 44,6	13-42	até 580

M.O. – Matéria orgânica.

c) Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP), n-alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

A comparação dos teores de HTP (hidrocarbonetos totais de petróleo), observados nas 9 estações da campanha de *baseline* dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, localizados na Bacia do Pará-Maranhão, com dados publicados para outras regiões da costa brasileira não é de fácil acesso ou não existe o acesso a eles.

A medida correta de HTP deve considerar a contribuição de todos os hidrocarbonetos presentes no sedimento, sejam eles alifáticos (incluindo os n-alcanos) ou aromáticos. Portanto,

estudos de avaliação ambiental, que utilizam exclusivamente os teores de n-alcenos como parâmetro, não medem adequadamente os impactos de hidrocarbonetos, já que esses compostos representam apenas uma pequena fração de todos os hidrocarbonetos presentes nos sedimentos, e, além disso, são rapidamente biodegradados no meio ambiente.

A avaliação do teor de hidrocarbonetos em sedimentos marinhos deve ser realizada considerando-se:

- tipo do hidrocarboneto (biogênico ou petrogênico);
- grau de intemperização dos hidrocarbonetos (contribuição recente ou não);
- origem do hidrocarboneto (através da análise de biomarcadores);
- concentração das diferentes frações de hidrocarbonetos (n-alcenos, MCNR e HTP).

Não foram observados valores de HTP nas amostras de sedimento coletadas na campanha de *baseline* dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, localizados na Bacia do Pará-Maranhão (Quadro 5.1.4.2-8), n-alcenos e MCNR (mistura complexa não resolvida) também não foram detectados em nenhuma estação.

Quadro 5.1.4.2-8. Concentrações de n-alcenos ($\mu\text{g.kg}^{-1}=\text{ppb}$), MCNR (mistura complexa não resolvida; $\mu\text{g.kg}^{-1}=\text{ppb}$), Hidrocarbonetos Totais-HTP ($\mu\text{g.kg}^{-1}=\text{ppb}$) coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

BLOCOS	ESTAÇÕES	N-ALCANOS	MCNR	HTP
BM-PAMA-17	1 (690)	ND	ND	<6.041,7
	2 (50)	ND	ND	<3.918,9
	3(50)	ND	ND	<3.918,9
	4 (70)	ND	ND	<3.866,7
BM-PAMA-16	5 (70)	ND	ND	<3.766,2
	6 (180)	ND	ND	<4.142,9
	7 (55)	ND	ND	<3.717,9
	8 (60)	ND	ND	<3.815,8
	9 (50)	ND	ND	<3.815,8

*Em negrito a profundidade média (m) de coleta em cada estação.

Como, não foram detectados n-alcenos nas amostras analisadas, pode-se supor que não houve um acréscimo recente de hidrocarbonetos de origem antrópica ao sedimento e que, no local, existem apenas concentrações de hidrocarbonetos mais complexas e antigas, como

atestam as concentrações de MCNR encontradas, que não podem ser decompostas e assimiladas com rapidez e eficiência pelas bactérias.

Os hidrocarbonetos lineares (n-alcenos) sintetizados por organismos marinhos (plâncton) e terrestres incluem uma série de alcanos lineares com número ímpar entre 15 e 33 átomos de carbono. Os de origem planctônica são constituídos principalmente de n-C15, n-C17, n-C19 e pristano, enquanto os de origem de plantas terrestres apresentam predominantemente n-C25, n-C27, n-C29 e n-C31. Já no petróleo não há preferência de n-alcenos ímpares ou pares, havendo uma distribuição equilibrada destes alcanos (Brassel *et al.*, 1978; Philip, 1985; Boehm & Requejo, 1986; Kennicutt II, 1995; Phillips, 1995). A avaliação da extensão do efeito da biodegradação dos hidrocarbonetos é um dos usos mais importantes da análise cromatográfica de n-alcenos, pois eles são os primeiros compostos a serem afetados pela atividade microbiana (Nishimura & Baker, 1986). Os hidrocarbonetos presentes naturalmente na água e nos sedimentos, produtos de biossíntese a partir de várias formas de vida, como também os hidrocarbonetos fósseis ou petrogênicos, são sujeitos a transformações físicas, químicas e biológicas, algumas das quais afetam a estrutura dos compostos mais lábeis. No ambiente marinho a avaliação das modificações sofridas pelos n-alcenos permite avaliar, por exemplo, o grau de intemperização de hidrocarbonetos.

Não existem limites estabelecidos pelas agências internacionais para os índices de HTP, n-alcenos ou MCNR, mas, segundo Volkman *et al.* (1992 *apud* MAPEM, 2004), concentrações de HTP inferiores a $10.000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (ppb) são consideradas oriundas de sedimentos não poluídos, e aqueles sedimentos cujas concentrações de HTP são superiores a $500.000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (ppb) são considerados contaminados.

Os teores de HPAs, que refletem o somatório dos 16 compostos aromáticos prioritários da lista da EPA, demonstram que as concentrações encontradas no *baseline* dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, localizados na Bacia do Pará-Maranhão não apresentaram concentrações detectáveis de HPAs. (Quadro 5.1.4.2-9).

Quadro 5.1.4.2-9. Concentrações dos 16 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA prioritários ($\mu\text{g.kg}^{-1}$; ppb) coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

ESTAÇÃO	1-NAFTELENO	2-ACENAFTENO	3-ACENAFTALENO	4-FLUORENO	5-FENANTRENO	6-ANTRACENO	7-FLUORANTENO	8-PIRENO	9-CRISENO	10-BENZO(A)ANTRACENO	11-BENZO(B)FLUORANTENO	12-BENZO(K)FLUORANTENO	13-BENZO(A)PIRENO	14-BENZO(GHI)PERILENO	15-INDENO(123-CD)PIRENO	16-DIBENZO(A,H)ANTRACENO	Σ 16 HPA
1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Poucas agências internacionais estipulam teores orientadores de HPAs em sedimentos marinhos. A agência de Ambiental Canadense (*Canadian Sediment Quality Guideline*) considera o teor de $766 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (somatório de apenas 12 dos 16 HPAs) como teor orientador para sedimentos marinhos (CEQG, 2003). Por outro lado, a Divisão de Proteção e Restauração Costeira da NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Agency*) considera o teor de $1684,06 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (somatório dos 16 HPAs) como valor orientador de *threshold* (TEL) para biota marinha (NOAA, 1999). É importante, no entanto, mencionar que o primeiro índice representa um valor orientador para o sedimento, que geralmente deve ser utilizado ao se avaliar se um determinado sedimento está acima ou abaixo de um teor considerado “limite”. O segundo índice (TEL), por outro lado, considera o efeito desses compostos na biota marinha.

d) Metais Totais

A análise química da composição mineral contida nos sedimentos marinhos permitirá futuras comparações amparando o acompanhamento de possíveis alterações no ambiente, uma vez que, a contribuição de alguns metais no sedimento, por exemplo, ferro e manganês, podem ser indicativos do tipo de rocha originária do sedimento. Assim, torna-se fundamental realizar um levantamento desses metais, e de outros, para a melhor compreensão de como os mesmos estão presentes no ambiente e se são oriundos de processos naturais ou antrópicos.

A fração dos metais nos sedimentos considerada biodisponível é aquela que se encontra na fase dissolvida, ou seja, na água intersticial. Assim, sedimentos ricos em sólidos que retêm os metais de interesse sob formas pouco solúveis, não devem produzir respostas toxicológicas (Di Toro *et al.*, 1992). A distribuição dos metais entre sedimento e água intersticial é controlada, basicamente, pela presença de partículas finas, pela quantidade e qualidade da matéria orgânica e pela produção de sulfetos. A degradação microbiana aliada à grande quantidade de matéria orgânica no sedimento geralmente remove todo o oxigênio molecular abaixo da camada superficial, criando condições ideais para a redução do sulfato a sulfeto (Harbison, 1986).

O Quadro 5.1.4.2-10 apresenta os teores totais dos 12 metais analisados nas amostras de sedimento coletadas nas 9 estações da campanha de *baseline* dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, localizados na Bacia do Pará-Maranhão. As concentrações de metais observadas são apresentadas nas Figuras 5.1.4.2-5 e 5.1.4.2-6.

Quadro 5.1.4.2-10. Teores de metais totais (mg.kg^{-1}) coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. (continua...)

METAIS		BM-PAMA-17				BM-PAMA-16				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cd	Total	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08
	Biodisponível	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08	<1,08
Hg	Total	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132
	Biodisponível	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132	<0,132
Pb	Total	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021
	Biodisponível	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921	<0,921
Al	Total	5543,8	116,4	173,1	154,9	169,7	1404,0	189,1	196,3	197,6

Quadro 5.1.4.2-10. Teores de metais totais (mg.kg^{-1}) coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão. (continuação)

METAIS		BM-PAMA-17				BM-PAMA-16				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Al	Biodisponível	263,30	12,40	10,80	10,00	11,90	78,90	9,68	13,10	12,20
Ba	Total	69,50	6,61	45,60	6,99	3,32	360,60	6,13	14,80	36,70
	Biodisponível	7,20	1,65	2,15	2,09	1,69	2,07	1,97	2,13	1,96
Cu	Total	8,31	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40
	Biodisponível	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40	<2,40
Cr	Total	13,40	11,90	10,00	10,20	10,50	6,31	16,90	10,20	11,90
	Biodisponível	<1,98	2,51	1,30	1,81	2,29	<1,98	<1,98	<1,98	<1,98
Fe	Total	5725,0	67,8	99,2	89,2	149,6	3550,0	97,4	142,9	128,9
	Biodisponível	66,60	3,40	3,93	6,18	3,75	29,60	<3,75	4,82	13,50
Ni	Total	6,10	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
	Biodisponível	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
V	Total	14,40	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	9,61	<0,938	<0,938	<0,938
	Biodisponível	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938	<0,938
Zn	Total	17,30	3,82	5,00	3,67	4,88	7,29	3,35	<5,00	3,29
	Biodisponível	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Mn	Total	102,00	9,30	9,74	10,50	9,26	38,80	12,90	13,90	12,50
	Biodisponível	83,20	2,32	6,22	6,48	4,81	22,10	7,63	7,64	7,73

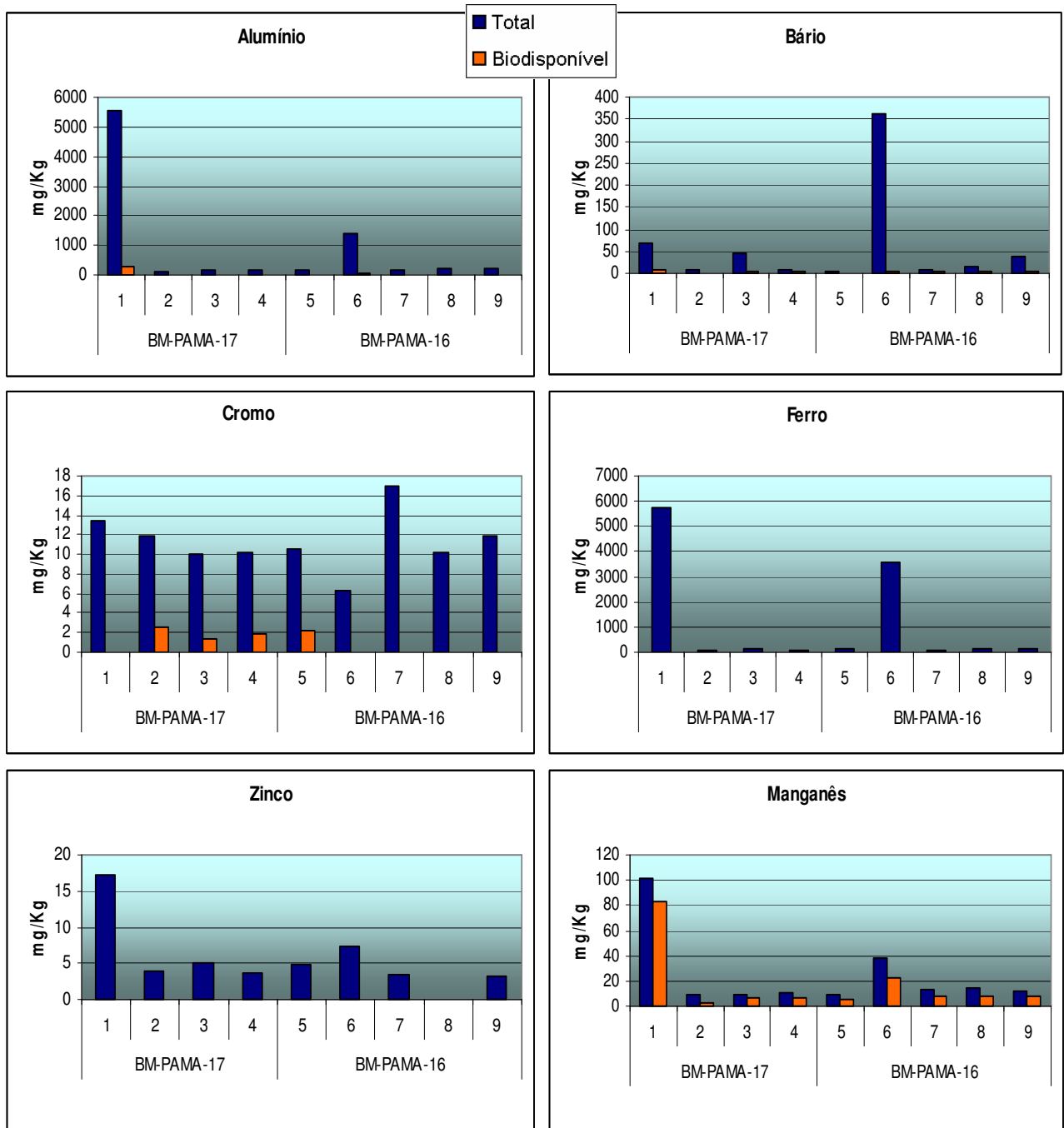


Figura 5.1.4.2-5. Distribuição dos teores de metais (mg.kg^{-1} = ppm), nas 9 estações da campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

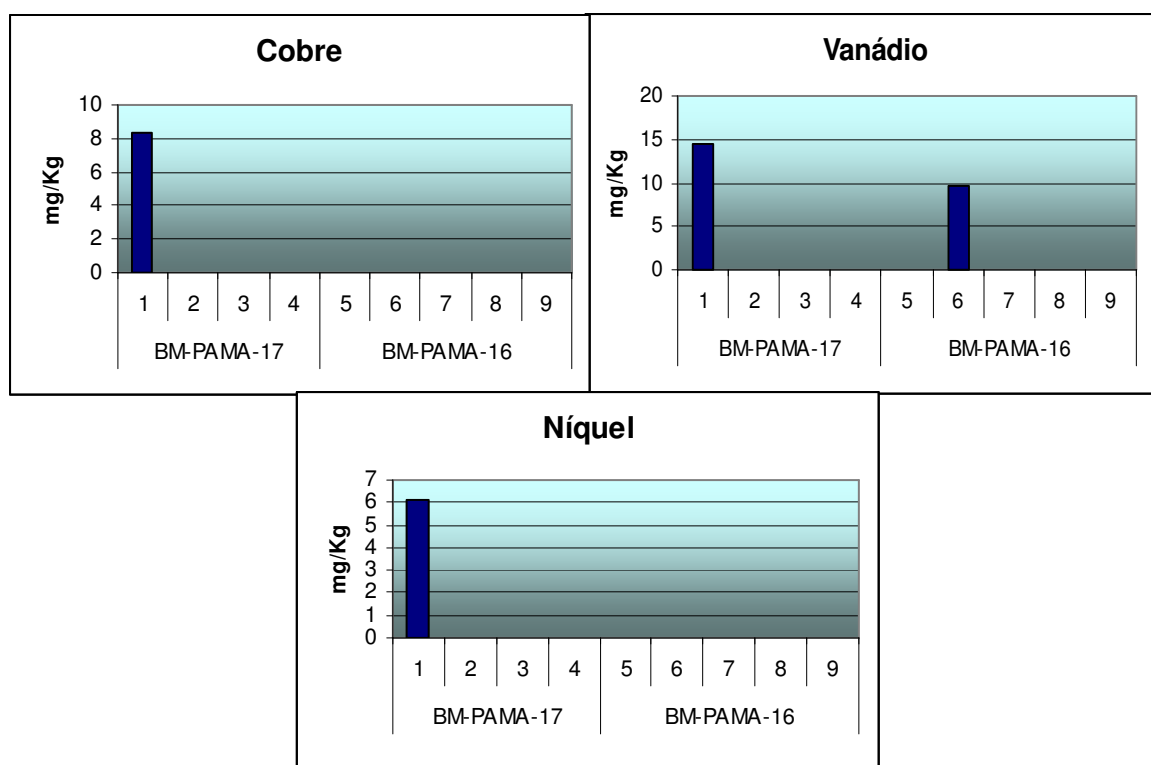


Figura 5.1.4.2-6. Distribuição total de cobre, vanádio e níquel ($\text{mg.kg}^{-1}=\text{ppm}$), na campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

Cádmio, Chumbo e Mercúrio não foram detectados em nenhuma das amostras de sedimento analisadas. De uma maneira geral, para os demais metais analisados, foi constatada uma homogeneidade dos resultados encontrados para cada estação.

As estações 1 e 6 foram as estações aonde os metais apresentaram as maiores concentrações, sendo que tal fato pode estar associado ao tipo de sedimento predominante nessas estações, uma vez que são as únicas estações localizadas no talude e, portanto, em profundidades maiores que as outras estações. Como as concentrações de diversos metais podem ser associadas às diferentes características sedimentares, é natural que sedimentos de granulometria e composição diferentes, apresentem diferentes concentrações de metais. De fato, as elevadas concentrações nessas estações de vários metais como ferro, alumínio, manganês, cobre e bário mostram essa tendência, onde concentrações mais altas estão associadas a uma granulometria mais fina. Ademais, o estudo de Lacerda & Marins (2006) ressaltam que diferentes regiões da plataforma continental brasileira possuem diferentes concentrações de metais de acordo com o tipo de sedimento predominante e se a região em questão está sob uma influência continental, como aporte de um rio que pode promover o aporte de sedimentos de origem continental.

O ferro geralmente é encontrado em elevadas concentrações no sedimento, o que não surpreende uma vez que está associado a vários tipos de sedimento. Ademais, comparando as concentrações de ferro obtidas em outros estudos realizados, nos mais variados tipos de ambiente (costeiros, *offshore*, estuário, baías, etc.), fica evidente que as concentrações observadas refletem um nível de background da área sem apresentar variações anômalas. O mesmo pode ser considerado para o alumínio e o vanádio.

Contudo, o bário apresentou uma concentração bem mais elevada na estação 6 (361 mg.kg^{-1}) o que pode indicar uma influência continental na composição do sedimento desse local, uma vez que o bário no ambiente geralmente está associado às atividades antrópicas, assim como àquelas encontradas em áreas de E&P. Somente as futuras campanhas poderão corroborar se a concentração encontrada faz parte do background local ou se a mesma é devida às características sedimentares particulares desse local, uma vez que não existem atividades antrópicas na área que justifiquem o aumento dessas concentrações ao longo do tempo.

Para o níquel e o cobre, as concentrações encontradas foram inferiores aos limites estabelecidos como TEL (*Threshold Effect Level* - limite abaixo do qual os efeitos tóxicos irão ocorrer raramente), para o sedimento marinho pela NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*; NOAA, 1999) sendo respectivamente $15,9$ e $52,3 \text{ mg.kg}^{-1}$. As concentrações foram observadas apenas na estação 1.

Para o cromo, zinco e manganês as concentrações observadas no presente *baseline*, foram pequenas, apresentando uma certa homogeneidade entre as estações. As concentrações de zinco foram inferiores as do limite estabelecido como TEL (*Threshold Effect Level*), para o sedimento marinho, pela NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*; NOAA, 1999) sendo de $124,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ para o zinco.

Para a maioria dos metais analisados nesse *baseline*, os resultados demonstraram concentrações totais e biodisponíveis que já foram encontradas nos sedimentos marinhos da plataforma continental situada na região norte, assim como em outras regiões do Brasil, como pode ser observado através dos trabalhos de Siqueira 2000; Siqueira *et al.* (2006), Lima *et al.* (2006) e Lacerda & Marins (2006).

e) Sulfetos

Quando plantas e animais morrem, os seus restos são decompostos por bactérias e outros microrganismos que requerem enxofre. Resíduos orgânicos normalmente contêm mais enxofre do que o demandado por estes microrganismos e o enxofre é liberado no meio ambiente como

sulfeto. Na presença de oxigênio molecular, o sulfeto é rapidamente oxidado para sulfato. Por outro lado, na ausência de oxigênio molecular, o sulfato é reduzido a sulfeto. O sulfeto de hidrogênio produzido no sedimento normalmente não entra na coluna de água se existir uma camada aeróbica na superfície entre o sedimento e a água, uma vez que o sulfeto nesta camada seria oxidado. A ausência de uma camada aeróbica na superfície entre o sedimento e a água favorece a entrada do sulfeto na coluna de água, onde é oxidado para sulfato. No entanto, se o sulfeto entrar na coluna de água mais rápido do que pode ser oxidado, isto pode resultar numa concentração residual e possivelmente tóxica de sulfeto.

Nesta campanha de *baseline* dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, localizados na Bacia do Pará-Maranhão, as concentrações de sulfeto variaram de 0,104 mg.kg⁻¹ na estação 1 a 0,560 mg.kg⁻¹ na estação 4 (Quadro 5.1.4.2-11 e Figuras 5.1.4.2-7).

Quadro 5.1.4.2-11. Concentração de sulfetos (mg.kg⁻¹) nas amostras coletadas nas 9 estações da campanha OGX/PIR2/FUGRO (2009) nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.

BLOCOS	ESTAÇÕES	CARBONATOS (%)
BM-PAMA-17	1 (690)	0,104
	2 (50)	0,162
	3(50)	0,378
	4 (70)	0,560
BM-PAMA-16	5 (70)	0,169
	6 (180)	0,257
	7 (55)	0,372
	8 (60)	0,237
	9 (50)	0,408
Média		0,294
Desvio padrão		0,146

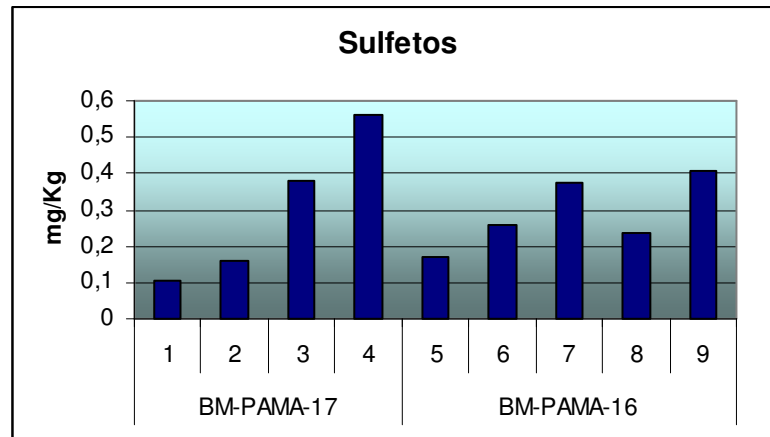


Figura 5.1.4.2-7. Concentração total de sulfetos ($\text{mg.kg}^{-1}=\text{ppm}$), na campanha nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, Bacia do Pará-Maranhão.