

CONTROLE DE REVISÕES – BR 2400.0051803.09.2

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
01	No item VIII.2.3 foram revisadas as discussões da área de Merluza	19/07/12
01	No item VIII.3.4 foram revisadas as discussões referentes a Macrofauna	19/07/12

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
Data	06/03/12	19/07/12							
Elaboração	Mário X.	Mário X.							
Verificação	Cristina F.	Cristina F.							
Aprovação	Mário X.	Mário X.							

VIII – DISCUSSÃO

VIII.1 Granulometria

Os resultados granulométricos obtidos para a área norte (RN-BS e BS500) indicaram que o componente granulométrico predominante é o silte, que apresentou teores médios de 61,03% ($\pm 1,36$) e 59,99% ($\pm 2,47$) em cada uma das localidades, respectivamente. Também para as outras frações granulométricas foi observada grande semelhança: o cascalho é virtualmente inexistente tendo sido encontrado apenas em BS500, onde apresentou média de 0,04% ($\pm 0,14$); os teores de areia foram de 24,62% ($\pm 1,36$) em RN-BS e de 26,79% ($\pm 2,47$) em BS500; e os de argila de 14,35% ($\pm 0,61$) em RN-BS e 13,18% ($\pm 0,49$) em BS500.

Nas duas localidades o substrato é muito pobremente selecionado (FOLK & WARD 1957), contendo em média de 75% de lama (silte + argila) com curvas de distribuição de frequência mesocúrticas, na grande maioria das estações, o que mostra que a distribuição granulométrica aproxima-se de uma curva normal.

Para a área centro, também foram encontradas semelhanças expressivas entre o substrato do poço selecionado (Mexilhão) e o de sua área de referência (RC-BS): os teores de lama foram mais elevados e corresponderam a 92,46% ($\pm 0,57$) e 90,21% ($\pm 1,22$), respectivamente; os teores de areia foram da ordem de 7,54% ($\pm 0,57$) para RC-BS e de 9,79% ($\pm 1,22$) para Mexilhão; e não foi encontrado cascalho nas duas localidades.

Já na área sul foram encontradas, entre as quatro localidades, diferenças na composição granulométrica do substrato. Enquanto RS-BS, Merluza e Tubarão apresentaram substratos classificados entre areia fina e areia média, com teores médios de areia de 61,23% ($\pm 3,89$), 73,84% ($\pm 5,10$) e 54,77% ($\pm 4,26$), respectivamente, em SPS-29 o substrato foi classificado como silte (80,31% $\pm 8,03$) na maioria das estações, e a areia correspondeu a apenas 3,93% ($\pm 8,52$). Em todas as áreas, o substrato foi classificado como mal selecionado.

Substratos mal selecionados são comuns em ambientes de baixa energia onde o sedimento depositado não é remobilizado pela ação de correntes e/ou ondas. No caso das áreas Norte, Centro e Sul as profundidades médias são superiores a 1.000 m, 470 m e 110 m, respectivamente, e as mesmas se encontram entre 130 e 186 km da costa. Consequentemente, o material que compõe o substrato é composto por sedimento relíquia (SHEPARD, 1932; EMERY, 1952 e 1968) ou por material de origem biológica, como conchas de moluscos, carapaças de foraminíferos, esqueletos de briozoários, etc., que, após a morte dos organismos, são incorporados ao substrato e sofrem um progressivo processo de fragmentação que acaba por formar, de maneira endógena, grãos com tamanhos variados, até mesmo de cascalho, dependendo do tamanho dos organismos.

Segundo Gré (1989), “na plataforma externa, em profundidades superiores a 100 m, a composição da areia é biodetrítica” que pode apresentar classes texturais entre -3 e 4 fi e fazer com que o grau de selecionamento seja pobre. Informações que corroboram os resultados aqui obtidos.

Na área Sul, em SPS-29, onde as profundidades são menores (113 a 148 m), o componente granulométrico mais abundante foi o silte, o que fez com que o teor de lama desta localidade fosse de 95,45%, contra 14,07% em Merluza, 29,33% em Tubarão e 31,96% em RS-BS.

Diversos estudos têm demonstrado que os substratos nas plataformas das regiões sudeste e sul do Brasil formam um complexo arranjo de mosaicos com granulometrias distintas e que refletem, em grande parte, processos geológicos e climáticos pretéritos (MARTINS *et alii*, 1967; MILLIMANN *et alii*, 1972; ROCHA *et alii*, 1975; KOWSMANN *et alii*, 1977; KOWSMANN, COSTA & GAMBOA, 1978; MARTINS *et alii*, 1978).

É importante lembrar que o objetivo do presente estudo é o de avaliar os possíveis impactos remanescentes da perfuração pretérta de poços de petróleo e que os mesmos, neste caso específico, foram medidos pelos níveis de contaminação dos sedimentos e por seus reflexos na macrofauna bentônica de substrato não consolidado.

Neste contexto, o substrato (fração de origem mineral mais a de origem biológica) possui relevância primordial, pois determina, em grande parte, o tipo de comunidade biológica existente no local (FLACH *et al.*, 2002). Por este motivo na determinação da granulometria das amostras analisadas neste estudo a fração constituída por fragmentos de animais marinhos foi considerada.

Os dados reunidos sobre as características do substrato marinho sugerem que a Área de Referência Norte (RN-BS) e a Área de Referência Centro (RC-BS) são adequadas para a comparação dos resultados com os poços BS500 (norte) e Mexilhão (Centro). Por outro lado, a Área de Referência Sul não parece ser adequada para ser comparada com SPS-29, que por sua vez apresenta maior similaridade com a área Centro (figura VIII.1-1). Este resultado parece ser decorrente da maior amplitude espacial da área sul e da complexidade de sua estrutura sedimentar (GRÉ, 1989).

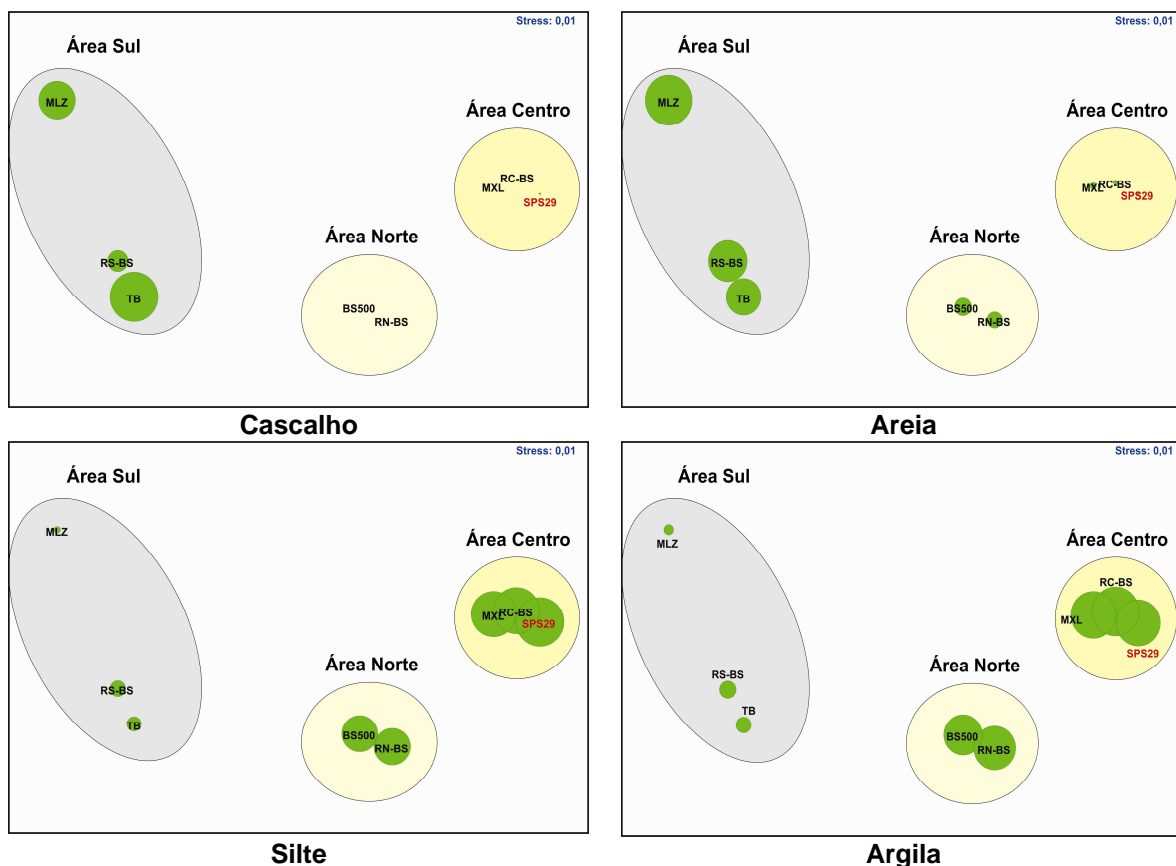


Figura VIII.1-1 - Teores médios de cascalho, areia, silte e argila em todas as áreas. O tamanho dos círculos é proporcional ao valor da variável – Bacia de Santos.

Na grande maioria das estações das áreas profundas (RN-BS, RC-BS, BS-500 e Mexilhão), a assimetria variou entre muito positiva a positiva, o que evidencia processo deposicional de material fino típico de áreas mais profundas da plataforma continental brasileira (SANTOS, 1998).

Nas áreas rasas, em RS-BS e Tubarão, a assimetria também foi positiva. Já em Merluza e SPS-29, a assimetria variou de negativa a muito negativa na maioria das estações.

De acordo com Suguio (1973), o grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Em uma distribuição simétrica, o diâmetro médio e a mediana coincidem e, portanto, não há

assimetria. A assimetria é controlada mais pelo processo deposicional do que por condições de transporte.

Os valores de assimetria são representados como negativos quando se verifica um desvio tendente para o material mais grosso, e positivo quando há tendência de valores mais finos, como é o caso dos sedimentos coletados nas áreas profundas na Bacia de Santos. Pode ocorrer também, o desenvolvimento de assimetria negativa pelo ingresso de uma fração mais grossa. Do mesmo modo, pode-se ter o desenvolvimento da assimetria positiva por adição de finos.

Este é um parâmetro estatístico utilizado para caracterizar ambientes de sedimentação, correlacionando ao regime ou nível energético atuante (SANTOS, 1998).

VIII.2 – Química

VIII.2.1 - Constituintes Orgânicos

Os teores de carbonato (CO_3^{2-}) analisados no estrato 0 – 10 cm nas áreas profundas variaram entre 14,4% (MXL_41_R1) a 27,3% (RN-BS_72_R3). Nas áreas rasas, estes valores variaram entre 19,4% (MLZ_34_R3) a 34,2% (RS-BS_20_R2).

Segundo a classificação proposta por Larssonneur *et al.* (1982) em todas as áreas amostradas ocorre sedimentação do tipo litoclástica (teores de carbonatos inferiores a 30%). Entretanto, Solorzano & Bonilla (1989) afirmam que sedimentos marinhos litoclásticos são aqueles cujos teores de CO_3^{2-} são inferiores a 15% e aqueles com porcentagens de carbonato entre 15 e 50% são denominados litobioclásticos, com origem tanto continental quanto marinha. Os valores obtidos nas áreas avaliadas na Bacia de Santos são maiores do que os valores reportados por Rezende *et al.* (2002) e Ovalle *et al.* (2000) para a Bacia de Campos (Lat. 22°14' 25"S e Long. 40°18'47" W), com valores variando de 10 a 20%. De acordo com KNOPPERS *et al.* (1999), a interação entre a sedimentação terrígena e carbonácea determina a distribuição de sedimentos na plataforma

continental e bacias oceânicas. Quanto maior a influência continental, menor o teor de carbonatos e vice-versa.

Com relação ao comportamento da razão C/N, ela tem sido usada para distinguir entre matéria orgânica sedimentar cuja origem esteja associada a plantas vasculares terrestres (altos valores, acima de 20) ou a algas marinhas (baixos valores, entre 4 e 10), segundo Meyers, 1997. Segundo o autor, tal distinção surge a partir da abundância de celulose, de alta resistência a degradação, nas plantas vasculares e ausência nas algas, e as taxas mais baixas dessa razão se dá pelo fato da matéria orgânica algal ser rica em proteínas, portanto com maiores concentrações de nitrogênio e de menor resistência a degradação. Segundo Saito *et al* (1989), os valores de razão C/N entre 5 e 7 indicam material de origem pelágica e valores entre 8 e 12 representam uma mistura de material oriundo de plâncton marinho e plantas terrestres. Thornton & McManus (1994) definiram razões C/N entre 9 e 19 como sendo indicadoras de condições mistas de matéria orgânica de origem terrestre e marinha. Da mesma forma, Bonetti (2000) adotou valores inferiores a 6 para matéria orgânica de origem marinha e valores superiores a 20 como fonte de depósitos predominantemente terrígenos.

Os valores médios encontrados nas áreas profundas na Bacia de Santos (RN-BS, BS500, RC-BS e MXL) apresentam a razão C/N abaixo e/ou muito próxima de 20 (tabela VIII.2.1-1) e indicam a predominância de matéria orgânica oriunda de material algal. Por outro lado, como os valores situam-se entre 10 e 20, não é possível descartar alguma influência de plantas vasculares. Já nas áreas rasas (RS-BS, MLZ, TB e SPS29) (tabela VIII.2.1-1), a variação dos valores médios obtidos para as razões C/N (10,8, em SPS-29 estrato 5 10 cm e 71,9, em TB estrato 5 -10 cm) em uma mesma região, como observado neste estudo, pode estar relacionada a diferenças granulométricas entre um ponto e outro, a degradação seletiva dos componentes de matéria orgânica, bem como a menor taxa de preservação do N em relação ao COT (BADER 1955).

Assim, quando os sedimentos apresentam elevadas razões C/N, evidencia-se uma maior participação da matéria orgânica de origem continental no sistema, ao

passo que baixas razões C/N significam uma dominância de matéria orgânica de origem marinha (Burone *et al*, 2003).

Da mesma forma que a razão C/N, a razão C/P pode ser utilizada na determinação da origem da matéria orgânica presente nos sedimentos (RUTTENBERG & GOÑI, 1997). Ramirez & Rose (1992) mostram que a razão C/P apresenta uma larga faixa de variação e que diferentes valores estão associados à diferentes fontes: bactérias terrestres com C/P = 43; animais com C/P = 78; plantas com C/P = 790; fungos com C/P = 188 e matéria orgânica do solo com C/P = 108. Esses autores obtiveram valores da razão C/P para sedimentos marinhos, fluviais e solos, variando de 140 a 170.

De acordo com os valores médios obtidos pelas razões C/P nas áreas profundas (de 27,1 – MXL estrato 5-10 cm a 44 em RC-BS estrato 5 -10 cm) e nas áreas rasas (de 48, 3 em SPS29 estrato 5 -10 cm a 148,2 em TB estrato 5 -10 cm), observa-se que a matéria orgânica se encontra na faixa de bactérias, animais até fungos, o que pode estar relacionado à decomposição da matéria orgânica existente na região. De acordo com LIMA (2000), a razão C/P pode ser indicativa do potencial de oxirredução dos sedimentos. Segundo o mesmo autor, baixos valores de razão C/P podem inferir ambiente redutor em decorrência de elevada concentração de P_2O_5 , proveniente da matéria orgânica. O COT, bem como a MOT, misturam dois padrões de comportamento, algumas estações se comportam como o N total, com aumento nas concentrações do estrato inferior para a superfície e outras com aumento da superfície para os estratos inferiores. Esta ausência de padrão também é observada para o fósforo. A matéria orgânica com origem em plantas terrestres apresenta celulose, de maior resistência, enquanto a de origem em algas, mais proteínas e, portanto de menor resistência à degradação. Esta mistura de tipos de comportamento pode ser devido à origem da matéria orgânica em mais de um tipo de fonte (continental e marinha).

Tabela VIII.2.1-1 - Concentração média e desvio padrão dos parâmetros estatísticos granulométricos: matéria orgânica total (MOT), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N total), fósforo total (P total) e razão C/N e C/P, por estrato, para sedimentos nas estações das áreas profundas na Bacia de Santos – RN-BS, BS-500, RC-BS e MXL.

			MOT	COT	N total	P total					MOT	COT	N total	P total			
			(%)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	C/N	C/P			(%)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	C/N	C/P	
RN-BS	BS500	0 a 2cm	X	1,59	0,92	682,8	373,7	16	64	MXL	X	1,19	0,68	1027	617	7,9	29
			DP	0,43	0,25	108,9	31,6	4,6	17,1		DP	0,28	0,15	135	100	2,3	7,1
RN-BS	BS500	2 a 5 cm	X	1,38	0,84	768,5	446,9	13,6	49,2	RC-BS	X	1,33	0,96	823	598	13,9	43
			DP	0,23	0,12	175	52,8	4,7	8,7		DP	0,3	0,36	106	123	5,6	18,7
RN-BS	BS500	5 a 10 cm	X	1,47	0,85	529,5	347,2	19,1	64,4	MXL	X	1,13	0,65	973	625	7,8	27,1
			DP	0,42	0,24	78,7	36,3	5,9	19,7		DP	0,24	0,13	104	68	1,6	5,7
RN-BS	BS500	0 a 2cm	X	1,43	0,8	620,1	419,5	15,6	49,7	RC-BS	X	1,36	0,98	862	623	13,3	41,3
			DP	0,2	0,12	118,7	42,7	3,4	7,6		DP	0,28	0,33	112	71	4,5	15,8
RN-BS	BS500	2 a 5 cm	X	1,33	0,77	431,9	329,5	21,5	59,8	MXL	X	1,14	0,65	930	608	8,2	27,9
			DP	0,35	0,2	100,3	28,4	8,1	20		DP	0,28	0,15	92	90	1,9	6,9
RN-BS	BS500	5 a 10 cm	X	1,33	0,76	511,4	406,1	18	49,1	RC-BS	X	1,41	1,02	793	631	15,3	44
			DP	0,21	0,12	112,3	55,6	4	8,5		DP	0,39	0,45	102	86,5	6,9	24

Tabela XX-2 - Concentração média e desvio padrão dos parâmetros estatísticos granulométricos: matéria orgânica total (MOT), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N total), fósforo total (P total) e razão C/N e C/P, por estrato, para sedimentos nas estações das áreas rasas na Bacia de Santos – RS-BS, MLZ, TB e SPS29..

			MOT	COT	N total	P total	C/N	C/P				MOT	COT	N total	P total	C/N	C/P
			(%)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)						(%)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg Kg ⁻¹)		
MLZ	0 a 2cm	X	3,52	2,03	445,6	717,5	56,3	89,4	TB	0 a 2cm	X	5,04	2,92	657,6	595,4	56	135,3
		DP	0,59	0,34	114,5	180,2	16,2	105,9			DP	1,47	0,83	138,4	120,4	23,7	46,7
RS-BS	0 a 2cm	X	4,05	2,34	740,5	637,4	40,4	99	SPS-29	0 a 2cm	X	2,09	1,21	1592,9	648,8	12,1	48,8
		DP	0,87	0,5	194	133,9	17,2	21,1			DP	0,66	0,39	408,9	90,9	22,4	16,4
MLZ	2 a 5 cm	X	3,48	2,01	415,9	731,3	61,3	74,1	TB	2 a 5 cm	X	5,35	3,05	566,3	593,2	64,8	140,7
		DP	0,66	0,38	107,7	195,3	25	18,4			DP	1,29	0,75	91,1	94,5	17,3	38,5
RS-BS	2 a 5 cm	X	4,23	2,45	656,9	651	46,7	100,6	SPS-29	2 a 5 cm	X	2,08	1,21	1574,2	643,7	11	48,8
		DP	0,91	0,53	153,5	147,6	21,3	27,1			DP	0,7	0,41	389,1	72,1	15,4	16,1
MLZ	5 a 10 cm	X	3,63	2,1	394,8	737,9	64,9	76,2	TB	5 a 10 cm	X	5,66	3,29	586,9	5,66	71,9	148,2
		DP	0,96	0,56	83,9	151,6	23,9	24,1			DP	1,43	0,84	172	1,43	27	42,5
RS-BS	5 a 10 cm	X	4,3	2,49	522,2	640	58,3	104,3	SPS-29	5 a 10 cm	X	2,06	1,19	1641,2	645,4	10,8	48,3
		DP	0,91	0,53	104,7	152,4	19,4	27,4			DP	0,5	0,29	405,8	79	16,4	12,9

VIII.2.2 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são frequentemente encontrados em ambientes marinhos como uma mistura complexa de compostos aromáticos e não aromáticos de origens diversas, introduzidos ao mar por vias naturais ou antrópicas. Com base na sua origem, podem ser classificados como petrogênicos (origem diretamente relacionada ao petróleo), pirolíticos (produzidos por combustão de matéria orgânica ou combustível fóssil) ou biogênicos (relacionados à síntese por organismos).

Os hidrocarbonetos são substâncias constituídas por moléculas compostas de átomos de hidrogênio e carbono, sendo os constituintes majoritários do petróleo. Em função da sua estrutura molecular, classificam-se em três grupos: hidrocarbonetos insaturados, saturados e aromáticos.

Os hidrocarbonetos insaturados ou olefinas são aqueles compostos que apresentam ligações duplas ou triplas entre os átomos de carbono. Embora sejam sintetizados abundantemente por organismos, dificilmente são preservados na natureza, sendo considerados precursores de compostos saturados e aromáticos (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003; TOMASZEWSKI *et al.*, 2006).

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são identificados pela EPA como poluentes prioritários, grupo de compostos que inclui a maior classe de substâncias carcinogênicas e mutagênicas, que, portanto pode exibir toxidez aguda e efeitos subletais em organismos terrestres e aquáticos. O Sediment Quality Guidelines (SQG) reuniu uma base científica para avaliar os efeitos potenciais de contaminantes associados ao sedimento sobre organismos aquáticos. Long & Morgan (1990) estabeleceram, para cada espécie desse contaminante, qual seria o limite mínimo que potencialmente poderia causar algum efeito sobre organismos (ERL – *effect range low*) e o limite médio desse efeito (ERM – *effect range medium*).

Na tabela VIII.2.2-1, são apresentados os valores SQGs limites para HPAs. Todos os valores obtidos nas áreas da Bacia de Santos estão abaixo dos estabelecidos no SQG..

Tabela VIII.2.2-1 - Valores de SQGs para Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos.

HPAs	SQG ERL– ERM (µg/kg p.s.)
Naftaleno	160–2100
Acenaftileno	44–640
Acenafiteno	16–500
Floureno	19–540
Fenantreno	240–1500
Antraceno	85–1100
Fluoranteno	600–5100
Pireno	665–2600
Benzo(a)antraceno	261–1600
Criseno	384–2800
Benzo(b)Fuoranteno	---
Benzo[e]Pireno	---
Benzo[a]Pireno	430–1600
Indeno(1,2,3-cd)pireno	---
Dibenzo[ah]antraceno	63–260
Benzo[ghi]Perileno	---
ΣPAHs	4022–44792

Os valores obtidos em todas as áreas analisadas (rasas e profundas) na Bacia de Santos, para os 37 HPAs medidos foram em sua grande maioria, não detectadas ou apresentam valores iguais ou muito próximos ao limite de detecção do método ($0,010 \text{ mg.kg}^{-1}$). O total de HPAs variou de $0,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Concentrações de aromáticos entre $0,100$ e $0,250 \text{ mg.kg}^{-1}$ indicam baixa contribuição de petróleo (ZANARDI *et al.*, 1999; MEDEIROS, 2000). Para as amostras coletadas na Bacia de Santos, em todas as estações, os valores totais de HPAs foram inferiores a $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, exceto em uma réplica da área SPS29 ($0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) e uma réplica de RN-BS ($0,17 \text{ mg.kg}^{-1}$).

VIII.2.3 Hidrocarbonetos Alifáticos (n-Alcanos, HTPs e MCNR)

Os hidrocarbonetos saturados, cuja estrutura é formada por cadeias lineares, são denominados de alcanos normais, n-alcanos ou n-parafinas. A série homóloga de n-alcanos é constituída por compostos que diferem do seu sucessor pela adição de uma unidade CH_2 , sendo caracterizada pela expressão $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, com “n” normalmente variando de 1 a 40. Os hidrocarbonetos biogênicos são tipicamente caracterizados por uma série de homólogos de cadeia curta (n-C15 – n-C21) se derivados de organismos marinhos, ou de cadeia longa (n-C23 – n-C35) se derivados de plantas terrestres, juntos a uma forte predominância do número de carbonos ímpares na estrutura molecular (VOLKMAN *et al.*, 1992; WAKEHAM, 1996; BUDZINSKI, 1997). Assim, óleos derivados de matéria orgânica terrestre, normalmente, contêm uma abundância de n-alcanos de alto peso molecular, enquanto que aqueles derivados de matéria orgânica marinha são mais ricos em compostos cíclicos e em n-alcanos de baixo peso molecular (< nC22) (TISSOT & WELTE, 1984). Entretanto, os n-alcanos são também constituintes dos produtos de petróleo e a produção e distribuição destes compostos é aproximadamente igual em abundância no que tange a predominância de cadeia de carbonos ímpares e pares.

A quantidade de n-alcanos presente no petróleo é dependente das suas condições genéticas, em especial, da natureza da matéria orgânica original, e corresponde de 15 a 20% do total de hidrocarbonetos.

Os n-alcanos têm sido utilizados como indicadores de contaminação por hidrocarbonetos de origem petrogênica em sedimentos marinhos. Nas tabelas VIII.2.3-1 e VIII.2.3-2, estão apresentadas as concentrações dos hidrocarbonetos totais de petróleo (HTPs), mistura complexa não resolvida (MCNR), total de n-alcanos e as relações pristano/fitano e impar/par nas amostras coletadas nas áreas rasas e profundas da Bacia de Santos.

O somatório dos n-alcanos por amostra variou de $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (TB_21) a $14.915 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (MXL_21). Em relação aos n-alcanos individuais, pode-se observar

que, na maioria das áreas, eles se distribuem predominantemente em dois intervalos: n-C13 a n-C18 e n-C25 a n-C37, ou não apresentam distribuição definida, exceto para as áreas de BS500 e MXL.

Em BS500, os maiores valores individuais ocorrem na faixa do n-alcanos C14 nas estações BS500_2_R3 ($2.339 \mu\text{g.kg}^{-1}$), BS500_6_R3 ($362 \mu\text{g.kg}^{-1}$) e BS500_10_R3 ($3002 \mu\text{g.kg}^{-1}$) que se encontram alinhadas na direção nordeste da área de estudo. Através da comparação da distribuição de n-alcanos destas estações com o perfil típico de distribuição dos alcanos no fluido de base sintética NAF (fluido-base orgânico, baritina, água doce ou salgada e aditivos especiais (MELTON *et al.*, 2000), pode-se observar alguma semelhança no perfil de distribuição dos alcanos, provavelmente indicativo da presença de cascalho revestido com o fluido, diferentemente das demais estações desta área (anexo VII.2.2.2.2-1).

Em Mexilhão as maiores concentrações foram encontradas na faixa do C14 (MXL_21 $785,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$; MXL_34 $601,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$; MXL_33 $341,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e MXL_24 $203,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$) associado aos valores mais elevados na faixa dos n-alcanos C15 a C16 nas estações MXL_21 (C15 - $2.143,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e C16 - $8.218 \mu\text{g.kg}^{-1}$) e MXL_34 (C15 - $1.589 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e C16 - $3.012 \mu\text{g.kg}^{-1}$), o que indica a provável contribuição petrogênica na área.

Pristano (C19) e fitano (20) são constituintes comuns de sedimentos jovens (MEYERS, 2003). Por frequentemente estarem presentes no petróleo, são bons indicadores de contaminação por óleo (VOLKMAN *et al.*, 1992). Estes compostos, quando de origem petrogênica, são encontrados aproximadamente na mesma proporção, diferentemente dos de origem biogênica. Entretanto, também existem fontes naturais destes compostos, fazendo com que seu uso como indicador de contaminação por petróleo deva ser acompanhado por outros indicadores.

Nas áreas profundas a razão pristano/fitano variou de 0,37 (MXL_24) a 3,9 (RN-BS_25), valores ligeiramente superiores a faixa obtida para a Bacia de Santos (0,50 a 2,6) (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002). Nas áreas rasas esta razão variou de 0,23 (TB_53) a 6 (SPS_14).

Existem duas fontes naturais principais de pristano (MEYERS, 2003): pré-processamento do fitol da clorofila-a por herbívoros planctônicos (TISSOT e WELT, 1984); e erosão de rochas sedimentares que contém pristano retido durante o processo de diagênese. Bactérias metanogênicas constituem importante fonte de fitano para o ambiente (RISATTI *et al.*, 1984) e, desta forma, o fitano pode ser considerado um registro da metanogênese no fundo de ambientes lacustres (MEYERS, 2003).

Os HTPs representam a soma dos hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos de petróleo. Apesar de aceito por agências reguladoras de solos impactados por óleo diesel é um parâmetro desaconselhado nas avaliações de risco por não serem consideradas as características físico-químicas e toxicológicas dos constituintes individuais da mistura (cf. item 6.4.3 da norma ASTM E 1739). As concentrações médias dos HTPs variaram de nd (na maioria das estações de RC-BS) a 447 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em TB_11, valores considerados baixos e inferiores aos encontrados por MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002, de 403 a 127.598 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em áreas costeiras.

Assim como os HTPs, a MCNR apresenta moléculas cujas estruturas são resistentes a biodegradação, o que facilita sua permanência nos sedimentos marinhos. Sua presença pode estar associada a resíduos de óleo bruto intemperizado e/ou degradado por microorganismos (VOLKMAN *et al.*, 1992). Em todas as áreas avaliadas, a MCNR apresentou valores médios de concentração baixos variando de 0,33 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ nas estações TB_33 e TB_42 a 426 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ na estação TB_11 (tabelas VIII.2.3-1 e VIII.2.3-2).

Tabela VIII.2.3-1 - Valores médios de concentração ($\mu\text{g kg}^{-1}$) dos n-alcanos totais, HTP, MCNR e relação impar/par medidos nos sedimentos coletados nas áreas profundas da Bacia de Santos – RN-BS, BS500, RC-Bs e MXL.

	RN-BS_6	RN-BS_7	RN-BS_15	RN-BS_25	RN-BS_33	RN-BS_36	RN-BS_39	RN-BS_41	RN-BS_47	RN-BS_52	RN-BS_64	RN-BS_65	RN-BS_67	RN-BS_72	RN-BS_76	RN-BS_84
n-alcanos Totais	635,0	613,7	380,7	940,0	466,7	738,0	409,3	477,7	1045,0	354,3	410,3	392,0	593,0	284,7	296,0	554,0
n-alcanos Pares	294,3	355,7	224,3	634,7	336,3	517,3	277,3	226,7	666,7	179,0	193,3	225,0	392,0	159,7	150,7	320,0
n-alcanos Ímpares	340,7	212,0	138,0	186,0	102,7	191,7	121,7	240,0	289,0	167,0	209,0	168,7	195,0	126,0	141,3	210,0
Impar/par	1,16	0,60	0,62	0,29	0,31	0,37	0,44	1,06	0,43	0,93	1,08	0,75	0,50	0,79	0,94	0,66
Pristano/Fitano	--	2,19	1,36	3,95	1,68	--	--	--	1,30	--	0,00	--	--	--	--	2,77
IPC	2,34	1,34	1,20	0,55	0,63	0,45	0,50	1,60	1,05	1,03	1,14	1,04	0,66	1,07	1,67	1,19
Impar/par <22	0,18	0,81	0,98	0,95	0,59	0,38	0,78	1,32	0,71	1,50	0,86	0,00	0,42	0,00	0,26	0,84
Impar/par >22	1,25	0,57	0,59	0,22	0,29	0,44	0,44	1,08	0,43	0,99	1,13	0,78	0,50	0,82	0,97	0,63
HTP	2,67	3,33	2,00	7,00	3,33	8,67	3,67	1,67	5,67	1,67	2,67	1,67	4,00	1,00	1,00	3,33
MCNR	0,67	1,00	0,33	3,00	0,67	4,67	1,67	0,00	2,33	0,33	0,33	0,00	1,00	0,00	0,00	0,67
	BS500_1	BS500_2	BS500_3	BS500_4	BS500_5	BS500_6	BS500_7	BS500_8	BS500_9	BS500_10	BS500_11	BS500_12	BS500_13	BS500_14	BS500_15	BS500_16
n-alcanos Totais	193,0	2877,3	199,3	62,7	75,0	743,0	96,3	237,3	54,0	1842,0	78,7	112,7	162,0	896,7	84,7	45,0
n-alcanos Pares	23,3	403,7	47,7	13,7	14,7	170,0	16,3	52,7	8,3	164,7	12,7	12,3	40,7	142,7	18,7	8,3
n-alcanos Ímpares	169,7	347,0	96,3	35,0	42,7	151,0	64,0	108,7	36,3	167,3	47,7	82,0	121,3	229,7	56,3	34,3
Impar/par	7,27	0,86	2,02	2,56	2,91	0,89	3,92	2,06	4,36	1,02	3,76	6,65	2,98	1,61	3,02	4,12
Pristano/Fitano	--	3,42	1,88	--	2,00	2,60	3,00	--	--	2,50	1,00	1,00	0,45	2,14	--	--
IPC	14,78	4,98	3,15	7,90	2,17	3,68	5,29	3,35	7,70	4,20	3,88	8,27	1,94	2,31	4,77	4,33
Impar/par <22	1,30	0,74	0,95	1,05	2,03	0,66	1,69	0,72	2,33	0,50	1,37	1,23	1,50	0,71	1,23	3,00
Impar/par >22	15,70	5,85	3,85	8,90	3,33	4,11	6,29	4,06	8,70	4,44	4,72	9,86	3,49	2,88	5,58	5,33
HTP	3,3	13,0	5,0	2,0	3,0	10,0	3,7	6,0	2,3	7,7	1,7	3,0	5,0	8,3	3,0	2,7
MCNR	1,3	6,3	3,0	0,7	1,7	6,0	2,0	3,7	1,0	3,7	0,7	1,0	2,7	4,0	1,3	1,3

Continua

continuação

	RC-BS_1	RC-BS_2	RC-BS_3	RC-BS_4	RC-BS_5	RC-BS_6	RC-BS_7	RC-BS_8	RC-BS_9	RC-BS_10	RC-BS_11	RC-BS_12	RC-BS_13	RC-BS_14	RC-BS_15	RC-BS_16
n-alcanos Totais	60,3	32,7	42,7	26,7	36,7	45,7	67,7	72,0	58,0	583,0	50,7	64,0	134,0	47,7	49,0	47,7
n-alcanos Pares	31,0	16,0	22,7	15,0	16,7	22,3	26,0	33,3	27,3	290,3	39,7	29,0	80,7	28,7	23,3	20,3
n-alcanos Ímpares	29,3	16,7	20,0	10,0	16,7	21,7	37,7	38,7	30,7	185,7	3,3	15,3	39,3	15,3	11,7	11,7
Impar/par	0,95	1,04	0,88	0,67	1,00	0,97	1,45	1,16	1,12	0,64	0,08	0,53	0,49	0,53	0,50	0,57
Pristano/fitano	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,28	--	--	--	--	--	--
IPC	1,09	1,63	1,66	0,95	1,18	1,09	1,37	1,21	0,88	0,61	0,00	0,23	0,05	0,19	0,34	0,12
Impar/par <22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,85	5,60	6,40	4,13	--	--	--
Impar/par >22	0,89	1,04	0,81	0,67	1,00	0,97	1,45	1,16	1,12	0,54	0,04	0,53	0,43	0,53	0,50	0,49
HTP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MCNR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	MXL_21	MXL_22	MXL_23	MXL_24	MXL_31	MXL_32	MXL_33	MXL_34	MXL_41	MXL_42	MXL_43	MXL_44	MXL_51	MXL_52	MXL_53	MXL_54
n-alcanos Totais	14915,0	286,0	346,7	718,7	85,3	192,7	1127,3	6531,0	352,7	320,7	146,3	148,3	119,7	454,7	236,0	273,7
n-alcanos Pares	9818,7	74,0	60,0	158,7	36,3	46,7	233,0	3212,7	107,3	71,3	42,7	38,3	30,0	339,7	110,7	100,0
n-alcanos Ímpares	5096,3	149,3	124,3	191,3	47,7	94,0	412,7	1176,3	127,3	75,3	63,7	62,3	82,3	93,0	104,3	114,7
Impar/par	0,52	2,02	2,07	1,21	1,31	2,01	1,77	0,37	1,19	1,06	1,49	1,63	2,74	0,27	0,94	1,15
Pristano/fitano	1,69	1,00	2,00	0,37	--	3,00	0,38	1,14	0,00	0,00	--	--	--	0,00	0,00	1,00
IPC	0,14	3,50	18,80	3,88	19,80	7,08	3,49	0,56	3,53	2,48	8,00	--	6,12	0,73	1,10	1,14
Impar/par <22	0,30	1,29	1,33	0,95	0,17	0,57	0,81	0,69	2,85	4,53	0,80	0,68	1,08	0,45	1,04	2,16
Impar/par >22	0,19	2,31	5,33	0,99	6,35	6,19	3,08	0,85	1,65	1,98	10,07	25,80	3,72	0,29	1,15	0,99
HTP	246,00	5,00	11,67	8,33	2,00	3,33	15,00	140,67	3,33	2,00	3,33	3,33	1,67	3,33	2,33	3,33
MCNR	147,33	2,67	7,00	4,33	0,33	1,00	9,00	96,00	1,67	0,33	2,67	2,00	0,67	1,33	1,00	1,67

Tabela VIII.2.3-2 - Valores médios de concentração ($\mu\text{g kg}^{-1}$) dos n-alcenos totais, HTP, MCNR e relação impar/par medidos nos sedimentos coletados nas áreas profundas da Bacia de Santos – RN-BS, BS500, RC-Bs e MXL.

	RS-BS _1	RS-BS _2	RS-BS _3	RS-BS _4	RS-BS _5	RS-BS _6	RS-BS _7	RS-BS _8	RS-BS _9	RS-BS _10	RS-BS _11	RS-BS _12	RS-BS _13	RS-BS _14	RS-BS _15	RS-BS _16	RS-BS _17	RS-BS _18
n-alcenos Totais	1347,0	1048,3	1044,3	602,7	871,0	709,7	699,3	702,7	599,0	987,3	865,7	659,0	678,0	825,3	979,0	556,7	591,7	790,0
n-alcenos Pares	610,3	418,7	421,0	234,0	381,7	337,3	287,7	308,3	297,3	424,3	360,7	262,3	300,3	353,0	317,3	231,3	256,0	330,0
n-alcenos Ímpares	736,7	612,3	599,7	335,0	463,0	368,7	391,7	382,7	285,0	510,3	440,7	340,7	364,3	430,7	653,7	274,7	322,0	433,3
Impar/par	1,21	1,46	1,42	1,43	1,21	1,09	1,36	1,24	0,96	1,20	1,22	1,30	1,21	1,22	2,06	1,19	1,26	1,31
Pristano/Fitano	--	0,00	0,50	0,00	--	--	--	--	--	0,67	1,28	0,87	--	1,00	--	3,20	1,00	--
IPC	1,04	1,32	1,30	1,12	1,02	0,88	1,17	1,15	1,04	1,09	1,01	1,39	1,10	1,05	1,98	1,36	1,12	1,13
Impar/par <22	0,84	0,69	0,61	1,17	1,36	1,32	1,32	0,82	0,64	0,82	0,98	1,01	1,31	1,24	1,74	1,06	0,99	1,11
Impar/par >22	1,21	1,56	1,52	1,36	1,17	1,08	1,35	1,28	0,98	1,21	1,25	1,38	1,21	1,18	2,07	1,22	1,30	1,34
HTP	9,33	9,67	8,00	9,33	7,33	7,33	6,67	11,00	9,33	11,00	8,33	8,33	8,67	10,67	8,33	6,67	5,67	9,00
MCNR	4,33	4,67	3,33	4,50	2,67	3,00	3,00	5,00	3,50	4,00	3,00	6,00	3,67	4,00	3,00	3,00	1,67	3,33
	MLZ _21	MLZ _22	MLZ _23	MLZ _24	MLZ _31	MLZ _32	MLZ _33	MLZ _34	MLZ _41	MLZ _42	MLZ _43	MLZ _44	MLZ _51	MLZ _52	MLZ _53	MLZ _54	-	-
n-alcenos Totais	486	391	585	374	220,0	274,3	453,7	179,7	153,7	235,7	201,3	260,3	188,0	175,0	315,3	301,3	-	-
n-alcenos Pares	269	228	299	240	93,3	157,7	144,0	79,7	53,0	68,0	83,7	166,7	105,7	67,0	146,0	143,3	-	-
n-alcenos Ímpares	217	163	286	134	126,7	116,7	309,7	100,0	100,7	167,7	117,7	93,7	82,3	108,0	169,3	158,0	-	-
Impar/par	0,81	0,71	0,96	0,56	1,36	0,74	2,15	1,26	1,90	2,47	1,41	0,56	0,78	1,61	1,16	1,10	-	-
Pristano/Fitano	-	0,67	2,03	-	--	--	0,72	--	--	0,00	--	--	--	--	0,00	--	-	-
IPC	1,2	1,4	11,7	1,0	2,12	0,81	17,46	3,14	21,45	7,75	3,66	0,75	1,13	5,45	1,36	1,60	-	-
Impar/par <22	0,93	0,74	0,27	0,97	1,33	1,10	0,76	0,48	0,07	0,09	0,51	0,11	0,71	0,74	0,61	0,69	-	-
Impar/par >22	0,70	0,65	2,50	0,46	1,24	0,68	2,28	1,30	2,27	2,30	1,49	0,57	0,74	1,68	1,07	1,12	-	-
HTP	5,3	7,3	34,3	9,7	4,33	4,33	13,67	3,33	3,67	4,33	4,67	3,33	2,67	4,33	6,67	4,67	-	-
MCNR	2,7	4,0	24,0	1,7	1,33	0,67	7,33	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,67	1,67	-	-

Continua

continuação

	TB_11	TB_12	TB_13	TB_14	TB_21	TB_22	TB_23	TB_24	TB_31	TB_32	TB_33	TB_34	TB_41	TB_42	TB_43	TB_44	TB_51	TB_52
n-alcanos Totais	744,0	33,0	39,7	355,0	15,7	53,3	119,3	113,7	30,3	29,0	27,0	18,7	159,7	19,0	31,7	82,7	72,7	28,0
n-alcanos Pares	343,0	16,7	27,7	173,7	8,3	24,7	88,3	58,0	19,7	15,3	20,3	5,0	130,7	15,7	20,3	58,3	44,3	16,3
n-alcanos Ímpares	401,0	19,0	16,3	310,0	11,3	28,3	26,7	53,3	13,0	15,7	5,3	14,7	16,3	3,3	12,3	19,3	28,7	13,3
Impar/par	1,17	1,14	0,59	1,79	1,36	1,15	0,30	0,92	0,66	1,02	0,26	2,93	0,13	0,21	0,61	0,33	0,65	0,82
Pristano/Fitano	0,37	--	--	0,36	--	--	0,42	1,00	--	--	--	--	0,92	--	--	1,00	--	--
IPC	1,58	--	--	6,35	4,40	3,85	4,41	6,47	6,40	8,20	--	8,20	0,11	0,38	5,80	1,75	0,79	--
Impar/par <22	1,12	--	0,33	0,39	0,00	--	0,71	0,69	--	--	2,00	--	0,54	--	--	1,00	--	--
Impar/par >22	1,13	0,98	0,46	2,95	1,47	0,89	0,18	0,96	0,54	0,89	0,18	2,73	0,03	0,21	0,48	0,26	0,64	0,71
HTP	447,00	2,67	4,33	170,33	4,00	3,00	4,33	6,00	2,33	2,00	0,33	1,00	1,67	0,00	1,00	3,33	0,33	1,67
MCNR	426,00	1,00	3,00	168,00	3,33	1,67	1,33	3,67	0,67	1,00	0,33	0,67	0,67	0,33	0,67	1,33	0,67	1,33
	SPS-29_11	SPS-29_12	SPS-29_13	SPS-29_14	SPS-29_21	SPS-29_22	SPS-29_23	SPS-29_24	SPS-29_31	SPS-29_32	SPS-29_33	SPS-29_34	SPS-29_41	SPS-29_42	SPS-29_43	SPS-29_44	SPS-29_51	SPS-29_52
n-alcanos Totais	191,7	465,0	903,3	531,7	482,7	218,3	668,7	346,3	642,0	906,2	1296,3	713,7	457,0	513,7	636,7	943,3	720,7	708,3
n-alcanos Pares	76,7	233,7	451,7	222,0	264,7	118,0	337,0	150,7	277,7	479,0	726,0	405,7	246,3	294,3	296,3	516,7	417,3	386,7
n-alcanos Ímpares	115,0	205,3	295,0	300,7	138,3	100,3	246,3	159,0	352,7	331,8	394,7	259,0	212,0	210,7	288,3	339,7	273,0	241,7
Impar/par	1,50	0,88	0,65	1,35	0,52	0,85	0,73	1,06	1,27	0,69	0,54	0,64	0,86	0,72	0,97	0,66	0,65	0,63
Pristano/Fitano	2,47	--	1,81	6,00	1,27	--	--	--	0,00	3,40	5,30	0,53	--	0,63	1,18	0,68	1,00	1,33
IPC	9,13	5,20	3,19	2,74	1,47	1,21	2,39	1,00	2,03	0,73	1,05	0,77	1,02	0,89	1,02	1,06	0,64	0,86
Impar/par <22	1,44	0,82	0,91	1,16	0,78	0,82	0,83	2,39	0,70	0,75	0,69	0,69	0,49	0,63	0,89	0,72	0,78	0,80
Impar/par >22	1,43	0,84	0,36	0,68	0,24	0,64	0,66	0,95	1,34	0,69	0,49	0,60	1,00	0,64	1,01	0,66	0,57	0,50
HTP	30,33	20,00	25,00	130,00	14,00	10,33	12,67	12,33	6,00	9,00	15,00	17,00	6,33	12,33	8,67	8,33	6,67	7,00
MCNR	26,67	15,00	19,33	122,00	10,00	7,33	7,33	6,00	2,67	4,33	8,33	12,67	2,67	8,67	5,00	3,00	2,33	2,67

VIII.2.4 Metais

A avaliação das possíveis alterações nas concentrações de metais na plataforma continental devido a atividades de perfuração e exploração de petróleo e gás demanda conhecimento prévio da variabilidade natural desses elementos nos sedimentos. Flutuações das concentrações advindas do aporte continental e da produtividade biológica marinha podem dificultar a interpretação de resultados de monitoramentos e principalmente de eventos pontuais de contaminação.

Valores de concentração dos metais acima dos valores de referência TEL indicam a possibilidade de indução de efeitos adversos sobre organismos bentônicos e, quando as concentrações se encontram acima dos valores de referência PEL, tais efeitos têm maior probabilidade de ocorrerem (FDEP, 1994; CCME, 1995). Entre os metais analisados, Al, Fe, Mn, Ba e V não possuem valores de referência TEL e PEL, nem os níveis de referência da Resolução CONAMA 344/2004.

As médias de concentração dos metais analisados nas áreas profundas e rasas, os valores máximos e mínimos, os valores de TEL, PEL e os níveis de referência CONAMA 344/2004 nível 1 e 2 encontram-se na tabela VIII.2.4 -1.

Para a maioria dos metais analisados, as médias de concentração encontram-se abaixo do limite estabelecido como valor limiar de referência possível de efeitos TEL e nos valores individuais, considerando todas as réplicas, também a maioria está abaixo do nível de referência PEL, ou seja, aquele em que existe maior probabilidade de ocorrência de efeitos sobre organismos bentônicos.

Tabela VIII.2.4-1 - Concentrações mínimas, médias e máximas de metais (mg.kg^{-1}), em todas as amostras coletadas nos poços e áreas de referências da Bacia de Santos – RJ.

		Al mg.kg^{-1}	Fe mg.kg^{-1}	Mn mg.kg^{-1}	Ba mg.kg^{-1}	V mg.kg^{-1}	Zn mg.kg^{-1}	Cr mg.kg^{-1}	Ni mg.kg^{-1}	Cu mg.kg^{-1}	Pb mg.kg^{-1}	Cd mg.kg^{-1}	Hg mg.kg^{-1}
ÁREAS PROFUNDAS	Média	49.963	22.638	555	200	46,80	43,30	41,30	17,30	12,40	8,50	0,41	0,07
	Min.	23.421	16.541	1.399	76	38,00	26,50	32,40	12,60	4,40	6,70	0,30	0,02
	Max.	56.032	24.737	620	215	53,00	47,50	45,70	19,30	13,80	12,70	0,50	0,12
	RN-BS DP	4.303	1.058	36	6	2,10	2,10	2,00	1,00	0,66	0,99	0,06	0,02
	Média	50.882	19.158	456	761	45,56	40,06	35,84	17,04	11,11	11,06	0,71	0,07
	Min.	38.097	17.221	406	184	42,00	34,20	32,20	15,00	10,00	6,30	0,10	nd
	Max.	57.581	21.069	502	3.060	50,00	62,10	38,40	19,20	12,30	52,90	nd	0,15
	BS500 DP	3.073	886	24	953	1,90	4,84	1,61	0,97	0,53	7,26	1,40	0,02
	Média	64.054	21.719	1.010	216	60,00	59,70	51,30	25,20	10,90	12,60	0,34	0,06
	Min.	31.470	688	487	146	46,00	48,80	41,30	21,00	7,20	9,10	0,20	nd
	Max.	89.133	38.042	2.140	246	66,00	152,00	59,70	58,80	12,40	17,40	0,80	0,32
	RC-BS DP	12.740	7.205	355	21	4,4	16,9	3,91	5,43	1,18	1,61	0,11	0,064
	Média	37.819	53.846	1.658	153	40,40	46,00	40,40	16,60	9,82	7,58	0,78	0,09
	Min.	11.194	16.395	213	25	15,50	31,80	34,20	12,30	7,70	4,80	0,50	nd
	Max.	58.374	77.417	5.646	546	46,00	66,90	49,20	22,80	14,10	10,40	1,10	0,62
	MXL DP	8.101	11.103	1.351	130	4,80	7,80	3,30	2,20	1,13	1,33	0,13	0,10

TEL	-	-	-	-	-	-	124	52	16	19	30	0,7	0,1
PEL	-	-	-	-	-	-	271	160	43	108	112	4,2	0,7
CONAMA 344/2004 Nível 1	-	-	-	-	-	-	150	81	30,9	34	46,7	1,2	0,15
CONAMA 344/2004 Nível 2	-	-	-	-	-	-	410	370	51,6	270	218	9,6	0,71

Continua

Continuação – Tabela VIII.1-1

		Al mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Ba mg.kg ⁻¹	V mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Cr mg.kg ⁻¹	Ni mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹	Cd mg.kg ⁻¹	Hg mg.kg ⁻¹
ÁREAS RASAS	Média	32.850	22.105	1.231	109	51,90	40,30	41,60	17,80	7,61	9,68	0,38	0,04
	Min.	23.421	16.541	1.399	76	38,00	26,50	32,40	12,60	4,40	6,70	0,30	nd
	Max.	43.395	26.548	1.638	142	66,00	204,10	50,20	20,3,	11,20	12,20	0,70	0,10
	DP	5.158	2.185	291	13	5,20	22,00	3,20	2,20	1,25	1,20	0,08	0,02
	Média	20.443	15.440	681	235	34,50	26,70	29,80	9,90	3,61	9,40	0,63	0,06
	Min.	15.275	11.486	378	93	26,00	17,50	22,00	6,40	2,20	5,90	0,30	nd
	Max.	26.197	21.654	1.157	1.665	52,00	77,50	40,50	13,60	6,40	22,80	4,90	0,11
	DP	2.563	2.550	209	351	5,90	9,90	4,40	1,60	0,80	3,20	0,78	0,02
	Média	31.453	22.636	780	530	44,40	38,90	51,60	12,80	6,29	8,08	0,77	0,03
	Min.	20.611	16.399	243	101	30,00	22,00	38,10	7,00	2,80	4,50	0,30	nd
	Max.	43.577	27.320	1.451	7.038	54,00	nd	62,30	16,70	10,70	28,40	9,70	0,04
	DP	5.910	2.874	301	1.295	6,00	8,80	5,70	2,50	1,80	3,20	1,50	0,01
	Média	73.834	39.628	2.143	437	93,30	76,53	70,50	28,65	17,22	15,60	0,47	0,05
	Min.	22.446	14.676	815	161	58,00	54,40	45,20	17,00	11,40	11,40	0,30	nd
	Max.	89.833	44.957	13.651	2.421	100,00	97,00	74,70	31,00	18,60	20,30	0,60	0,13
	DP	13.097	4.339	1.674	409	6,59	5,78	4,18	1,91	1,24	1,53	0,06	0,03
TEL		-	-	-	-	-	124	52	16	19	30	0,7	0,1
PEL		-	-	-	-	-	271	160	43	108	112	4,2	0,7
CONAMA 344/2004 Nível 1		-	-	-	-	-	150	81	30,9	34	46,7	1,2	0,15
CONAMA 344/2004 Nível 2		-	-	-	-	-	410	370	51,6	270	218	9,6	0,71

RN-BS –Referência Norte; BS500 – BS-500; RC-BS – Referência Centro; MXL – Mexilhão; RS-BS – Referência Norte; MLZ – Merluza; TB – Tubarão; SPS29 – SPS-029.

Entre os poços é possível observar uma grande variabilidade. Dentre os poços rasos, SPS-29 destaca-se por apresentar maiores concentrações de todos os metais analisados, exceto cádmio, entretanto, sem atingir concentrações indicadas como potencialmente danosas à biota marinha, segundo Buchman (1999). Estes valores podem ser explicados pela maior presença de sedimentos finos e de matéria orgânica (LACERDA *et al.*, 2006; KENNICUTT, 1995; CHAPMAN *et al.*, 1991). Entre os poços profundos, os valores de metais obtidos são mais homogêneos, contudo, BS-500 apresentou concentrações elevadas de bário.

O bário, presente em fluidos de perfuração na indústria de petróleo, tem sido utilizado como um dos traçadores químicos dos descartes da atividade de perfuração de poços de óleo e gás. Por outro lado, em regiões de alta produtividade, o bário se acumula nos sedimentos marinhos pelágicos, sob a forma de barita biogênica, a qual tem sido utilizada como indicadora de paleoprodutividade nesses ambientes (DYMOND *et al.*, 1992).

De um modo geral, pode ser observado que Ba apresentou os maiores valores e diferenças significativas, na comparação com as demais estações da área, predominantemente entre as estações BS500_2 (média de 2204 mg.kg⁻¹), BS500_6 (média de 1957 mg.kg⁻¹), BS500_10 (média de 2261 mg.kg⁻¹) e BS500_14 (média de 2715 mg.kg⁻¹) alinhadas na direção nordeste da área de BS500, com médias superiores as demais estações, em pelo menos, uma ordem de grandeza. Vale ressaltar que, nestas mesmas estações, ocorreram valores elevados de n-alcanos o que, novamente, sugere contaminação destas estações por fluido de perfuração de base sintética, os quais contém em sua composição n-parafinas e baritina, conforme o fluido BR-MUL, utilizado na perfuração do poço na área de BS-500.

Estudos realizados por outros autores (REZENDE *et al.*, 2002; POZEBON *et al.*, 2005) nesta área, mostraram aumentos significativos das concentrações de Bário em sedimentos sob influência das atividades de perfuração. Metais como Cd, Cr, e Cu apresentaram aumentos de concentração. No entanto, um ano após o término das atividades, estes metais retornaram aos níveis de *background*

locais. Phillips *et al.* (1998) e Phillips *et al.* (2006) em estudos realizados em campos petrolíferos na plataforma do litoral da Califórnia, também relataram aumentos nas concentrações de Ba, Cr, Ni, Pb, V e Zn associados à disposição de material da perfuração (*drilling wastes*).

VIII.3 – Macrofauna

A classificação dos invertebrados bentônicos em categorias de tamanho como macrofauna e meiofauna, foi proposta por Petersen (1911) e Thiel (1983), contudo, não se trata de assunto livre de controvérsias. Segundo Higgins & Thiel (1988), esses critérios têm pouca relação com a classificação taxonômica e nenhuma implicação ecológica.

Essas definições dão à impressão de que os animais pertencem exclusivamente a uma determinada categoria de tamanho (meiofauna ou macrofauna), o que é verdade para alguns filos como Kinorhyncha, Tardigrada e Gastrotricha, por exemplo, que mesmo adultos apresentam tamanhos diminutos. Todavia não corresponde à realidade para outros filos ecologicamente importantes como Nematoda, que domina amplamente em termos qualitativos e quantitativos, e Harpacticoida (Crustacea: Copepoda), que contém espécies em que os organismos maduros podem exceder a 1 mm (HIGGINS & THIEL, 1988).

Neste contexto, é importante mencionar que no presente estudo a macrofauna bentônica foi coletada com malha 0,300 mm de abertura. Visando analisar exclusivamente os organismos da macrofauna, optou-se por excluir os representantes do filo Nematoda (pertencentes em sua maioria à meiofauna), pois seu corpo vermiforme pode ficar aderido na malha da peneira e assim, mesmo os menores exemplares, podem ser eventualmente recolhidos.

Esta opção metodológica foi especialmente importante no que tange à comparação dos resultados obtidos neste projeto com outros realizados pela Petrobras. Vale mencionar que a maior parte da informação sobre a macrofauna bentônica foi produzida em trabalhos desenvolvidos para a Petrobras que adota

esses critérios de forma padronizada em seus estudos em águas profundas (acima de 300 m de profundidade).

Já nos estudos realizados em águas rasas, o critério adotado foi o de utilizar a malha de 0,5 mm de abertura para a separação da macrofauna.

VIII.3.1 - Inventário Taxonômico

Foram identificados 17 filós e dois subfilós de organismos bentônicos nas três áreas (Norte, Centro e Sul): filo Porifera, filo Cnidaria, filo Platyhelminthes (classe Turbellaria), filo Nemertinea, filo Priapulida, filo Mollusca, filo Annelida (classes Polychaeta e Oligochaeta), filo Sipuncula/Echiura, filo Kynorhyncha, filo Pycnogonida, filo Chaetognatha, filo Arthropoda (subfilos Chelicerata e Crustacea), filo Bryozoa, filo Brachiopoda, filo Echinodermata e filo Chordata (classe Ascidiacea). Esses são os principais grupos de invertebrados marinhos e ocorrem em todos os oceanos (GAGE & TYLER, 1996; PEREIRA & SOARES-GOMES, 2002).

Na área Norte (RN-BS e BS500), um total de 149 táxons foi identificado, na área Centro (RC-BS e Mexilhão) foram 111 táxons e para a área Sul (RS-BS, Merluza, SPS-29 e Tubarão) 316 táxons foram relacionados. Consideradas de forma conjunta, 409 táxons foram identificados nas três áreas.

Destaca-se que o nível do detalhamento taxonômico reflete as características do grupo zoológico em questão (riqueza e abundância), o conhecimento dos especialistas e o ambiente que está sendo estudado.

Aditivamente, deve-se mencionar que este trabalho não teve como objetivo o esclarecimento de dúvidas a respeito da classificação das espécies, a discussão de sua posição filogenética ou qualquer outro tipo de avaliação de caráter meramente taxonômico. Ao contrário, valeu-se dessas informações com o único e exclusivo propósito de auxiliar na identificação de possíveis impactos causados pela atividade de perfuração de poços na macrofauna bentônica.

VIII.3.2 Avaliação da Amostragem

Um aspecto que merece ser destacado neste projeto, foi a equiparação do esforço amostral entre as áreas controle (BS500, Mexilhão, Merluza, SPS-29 e Tubarão) e as suas respectivas áreas de referência (RN-BS, RC-BS e RS-BS).

Nas áreas profundas (Norte e Centro), 16 estações foram estabelecidas para cada uma das quatro localidades, enquanto que na área rasa (Sul) um total de 20 estações foi definido.

Dentre as áreas profundas, contudo, não foi possível coletar duas réplicas na estação RN-BS_67, devido à característica do substrato marinho no local que inviabilizou a amostragem.

Em Merluza, na área Sul, apenas 16 estações foram realizadas e em SPS-29 e Tubarão o amostrador utilizado possuía superfície de 400 cm² e não os 900 cm² do equipamento empregado em todas as outras áreas. Com isso, a área total amostrada nessas duas localidades foi de 2,40 m², contra 5,40 m² de RS-BS e 4,32 m² de Merluza.

A probabilidade de coleta de uma determinada espécie depende de sua densidade e de sua distribuição no substrato marinho, com isso esforços amostrais diferenciados levam a diferentes probabilidades de captura e a resultados que quando comparados podem revelar distinções que de fato são decorrentes dos diferentes esforços aplicados e não, necessariamente, de uma diferente distribuição dos organismos.

A figura VIII.3.2-1 ilustra o resultado de um MDS realizado a partir de uma matriz qualitativa da presença dos táxons em cada uma das localidades. O resultado sugere que, apesar dos problemas mencionados acima, o esforço amostral empreendido parece ter sido adequado para caracterizar cada uma delas. SPS-29 destaca-se na área Sul, o que pode ser decorrente do efeito da amostragem ou das características do substrato, conforme abordado e ilustrado no item VIII.1. Granulometria.

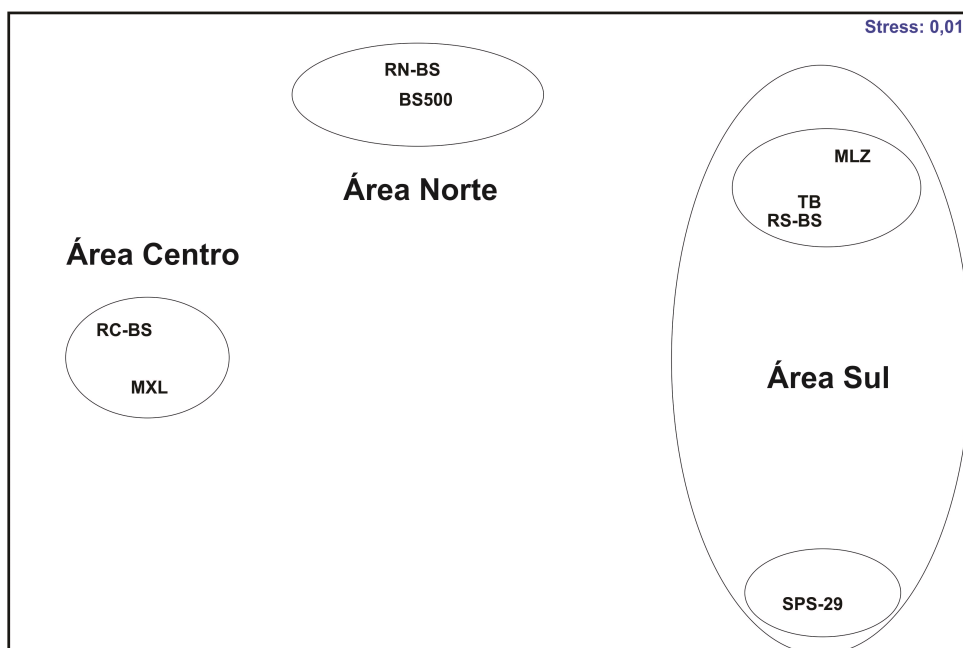


Figura VIII.3.2-1 - MDS resultante da matriz de presença x ausência de táxons nas áreas de referência e poços de controle – Bacia de Santos.

VIII.3.3 Composição Taxonômica

A classe Polychaeta foi o grupo taxonômico mais bem representado em termos qualitativos em sete das oito localidades estudadas. Apenas em Mexilhão esse resultado não foi verificado.

A comparação da composição taxonômica percentual, considerados apenas os quatro grupos principais (Mollusca, Polychaeta, Crustacea e Echinodermata), mostrou resultados muito semelhantes entre as oito áreas.

A avaliação detalhada da composição taxonômica da área Norte indica que foram encontrados 149 táxons quando consideradas as duas localidades, sendo que destes, 78 são comuns (52,35%), 28 são exclusivos de RN-BS e 43 de BS500.

Na área Centro, foram encontrados 111 táxons dos quais 52 (46,85%) foram encontrados nas duas localidades, 28 são exclusivos de RC-BS e 31 táxons o são

de Mexilhão. Destaca-se que Mexilhão foi a única localidade em que o número de táxons de Crustacea (28) superou o de Polychaeta (21).

Já na área Sul, apenas 52 táxons dos 316 identificados ocorreram nas quatro localidades (RS-BS, Merluza, SPS29 e Tubarão). Quando considerados conjuntamente, RS-BS e Merluza somam 245 táxons, sendo que 105 (42,86%) destes ocorreram nas duas localidades e 94 são exclusivos de Merluza. SPS-29 e RS-BS formam uma lista com 215 táxons, sendo 63 táxons (29,30%) comuns e 64 táxons exclusivos de SPS-29. Finalmente, Tubarão e RS-BS somam 201 táxons dos quais 104 (51,74%) ocorreram nas duas localidades e 50 somente em Tubarão.

Fatores ambientais como a profundidade e o tipo de sedimento parecem exercer influência sobre as comunidades de invertebrados bentônicos, pois, de maneira geral, os poços mais rasos também apresentam um maior número de táxons. Contudo, SPS-29, que apresenta características granulométricas semelhantes às áreas profundas, se destaca apresentando valores mais próximos aos das localidades mais rasas (tabela VIII.3.3-1).

Tabela VIII.3.3-1 - Número total de táxons e % de Mollusca, Polychaeta, Crustacea e Echinoderma coletados nas áreas Norte, Centro e Sul – Bacia de Santos.

	Área Norte		Área Centro		Área Sul				Média	
	RN-BS	BS500	RC-BS	MXL	RS-BS	MLZ	SPS29	TB	Profunda	Rasa
Profundidade	1050	1000	409	480	113	131	126	148	-	-
Sedimento	Silte	Silte	Silte	Silte	AMF	AF	Silte	AF	Silte	AF
Mollusca	26	24	26	20	33	40	29	24	24	32
Polychaeta	41	48	41	21	59	70	44	65	38	60
Crustacea	22	27	22	28	39	62	36	43	25	45
Echinodermata	8	13	8	8	12	17	8	12	9	12
Total	97	112	97	77	143	189	117	144	96	148
%	RN-BS	BS500	RC-BS	MXL	RS-BS	MLZ	SPS29	TB	Profunda	Rasa
Mollusca	26,80	21,43	26,80	25,97	23,08	21,16	24,79	16,67	25,07	21,25
Polychaeta	42,27	42,86	42,27	27,27	41,26	37,04	37,61	45,14	39,43	40,13
Crustacea	22,68	24,11	22,68	36,36	27,27	32,80	30,77	29,86	25,85	30,35
Echinodermata	8,25	11,61	8,25	10,39	8,39	8,99	6,84	8,33	9,66	8,26
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Levantamentos oceanográficos com o intuito de avaliar as comunidades bentônicas de substrato não consolidado na plataforma continental da Bacia de Santos são relativamente recentes e podem ser separados, a grosso modo, em pelo menos três grandes categorias:

- Estudos com objetivos estritamente científicos realizados por instituições de ensino e pesquisa, em muitos casos, em parceria com marinha brasileira;
- Levantamentos abrangentes voltados para atender às crescentes demandas da indústria do petróleo, realizados sob a forma de parcerias entre a Petrobras e universidades;
- Levantamentos pontuais realizados pela Petrobras e outras empresas de petróleo, e empresas prestadoras de serviços com vistas ao atendimento legal de condicionantes em licenças de instalação/operação.

Naturalmente, os objetivos dos três tipos de estudos são distintos e isto determina a abrangência espacial, as profundidades, o esforço amostral e o nível do detalhamento taxonômico utilizado na identificação das espécies. Tradicionalmente, Mollusca, Polychaeta, Crustacea e Echinodermata são alvos de detalhamento taxonômico nos levantamentos abrangentes e pontuais. Não só pelo fato de serem os mais conspícuos, mas também por existir um maior número de especialistas nestes grupos.

Consequentemente, a comparação com trabalhos com objetivos puramente científicos apresentam resultados que, com frequência, diferem das outras duas categorias. Este tipo de efeito pode ser percebido no estudo feito por Gesteira et al. (2003) onde os autores comparam o número de táxons encontrados para cada nível de detalhamento taxonômico utilizado em trabalhos que avaliam os efeitos do óleo sobre as comunidades macrobentônicas de substrato inconsolidados.

Por este motivo, na discussão dos resultados aqui obtidos foram utilizados, preferencialmente, dados de levantamentos relacionados com a indústria do petróleo. Ainda assim, problemas relativos à utilização de metodologias distintas de análise de amostras, unidades de resultados e escolha de índices biológicos

dificultam a comparação de resultados. Este é o caso dos estudos realizados pela Petrobras (2003) na campanha de caracterização dos blocos BM-S-8, BM-S-09, BM-S-10, BM-S-11 e BM-S-21 onde apenas 22 espécies foram encontradas; de Petrobras (2007a e 2007b) onde foram utilizados índices biológicos não utilizados normalmente e Chevron (2005) onde as densidades foram expressas por litro de sedimento coletado.

Estudos realizados nas bacias de Campos e Santos têm mostrado o mesmo tipo de resultado aqui encontrado, com algumas variações locais. No primeiro estudo ambiental dessa natureza realizado pela Petrobras (TOMMASI, 1993) cobrindo toda a Bacia de Campos entre as isóbatas de 20 e 200 m, o subfilo Crustacea foi o grupo dominante com 168 táxons (principalmente Amphioda e Brachyura), seguidos dos moluscos bivalves com 76 e dos Polychaeta com 59 táxons.

Na Bacia de Pelotas (costa sul do Brasil), foram identificados 108 táxons com predominância de Annelida-Polychaeta, Mollusca e Crustacea (XIMENEZ, 2000). Posteriormente, em um amplo diagnóstico realizado nas bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, o grupo Polychaeta foi relatado como o mais bem representado na Bacia de Santos, em termos de número de táxons, sendo seguido pelo subfilo Crustacea e pelo filo Mollusca (MMA/PETROBRAS/AS/PEG, 2002).

No bloco BM-S-12, situado na Bacia de Santos (PETROBRAS, 2004), também foi constatada a prevalência de táxons de Polychaeta seguido de Crustacea e de Mollusca, em duas campanhas. Nos estudos realizados pela PETROBRAS (2004 e 2005) em SS-11, também na Bacia de Santos, foram encontrados, em três campanhas com intervalos de seis meses, 102, 101 e 113 táxons pertencentes a 14, 13 e 11 filos, respectivamente.

Um estudo realizado também com o objetivo de avaliar os impactos pretéritos da perfuração de poços de petróleo (PAI-Bacia de Campos), identificou a dominância qualitativa da classe Polychaeta em 12 das 13 localidades abordadas, sendo que, na única exceção, os Mollusca apresentaram o maior número de táxons (PETROBRAS, 2007).

Em outros estudos realizados em regiões profundas, a dominância dos três grupos (Mollusca, Annelida-Polychaeta e Crustacea) vem sendo relatada por autores que reportam as suas representatividades com algumas variações: GRASSLE & MACIOLEK (1992), em um trabalho entre 1.500 e 2.000 m de profundidade na costa atlântica da América do Norte, relatam composição de 13% para Mollusca, 46% para Annelida-Polychaeta e 23% para Crustacea; em um outro estudo realizado por WITTE (2000), no mar da Arábia em profundidades maiores que as mencionadas anteriormente (3.190 a 4.420 m), o maior número de táxons pertencia ao filo Crustacea, aparecendo os Annelida Polychaeta como o segundo grupo em importância em algumas localidades.

Segundo Gage & Tyler (1996), a macrofauna bentônica dos oceanos é dominada pela classe Polychaeta que representa de 50 a 75% de todos os táxons encontrados e secundariamente pelo subfilo Crustacea. Outros filos comumente presentes, mas não tão bem representados segundo os autores (GAGE & TYLER, op. cit.), são Nemertinea, Sipuncula, Pogonophora, Priapula e Echiura.

Em locais mais rasos, a dominância qualitativa de Polychaeta, Crustacea e Mollusca também têm sido constatadas: Gesteira (1992), em um estudo realizado no Atlântico Norte na Galícia e na Bretanha relata Polychaeta como o grupo com maior representatividade taxonômica, seguido de Crustacea e Mollusca.

Como se pode constatar, a composição taxonômica obtida no presente estudo encontra-se de acordo com o descrito para a Bacia de Santos e outros locais da costa brasileira e do mundo.

Vale destacar, que foram encontrados valores altos de n-alcenos na faixa de C₁₄ a C₁₆, que correspondem ao fluido de perfuração em BS500 e em Mexilhão. Contudo, os resultados obtidos para a composição taxonômica não permitem inferir por alteração deste aspecto da comunidade macrobêntica dessas duas localidades.

No que tange ao número total de táxons encontrados por estação na área Norte, as maiores variações foram registradas em BS500 onde o valor médio foi superior ao de RN-BS no estrato superficial e idêntico nos estratos inferiores (2-5 cm e 5-10 cm) (figura IX1.3.3-1).

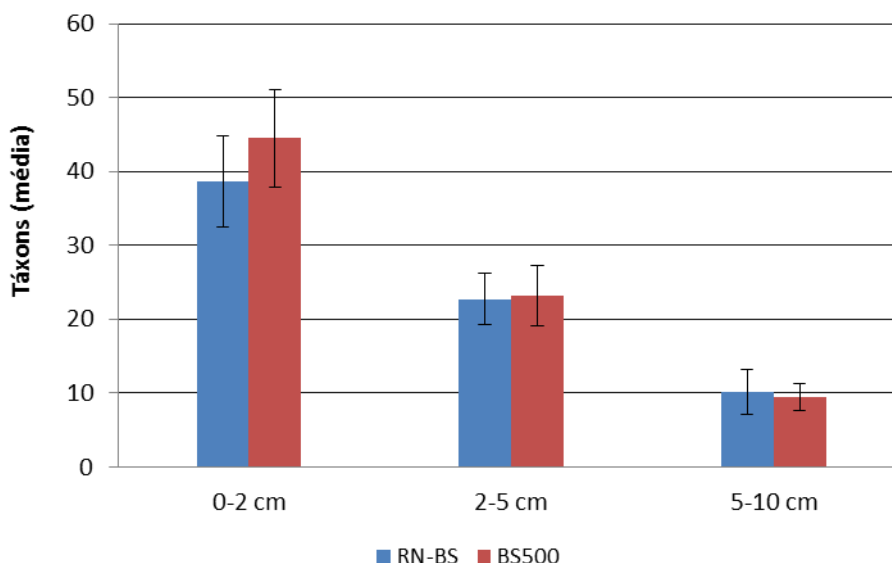


Figura VIII.3.3-1 - Número médio de táxons e respectivos desvios padrão (\pm) em RN-BS e BS500 – Área Norte – Bacia de Santos.

Os dendrogramas dos três estratos das duas áreas mostram similaridades acima de 50% e mistura de estações, o que resultou em diferenças não significativas entre as duas áreas. Mesmo havendo sido encontradas concentrações expressivas de n-alcanos C_{14} , C_{15} e C_{16} nas estações BS500_2 e BS500_10, a composição da macrofauna bentônica não revela nenhum indício de alteração causado pela perfuração.

Na área Centro o número total de táxons encontrados em Mexilhão apresentou variabilidade um pouco maior e mais alta no estrato superficial (0-2 cm), já nos outros dois estratos (2-5 e 5-10 cm), o valor médio foi mais baixo, mas as faixas de variação foram muito próximas (figura VIII.3.3-2).

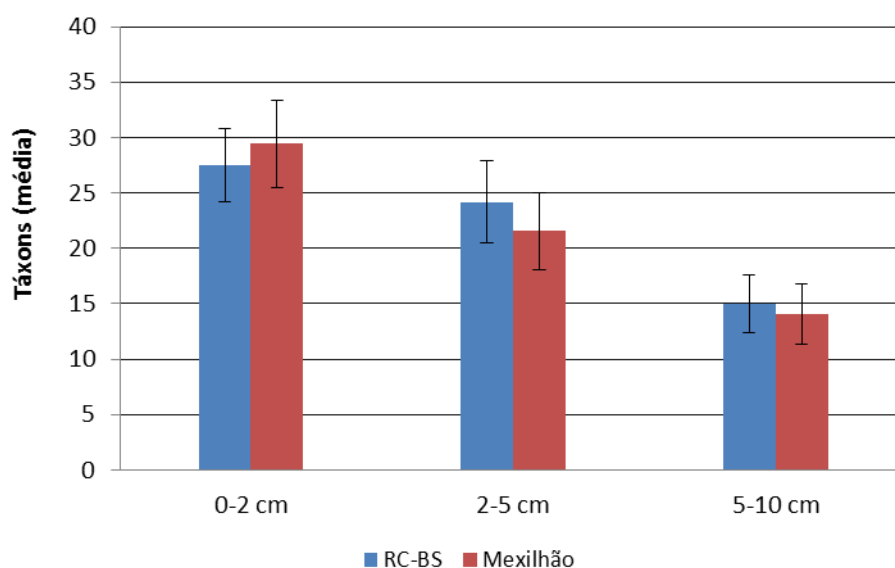


Figura VIII.3.3-2 - Número médio de táxons e respectivos desvios padrão (+) em RC-BS e Mexilhão – Área Norte – Bacia de Santos.

Os resultados obtidos nas análises de agrupamento para os três estratos sugerem fortemente que as duas áreas apresentam as mesmas comunidades bentônicas, contudo a estação MXL_21 aparece destacada com similaridade inferior a 50% nos três estratos, e com diferenças significativas em relação a todas as outras.

No estrato inferior, também se destacam as estações MXL_23 e MXL_24. As duas estão entre as que apresentaram altas concentrações de C₁₄, C₁₅ e C₁₆, contudo nas estações MXL_33 e MXL_34, também foram registradas concentrações desses n-alcenos e as mesmas se encontram destacadas em outros agrupamentos com similaridades acima de 55%. Esses resultados sugerem que, neste estrato (5-10 cm), as baixas similaridades não são decorrentes de efeitos da contaminação e sim da menor quantidade de táxons. Por outro lado, foram registradas diferenças significativas entre a estação MXL_21 e as demais estações de Mexilhão e as estações de RN-BS.

Segundo Lu & Wu (2006), a colonização após um distúrbio causado por hidrocarbonetos de petróleo é retardada e resulta numa significativa redução do

número de espécies. Esta informação permite inferir que o efeito da contaminação oriunda da perfuração sobre a macrofauna bentônica em MXL_21 ainda afetava a macrofauna nessa estação.

Nas localidades situadas na área Sul, o número total de táxons coletados por estação apresentou valores muito semelhantes nos três estratos, com exceção de SPS-29 para onde foram registrados valores mais baixos e faixas de variação também mais baixas para os estratos superficiais (0-2 e 2-5 cm) (figura VIII.3.3-3).

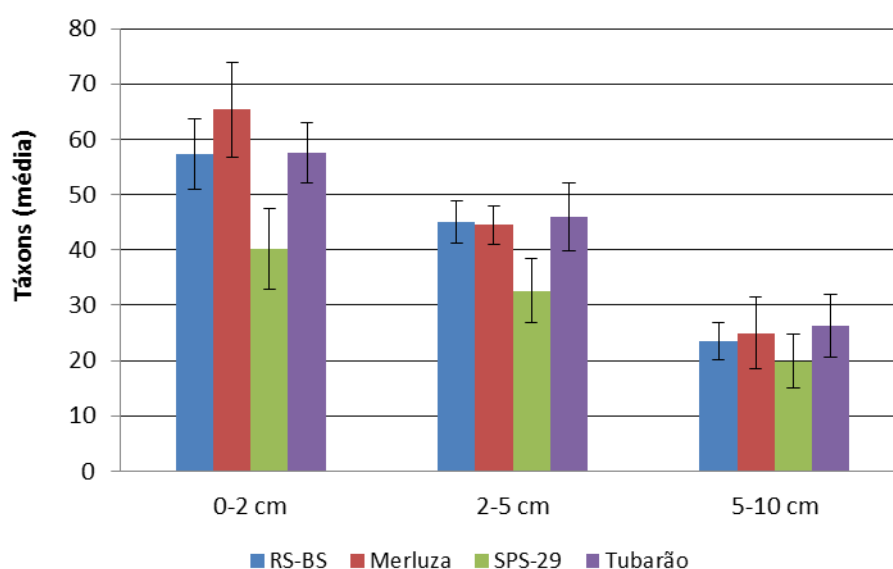


Figura VIII.3.3-2 - Número médio de táxons e respectivos desvios padrão (+) em RS-BS, Merluza, SPS-29 e Tubarão – Área Sul – Bacia de Santos.

Os dendrogramas comparativos entre RS-BS e Merluza mostram similaridades superiores a 55% nos dois estratos superficiais e acima de 40% no estrato inferior, porém com mistura de estações das duas localidades nos grupamentos. Não foram registradas diferenças significativas entre as duas localidades em nenhum dos estratos, o que, juntamente com os resultados químicos, permite inferir pela ausência de alteração oriunda da perfuração.

As comparações feitas entre SPS-29 e RS-BS indicaram diferenças significativas para os três estratos e as similaridades entre as mesmas foram menores que 40% para o estrato 0-2 cm, igual a 40% para o estrato 2-5 cm e igual a 35% para o estrato 5-10 cm.

Vale destacar as diferenças na granulometria observadas entre SPS-29 e RS-BS. A localidade SPS-29 foi a única, na área Sul, onde o sedimento foi classificado como silte enquanto nas outras três predominou a areia com variações entre muito fina e média.

Não foram encontrados contaminantes oriundos de atividades de perfuração em SPS-29, o que permite supor que as diferenças são devidas exclusivamente à composição granulométrica dessa localidade.

Os resultados obtidos para Tubarão mostram grande semelhança em todos os três estratos com RS-BS: similaridade maior que 65% para o estrato 0-2 cm; igual a 65% para o estrato 2-5 cm, com mistura de quatro estações em grupamentos de RS-BS; e maior que 40% no estrato 5-10 cm, com mistura generalizada de estações das duas áreas no dendrograma. Em nenhum dos três estratos foram identificadas diferenças significativas entre as áreas.

A distribuição e composição da macrofauna bentônica de substratos inconsolidados, em geral, são reguladas por uma série de fatores ambientais (profundidade, composição granulométrica do substrato, disponibilidade de alimentos, etc.) e biológicos (competição intra e interespecífica, predação, reprodução, recrutamento, etc.) e que podem resultar em padrões e se expressar em diversas escalas de espaço e tempo (HEBERT & WILSON, 1989; THRUSH, 1991; GAGE & TYLER, 1996; FLACH, et al., 2002).

Em sedimentos contaminados por hidrocarbonetos as características originais do ambiente são alteradas e isto pode impedir a reprodução e o recrutamento (NELSON, 1982; BERGE, 1990) e, conseqüentemente, outras relações ecológicas importantes.

Uma vez alterada, o tempo necessário para que a comunidade da macrofauna bentônica se recupere pode variar amplamente. Berger (1990) menciona que uma comunidade macrobentônica afetada por concentrações de

4.520 mg.kg⁻¹ de óleo pode levar períodos superiores a 13 meses para apresentar condições semelhantes às anteriores ao evento. Olsgard & Gray (1995) relatam que a fauna bentônica permanecia afetada alguns anos após o despejo de fluídos de perfuração a base de óleo. Já Lu & Wu (2006) relatam períodos de 11 meses para que a comunidade macrobentônica apresente os valores semelhantes aos originais para os índices biológicos.

VIII.3.4 Densidade e Índices Ecológicos

Os resultados de densidade obtidos para as duas localidades da área Norte apresentaram valores muito semelhantes. Em RN-BS a média foi de 1.120 ind.m⁻² (± 292) e em BS500 de 1.206 ind.m⁻² (± 318) (figura IX.1.3.4-1).

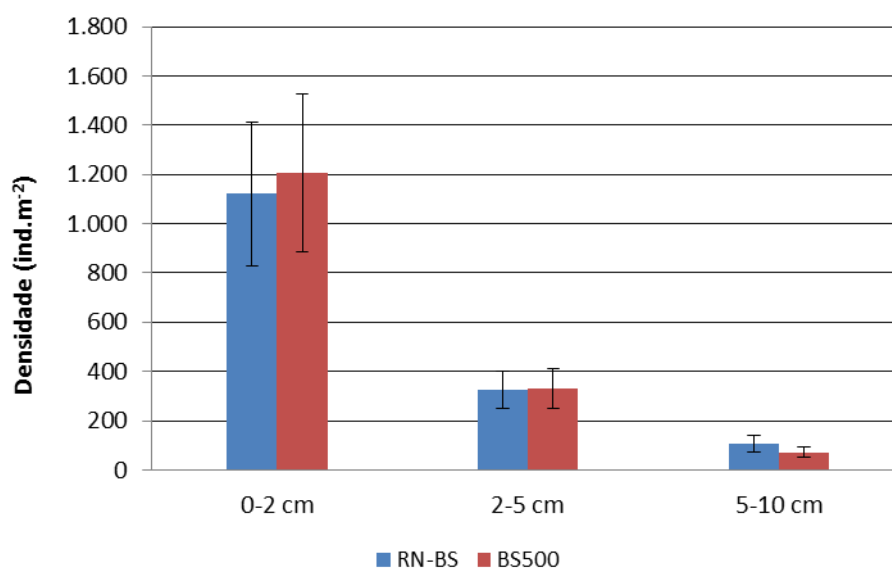


Figura VIII.3.4-1 - Valores médios de densidade (ind.m⁻²) e respectivos desvios padrão (+) em RN-BS e BS500 – Área Norte – Bacia de Santos.

As similaridades entre as duas localidades, nos estratos mais superficiais, para a densidade média foram superiores a 55% e não foram consideradas significativas para nenhum dos estratos analisados.

Esses resultados sugerem que as concentrações dos n-alcanos C₁₄, C₁₅ e C₁₆ encontradas nas estações BS500_2, BS500_6, BS500_10 e BS500_14 não apresentam efeito sobre as densidades dessa localidade.

Na área Centro, as densidades médias foram mais altas em Mexilhão que apresentou também maior variabilidade, expressa por coeficientes de variação de 187,71% no estrato superficial (0-2 cm), 93,86% no estrato intermediário (2-5 cm) e 85,29% no inferior (5-10 cm). Esses resultados devem-se às densidades médias registradas na estação MXL_21, onde *Tharyx* sp. (Annelida: Polychaeta) apresentou densidades de 21.827 ind.m⁻² no estrato superficial, de 7.202 ind.m⁻² no intermediário e 1.155 ind.m⁻² do inferior (figura VIII.3.4-2).

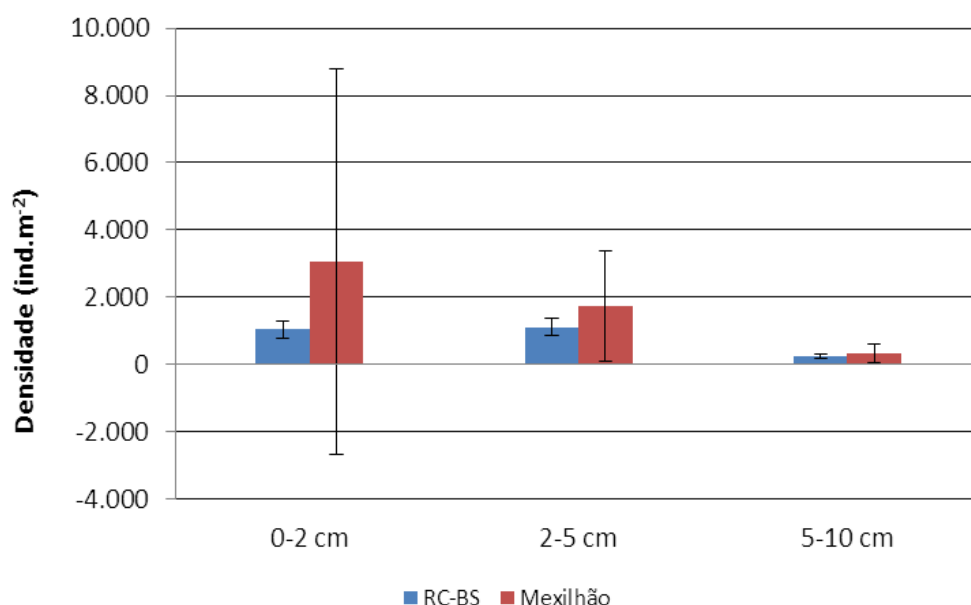


Figura VIII.3.4-2 – Valores médios de densidade (ind.m⁻²) e respectivos desvios padrão (+) em RC-BS e Mexilhão – Área Centro – Bacia de Santos.

As similaridades para os três estratos entre as duas localidades foram superiores a 55% e as diferenças não foram consideradas significativas. Já a estação MXL_21 apresenta diferenças significativas nos três estratos quando comparadas a RC-BS e às demais estações de Mexilhão e apresenta

similaridades abaixo de 50% nos dendrograma gerados para as médias totais, para Mollusca, Polychaeta e Crustacea.

O único táxon importante nesse resultado pertencente ao filo Mollusca foi Semelidae. No caso dos Polychaeta, os táxons *Tharyx* sp., *Syllis* sp., Nereididae e Spionidae apresentaram densidades discrepantes das demais. Entre os Crustacea foram identificados dois táxons que contribuíram para as diferenças observadas: Tanaidacea e Janiridae (tabela VIII.3.4-1).

A estação MXL_21, como mencionado anteriormente, foi a que apresentou a mais alta concentração média dos n-alcenos C_{14} a C_{16} . Uma análise mais detalhada revela que a amostra MXL_34_R3 apresenta valores ainda mais elevados do que os encontrados na amostra MXL_21_R1 onde foram verificadas as mais altas concentrações de n-alcenos dessa estação. Por outro lado, em MXL_34_R3 as densidades dos táxons acima mencionados, com exceção de *Tharyx* sp. e Nereididae, apresentaram densidades que podem ser consideradas como opostas às de MXL_21. Esses dados sugerem que os únicos indicadores de impacto nesta estação seriam *Tharyx* sp. e Nereididae, cujos resultados não se contrapõem.

Tabela VIII.3.4-1 - Densidades médias (ind.m^{-2}) e valores médios* e totais ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) dos n-alcenos ($C_{14}+C_{15}+C_{16}$) em estações e amostras em Mexilhão área Centro – Bacia de Santos.

Parâmetro	MXL_21	Outras Estações			MXL_34_R3
	Média ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Média (ind.m^{-2})	Mín. (ind.m^{-2})	Máx. (ind.m^{-2})	Total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
□ (C_{14} a C_{16})	11.147	138	0	1.441	14.735
Semelidae	152	0	0	0	0
Nereididae	0	75	29	144	0
<i>Syllis</i> sp.	0	280	138	492	258
<i>Tharyx</i> sp.	21.827	203	49	1.035	1.035
Spionidae	16	149	77	234	81
Tanaidacea	7	69	26	130	78
Janiridae	0	43	15	63	44

As densidades médias observadas para as localidades da área Sul apresentaram algumas diferenças, todavia as faixas de variação expressas pelos desvios padrão mostram que as populações de valores apresentam ampla sobreposição (figura VIII.3.4-3).

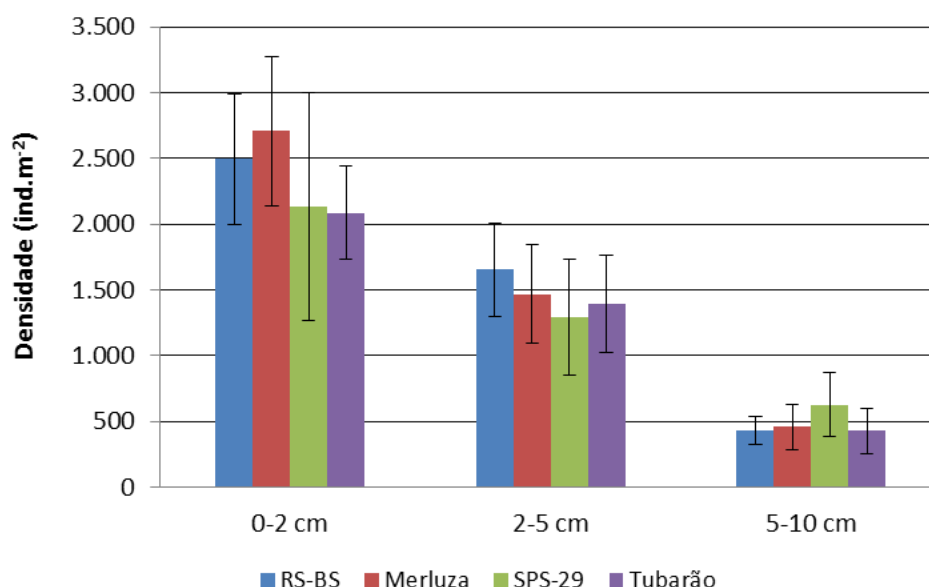


Figura VIII.3.4-3 – Valores médios de densidade (ind.m^{-2}) e respectivos desvios padrão (\pm) em RS-BS, Merluza, SPS-29 e Tubarão – Área Sul – Bacia de Santos.

Apesar de apresentarem densidades médias semelhantes e desvios também parecidos, as diferenças quantitativas entre RS-BS e Merluza foram significativas no estrato superficial (0-2 cm). Considerando o fato de as duas áreas não terem apresentado diferenças significativas nas análises qualitativas, embora Merluza tenha apresentado 46 táxons a mais que RS-BS, as diferenças se devem à combinação das densidades com as ocorrências dentro de cada localidade, neste caso específico, a diferença no esforço amostral que se traduziu na coleta de 12 amostras a mais em RS-BS pode ter influenciado o resultado. Destaca-se que não foram encontrados sinais de contaminação em Merluza, o que sugere que os resultados obtidos são decorrentes de fenômenos naturais.

A comparação de SPS-29 com RS-BS evidenciou similaridades baixas e diferenças significativas para todos os estratos e grupos taxonômicos testados (Mollusca, Polychaeta e Crustacea).

No estrato superficial (0-2 cm), as estações SPS-29_11, SPS-29_14 e SPS-29_21 estão entre as que apresentaram densidades totais mais baixas e apresentam os menores valores para família Urothoidae (Crustacea: Amphipoda) e *Nucula pernambucoensis* (Mollusca: Gastropoda), situados entre os mais abundantes. Deve-se destacar que estas estações são as que apresentaram as mais altas concentrações de bário, considerado como indicador de atividade de perfuração de poços de petróleo, e que os resultados médios desse elemento podem indicar que houve contaminação nas áreas marcadas nas cores amarela, rosa, laranja e verde na figura VIII.3.4-4.

Por outro lado, a perfuração foi realizada em 1989 e as concentrações de n-alcanos C₁₄, C₁₅ e C₁₆, totais, de HTP e de MCNR foram muito baixas, não permitindo que se estabeleça relação com as densidades da macrofauna.

Quando esses resultados químicos são comparados aos de RS-BS, verifica-se que os n-alcanos totais apresentam valores semelhantes aos de SPS-29, e que apenas os HTPs e a MCNR apresentam valores mais altos em SPS-29.

Por outro lado, o bário, na forma em que se encontra (BaSO₄), é quimicamente muito estável, não se degrada no ambiente e não afeta os organismos bentônicos, servindo apenas como um traçador da atividade.

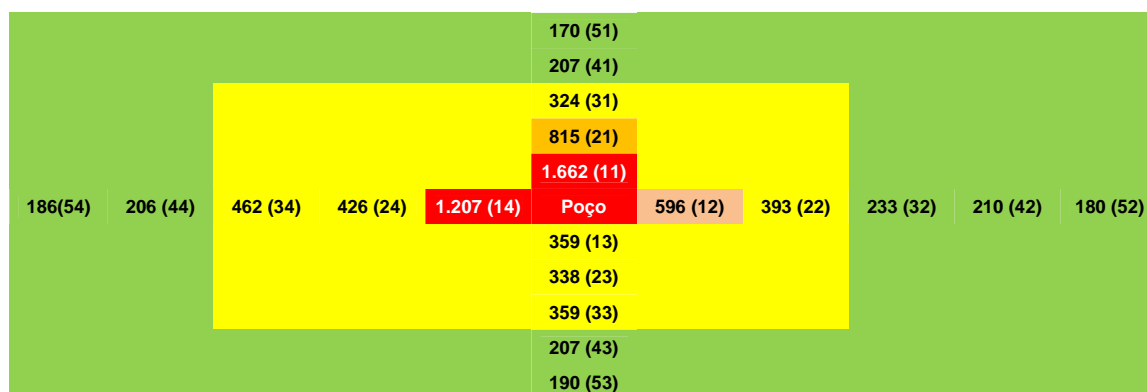


Figura VIII.3.4-4 - Diagrama ilustrativo das concentrações médias de bário ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) nas estações (entre parêntesis). As cores correspondem aos diferentes teores de Ba. SPS-29 – estrato de 0 - 2 cm.

A localidade denominada Tubarão apresentou densidades médias mais baixas que RS-BS nos dois estratos superficiais (0-2 e 2-5 cm), contudo não foram verificadas diferenças significativas entre as mesmas em nenhum dos estratos.

As estações TB_11 e TB_14 apresentaram valores relativamente altos de bário quando comparadas às outras, $5.959 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e $1.286 \mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivamente, porém os contaminantes n-alcanos não foram detectados e os HTPs e MCNR apresentaram valores baixos. Esses dados permitem supor que os resultados biológicos obtidos em Tubarão não refletem qualquer efeito da perfuração de poços de petróleo.

Em estudo com o propósito de avaliar os efeitos das atividades da Plataforma SS-11 sobre a macrofauna bentônica localizada na Bacia de Santos, Petrobras (2005) encontrou valores de densidade que variaram entre 220 e 3.489 ind.m^{-2} . Também na Bacia de Santos, no campo de Violão no bloco BM-S-3, o mesmo autor (PETROBRAS, 2007) reporta resultados entre 1.152 e 2.226 ind.m^{-2} no estrato de 0 - 2 cm, entre 456 ind.m^{-2} e 878 ind.m^{-2} no estrato 2-5 cm e entre 96 e 352 ind.m^{-2} no estrato 5-10 cm em uma avaliação de impacto de perfuração de poço de petróleo. Resultados, estes, com limites superiores mais baixos dos que os obtidos no presente estudo. Contudo, há que se destacar a contribuição

extraordinária de *Tharyx* sp. na estação MXL_21, que contribuiu para as densidades mais altas encontradas neste estudo.

A dificuldade de estabelecer uma relação de causa e efeito entre áreas contaminadas e parâmetros da macrofauna também têm sido relatada por outros autores (OLSGARD & GRAY, 1995).

VIII.4 - Análise Integrada

Os resultados de riqueza, equitabilidade, diversidade e dominância, obtidos nas duas localidades (RN-BS e BS500) situadas na área Norte, são similares nos três estratos avaliados e apresentam faixas de variação também semelhantes. Percebe-se, pelos resultados das análises multivariadas, que a principal variável na estruturação da fauna é a profundidade do sedimento (estratos) e que as estações das duas áreas apresentam superposição quando plotadas no plano formado pelos dois fatores, o que concorda com os resultados apresentados nas análises de similaridade.

Outro ponto a se destacar é a proximidade do posicionamento das variáveis abióticas em relação à origem dos eixos, dado que revela a baixa relevância das mesmas na explicação da fauna.

O mesmo é observado com relação aos parâmetros químicos, mesmo tendo sido encontrados os n-alcanos C₁₄ a C₁₆ nas estações BS500_2, BS500_6, BS500_10 e BS500_14, o que permite inferir pela ausência de interferência desses compostos na estrutura da comunidade da macrofauna em BS500.

Os resultados dos índices biológicos calculados para a área Centro mostram diferenças um pouco maiores entre o poço controle (Mexilhão) e a sua referência (RC-BS), observando-se que os mesmos apresentam maior amplitude em Mexilhão.

Nessa localidade foram encontradas concentrações médias de n-alcanos em quatro estações (MXL_21 – 14.915 µg.kg⁻¹, MXL_24 – 719 µg.kg⁻¹, MXL_33 –

1.127 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e MXL_34 – 6.531 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), sendo que em duas os valores são bastante expressivos.

Uma avaliação mais detalhada dos resultados de Mexilhão mostra que os valores dos índices da estação MXL_21 são os mais baixos e que isto decorre, principalmente, das amostras MXL_21_R2 e MXL_21_R3 onde os valores mais baixos foram registrados para equitabilidade, diversidade e dominância nos estratos 0-2 e 5-10 cm e para todos os índices no estrato 2-5 cm. Estes resultados decorrem das altas densidades de *Tharyx* sp (Annelida: Polychaeta) encontradas nessa estação.

As análises multivariadas evidenciam as semelhanças observadas entre as duas áreas e a estruturação da macrofauna em função dos estratos que representam a distribuição vertical da mesma no substrato.

No que diz respeito aos contaminantes, foi observada uma correlação importante entre as concentrações de n-alcanos, HTPs e MCNR e as densidades médias de Mollusca e Polychaeta, com o destaque da estação MXL_21 na ACP. Já na AFC, é evidenciada a influência dos táxons *Tharyx* sp., *Semele* sp., Gastropoda e *Glycera* sp. na estação MXL_21, o que sugere uma relação de causa e efeito entre os contaminantes e esses táxons.

A comparação dos resultados obtidos para a área Sul mostra valores de riqueza, equitabilidade, diversidade e dominância muito semelhantes em todos os estratos de RS-BS e Merluza. Contudo, as análises de similaridades identificaram diferenças significativas apenas para o estrato 0-2 cm entre as duas áreas. Esse resultado decorre das densidades de *Abra lioica* (Mollusca: Grastropoda), Onuphinae (Annelida: Polychaeta) e Tanaidacea (Crustacea) que ocorreram nas duas localidades com expressivas diferenças nas densidades. Outro fator importante foi o fato de 78 táxons que ocorreram em Merluza não terem ocorrido em RS-BS, nesse estrato.

Assim como nas outras áreas, o principal fator de ordenação estrutural da macrofauna foram os estratos. As variáveis abióticas do substrato apresentaram papel pouco relevante, o que é ilustrado pela proximidade das mesmas em relação à origem dos eixos.

A oposição das variáveis químicas (contaminantes) e das variáveis biológicas na ACP juntamente com vetores muito curtos de Hg, Ba e Cd, únicas variáveis orientadas no mesmo sentido das variáveis biológicas Mollusca, Crustacea e Sipuncula, evidenciam a baixa relevância de suas concentrações para os resultados biológicos.

Todos os índices biológicos apresentaram valores, em geral, mais baixos em SPS-29 quando comparados aos de RS-BS. As diferenças avaliadas pela análise de similaridade foram consideradas significativas nos três estratos. Isto parece ser decorrente, principalmente, da composição taxonômica de cada uma das áreas que apresentaram apenas 29,30% de táxons em comum. Essas diferenças sugerem que a granulometria é o principal fator determinante das diferenças biológicas encontradas entre as duas localidades.

Os resultados da ACP mostram, claramente, a contraposição granulométrica entre RS-BS, com substrato constituído basicamente por areia, e SPS-29, com silte e argila, e a pouca relevância dos parâmetros contaminantes na distribuição das variáveis biológicas no plano gerado pela ACP.

Os índices biológicos apresentaram, em geral, valores um pouco mais altos em Tubarão em relação à RS-BS. As análises mostraram que as duas localidades apresentam similaridades altas nos dois estratos superficiais (>60%), com dendrogramas formando grupos contendo estações de Tubarão e RS-BS. As diferenças foram consideradas não significativas para todos os estratos considerados.

Os resultados da ACP mostram os vetores dos parâmetros físicos e químicos do substrato com dimensões muito pequenas, o que reflete a homogeneidade do mesmo. Assim como nas outras localidades, a profundidade do sedimento determina a estrutura da comunidade da macrofauna, bem como as semelhanças entre as mesmas, e isto também se reflete na ACP.

Os teores dos parâmetros químicos apresentaram valores muito baixos nas duas localidades e não sugerem qualquer tipo de contaminação provocada pela perfuração em Tubarão.

Resultados obtidos para os índices biológicos em BM-S-3 na Bacia de Santos, em profundidades de 655 a 700 m e em sedimentos lamosos (PETROBRAS, 2007), variaram entre 7,59 e 10,95 para a riqueza, de 0,77 a 0,83 para a equitabilidade e de 4,50 a 4,97 para a diversidade.

No entorno da plataforma SS-11, também na Bacia de Santos, situada em lâmina d'água de 150 m e em fundo arenoso, os valores de riqueza foram de 0,74 a 5,94, de equitabilidade de 0,75 a 0,98 e de diversidade de 2,25 a 5,01 (PETROBRAS, 2004). Em um estudo relacionado com a perfuração de poço em BM-S-12, em profundidade de 205 m e fundo de lama arenosa, os valores de riqueza variaram de 5,53 a 7,65, os de equitabilidade de 0,62 a 0,83 e os de diversidade de 3,42 a 4,86.

Na Bacia de Campos, XIMENEZ (2000) encontrou diversidades entre 3,84 e 4,77 e equitabilidade variando entre 0,85 e 0,92, em estações com o número de táxons variando entre 24 e 42. Em outro estudo (XIMENEZ, 2001), no bloco BC-9, situado na mesma bacia, os resultados de diversidade ficaram entre 3,12 e 4,54 e número de táxons entre 26 e 43. No projeto PAI da Bacia de Campos (PETROBRAS, 2008), onde foram estudadas 13 localidades distintas, os resultados dos índices apresentaram amplas variações, mas com valores compatíveis com os observados neste estudo.

Como se pode perceber, pelos dados apresentados anteriormente, os resultados obtidos para os índices biológicos apresentam amplas variações que são decorrentes da grande variedade de ambientes que ocorrem na plataforma continental sudeste e sul brasileira onde se situam as bacias de Campos, Santos e Pelotas. Profundidade, tipo de substrato, correntes marinhas, proximidade da costa, presença de rios e extensão territorial são apenas alguns dos fatores que influenciam e determinam a enorme variabilidade ambiental existente.

A avaliação de impactos ambientais decorrentes de atividades de perfuração de poços de petróleo no mar vem sendo rotineiramente feita no Brasil por empresas petrolíferas (CHEVRON, 2005; PETROBRAS, 2005, 2007a e 2007b; entre outras) e, também, já foi objeto de diversos estudos e publicações

científicas (DAVIES, et al., 1984; DAAN, et al., 1992; DAAN, et al., 1996; BREUER, et al., 2004; HANAH, et al., 2006; SANTOS, et al., 2009).

No Brasil, o trabalho mais notório foi o MAPEM (TOLDO et al., 2005), onde todo o procedimento de perfuração foi planejado levando em conta o estudo de suas consequências ambientais posteriores, coisa que normalmente não pode ser feita com aquele grau de detalhamento. Ainda assim, a perfeita identificação dos efeitos não se constitui em tarefa trivial ou livre de controvérsias, especialmente em situações como as enfrentadas no presente estudo, onde as perfurações foram feitas entre 1989 (SPS-29) e 2006 (Mexilhão), portanto entre três e 20 anos antes da coleta das amostras.

Esta talvez seja a razão pela qual os únicos indícios consistentes de contaminação tenham sido detectados na localidade do poço de Mexilhão, onde efetivamente foram encontradas alterações na macrofauna que podem estar relacionadas com a perfuração.

Daan et al. (1992) realizaram um estudo um ano após o término do descarte de cascaho de perfuração e encontraram sedimentos com até 4.500 mg.kg⁻¹ de óleo e n-alcanos (C9 a C30) com concentrações próximas de 1.000 mg.kg⁻¹. Os autores (DAAN, et al., op. cit.) relatam ser difícil, ou mesmo impossível, quantificar os efeitos sobre a biota em termos de padrões de gradientes de abundância devido à variabilidade natural dentro da área investigada. Olsgard & Gray (1995) também mencionam que correlações entre os parâmetros da fauna e as variáveis químicas e físicas não necessariamente significam relação de causa e efeito.

Daan et al. (op. cit.) reportam que, em estações entre 500 e 750 m do poço, as espécies parecem apresentar declínio em suas abundâncias e que não foi encontrada nenhuma que houvesse aumentado sua densidade na zona de contaminação moderada. Por outro lado, GRAY et al. (1990) sugerem que ambientes com níveis moderados de distúrbio podem favorecer as espécies oportunistas. Isto parece ter ocorrido em Mexilhão nas amostras MXL_21_R1, MXL_21_R2, MXL_21_R3 e MXL_34_R3, onde Polychaeta *Tharyx* sp. apresentou densidades extremamente altas (entre 2.613 ind.m⁻² e 39.772 ind.m⁻²), o que sugere comportamento oportunista.

Dentre as modificações que podem ocorrer na biota, a alteração da diversidade pode ser um dos primeiros sinais de modificação da estrutura de comunidades bentônicas submetidas a estresse, podendo se expressar tanto na diminuição quanto no aumento da mesma. Isto ocorre devido à eliminação de espécies e à substituição desses indivíduos por elementos de outras espécies, que são normalmente denominadas oportunistas. Este tipo de efeito foi detectado em estudos realizados em mares temperados (OLSGARD & GRAY, op. cit), onde o aumento das densidades de espécies oportunistas de Annelida-Polychaeta foi verificado.

Ainda segundo OLSGARD & GRAY (1995), os efeitos dos procedimentos de perfuração de poços de petróleo podem ser detectados na macrofauna até 3.000 m de distância e se refletem nos aspectos estruturais da comunidade. Os autores afirmam, com base em um estudo envolvendo a perfuração de 14 poços de óleo e gás no Mar do Norte, que os resultados das variáveis ambientais e da fauna foram caracterizados pela falta de gradientes distintos em relação às estações e de consistência na correlação entre variáveis ambientais e biológicas.

Currie & Isaacs (2004) concluíram que as mudanças causadas pela perfuração na estrutura da comunidade nas proximidades do poço são menores do que as variações sazonais. Por outro lado, no local da perfuração, as alterações podem persistir por mais de 11 meses e ainda que parâmetros da comunidade, como a densidade e a diversidade, sejam recuperados, a composição das espécies pode ser diferente.