

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1.

Critérios de Desempenho do Sistema de Contagem de Coincidência em Retardo

Apesar de recente, a contagem de coincidência em retardo tem, ultimamente, apresentado grande desenvolvimento. Sua utilização para a determinação de isótopos de rádio de meia-vida curta (^{223}Ra e ^{224}Ra) sem a necessidade de tratamento da amostra e podendo ser utilizada em trabalhos de campo, além de apresentar backgrounds extremamente baixos, faz dessa técnica uma ferramenta bastante interessante para ser utilizada na determinação destes isótopos.

Inicialmente, foram preparados três padrões de ^{228}Th , para cada uma das duas amostragens, apresentando uma concentração de $6,2 \text{ Bq m}^{-3}$ para a primeira amostragem e uma concentração de $4,5 \text{ Bq m}^{-3}$ para a segunda amostragem, conforme mostrado no capítulo 5. Estes padrões foram medidos nos quatro sistemas de contagem, tendo sido obtidas as seguintes eficiências (Tabelas 2 e 3).

Tabela 1: Contagens dos padrões de ^{228}Th da 1ª campanha.

26/09/2007	Média e Desvio Padrão das Eficiências			
	Detetor 1	Detetor 2	Detetor 3	Detetor 4
Canal 219	0,387 / 0,003	0,351 / 0,018	0,294 / 0,024	0,348 / 0,014
Canal 220	0,430 / 0,003	0,390 / 0,020	0,327 / 0,026	0,387 / 0,015

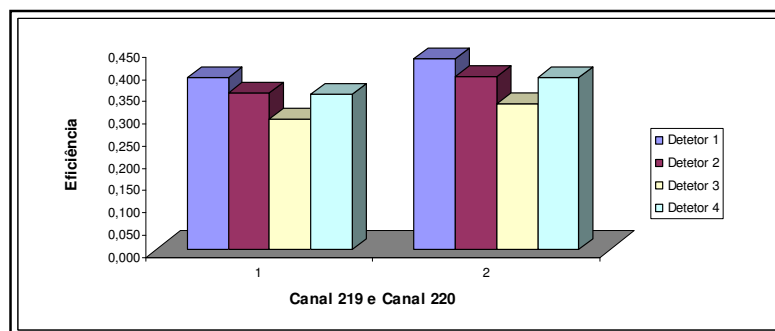


Figura 12: Médias das eficiências dos detetores 1, 2, 3 e 4 obtidas a partir dos três padrões preparados para a 1ª amostragem.

Tabela 2: Contagens dos padrões de ^{228}Th da 2ª campanha.

19/03/2008	Média e Desvio Padrão das Eficiências			
	Detetor 1	Detetor 2	Detetor 3	Detetor 4
Canal 219	0,404 / 0,013	0,274 / 0,015	0,420 / 0,006	0,386 / 0,027
Canal 220	0,448 / 0,014	0,305 / 0,017	0,467 / 0,007	0,429 / 0,030

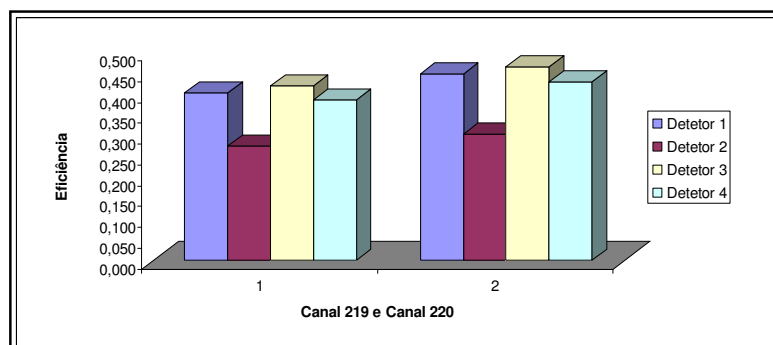


Figura 13: Médias das eficiências dos detectores 1, 2, 3 e 4 obtidas a partir dos três padrões preparados para a 2ª amostragem.

Pode-se notar que houve uma diminuição na eficiência do detector número 2 entre ambas as campanhas, talvez devido a uma degradação da célula de cintilação. Curiosamente, maiores valores em termos de eficiência foram encontrados para os outros três detectores.

6.2. Avaliação dos Dados Experimentais

Para garantir a qualidade das informações geradas a partir dos resultados experimentais obtidos para as amostras de água do mar, introduziu-se uma rotina de tratamento dos dados que inclui: cálculo da eficiência dos quatro detectores do sistema, cálculo das atividades dos isótopos de rádio (^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra e ^{228}Ra) juntamente com suas incertezas associadas.

Em cada uma das duas amostragens, foram registradas, para cada um dos 8 pontos de coleta, informações julgadas importantes para controlar fatores que poderiam de alguma forma influenciar nos resultados, tais como:

- volume de amostragem;
- data e horário de amostragem em cada ponto;

- observações relevantes sobre as condições meteorológicas do dia de coleta;
- data e horário da contagem de cada amostra;
- tempo decorrido entre a amostragem e a contagem de cada amostra;

6.2.1.

1ª Amostragem – Agosto/2007

A 1ª campanha de amostragem na foz do Rio Paraíba do Sul (RPS) foi realizada nos dias 7, 8 e 9 de agosto de 2007, na estação de inverno, quando o rio apresenta baixa vazão de descarga de água para o oceano.

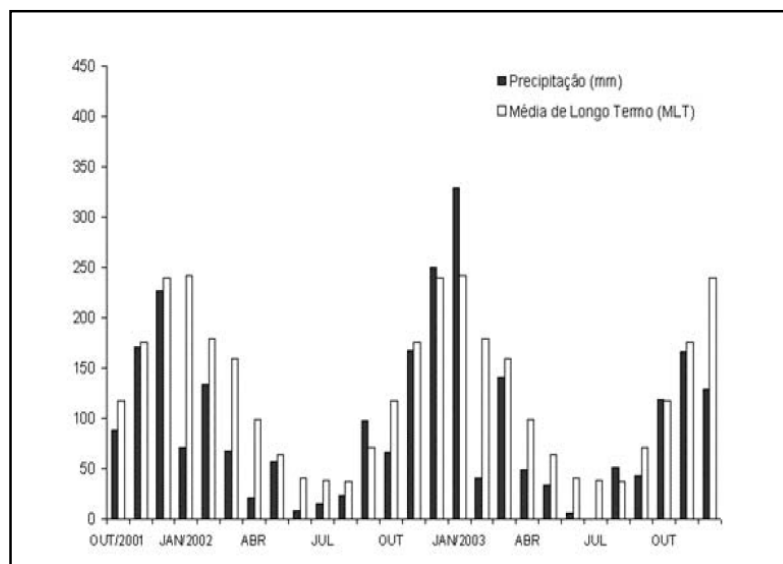


Figura 14: Precipitação média mensal na bacia do RPS de outubro 2001 a setembro 2003. As barras em tons de cinza escuro representam a precipitação acumulada no mês e em tons de cinza claro representam a média de longo termo. (Adaptado de INPE, 2005).

Foram realizados três transectes conforme apresentado na Figura 15. Os 1º e 3º transectes seguiram a mesma direção enquanto o 2º representou uma tentativa de verificar a dispersão lateral da pluma do RPS. É possível verificar que o 3º transecte foi mais longo que o 1º, atingindo uma distância de 26 km, contra apenas cerca de 14 km do primeiro.

Dada a diferença existente entre o 2º transecte e os outros dois, a discussão relativa à variação da concentração dos isótopos de rádio de meia-vida curta com a distância em relação à costa será realizada apenas com estes dois transectes.

As coordenadas dos pontos de amostragem nos três transectes aparecem nas Tabelas 4, 5 e 6, enquanto os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9.

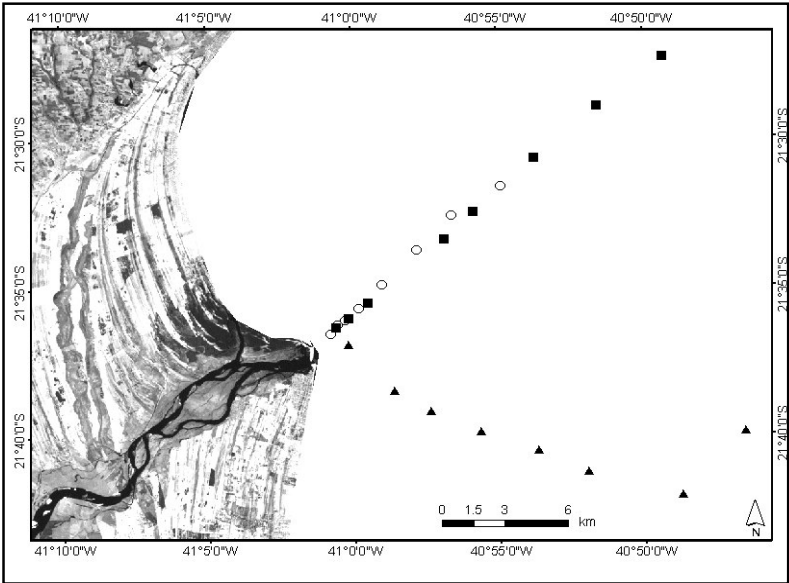


Figura 15: Imagem obtida de satélite com os três transectes realizados na 1ª amostragem. ○ Transecte realizado dia 07/08/2007, ▲ 08/08/2007, e ■ 09/08/2007.

Tabela 3: Dados geográficos do 1º transecte realizado no dia 07/08/2007.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
1	0,2	22°01'32" S	41°01'33" W	0,9
2	0,8	21°60'43" S	41°01'35" W	
3	1,4	21°60'15" S	41°00'48" W	
4	2,5	21°59'51" S	41°40'11" W	
5	4,4	21°58'21" S	41°38'38" W	
6	7,4	21°56'27" S	41°36'35" W	
7	10,4	21°54'33" S	41°34'36" W	
8	13,8	21°53'07" S	41°31'53" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 4: Dados geográficos do 2º transecte realizado no dia 08/08/2007.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
9	1,1	22°06'53" S	41°17'59" W	1,0
10	4,9	22°10'06" S	41°21'20" W	
11	7,4	22°01'52" S	41°00'28" W	
12	10,5	22°04'11" S	41°38'11" W	
13	14,1	22°05'26" S	41°35'60" W	
14	17,3	22°06'46" S	41°33'16" W	
15	22,9	22°07'53" S	41°29'45" W	
16	25,2	22°09'12" S	41°27'01" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 5: Dados geográficos do 3º transecte realizado no dia 09/08/2007.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
17	0,7	21°60'57" S	41°01'02" W	1,1
18	1,6	21°60'07" S	41°00'26" W	
19	3,1	21°59'21" S	41°39'16" W	
20	9,1	21°56'06" S	41°35'16" W	
21	11,5	21°54'13" S	41°33'10" W	
22	16,4	21°51'12" S	41°29'58" W	
23	21,4	21°48'24" S	41°26'35" W	
24	26,3	21°45'47" S	41°22'19" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 6: Resultados obtidos do 1º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 1ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
1	8,5	206,55	269,48	$0,30 \pm 14,80\%$	$5,16 \pm 8,25\%$	$1,12\text{E-}03 \pm 7,90\%$	$2,54\text{E-}03 \pm 1,78\%$
2	18,9	142,45	203,93	$0,47 \pm 10,65\%$	$9,36 \pm 8,06\%$	$1,37\text{E-}03 \pm 7,40\%$	$3,33\text{E-}03 \pm 1,66\%$
3	17,8	142,45	196,65	$0,32 \pm 11,73\%$	$9,44 \pm 8,76\%$	$8,57\text{E-}04 \pm 8,85\%$	$3,11\text{E-}03 \pm 1,73\%$
4	26,6	71,23	131,10	$0,40 \pm 9,24\%$	$9,03 \pm 8,24\%$	$8,15\text{E-}04 \pm 5,90\%$	$3,35\text{E-}03 \pm 1,15\%$
5	32,5	28,49	94,68	$0,23 \pm 11,07\%$	$4,62 \pm 8,60\%$	$7,41\text{E-}04 \pm 7,65\%$	$2,54\text{E-}03 \pm 1,57\%$
6	33,4	19,59	80,12	$0,37 \pm 8,51\%$	$4,98 \pm 8,53\%$	$8,69\text{E-}04 \pm 5,35\%$	$3,32\text{E-}03 \pm 1,17\%$
7	34,6	<14,25	67,01	$0,24 \pm 9,12\%$	$5,36 \pm 9,11\%$	$7,25\text{E-}04 \pm 6,06\%$	$3,76\text{E-}03 \pm 1,09\%$
8	34,8	<14,25	64,09	$0,24 \pm 9,14\%$	$2,31 \pm 8,70\%$	$1,04\text{E-}03 \pm 5,15\%$	$3,33\text{E-}03 \pm 1,09\%$

Tabela 7: Resultados obtidos do 2º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 1ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
9	27,4	71,23	131,10	$0,54 \pm 11,40\%$	$13,64 \pm 8,88\%$	$3,47\text{E-}04 \pm 13,05\%$	$3,01\text{E-}03 \pm 8,42\%$
10	31,7	33,83	94,68	$0,67 \pm 10,45\%$	$12,43 \pm 8,73\%$	$1,91\text{E-}03 \pm 11,56\%$	$2,99\text{E-}03 \pm 7,11\%$
11	32,7	26,35	87,40	$0,50 \pm 9,82\%$	$9,90 \pm 9,26\%$	$1,12\text{E-}03 \pm 7,65\%$	$3,64\text{E-}03 \pm 7,53\%$
12	35,0	<14,25	72,83	$0,20 \pm 12,90\%$	$3,17 \pm 8,67\%$	$9,65\text{E-}04 \pm 5,90\%$	$4,35\text{E-}03 \pm 4,40\%$
13	35,5	<14,25	64,82	$0,08 \pm 11,27\%$	$1,84 \pm 8,60\%$	$1,15\text{E-}03 \pm 5,14\%$	$3,35\text{E-}03 \pm 4,42\%$
14	35,7	<14,25	62,64	$0,19 \pm 11,28\%$	$1,79 \pm 8,42\%$	$1,06\text{E-}03 \pm 6,60\%$	$3,77\text{E-}03 \pm 5,30\%$
15	35,7	<14,25	64,09	$0,17 \pm 10,74\%$	$1,47 \pm 10,92\%$	$9,80\text{E-}04 \pm 5,68\%$	$3,78\text{E-}03 \pm 4,60\%$
16	35,7	<14,25	60,45	$0,17 \pm 11,93\%$	$1,26 \pm 12,06\%$	$1,11\text{E-}03 \pm 5,63\%$	$3,23\text{E-}03 \pm 5,19\%$

Tabela 8: Resultados obtidos do 3º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 1ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
17	30,7	42,74	109,25	$0,43 \pm 10,87\%$	$9,80 \pm 11,70\%$	$1,26\text{E-}03 \pm 6,84\%$	$5,01\text{E-}03 \pm 1,48\%$
18	30,2	46,30	131,10	$0,34 \pm 10,85\%$	$10,26 \pm 9,08\%$	$1,01\text{E-}03 \pm 7,89\%$	$2,12\text{E-}03 \pm 1,58\%$
19	32,1	42,74	109,25	$0,23 \pm 11,99\%$	$10,91 \pm 12,77\%$	$1,12\text{E-}03 \pm 7,38\%$	$3,91\text{E-}03 \pm 1,50\%$
20	35,3	<14,25	80,12	$0,24 \pm 9,55\%$	$2,73 \pm 9,55\%$	$1,39\text{E-}03 \pm 4,39\%$	$3,40\text{E-}03 \pm 1,08\%$
21	36,0	<14,25	72,83	$0,24 \pm 11,02\%$	$2,27 \pm 8,69\%$	$1,24\text{E-}03 \pm 4,83\%$	$3,17\text{E-}03 \pm 1,11\%$
22	35,8	<14,25	64,82	$0,20 \pm 9,93\%$	$1,45 \pm 9,34\%$	$1,60\text{E-}03 \pm 4,23\%$	$3,18\text{E-}03 \pm 1,12\%$
23	36,0	<14,25	61,18	$0,15 \pm 10,50\%$	$1,47 \pm 10,87\%$	$1,66\text{E-}03 \pm 4,10\%$	$3,00\text{E-}03 \pm 1,13\%$
24	36,2	<14,25	59,72	$0,13 \pm 12,48\%$	$1,12 \pm 8,96\%$	$1,77\text{E-}03 \pm 4,32\%$	$2,83\text{E-}03 \pm 1,23\%$

O 1º transecte representa uma malha amostral mais apertada na região próxima à foz do Rio Paraíba do Sul (RPS), tendo alcançado uma distância relativamente curta em relação à costa. Conseqüentemente, a salinidade referente ao último ponto de amostragem não correspondia ao valor esperado para águas mais oceânicas, cerca de 36, como verificado no último ponto de amostragem do 3º transecte.

O primeiro ponto de amostragem do 1º transecte encontrava-se ainda na desembocadura do rio tendo apresentado uma baixa salinidade, conseqüentemente, nem todo rádio fora desadsorvido e a concentração encontrada para todos os quatro isótopos foi inferior à observada no ponto seguinte.

A região do norte fluminense é conhecida pela presença de monazita em suas praias havendo, inclusive, uma usina de extração de monazita no município de São Francisco de Itabapoana. Desta forma, as concentrações de ^{228}Ra observadas são superiores às de ^{226}Ra , ao contrário do observado por Reid et al. (1979) na região do Golfo do México. Por outro lado, os valores aqui obtidos são semelhantes aos encontrados na região de Ubatuba e da Baía da Ilha Grande (Godoy et al., 2006; Moore et al., 2008; Burnett et al., 2008).

A presença das águas do RPS dá origem a concentrações elevadas de bário quando comparadas com águas oceânicas da mesma região, conforme resultados obtidos na Bacia de Campos por Veguería et al. (2002), que estiveram na faixa de 44 a 66 nmol L⁻¹. Mesmo aparentando haver alcançado um valor de linha de base (Figura 16), a concentração de bário nos pontos mais afastados em relação à costa são superiores a 45 nmol L⁻¹, valor este esperado para águas oceânicas (Veguería et al., 2002). Por outro lado, a salinidade de 36 para os pontos mais afastados da costa indica uma água de origem predominantemente oceânica.

Como as amostras de água do mar foram diluídas 1:10, o limite de detecção alcançado para silício não foi suficiente para a determinação da concentração deste elemento para as amostras mais distantes. Para a campanha seguinte, as amostras foram analisadas sem esta diluição.

Na Tabela 10 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson envolvendo a distância dos pontos de coleta em relação à foz do RPS e os parâmetros determinados.

Tabela 9: Coeficientes de correlação da 1ª amostragem (Correlação de Pearson).

		Si	Ba	Sal.	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	Distância
Si		1	.992(**)	-.997(**)	-.162	-.004	-.666(*)
	N	12	12	12	12	12	12
Ba		.992(**)	1	-.989(**)	-.264	-.178	-.693(**)
	N	12	24	24	24	24	24
Sal.		-.997(**)	-.989(**)	1	.254	.190	.648(**)
	N	12	24	24	24	24	24
²²⁸ Ra		-.162	-.264	.254	1	.012	-.006
	N	12	24	24	24	24	24
²²⁶ Ra		-.004	-.178	.190	.012	1	.424(*)
	N	12	24	24	24	24	24
Distância		-.666(*)	-.693(**)	.648(**)	-.006	.424(*)	1
	N	12	24	24	24	24	24

** A correlação é significativa a 0.01 níveis (bi-caudal).

* A correlação é significativa a 0.05 níveis (bi-caudal).

Pode-se notar uma forte correlação entre salinidade, bário e silício. A correlação entre estes três indicadores de aporte continental é mostrada nas Figuras 16 e 17.

Por outro lado, ²²⁸Ra e ²²⁶Ra não apresentam uma clara correlação com estes parâmetros e nem mesmo entre si, talvez devido à baixa variação da concentração destes com a distância, verificada nesta 1ª campanha de amostragem, conforme a Figura 18.

No entanto, ²²³Ra e ²²⁴Ra seguem uma variação exponencial com a distância conforme o mostrado na Figura 19, na qual estão incluídos os resultados dos 1º e 3º transectes. A partir da inclinação, é possível obter-se o coeficiente de difusão (K_h), a partir do cálculo citado no capítulo 3, tendo sido obtido $15,1 \text{ km}^2 \text{ d}^{-1}$ ($R^2=0,907$) para ²²⁴Ra e $13,9 \text{ km}^2 \text{ d}^{-1}$ ($R^2=0,611$) para ²²³Ra.

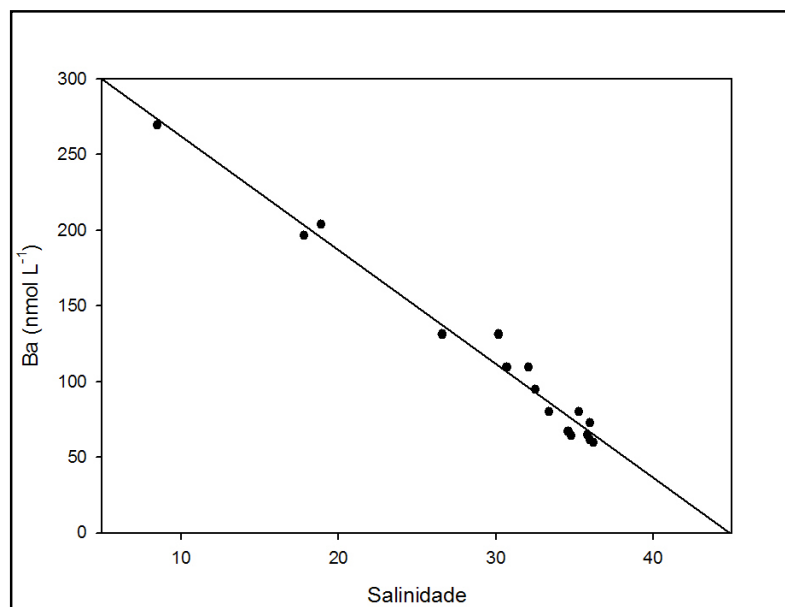


Figura 16: Gráfico dos resultados obtidos de salinidade e Ba da 1ª amostragem.

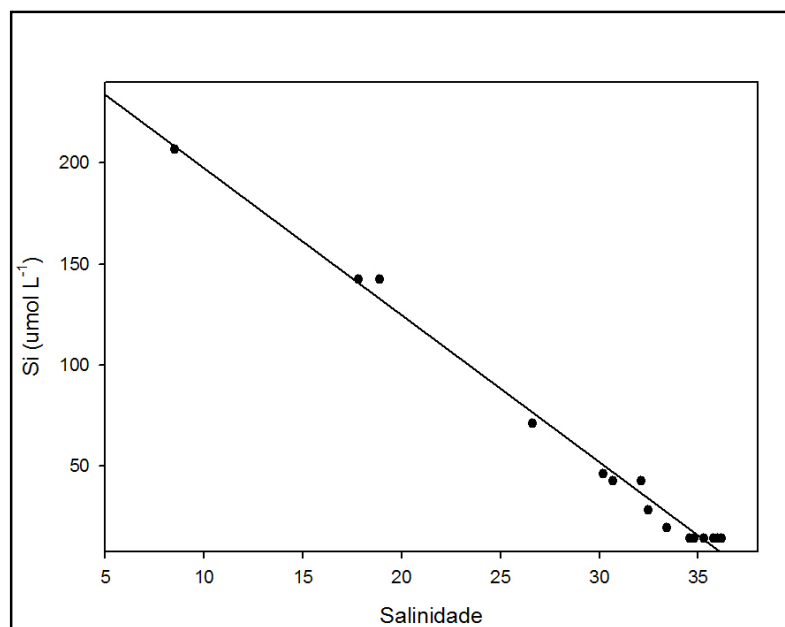


Figura 17: Gráfico dos resultados obtidos de salinidade e Si da 1ª amostragem.

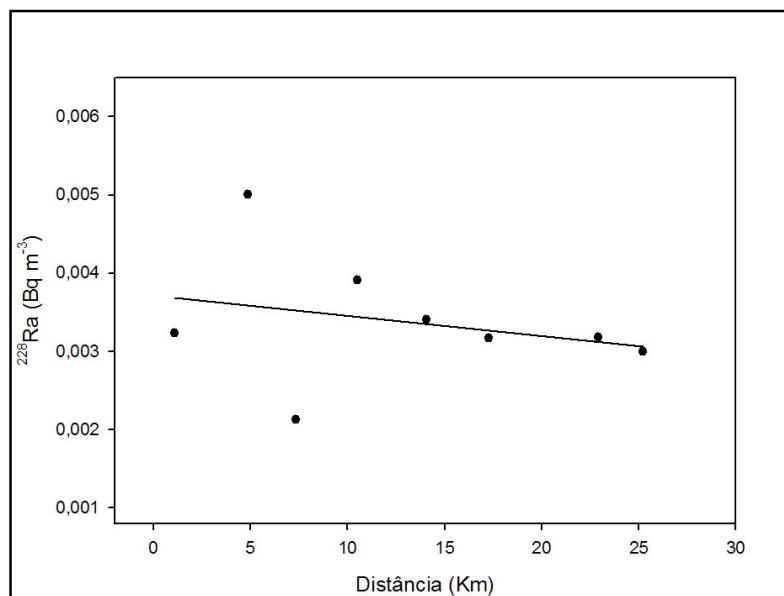


Figura 18: Resultados obtidos de concentração (atividade) do isótopo ^{228}Ra em relação à distância na 1ª amostragem.

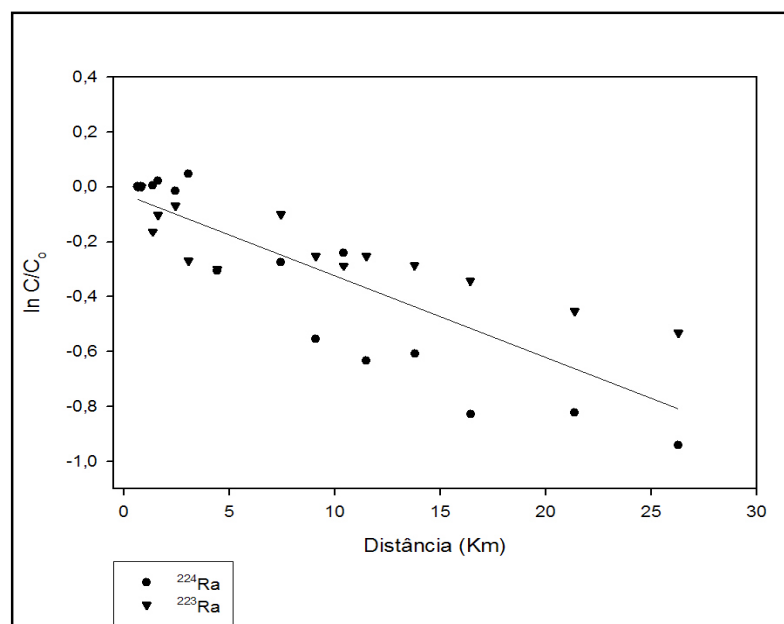


Figura 19: Gráfico do logaritmo das concentrações dos isótopos ^{223}Ra e ^{224}Ra em relação à distância da 1ª amostragem.

6.2.1.1.**Cálculo da Idade Aparente da Razão de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$** Tabela 10: Dados da idade da razão $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ na 1ª amostragem.

Amostra	$^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$	Idade Aparente (dias)	Distância (km)
1	-	-	-
2	20,01	0,00	0,8
3	29,41	0,00	1,4
4	22,58	2,05	2,5
5	19,76	3,10	4,4
6	13,40	6,12	7,4
7	22,19	2,19	10,4
8	9,56	8,74	13,8
9	25,11	0,00	1,1
10	18,58	2,34	4,9
11	19,98	1,78	7,4
12	15,82	3,59	10,5
13	24,31	0,25	14,1
14	9,58	7,49	17,3
15	8,58	8,35	22,9
16	7,49	9,41	25,2
17	22,77	0,00	0,7
18	30,17	0,00	1,6
19	47,13	0,00	3,1
20	11,32	7,63	9,1
21	9,43	9,05	11,5
22	7,42	10,91	16,4
23	9,72	8,81	21,4
24	8,83	9,56	26,3

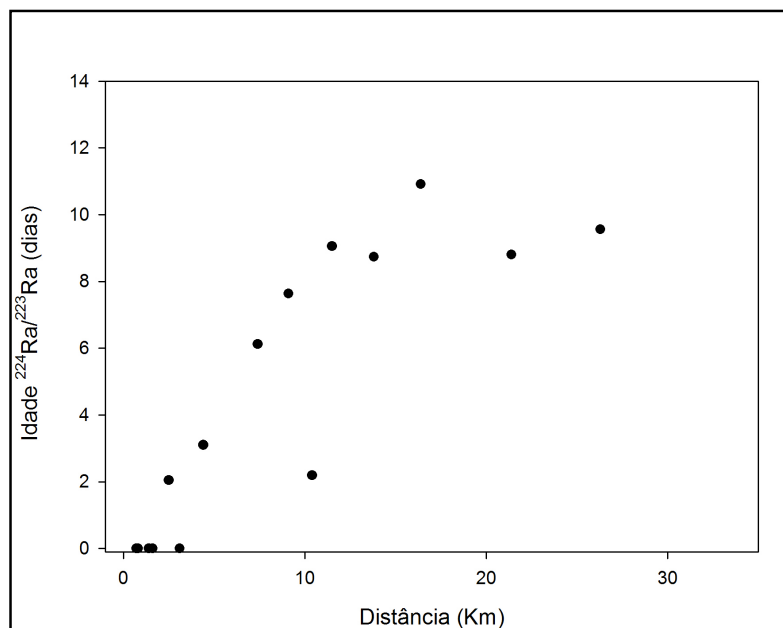


Figura 20: Gráfico da idade de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ em dias em relação à distância.

Conforme o gráfico obtido a partir dos dados da idade da razão de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ em relação à distância da costa, pode-se observar que a água proveniente da foz do Rio Paraíba do Sul leva cerca de 9 dias para alcançar uma distância de 26 km, distância esta utilizada no 3º transecte da 1ª amostragem.

6.2.2.

2ª Amostragem – Março/2008

A 2ª campanha de amostragem na foz do Rio Paraíba do Sul (RPS) foi realizada nos dias 4, 5 e 6 de março de 2008, na estação de verão, quando o rio apresenta elevada vazão de descarga de água para o oceano.

Também nesta campanha, foram realizados três transectes. Os 1º e 2º transectes seguiram a mesma direção dos 1º e 3º transectes da campanha anterior, enquanto no 3º procurou-se acompanhar a campanha de amostragem do projeto Habitat/Petrobrás que se realizava concomitantemente.

É possível verificar que os transectes desta segunda campanha foram mais longos, atingindo uma distância máxima de 36 km em relação à costa, como mostra a Figura 21.

Dada a diferença existente entre o 3º transecte e os outros dois, a discussão relativa às variações das concentrações dos isótopos de rádio de meia-vida curta (^{223}Ra e ^{224}Ra), com a distância em relação à costa, será realizada apenas com estes dois transectes.

As coordenadas dos pontos de amostragem nos três transectes aparecem nas Tabelas 12, 13 e 14, enquanto os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17. Maiores diferenças foram verificadas para silício se comparados os valores obtidos nesta campanha com os da campanha anterior.

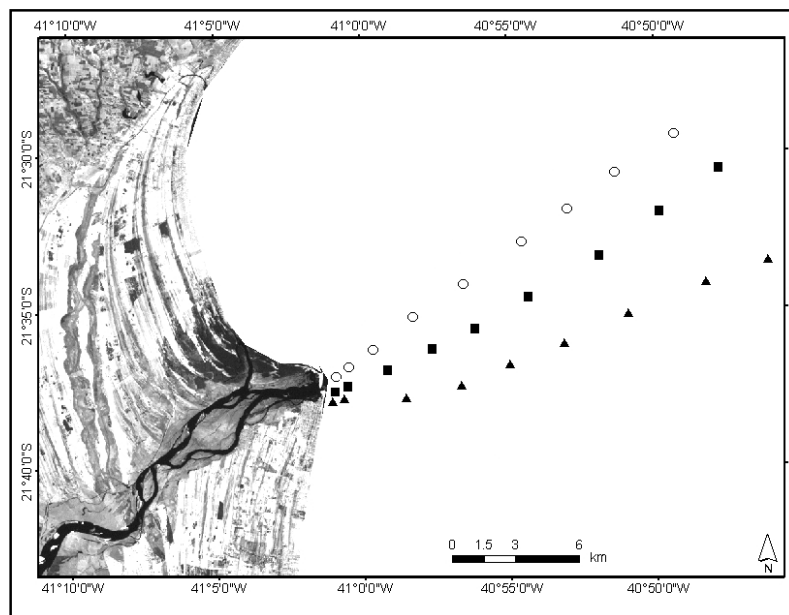


Figura 21: Imagem obtida de satélite com os três transectes realizados na 2ª amostragem. ○ Transecte realizado dia 04/03/2008, ▲ 05/03/2008, e ■ 06/03/2008.

Tabela 11: Dados geográficos do 1º transecte realizado no dia 04/03/2008.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
1	0,0	21°37'04" S	41°00'56" W	1,0
2	0,6	21°37'10" S	41°00'22" W	
3	1,2	21°36'58" S	40°59'53" W	
4	3,2	21°36'19" S	40°59'12" W	
5	8,2	21°31'49" S	40°56'57" W	
6	13,2	21°33'32" S	40°54'14" W	
7	18,2	21°32'47" S	40°51'28" W	
8	25,2	21°31'24" S	40°47'57" W	
9	32,2	21°29'26" S	40°44'18" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 12: Dados geográficos do 2º transecte realizado no dia 05/03/2008.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
10	0,0	21°37'04" S	41°00'56" W	1,1
11	0,6	21°37'10" S	41°00'22" W	
12	1,6	21°36'32" S	40°56'50" W	
13	3,6	21°36'45" S	40°56'30" W	
14	8,6	21°35'15" S	40°56'18" W	
15	13,6	21°33'58" S	40°53'39" W	
16	18,6	21°31'06" S	40°50'53" W	
17	25,6	21°32'18" S	40°46'57" W	
18	32,6	21°31'24" S	40°43'09" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 13: Dados geográficos do 3º transecte realizado no dia 06/03/2008.

Amostra	Distância* (km)	Latitude	Longitude	Amplitude de Marés
19	0,0	21°37'04" S	41°00'56" W	1,2
20	0,6	21°36'51" S	41°00'22" W	
21	1,6	21°36'45" S	40°59'32" W	
22	3,6	21°36'45" S	40°56'30" W	
23	8,6	21°36'19" S	40°55'36" W	
24	13,6	21°35'47" S	40°52'47" W	
25	18,6	21°35'15" S	40°49'50" W	
26	25,6	21°34'36" S	40°45'55" W	
27	32,6	21°33'58" S	40°42'00" W	

* Distância em relação à foz do Rio Paraíba do Sul.

Tabela 14: Resultados obtidos do 1º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 2ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
1	0,1	278,12	212,67	$0,11 \pm 11,16\%$	$3,55 \pm 8,35\%$	$8,97\text{E-}04 \pm 8,07\%$	$2,82\text{E-}03 \pm 1,65\%$
2	13,9	157,47	184,66	$0,24 \pm 12,40\%$	$7,45 \pm 9,15\%$	$1,86\text{E-}03 \pm 5,95\%$	$2,71\text{E-}03 \pm 1,55\%$
3	15,9	148,84	171,85	$0,17 \pm 11,21\%$	$5,30 \pm 7,42\%$	$1,26\text{E-}03 \pm 6,95\%$	$2,50\text{E-}03 \pm 1,65\%$
4	10,6	172,95	198,68	$0,22 \pm 8,06\%$	$4,90 \pm 7,68\%$	$1,30\text{E-}03 \pm 4,49\%$	$2,55\text{E-}03 \pm 1,10\%$
5	18,4	126,12	157,68	$0,19 \pm 9,91\%$	$4,69 \pm 7,60\%$	$1,42\text{E-}03 \pm 4,45\%$	$3,11\text{E-}03 \pm 1,04\%$
6	22,3	47,42	46,64	$0,18 \pm 12,50\%$	$3,29 \pm 8,72\%$	$1,54\text{E-}03 \pm 4,20\%$	$1,27\text{E-}03 \pm 1,21\%$
7	34,4	43,76	39,76	$0,14 \pm 11,02\%$	$1,86 \pm 7,07\%$	$1,74\text{E-}03 \pm 4,22\%$	$7,47\text{E-}04 \pm 1,30\%$
8	34,2	43,05	39,97	$0,12 \pm 11,17\%$	$1,72 \pm 7,30\%$	$1,53\text{E-}03 \pm 4,36\%$	$9,57\text{E-}04 \pm 1,32\%$
9	34,9	42,35	37,17	$0,07 \pm 13,13\%$	$1,10 \pm 8,64\%$	$1,27\text{E-}03 \pm 4,60\%$	$1,12\text{E-}03 \pm 1,31\%$

Tabela 15: Resultados obtidos do 2º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 2ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
10	0,1	264,38	221,61	$0,18 \pm 12,98\%$	$3,41 \pm 7,82\%$	$1,53\text{E-}03 \pm 6,20\%$	$2,58\text{E-}03 \pm 1,56\%$
11	22,6	111,51	128,42	$0,29 \pm 9,70\%$	$7,61 \pm 7,79\%$	$1,93\text{E-}03 \pm 5,56\%$	$2,21\text{E-}03 \pm 1,51\%$
12	1,0	232,87	237,55	$0,25 \pm 9,59\%$	$6,24 \pm 9,18\%$	$1,97\text{E-}03 \pm 5,95\%$	$3,63\text{E-}03 \pm 1,45\%$
13	6,5	196,12	205,80	$0,15 \pm 11,23\%$	$3,58 \pm 7,66\%$	$1,03\text{E-}03 \pm 4,99\%$	$2,67\text{E-}03 \pm 1,13\%$
14	13,4	151,05	180,58	$0,22 \pm 11,82\%$	$5,38 \pm 8,74\%$	$1,29\text{E-}03 \pm 4,56\%$	$2,85\text{E-}03 \pm 1,07\%$
15	34,4	47,52	45,04	$0,21 \pm 9,40\%$	$3,21 \pm 8,66\%$	$1,79\text{E-}03 \pm 4,29\%$	$1,58\text{E-}03 \pm 1,22\%$
16	33,9	44,96	42,39	$0,18 \pm 9,98\%$	$2,10 \pm 7,88\%$	$1,57\text{E-}03 \pm 4,27\%$	$1,10\text{E-}03 \pm 1,25\%$
17	34,4	42,77	38,71	$0,15 \pm 11,32\%$	$2,03 \pm 9,22\%$	$1,69\text{E-}03 \pm 4,50\%$	$1,12\text{E-}03 \pm 1,35\%$
18	34,7	42,37	40,75	$0,10 \pm 9,62\%$	$1,34 \pm 9,35\%$	$1,45\text{E-}03 \pm 4,51\%$	$9,60\text{E-}04 \pm 1,32\%$

Tabela 16: Resultados obtidos do 3º transecte dos traçadores utilizados para o estudo na 2ª amostragem.

Amostra	Salinidade	Si ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Ba (nmol L^{-1})	^{223}Ra (Bq m^{-3})	^{224}Ra (Bq m^{-3})	^{226}Ra (Bq m^{-3})	^{228}Ra (Bq m^{-3})
19	0,1	338,71	241,37	$0,22 \pm 13,13\%$	$5,59 \pm 7,85\%$	$1,79\text{E-}03 \pm 5,80\%$	$2,90\text{E-}03 \pm 1,45\%$
20	18,4	133,81	180,11	$0,42 \pm 10,05\%$	$9,42 \pm 8,34\%$	$2,14\text{E-}03 \pm 4,45\%$	$4,13\text{E-}03 \pm 1,28\%$
21	3,2	213,82	260,78	$0,17 \pm 13,58\%$	$5,49 \pm 8,61\%$	$1,55\text{E-}03 \pm 6,42\%$	$3,88\text{E-}03 \pm 1,43\%$
22	2,6	218,87	266,67	$0,16 \pm 12,08\%$	$4,99 \pm 9,77\%$	$1,29\text{E-}03 \pm 4,47\%$	$2,81\text{E-}03 \pm 1,09\%$
23	12,3	166,61	206,82	$0,19 \pm 9,28\%$	$5,29 \pm 10,43\%$	$1,37\text{E-}03 \pm 4,43\%$	$3,35\text{E-}03 \pm 1,01\%$
24	33,3	49,35	51,48	$0,16 \pm 9,25\%$	$2,32 \pm 9,64\%$	$1,62\text{E-}03 \pm 4,51\%$	$1,33\text{E-}03 \pm 1,28\%$
25	34,6	42,79	41,03	$0,09 \pm 14,71\%$	$1,11 \pm 8,90\%$	$1,55\text{E-}03 \pm 4,55\%$	$1,29\text{E-}03 \pm 1,29\%$
26	34,8	43,20	46,59	$0,08 \pm 11,84\%$	$1,66 \pm 8,12\%$	$1,67\text{E-}03 \pm 4,16\%$	$1,31\text{E-}03 \pm 1,23\%$
27	35,4	41,93	40,98	$0,09 \pm 10,31\%$	$0,98 \pm 7,73\%$	$1,55\text{E-}03 \pm 4,97\%$	$9,03\text{E-}04 \pm 1,40\%$

A Tabela 18 apresenta os coeficientes de correlação envolvendo a distância dos pontos de coleta em relação à foz do RPS e os parâmetros determinados.

Tabela 17: Coeficientes de correlação da 2ª amostragem (Correlação de Pearson).

		Si	Ba	Sal.	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	Distância	U
Si		1	.928(**)	-.962(**)	.779(**)	-.182	-.799(**)	-.996(**)
	N	27	27	27	27	27	27	19
Ba		.928(**)	1	-.964(**)	.910(**)	-.157	-.851(**)	-.994(**)
	N	27	27	27	27	27	27	19
Sal.		-.962(**)	.964(**)	1	-.834(**)	.223	.847(**)	.996(**)
	N	27	27	27	27	27	27	19
²²⁸ Ra		.779(**)	.910(**)	-.834(**)	1	.036	-.826(**)	-.895(**)
	N	27	27	27	27	27	27	19
²²⁶ Ra		-.182	-.157	.223	.036	1	-.032	.141
	N	27	27	27	27	27	27	19
Distância		-.799(**)	-.851(**)	.847(**)	-.826(**)	-.032	1	.816(**)
	N	27	27	27	27	27	27	19
U		-.996(**)	-.994(**)	.996(**)	-.895(**)	.141	.816(**)	1
	N	19	19	19	19	19	19	19

** A correlação é significativa a 0.01 níveis (bi-caudal).

Maiores coeficientes de correlação foram obtidos nesta campanha de coleta de estação chuvosa quando comparados com a campanha anterior na estação de seca (Tabela 10).

Em particular, são observadas correlações mais significativas com a distância, envolvendo, inclusive, o ²²⁸Ra, isótopo de rádio de meia-vida longa, conforme descrito por Moore (1969). A correlação negativa de ²²⁸Ra com a distância, demonstra ser a difusão um importante mecanismo de dispersão de elementos conservativos oriundos do Rio Paraíba do Sul, evidenciada também na Figura 22. A Figura 23 demonstra a correlação entre o ²²⁸Ra e o seu homólogo bário. Ainda nesta 2ª amostragem, observa-se uma grande correlação entre o U e a salinidade (Figura 24).

Pode-se notar que apenas para ²²⁶Ra não são observadas correlações significativas, nem mesmo entre ²²⁶Ra e ²²⁸Ra.

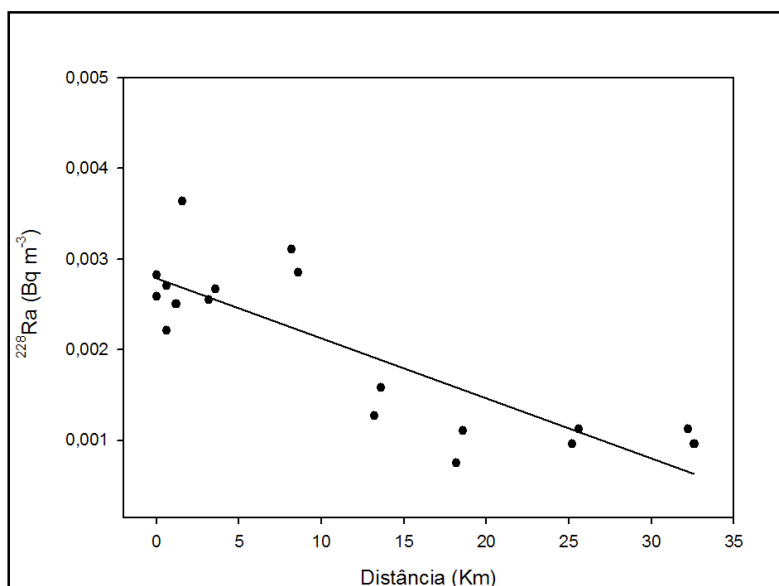


Figura 22: Resultados obtidos de concentração (atividade) do isótopo ^{228}Ra em relação à distância na 2ª amostragem.

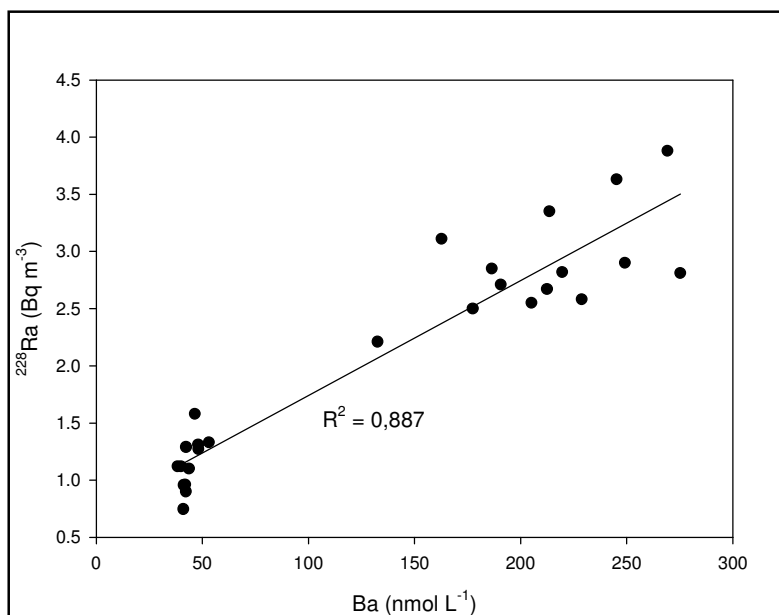


Figura 23: Resultados obtidos de Ba e ^{228}Ra da 2ª amostragem.

Assim sendo, com base nos dados dos dois primeiros transectes, construiu-se o gráfico de $\ln ^{223}\text{Ra}$ e $\ln ^{224}\text{Ra}$ com a distância em relação à costa (Figura 25). Do mesmo modo que o verificado na primeira campanha de amostragem, foi obtida uma relação exponencial que permite o cálculo do coeficiente de difusão (K_h). Os valores calculados foram de $59,1 \text{ km}^2 \text{ d}^{-1}$ ($R^2=0,935$) para ^{223}Ra e de $59,5 \text{ km}^2 \text{ d}^{-1}$ ($R^2=0,938$) para ^{224}Ra .

Uma vez que a coleta do mês de março representa uma situação de alta vazão do Rio Paraíba do Sul contra a situação de baixa vazão do mês de agosto, verifica-se um aumento substancial do coeficiente de difusão em relação à amostragem anterior.

As correlações entre salinidade, bário e silício se mantiveram nesta segunda amostragem, conforme Figuras 26 e 27, demonstrando ser o Rio Paraíba do Sul, a fonte principal destes dois elementos.

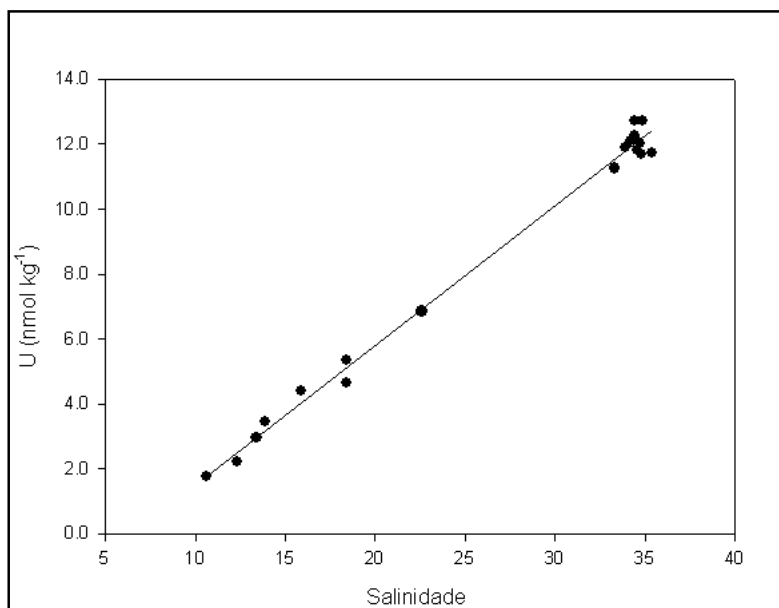


Figura 24: Gráfico dos resultados obtidos de salinidade e U da 2ª amostragem.

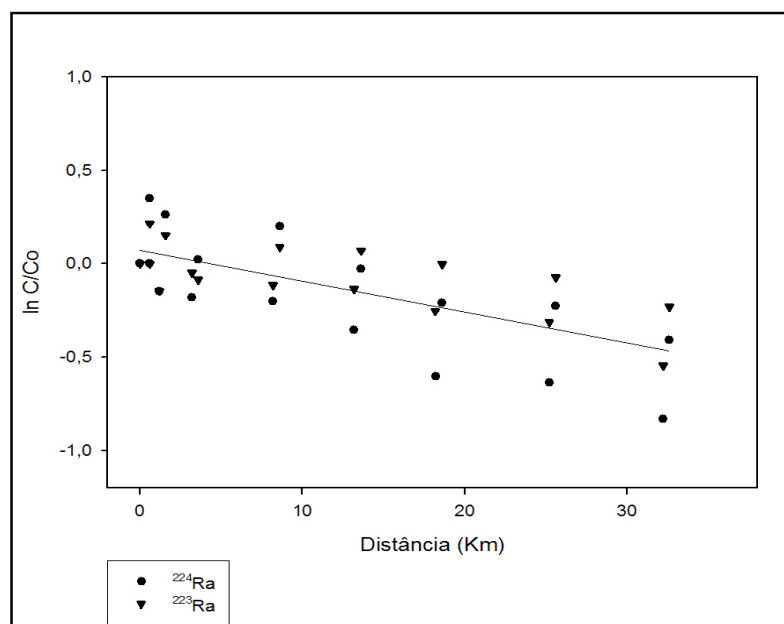


Figura 25: Gráfico do logaritmo das concentrações dos isótopos ²²³Ra e ²²⁴Ra em relação à distância da 2ª amostragem.

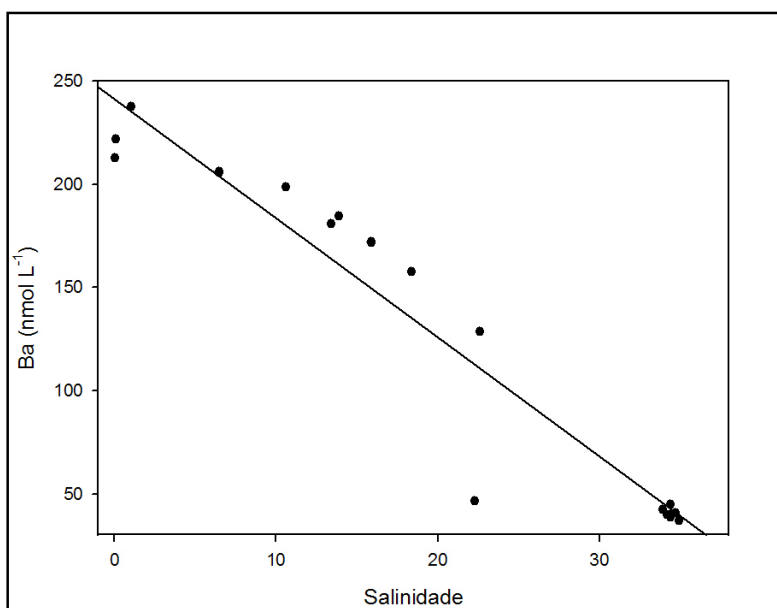


Figura 26: Gráfico dos resultados obtidos de salinidade e Ba da 2ª amostragem.

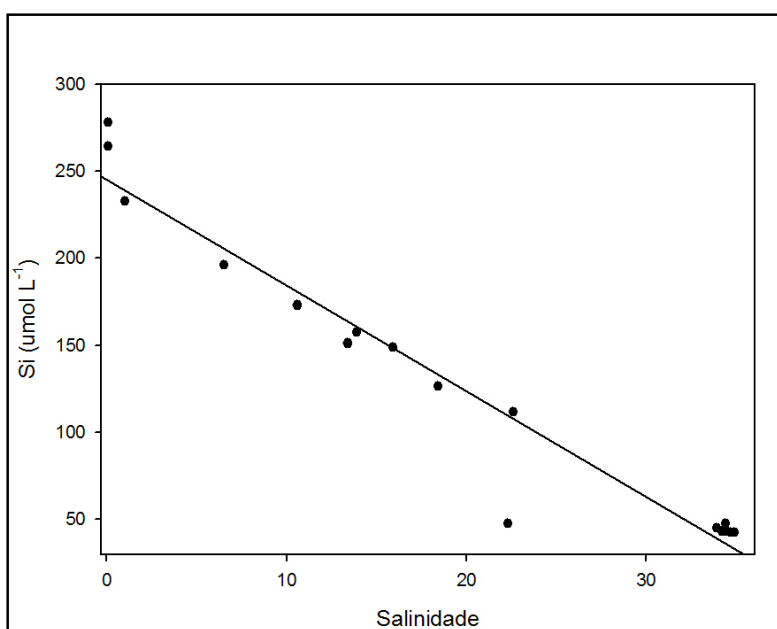


Figura 27: Gráfico dos resultados obtidos de salinidade e Si da 2ª amostragem.

6.2.2.1.**Cálculo da Idade Aparente da Razão de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$** Tabela 18: Dados da idade da razão $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ na 2ª amostragem.

Amostra	$^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$	Idade Aparente (dias)	Distância (km)
1	-	-	-
2	30,74	0,00	0,6
3	30,53	0,05	1,2
4	22,57	2,40	3,2
5	25,15	1,56	8,2
6	18,54	3,93	13,2
7	13,71	6,28	18,2
8	14,59	5,79	25,2
9	15,94	5,11	32,2
10	19,18	0,00	0,0
11	26,08	0,00	0,6
12	24,65	0,44	1,6
13	24,57	0,47	3,6
14	24,65	0,44	8,6
15	15,34	4,13	13,6
16	11,88	6,12	18,6
17	13,49	5,13	25,6
18	12,75	5,57	32,6
19	25,44	0,00	0,0
20	22,48	0,00	0,6
21	33,01	0,00	1,6
22	31,58	0,34	3,6
23	28,50	1,14	8,6
24	14,87	6,20	13,6
25	12,08	7,82	18,6
26	20,66	3,65	25,6
27	11,16	8,44	32,6

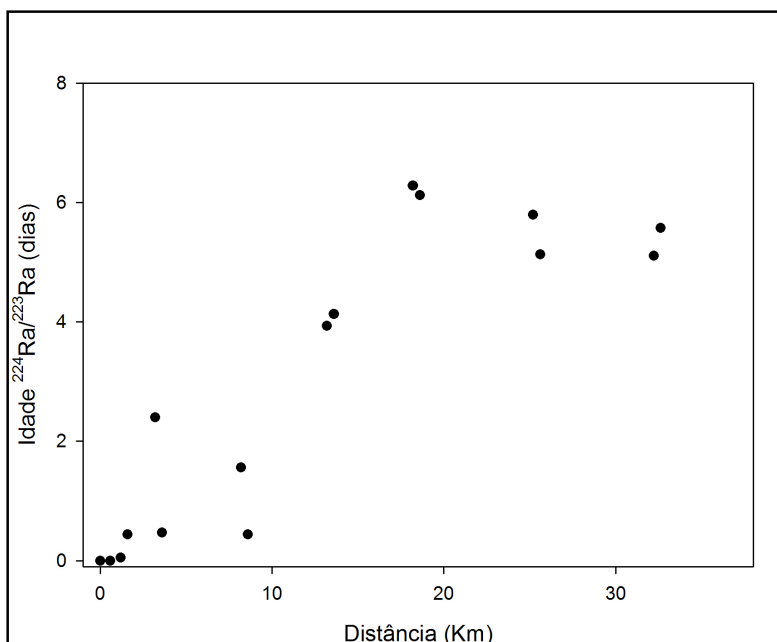


Figura 28: Gráfico da idade de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ em dias em relação à distância.

Conforme o gráfico obtido a partir dos dados da idade da razão de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ em relação à distância da costa, pode-se observar que a água proveniente da foz do Rio Paraíba do Sul leva cerca de 6 dias para alcançar a distância de 32 km estudada na 2ª campanha.

6.2.3.

Comparação entre estação seca (agosto/2007) e estação chuvosa (março/2008)

Ao compararmos os resultados obtidos em ambas as campanhas, verifica-se que o parâmetro que apresentou maiores diferenças foi o silício. Por outro lado, verifica-se uma maior correlação entre os parâmetros experimentais, com exceção do ^{226}Ra , com a distância em relação à foz do RPS (Tabelas 10 e 18).

Esta maior correlação, talvez causada pelo maior aporte de águas do RPS, permitiu verificar a relação linear entre a distância e a concentração de ^{228}Ra , isótopo de meia-vida longa, como descrito na literatura (Godoy et al., 2006).

Como foi verificada em ambas as amostragens, uma elevada correlação entre bário, silício e salinidade, construiu-se os gráficos de bário vs salinidade e silício vs salinidade, envolvendo todos os resultados (Figuras 29 e 30).

O maior aporte de águas do RPS na estação chuvosa proporciona uma dispersão mais rápida de poluentes conservativos, verificada pelo aumento num fator de 3 no coeficiente de dispersão, conforme mostrado anteriormente. Este maior aporte de água do RPS permitiu um melhor ajuste no cálculo do coeficiente de difusão no período chuvoso (março/2008) quando comparado com o período seco (agosto/2007).

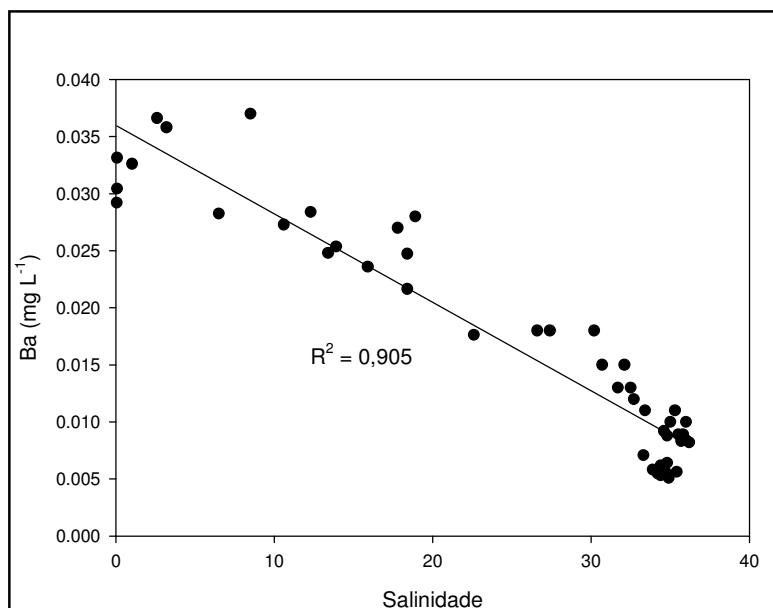


Figura 29: Resultados obtidos de Ba e salinidade para os transectes das duas amostragens.

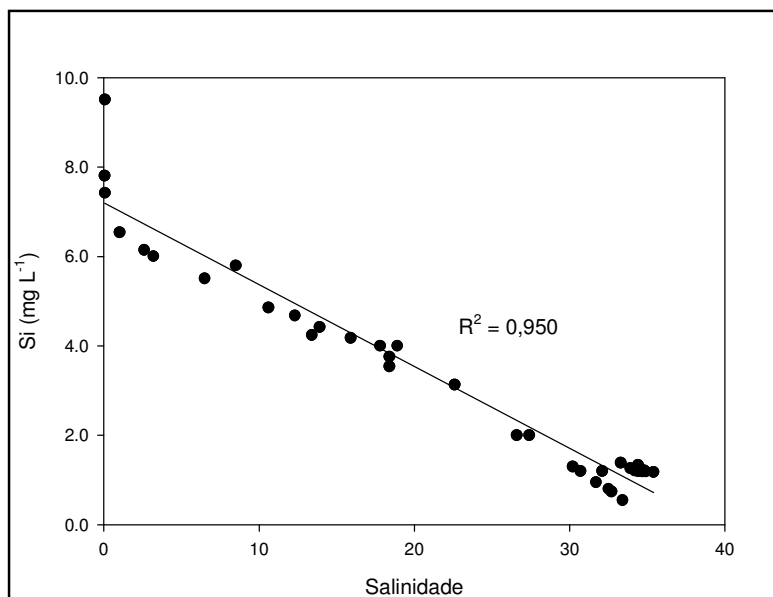


Figura 30: Resultados obtidos de Si e salinidade para os transectes das duas amostragens.