## 5.3 **Transectos Dezembro/2013**

### 5.3.1 Propriedades Físico-químicas e Ópticas

Os resultados das medições das propriedades físico-químicas e ópticas, realizadas ao longo dos transectos localizados na região costeira adjacente à desembocadura do canal estão sintetizados na **Tabela 1** e são mostrados nas Figuras **35** a **41**. Em vista da ausência de amostragens nos transectos VB opotou-se por mostrar os resultados deste transecto apenas sob a forma de perfis, e para facilitar a visualização dos demais transectos, são mostrados também os perfis nas **Figuras 42** a **49**.

**Tabela 1:** Propriedades fisico-químicas e ópticas medidas ao longo dos transectos

| | | **A** | | **B** | | **C** | | **Média** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Ench.** | **Vaz.** | **Ench.** | **Vaz.*** | **Ench.** | **Vaz.*** | |
| **Temperatura (°C)** | Mín | 19,1 | 19,9 | 14,9 | 24,8 | 17,5 | 21,2 | 23,7 |
| | Máx | 24,9 | 25,1 | 24,8 | 25,0 | 24,8 | 25,0 | |
| | Média | 23,6 | 23,9 | 22,8 | 24,9 | 22,9 | 24,2 | |
| **Salinidade (UPS)** | Mín | 30,9 | 31,9 | 31,5 | 31,9 | 31,5 | 31,9 | 33,4 |
| | Máx | 36,1 | 35,2 | 37,4 | 33,2 | 36,0 | 34,6 | |
| | Média | 33,5 | 33,4 | 33,7 | 33,0 | 33,7 | 33,3 | |
| **Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)** | Mín | 1020,3 | 1021,1 | 1020,8 | 1021,1 | 1020,8 | 1021,1 | 1022,5 |
| | Máx | 1025,8 | 1024,9 | 1027,9 | 1022,0 | 1026,2 | 1024,1 | |
| | Média | 1022,6 | 1022,5 | 1023,0 | 1021,8 | 1022,9 | 1022,3 | |
| **Transmissividade (%)** | Mín | 19,9 | 33,4 | 19,9 | 39,0 | 19,9 | 30,8 | 48,6 |
| | Máx | 59,9 | 60,4 | 67,0 | 43,2 | 59,7 | 50,0 | |
| | Média | 49,7 | 51,0 | 53,6 | 41,9 | 51,4 | 43,9 | |
| **Atenuação ($m^{-1}$)** | Mín | 2,0 | 2,0 | 1,6 | 3,3 | 2,0 | 2,7 | 2,9 |
| | Máx | 6,4 | 4,3 | 6,4 | 3,8 | 6,4 | 4,7 | |
| | Média | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 3,5 | 2,7 | 3,3 | |
| **Fluorescência ($mg \cdot m^{-3}$)** | Mín | 2,6 | 3,3 | 2,3 | 3,2 | 3,6 | 2,5 | 6,7 |
| | Máx | 13,0 | 9,7 | 11,3 | 7,2 | 12,0 | 8,9 | |
| | Média | 6,6 | 6,7 | 6,9 | 6,2 | 6,9 | 7,0 | |
| **Oxigênio Dissolvido ($mg \cdot L^{-1}$)** | Mín | 4,9 | 5,7 | 4,4 | 6,6 | 4,9 | 6,4 | 7,8 |
| | Máx | 8,6 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,9 | 8,8 | |
| | Média | 7,7 | 8,0 | 7,4 | 8,0 | 7,7 | 8,1 | |

**Figura 27:** Distribuição de temperatura ao longo dos transectos amostrados.

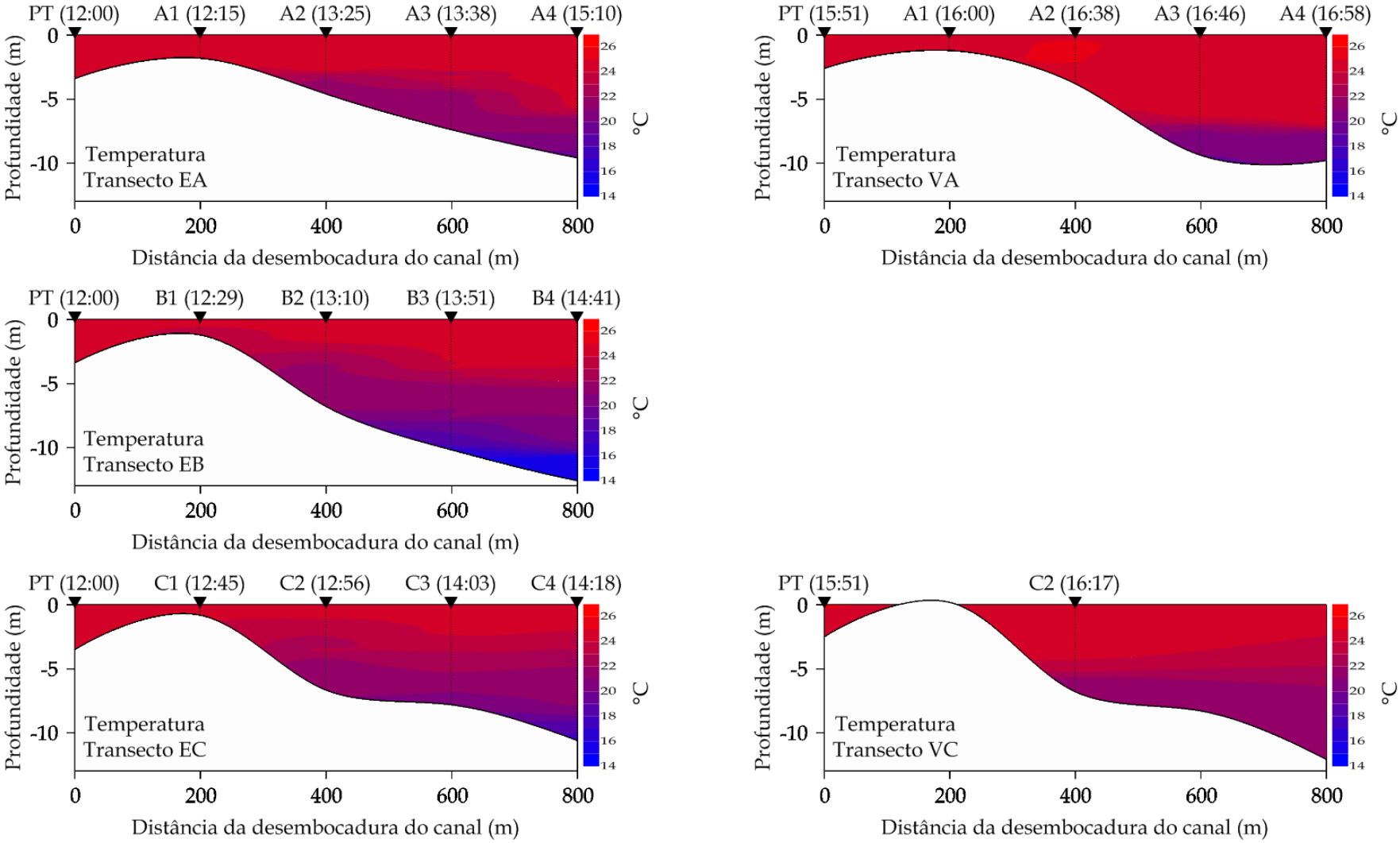


**Figura 28:** Distribuição de salinidade ao longo dos transectos

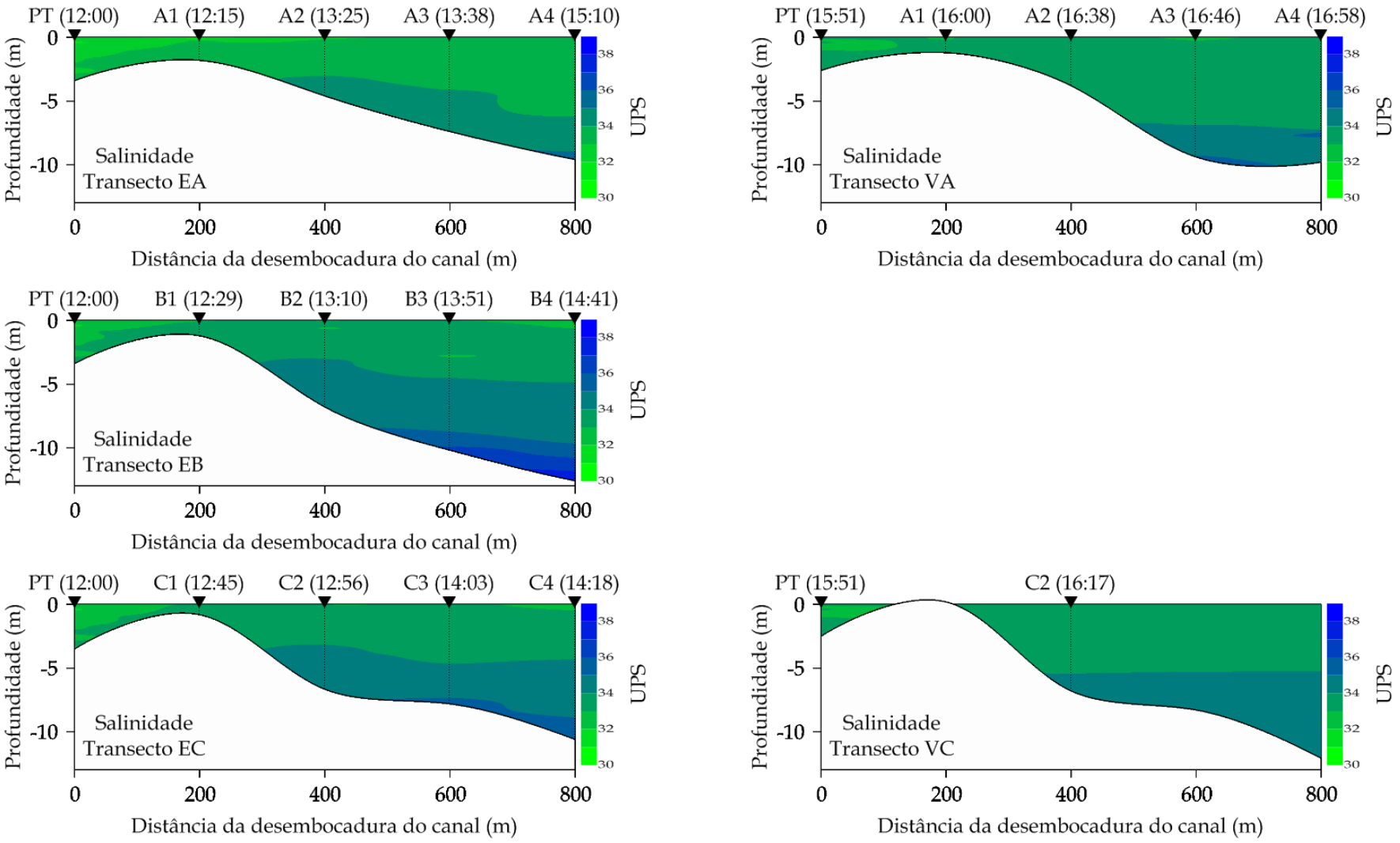


**Figura 29:** Distribuição de densidade ao longo dos transectos

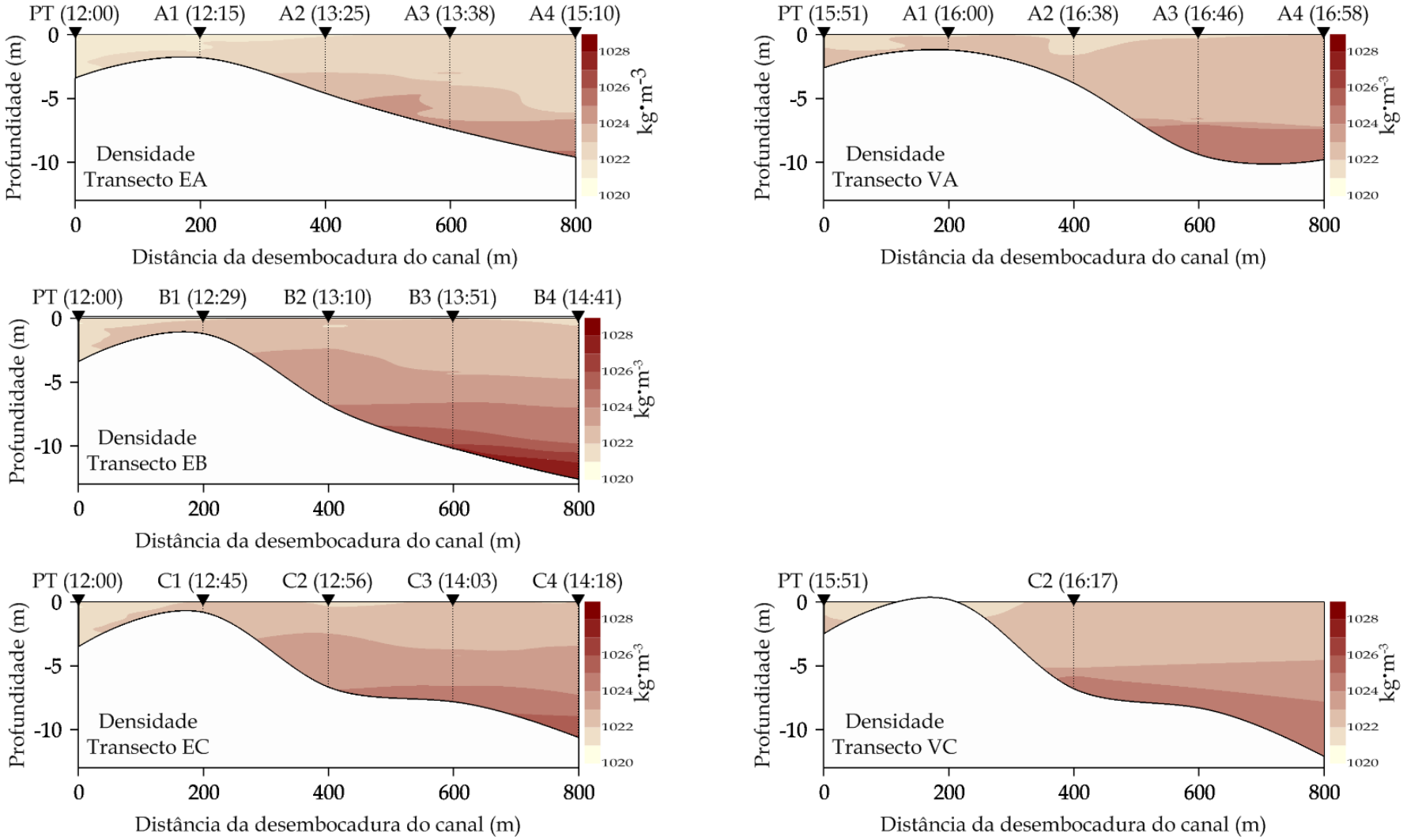


**Figura 30:** Distribuição de transmissividade ao longo dos transectos

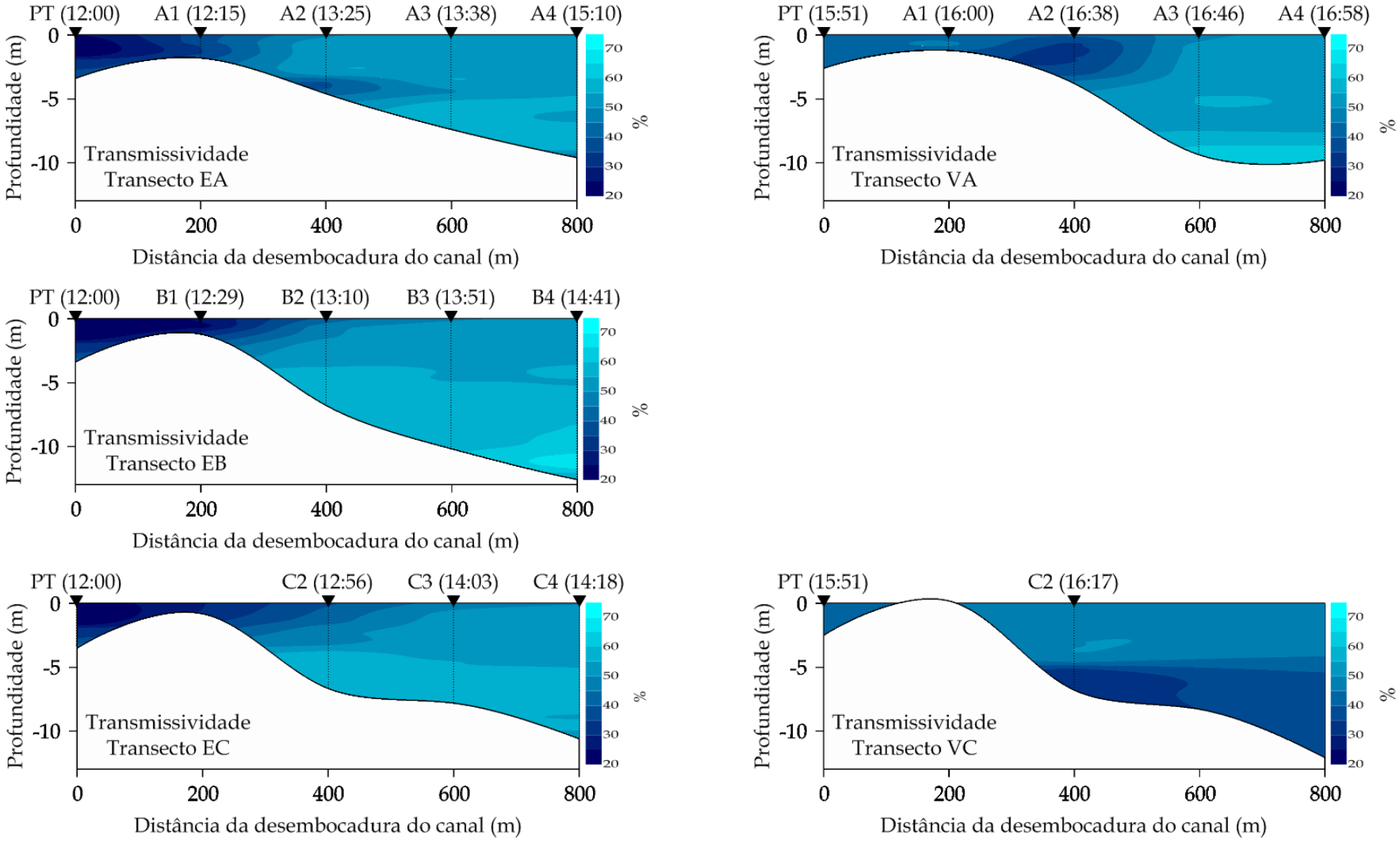


**Figura 31:** Distribuição de atenuação ao longo dos transectos

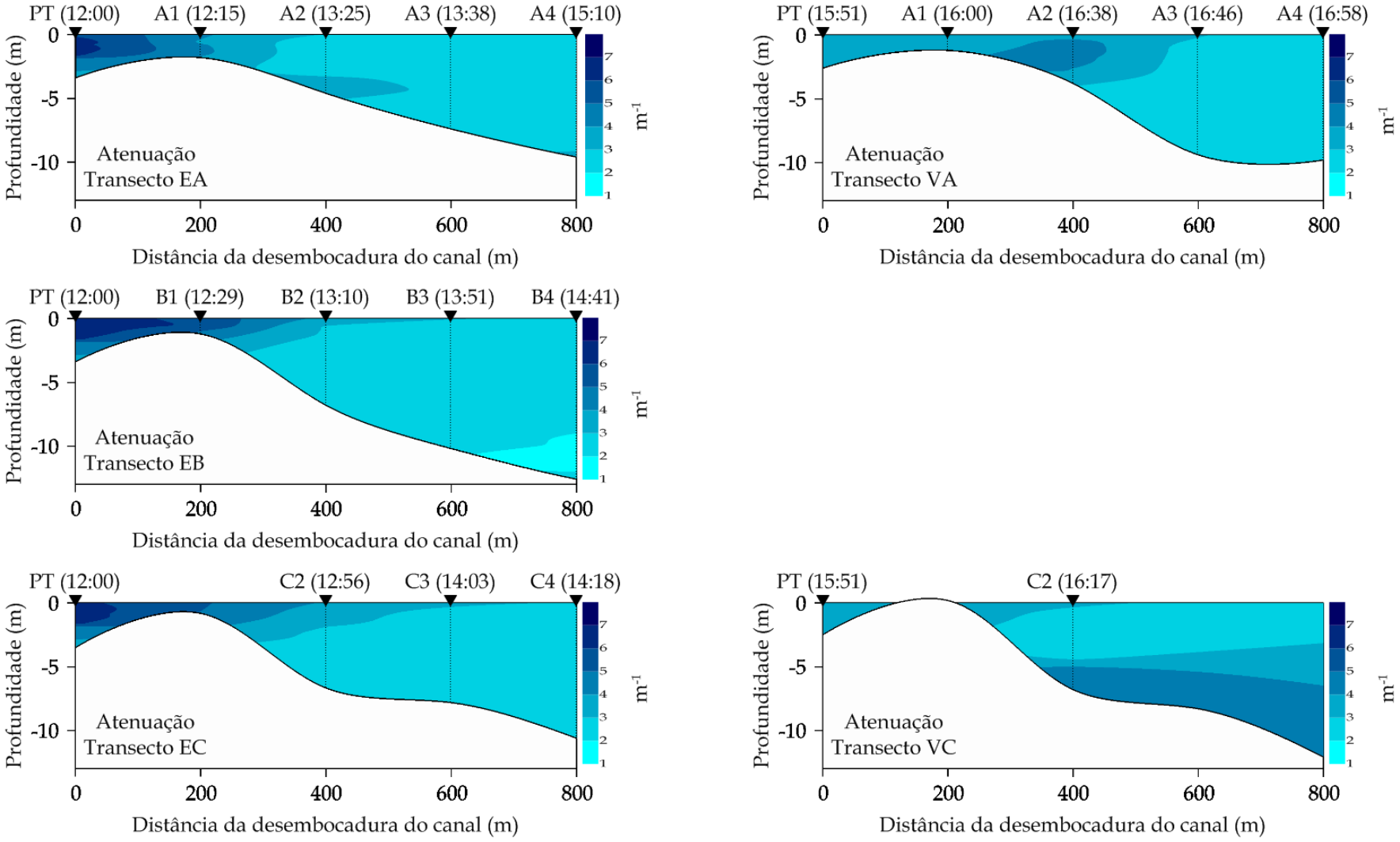


**Figura 32:** Distribuição de fluorescência ao longo dos transectos

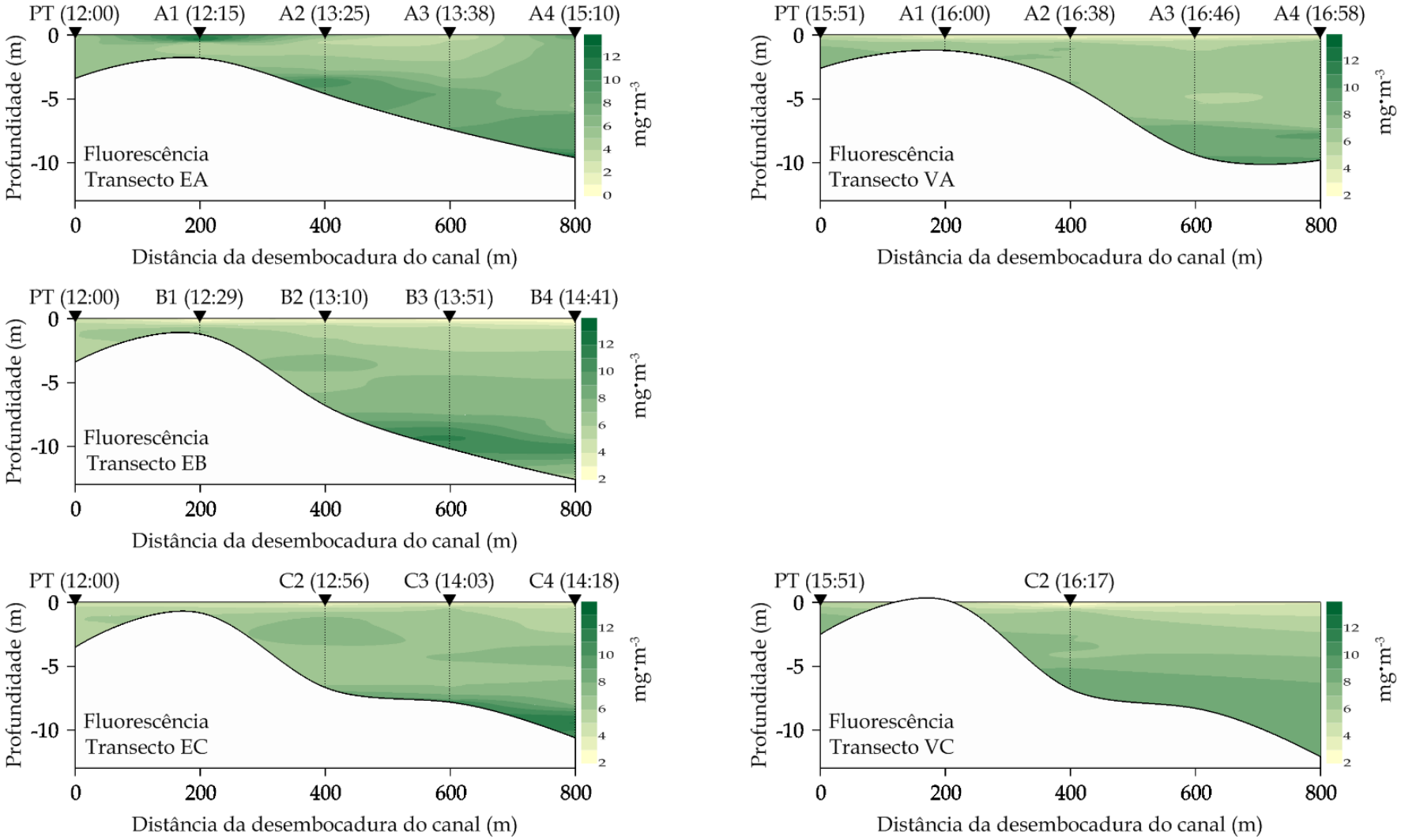
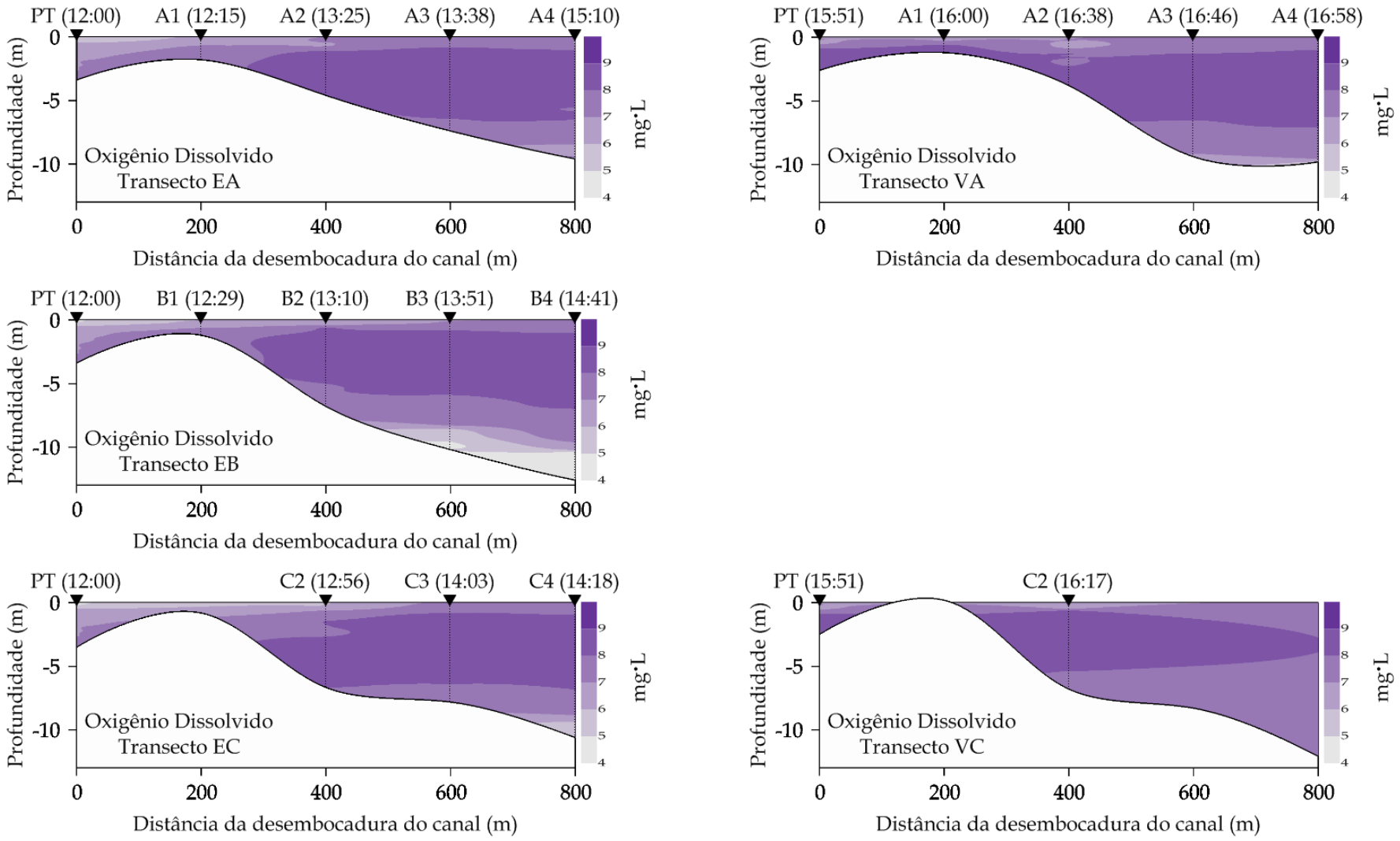


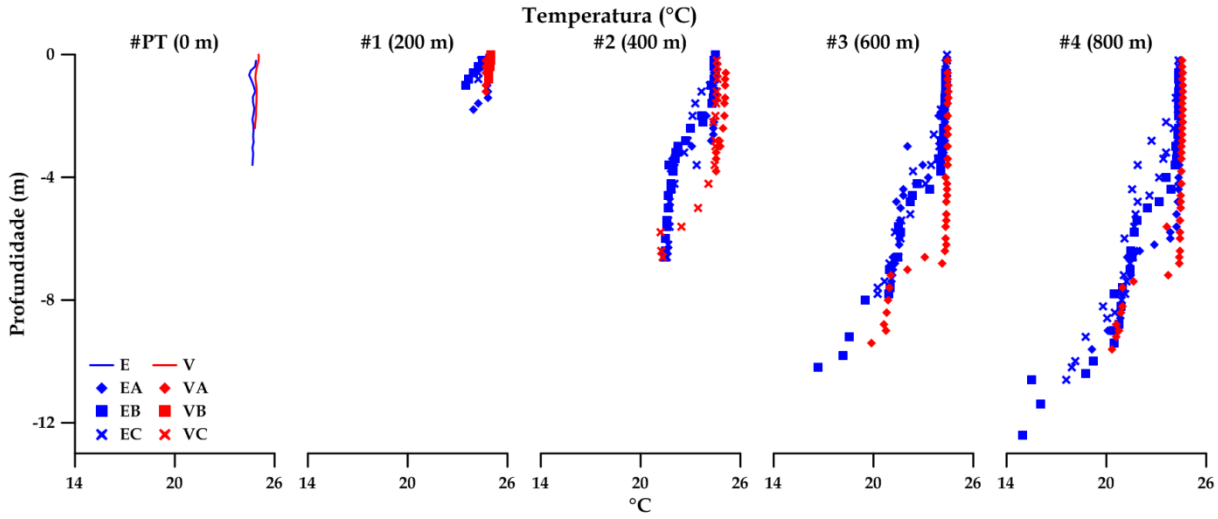
**Figura 33:** Distribuição de oxigênio dissolvido ao longo dos transectos



A temperatura variou de 14,97°C (EB#4) a 25,11°C (VA#2) com valor médio de 23,77°C. Durante a enchente, o transecto A apresentou maior temperatura média, seguido do C e do B. Na vazante, a maior temperatura média foi registrada no transecto B, seguido do C e do A. As temperaturas médias durante a enchente foram mais baixas em relação à vazante, sendo o transecto B o que apresentou maior variação - cerca de 2,0 ºC.

Nos três transectos foi observada a diminuição da temperatura por volta dos 5 metros de profundidade principalmente nas estações #3 e #4, durante a enchente (**Figura 42**). Durante a vazante a diminuição da temperatura foi observada em uma profundidade maior, como pode ser observado no transecto VA. Infelizmente, como não realizou-se medições em todas as estações dos transectos VB e VC não é possível afirmar se o mesmo padrão ocorre nestes transectos.

**Figura 34:** Perfis de temperatura medidos ao longo dos transectos.

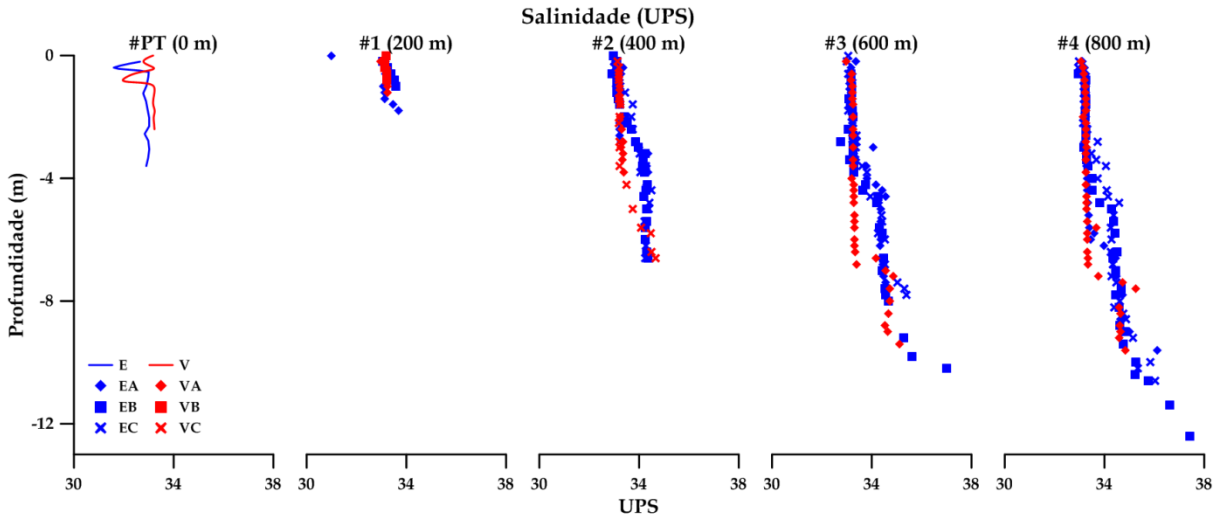



*Os valores entre parenteses indicam a distãncia ao ponto inicial de medições (#PT)*

A salinidade variou de 30,9 UPS (EA#1) a 37,4 UPS (EB#4) com valor médio de 33,4 UPS. Durante a enchente, o transecto B apresentou a maior salinidade média, seguido do C e do A. Na vazante, a maior salinidade média observada foi no transecto A, seguido do C e do B. Durante a enchente, as salinidades médias medidas foram maiores que durante a vazante.

Avariação da salinidade em profundidade apresentou o mesmo padrão observado na temperatura, ocorrendo a partir dos 5 metros de profundidade durante a enchente nas estações #3 e #4 e se aprofundando a cerca de 7 metros durante a vazante (**Figura 43**).

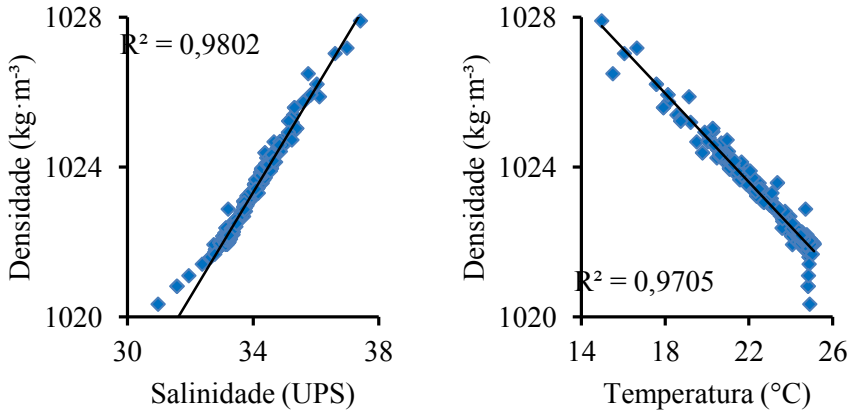
**Figura 35:** Perfis de salinidade medidos ao longo dos transectos.




*Os valores entre parenteses indicam a distância ao ponto inicial de medições (#PT)*

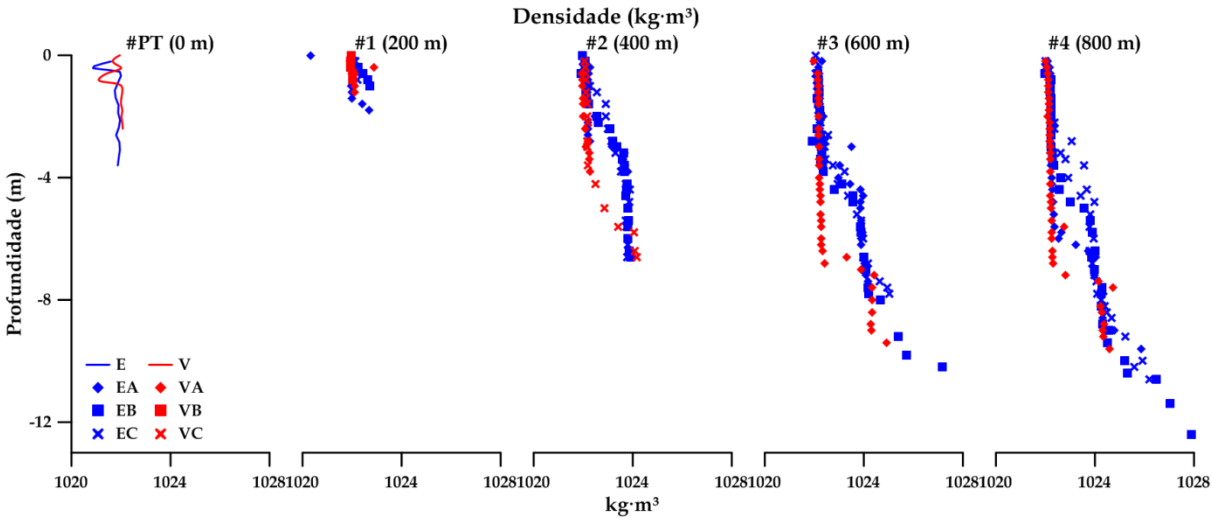
A densidade variou de 1020,3 kg·m$^{-3}$ (EA#1) a 1027,9 kg·m$^{-3}$ (EB#4) com valor médio de 1022,5 kg·m$^{-3}$. Durante a enchente, o transecto B apresentou a maior densidade média, seguido pelos transectos C e A. No período de vazante, a maior densidade média foi observada no transecto A, seguido pelo C e B. As águas mais densas ocorreram durante a enchente, tal como no caso da salinidade, tendo em vista que a densidade é principalmente regida pela salinidade na área de estudo (**Figura 44**).

**Figura 36:** Correlação entre os valores de temperatura e salinidade com a densidade.




Sendo assim, o aumento da densidade também foi observado por volta dos 5 metros na enchente, nas estações #3 e #4, ocorrendo a cerca de 7 metros durante a vazante (**Figura 45**).

**Figura 37:** Perfis de densidade medidos ao longo dos transectos.



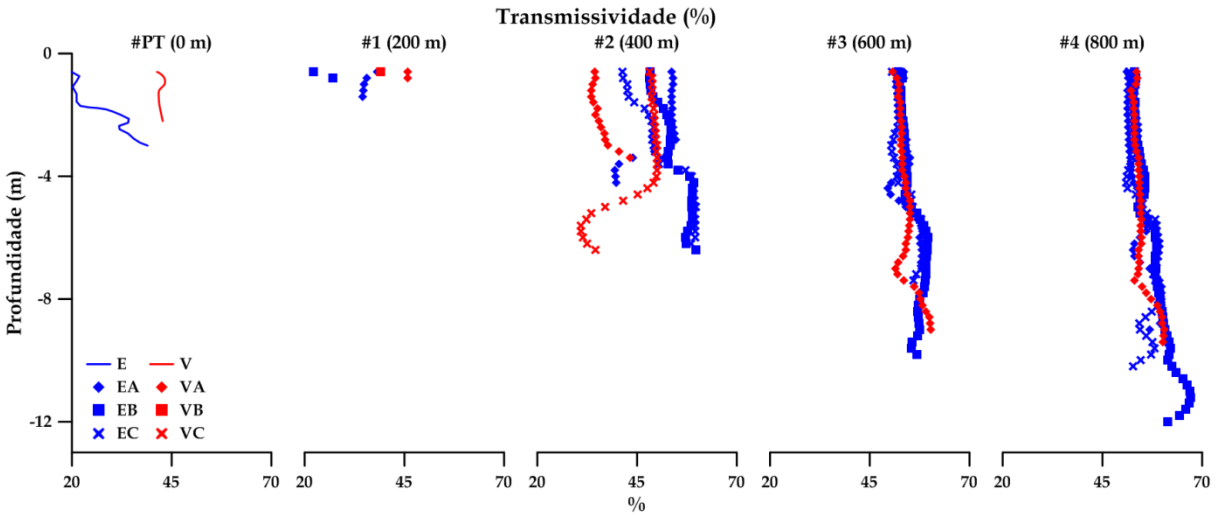

*Os valores entre parenteses indicam a distãncia ao ponto inicial de medições (#PT)*

A transmissividade apresentou valor mínimo de 19,9 % (EB#PT) e valor máximo de 67,0 % (EB#4). O valor médio foi de 48,6 %. Os maiores valores médios de transmissividade foram medidos durante a enchente, sendo maior no transecto B. Durante a vazante, o menor valor de transmissividade foi também registrado no transecto B. Por meio dos perfis, observa-se que a transmissividade é mais variável nas estações #PT, #1 e #2 (**Figura 46**). Na estação #PT foram registrados os menores valores de transmissividade. Na estação #2 é possível verificar a variabilidade entre os períodos de enchente e vazante, principalmente no transecto A (losangos vermelhos). Nas demais estações, #3 e #4, a transmissividade foi moderada (> 50 %) em todos os perfis amostrados, aumentando junto com a profundidade, alcançando cerca de 67 %.

Os valores de atenuação são obtidos pelo mesmo sensor que realiza as medições de transmissividade, sendo assim essas duas variáveis costumam apresentar o mesmo padrão de distribuição. A atenuação também apresentou ambos os extremos no transecto EB, sendo o mínimo de 1,6 $m^{-1}$ na estação #4 e o máximo de 6,4 $m^{-1}$ na estação #PT.

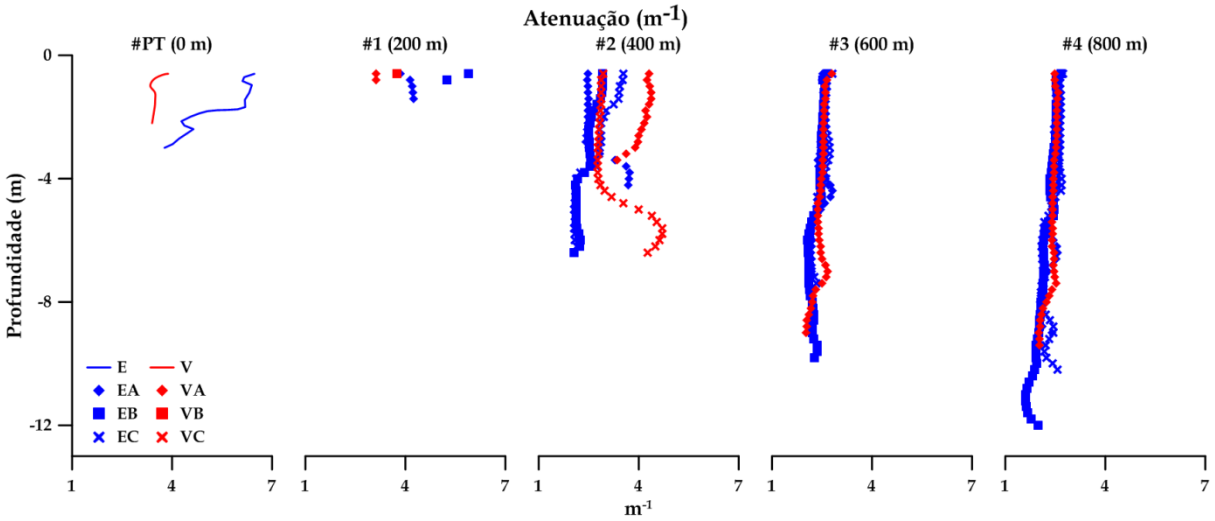
Tal como nos perfis de transmissividade, as maiores variações da atenuação são observadas nas três estações mais próximas à costa, enquanto que as duas últimas, mais profundas e afastadas do canal, apresentaram menor atenuação do feixe de luz (**Figura 47**).

**Figura 38:** Perfis de transmissividade medidos ao longo dos transectos.




*Os valores entre parenteses indicam a distãncia ao ponto inicial de medições (#PT)*

**Figura 39:** Perfis de atenuação medidos ao longo dos transectos.

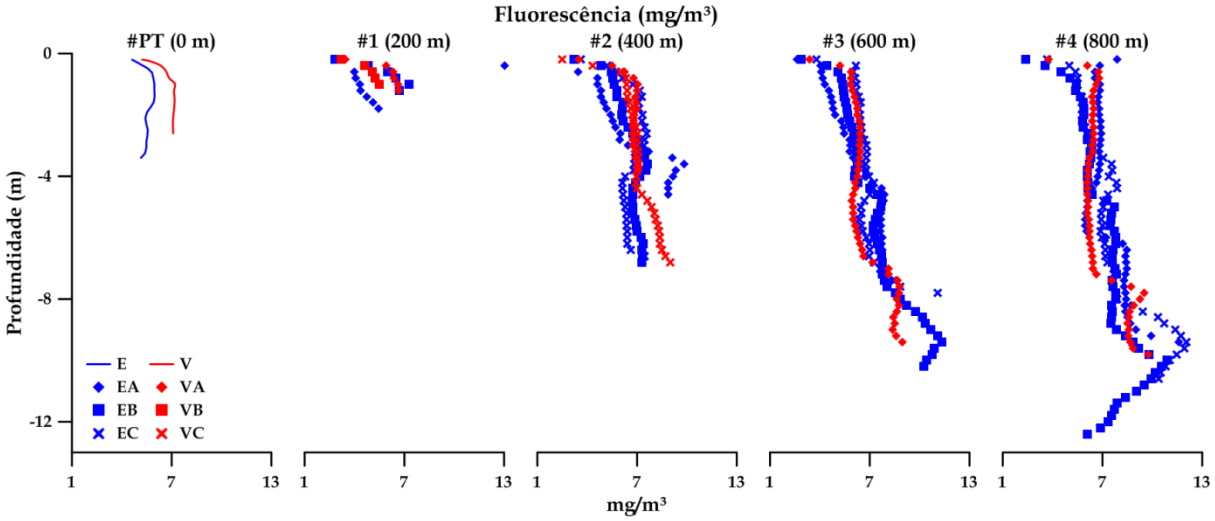



*Os valores entre parenteses indicam a distãncia ao ponto inicial de medições (#PT)*

Quanto à fluorescência, foram registrados valores de 2,3 mg·m$^{-3}$ (EB#4) até 13,0 mg·m$^{-3}$ (EA#1). O valor médio foi de 6,7 mg·m$^{-3}$. Os transectos A e C apresentaram maior concentração de clorofila durante a vazante; no transecto B observou-se o contrário.

Em geral, a fluorescência é menor em superfície e tende a aumentar com a profundidade. Nas estações #3 e #4 são observados picos de fluorescência a cerca de 9 metros de profundidade durante a enchente e picos um pouco mais rasos, a aproximadamente 8 metros, nos perfis de vazante realizados no transecto A (**Figura 48)**.

**Figura 40:** Perfis de fluorescência medidos ao longo dos transectos.

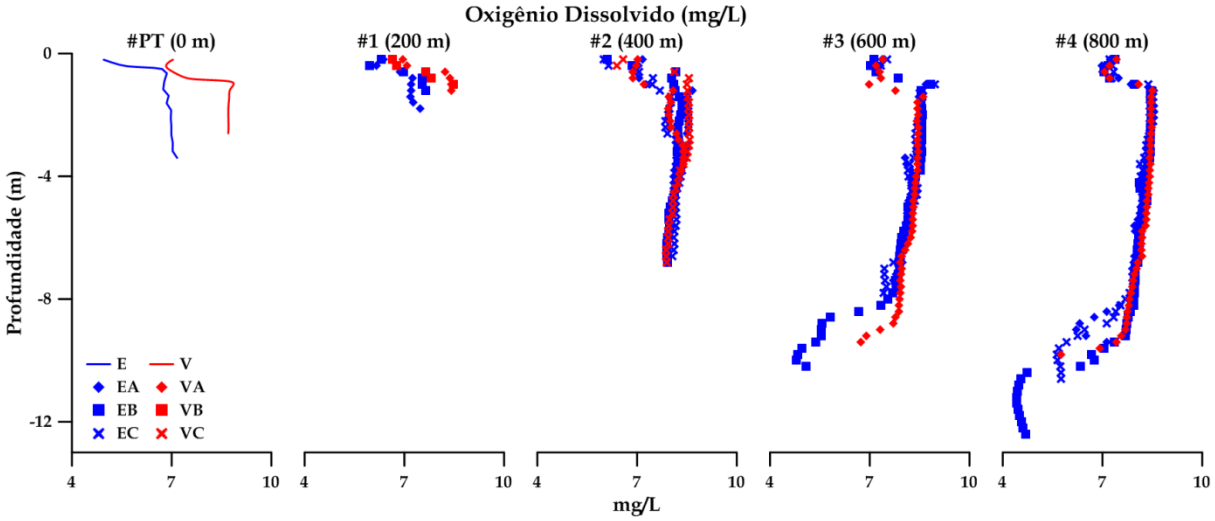



*Os valores entre parenteses indicam a distância ao ponto inicial de medições (#PT)*

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram de 4,4 $mg \cdot L^{-1}$ (EB#4) a 8,9 $mg \cdot L^{-1}$ (EC#3), sendo o valor médio de 7,8 $mg \cdot L^{-1}$. Em todos os transectos, as concentrações foram maiores durante a vazante, sendo o transecto B o que apresentou as menores concentrações em ambos os períodos de maré.

Em geral, as maiores concentrações estiveram junto ao fundo nas estações #PT, #1 e #2, e o inverso foi observado nas estações #3 e #4, com menores concentrações junto ao fundo. Uma rápida variação nas concentraçõe de oxigênio dissolvido foi observada em subsuperfície em todos os perfis. Porém nas duas últimas estações, mais profundas, outra faixa de variação foi observada a cerca de 8 metros de profundidade, a partir de onde as concentrações diminuem (**Figura 49**).

**Figura 41:** Perfis de oxigênio dissolvido medidos ao longo dos transectos.




Os resultados das amostras de água, utilizadas para determinação do material particulado em suspensão ao longo dos transectos são mostrados a seguir nas **Figuras 50** e **51**, apenas para as medições realizadas durante a enchente. Em superfície as concentrações foram mais baixas e variaram de 5,5 $mg \cdot L^{-1}$ (#A3) até 52,5 $mg \cdot L^{-1}$ (#B4), sendo o valor médio de 15,6 $mg \cdot L^{-1}$. O padrão de distribuição pareceu acompanhar o eixo principal do canal, com as maiores concentrações sendo registradas ao longo do transecto B onde as concentrações foram, em média, duas vezes mais altas que nos transectos A e C, sendo este último o que apresentou as menores concentrações em superfície.

Quanto às concentrações junto ao fundo, foram observadas as mesmas diferenças entre os transectos. A menor concentração, de 10,3 $mg \cdot L^{-1}$ foi encontrada na estação #C1 e a maior concentração na estação #B3, de 144,4 $mg \cdot L^{-1}$. O valor médio foi de 53,8 $mg \cdot L^{-1}$, sendo este maior que a concentração mais elevada encontrada durante a enchente. Mais uma vez o transecto B apresentou as maiores concentrações e o transecto C as menores.

Em ambos os períodos de maré, ao longo do transecto B ocorreu aumento das concentrações, sendo as mais elevadas registradas nas estações #B3 e #B4, mais distantes da costa.

**Figura 42:** Material particulado em suspensão, em superfície, durante a enchente.

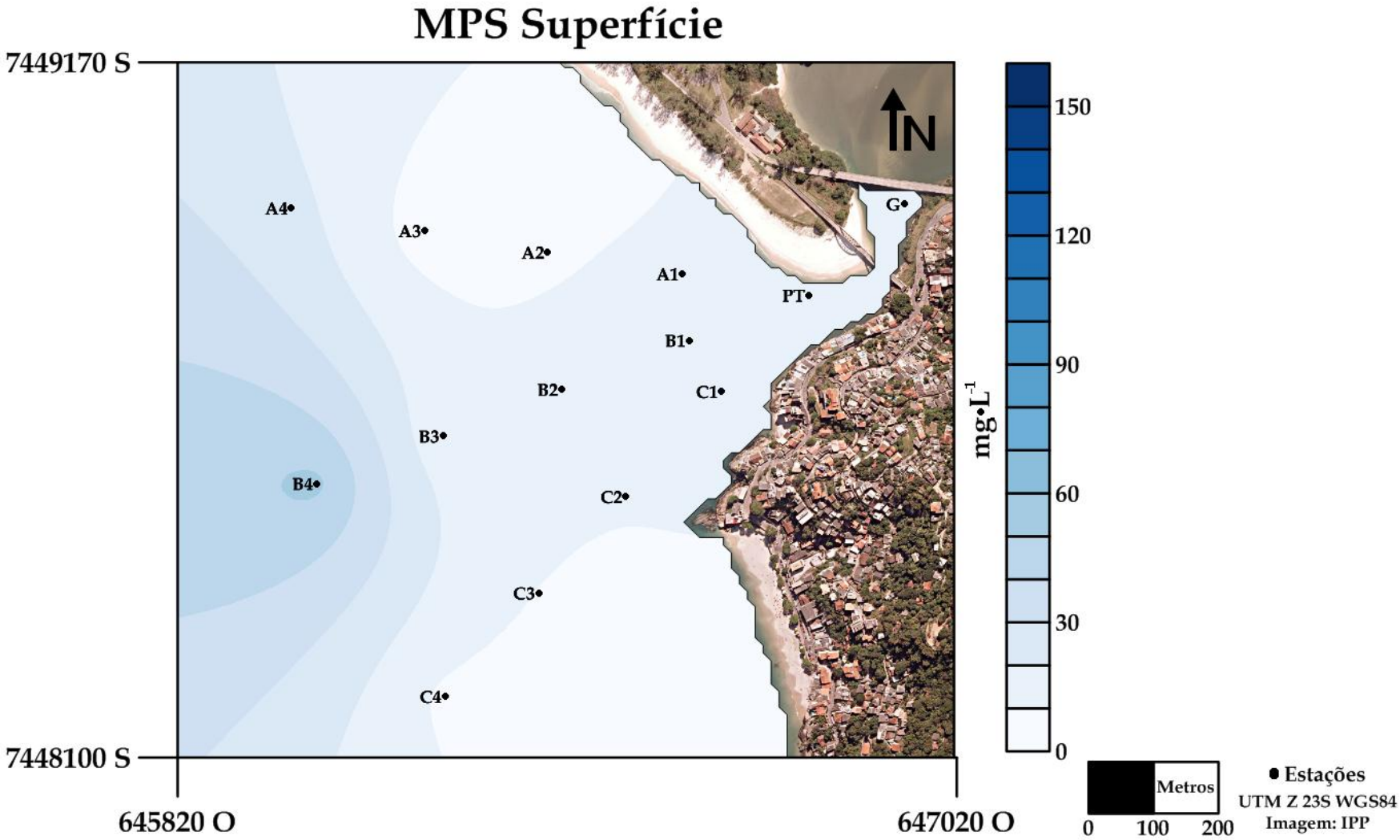
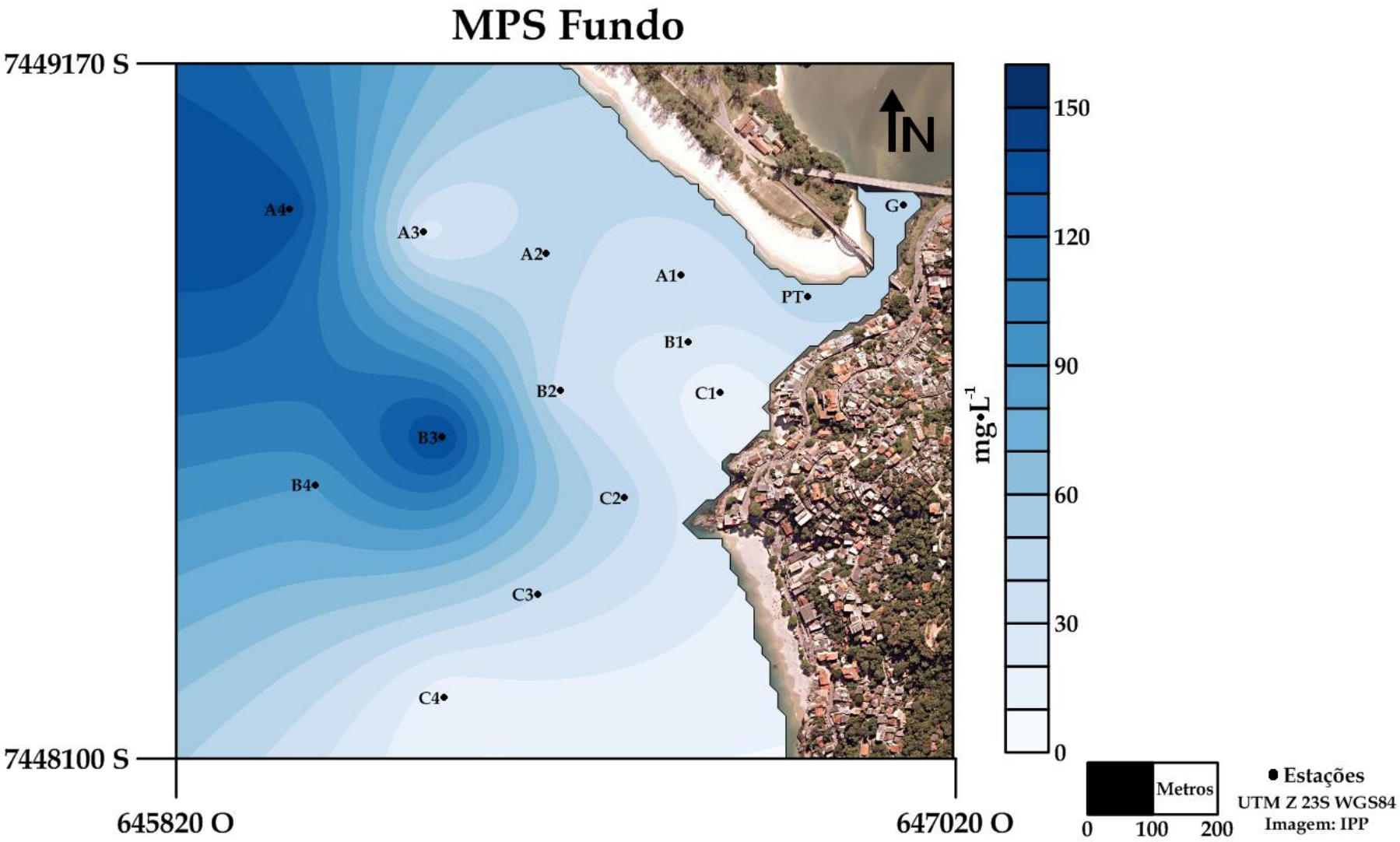


**Figura 43:** Material particulado em suspensão, junto ao fundo, durante a enchente.



5.3.1.1 Síntese dos resultados das propriedades medidas nos transectos

De acordo com as médias obtidas em cada transecto, obervou-se que durante a vazante as águas são mais quentes, com menor salinidade e densidade. São águas de menor transmissividade, menor produtividade primária e maior concentração de oxigênio dissolvido. As águas de enchente foram caracterizadas como frias, mais salinas e densas. Além disso, apresentaram maior transmissividade, maior concentração de clorofila e menor teor de oxigênio dissolvido.

Dentre as propriedades amostradas, a fluorescência parece ser a que menos apresentou diferenças significativas, visto que as concentrações medidas foram muito próximas tanto entre cada transectos quanto entre períodos de maré e não foi possível observar relação entre a variação da clorofila e os períodos amostrados. Por outro lado, as demais propriedades seguiram o mesmo padrão entre transectos e entre períodos de maré. Os valores extremos em cada período foram sempre registrados nos transectos A e B. Além disso, as variações entre cada fase foram sempre menores no transecto A e maiores no transecto B.

A mesma diferença entre transectos foi observada quanto às concentrações de material particulado em suspensão, sendo as maiores diferenças registradas no transecto B, tanto entre cada transecto quanto entre os períodos de maré. Além disso, durante a vazante as concentrações foram, em média, 41,7 $mg \cdot L^{-1}$ maiores que durante a enchente, atestando que o canal disponibiliza uma considerável quantidade de material particulado em suspensão para a zona costeira.

Sendo assim, as medições de propriedades físico-químicas e ópticas na região adjacente à desembocadura do canal de Barra de Guaratiba mostra a clara influência do canal sobre o ambiente costeiro. Em quase todas as propriedades medidas foram registradas as maiores variações entre enchente e vazante no transecto B, cuja localização está alinhada ao eixo do canal, sendo portanto a principal via de escoamento da água tanto para o interior do canal durante as enchentes, quanto para o oceano durante as vazantes. O padrão oposto foi registrado para o transecto A, cujas variações foram menores em quase todas as propriedades (exceto atenuação e fluorescência), mostrando que a influência do canal é mais restrita aos transectos B e C, não sendo tão importante para a distribuição das propriedades medidas no transecto A, embora esteja localizado próximo aos demais. De maneira geral, as propriedades atestam que durante a enchente a influência marinha é predominante, enquanto que durante a

vazante o ambiente adquire características mais semelhantes às condições estuarinas do interior da baía.

### 5.3.2. Sedimentos de Fundo

Os sedimentos de fundo coletados ao longo dos transectos realizados em dezembro/2013 foram analisados e os resultados são mostrados nos mapas de distribuição de parâmetros nas **Figuras 52** a **57**. As classificações granulométricas e os parâmetros estatísticos seguem as definições descritas em FOLK & WARD (1957).

Na distribuição granulométrica observa-se que em todas as estações amostradas há predominância da classe de areias, dividindo-se entre areias finas e médias (**Figura 52**). Os grãos de maior tamanho se distribuem na região da desembocadura do canal nas estações #G (ponto de realização dos fundeios), #PT, #A1 e #C1. Outra área de deposição de areias médias está localizada entre as estações #B3 e #B4, formando um *pool* de sedimentos mais grossos a cerca de 500 metros da desembocadura do canal, na direção do eixo principal do canal, enquanto que nas demais estações predominam areias finas.

O grau de seleção está relacionado ao desvio padrão da amostra, que descreve a dispersão em relação à média - quanto menor o desvio padrão da amostra, melhor será o seu selecionamento (TAVARES *et. al*, 2010). O grau de seleção variou de muito bem selecionado a moderadamente selecionado, como mostrado na **Figura 53**. As estações #B3 e #C3 foram classificadas como moderadamente selecionadas, a estação #A2 como moderadamente bem selecionada, a #C4 como muito bem selecionado e as demais como bem selecionadas.

A assimetria mostra o quanto os sedimentos daquela amostra estão sendo enriquecidos com outras frações que não compõem a média. Se a assimetria é positiva, há enriquecimento de partículas finas, enquanto que a assimetria negativa indica enriquecimento de partículas mais grosseiras em relação à média (TAVARES *et. al*, 2010). A maioria das estações (#G, #PT, #C1, #C4, #A3, #A4) foi caracterizada como simétricas. As amostras #A1, #A2, #B1, #B2 e #B4 apresentaram assimetria negativa (ocorrência de frações grossas). Já as demais amostras apresentaram assimetria positiva, no caso da amostra #C2, e muito positiva para as amostras #B3 e #C3, indicando enriquecimentos por frações granulométricas de menor tamanho (**Figura 54**).

A curtose quantifica a angulosidade da curva de distribuição das classes granulométricas, estabelecendo uma relação entre as dispersões nas caudas e na parte central das curvas. Uma curva leptocúrtica apresenta um pico elevado, enquanto que uma platicúrtica possui o pico achatado e, por fim, uma curva mesocúrtica possui características intermediárias. Baixos valores de curtose designam uma curva platicúrtica e pode indicar a mistura de populações e a presença de sedimentos polimodais (TAVARES, 2010). Tal característica foi observada nas estações #A1, #B3, #B4 e #C2. As estações #G, #PT e #A2 foram designadas como mesocúrticas, não sendo possível inferir alguma informação acerca do ambiente deposicional. As demais estações apresentaram valores altos de curtose, sendo as estações #A3, #A4, #B1, #B2 e #C2 caracterizadas como leptocúrticas e as demais (#C3 e #C4) como muito leptocúrticas, podendo indicar nesses casos a remoção de determinadas frações devido a ação combinada de ondas e correntes (**Figura 55**).

Os teores de matéria orgânica foram baixos, como mostrado na **Figura 56**. A estação com maior teor foi a #C3 com cerca de 1,2 % de matéria orgânica em sua composição. Todas as demais estações apresentaram valores bem menores, sendo em média 0,3 % o teor de matéria orgânica nos pontos amostrados. Em geral, as amostras que estiveram localizadas mais próximas à desembocadura do canal apresentaram os menores teores. Ao longo de cada transecto foi observado um aumento no teor de matéria orgânica, seguido de uma redução na última estação. O transecto C apresentou os maiores teores de matéria orgânica, e o A os menores teores.

Quanto ao teor de carbonatos (**Figura 57**), os valores encontrados também foram baixos e estiveram em torno da média de 0,88 %, exceto para a estação #PT, próxima à desembocadura do canal, que apresentou o maior teor de carbonato (8,38 %). Tal como a matéria orgânica, o transecto C foi o que apresentou os maiores teores de carbonatos e o A os menores teores.

**Figura 44:** Classificação textural dos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.

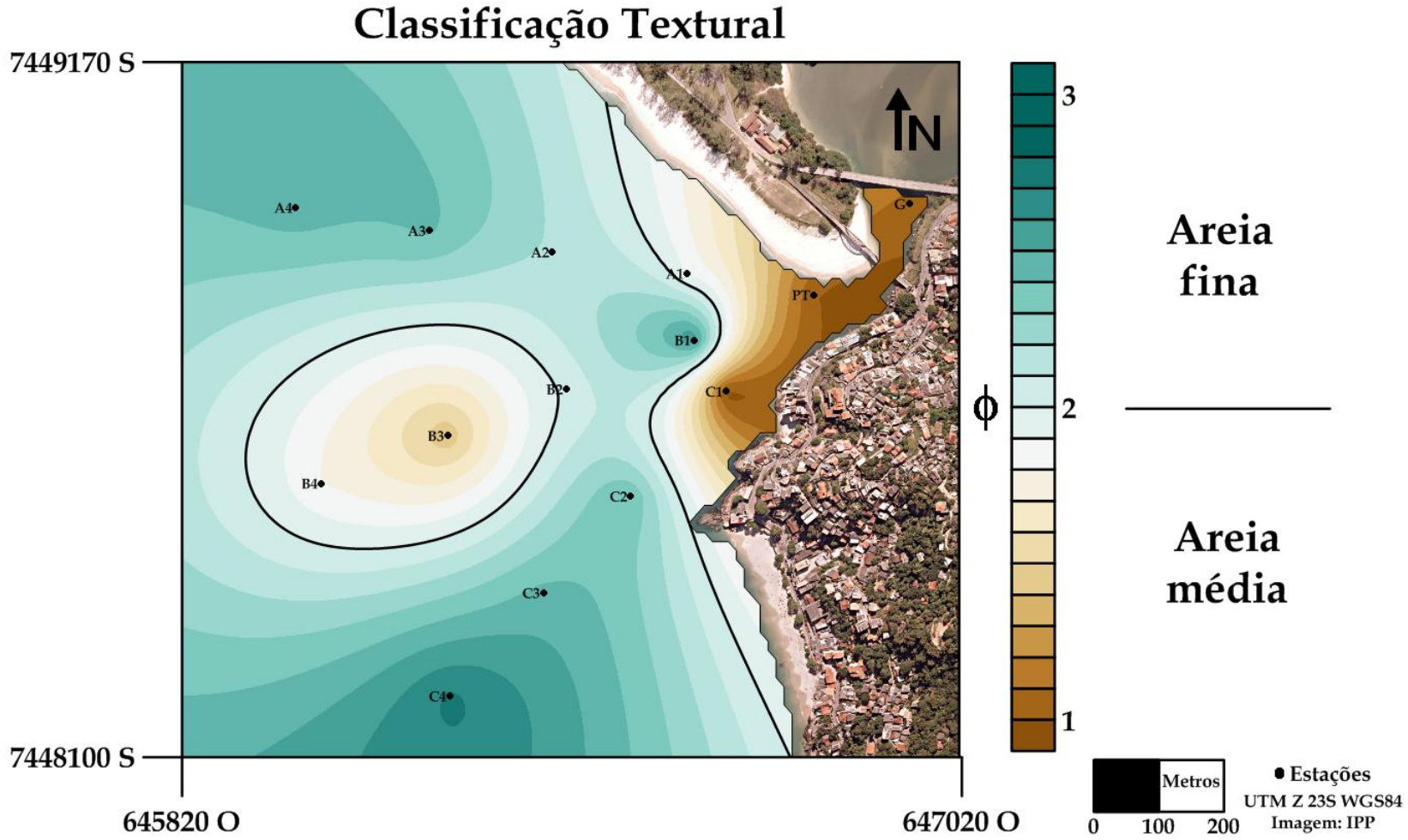


**Figura 45:** Grau de seleção dos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.

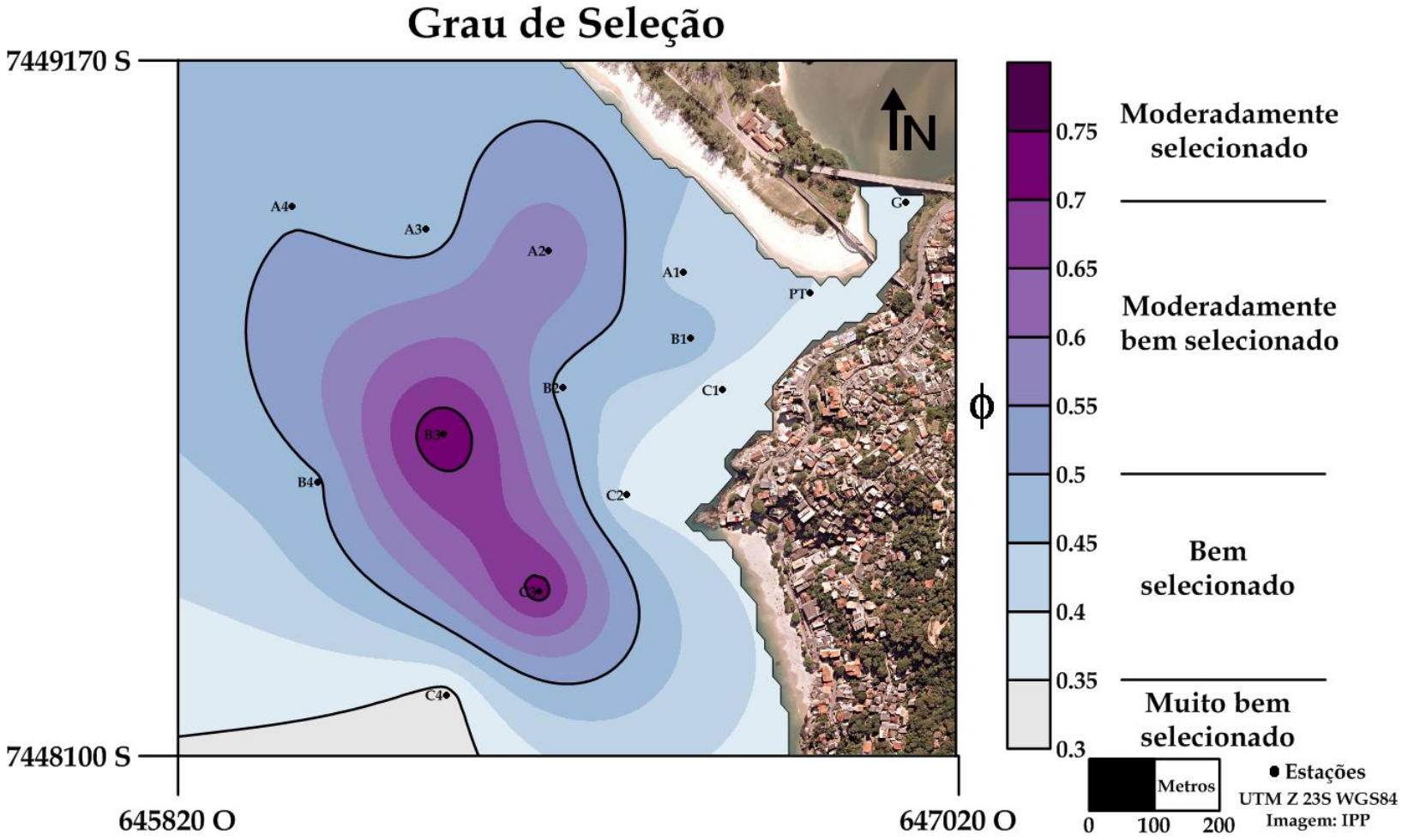


**Figura 46** Assimetria dos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.

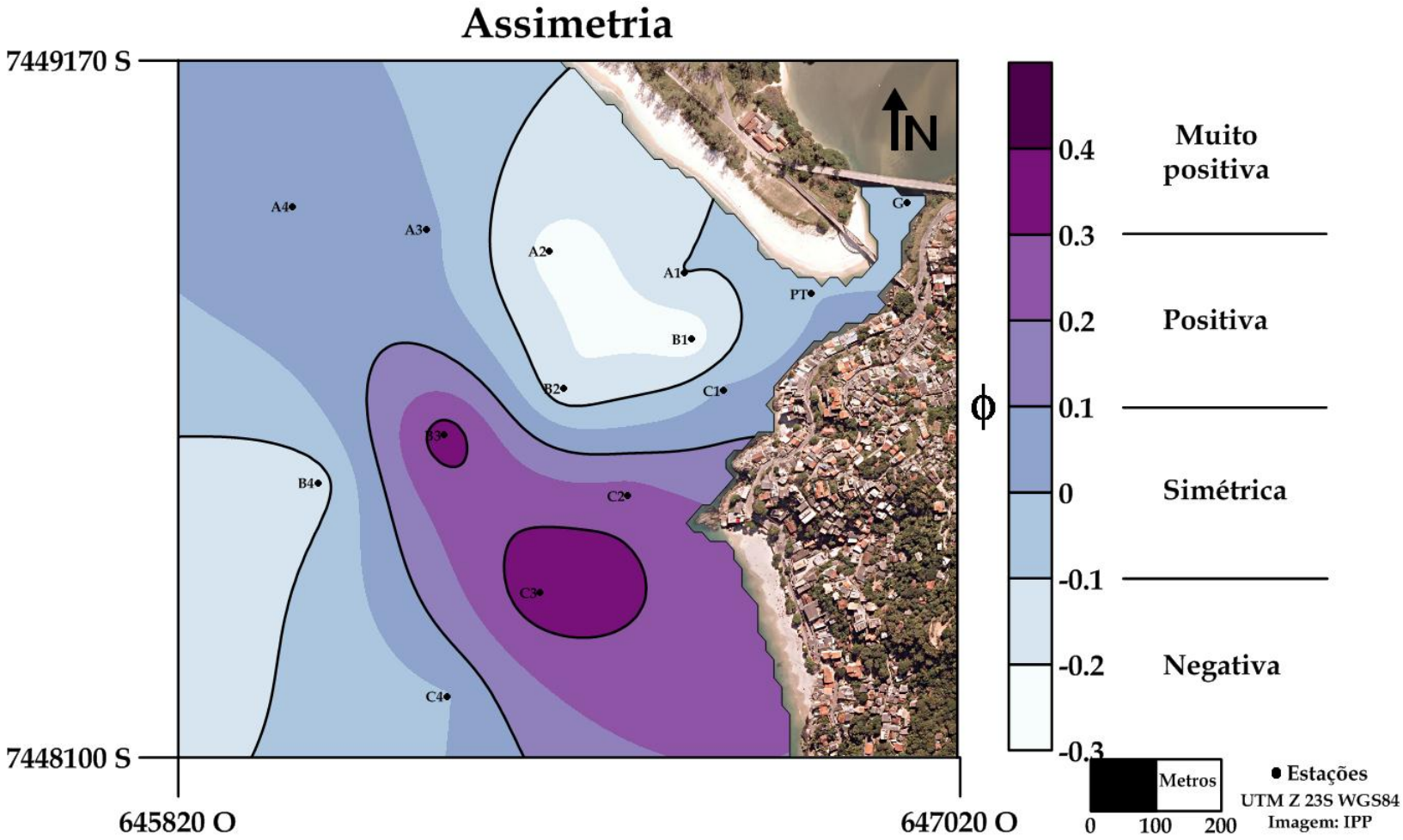


**Figura 47:** Curtose dos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.

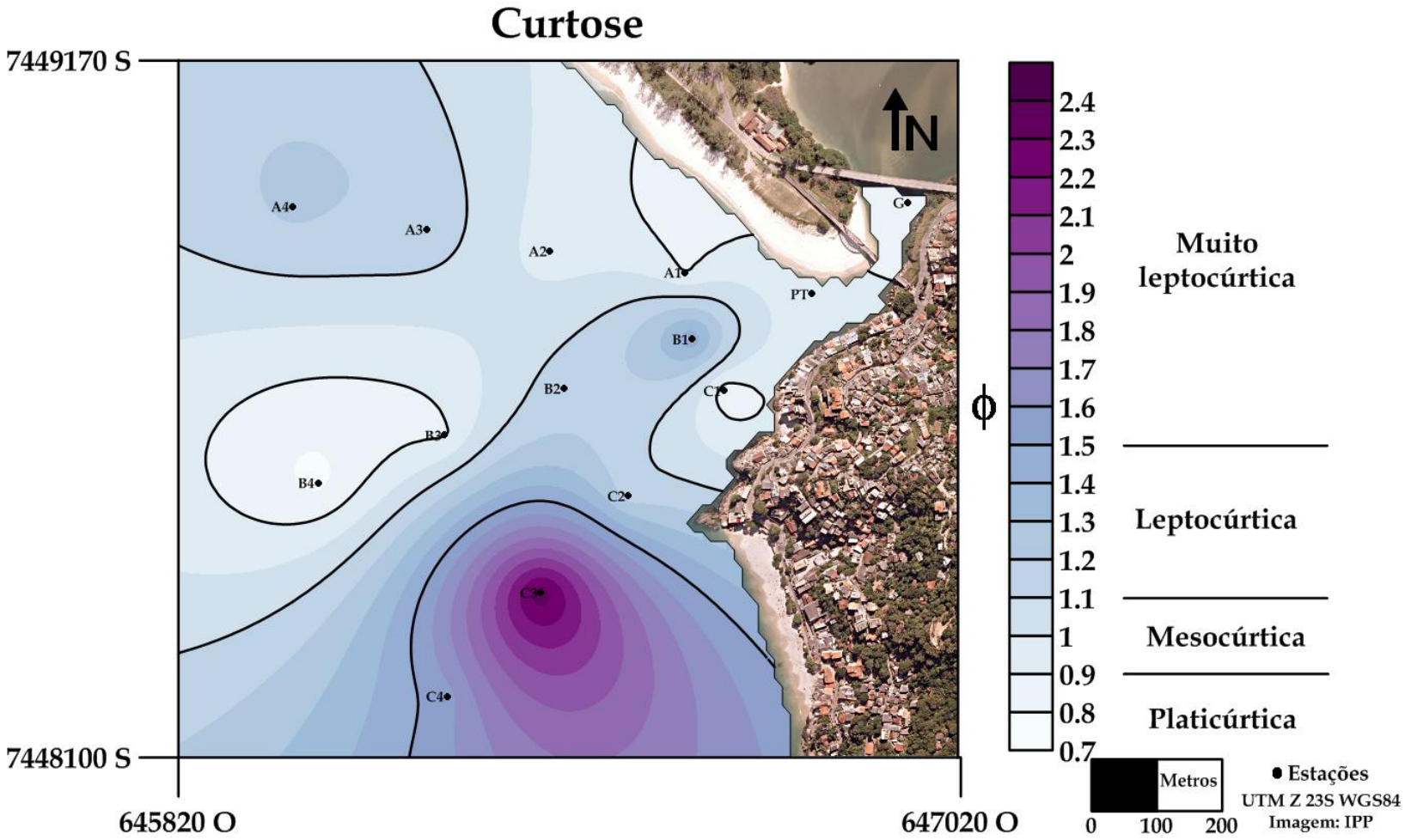


**Figura 48:** Teor de matéria orgânica encontrado nos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.

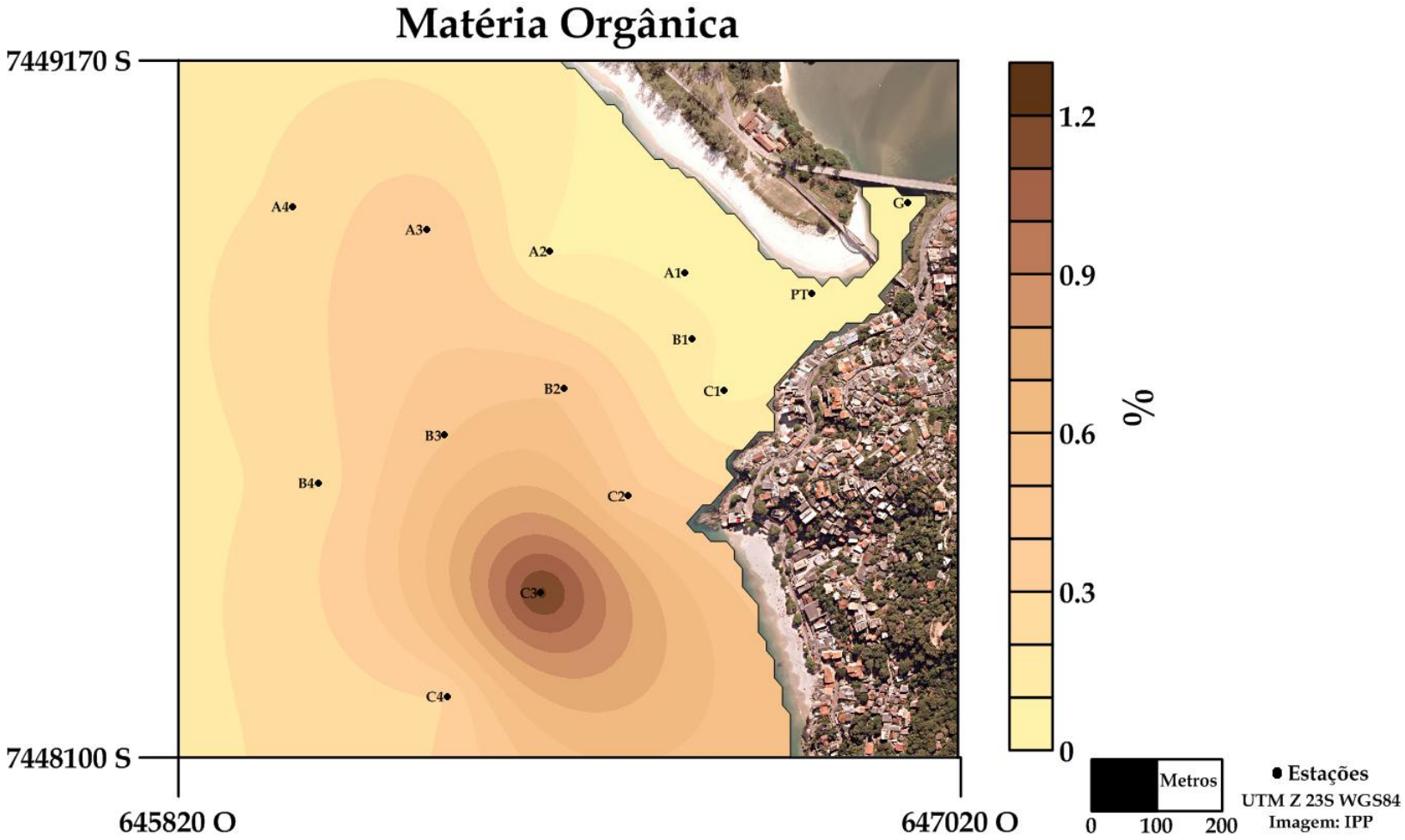
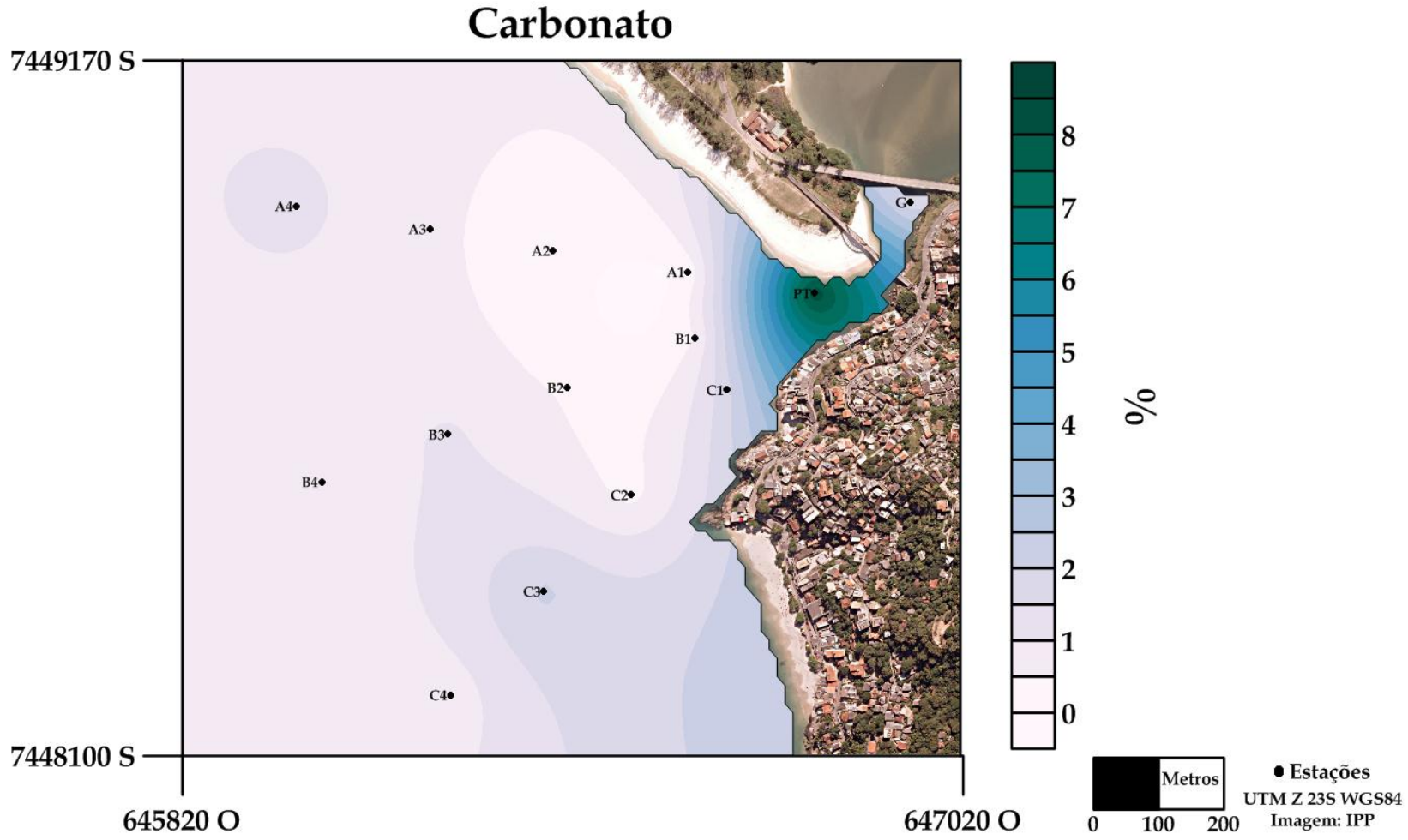


**Figura 49:** Teor de carbonatos encontrado nos sedimentos coletados na região adjacente à desembocadura do canal de barra de Guaratiba.



As **Figuras 58** a **60** mostram a distribuição granulométrica em termos de diâmetro das partículas, classes e sub-classes granulométricas.

Como demonstrado na **Figura 59**, os sedimentos em toda a região são caracterizados principalmente como areias, dividindo-se nas sub-classes de areias médias e finas.

Em geral, ao longo dos transectos, há uma tendência de diminuição do tamanho do grão. Tal tendência é mais clara nos transectos C e, principalmente no transecto A.

O transecto A varia de areias médias, na estação #A1 até areias finas e com presença de areias muito finas nas estações #A3 e #A4, além de diminuir a ocorrência de areias médias nessas estações. A mesma distribuição é observada no transecto C, sendo que neste ocorrem inclusive areias muito grossas na estação #C1, provavelmente devido à proximidade do costão rochoso. Nas demais estações deste transecto as areias finas predominam, ocorrendo também areias muito finas.

As maiores variações, quanto ao tamanho dos grãos, são observadas no transecto B onde na estação #B1 são observadas desde areias muito grossas a areias finas, com predominância de areias médias. Porém, ao longo do transecto, já na estação #B2 predominam as areias finas. Na estação #B3 ocorrem três sub-classes de areias: finas, médias e grossas, sendo esta a estação que apresentou pior selecionamento na área de estudo. Por fim, na estação #B4, ocorre diminuição da fração de areias grossas e predomínio das areias médias.

Os resultados obtidos mostram que os sedimentos mais finos que são trazidos em suspensão não são retidos na área amostrada. Isto está possivelmente relacionado ao papel desempenhado pelas ondas que mantém o material mais fino em suspensão e o disponibiliza para ser transportado pelas correntes litorâneas e de maré.

#### 5.3.2.1 Síntese dos Resultados das Análises de Sedimentos de Fundo

As análises granulométricas indicam a possível região de influência do canal sobre a zona costeira adjacente, principalmente por meio da distribuição dos grãos. No transecto B é possível notar claramente uma região de deposição preferencial para areias médias que não está conectada diretamente à desembocadura do canal. Por isso, é possível afirmar que as correntes que ali ocorrem são intensas o bastante para levar essa fração mais grossa a cerca de 500 metros a jusante do canal, onde então é depositada. O baixo grau de selecionamento nessa região, bem como a assimetria negativa e as curvas de distribuição platicúrticas, são evidências de que deve ocorrer uma brusca diminuição da intensidade das correntes, levando diferentes classes granulométricas a sedimentarem nas proximidades das estações #B3 e #B4, formando parte de um delta de maré vazante.

O bom selecionamento na maioria das estações, em especial próximo à desembocadura do canal, provavelmente se deve à ação das ondas que são constantes e intensas no local, principalmente quando a região está submetida às ondulações vindas de S/SO. Vale ressaltar que nessa região é observado também uma feição, provavelmente parte do delta de maré vazante, nas proximidades das estações #A1, #B1 e #C1, fato confirmado pela profundidade medida por meio dos perfis realizados com o CTD. A ocorrência desse banco e a diminuição da profundidade possibilitam uma maior ação das ondas sobre os sedimentos de fundo, podendo remobilizá-los e até mesmo transportá-los para o interior do canal durante períodos de maré enchente devido à ação combinada de fortes correntes para o interior do canal, formando um delta de maré enchente.

Os resultados, referentes aos percentuais em peso, de matéria orgânica e carbonatos não possibilitaram fazer nenhum tipo de observações conclusivas, visto que os resultados foram bastante homogêneos na região amostrada. Entretanto, o fato de que os maiores teores de ambas as propriedades foram registrados no transecto C, podem refletir a proximidade deste com o costão rochoso, que poderia ser a origem dos carbonatos observados em forma de restos de moluscos ou outros bioclastos. Além disso, a proximidade com a área urbana poderia também ser a fonte da matéria orgânica presente nas amostras, em especial da estação #C3.

**Figura 50:** Histograma do diâmetro das partículas das amostras de sedimento de fundo.

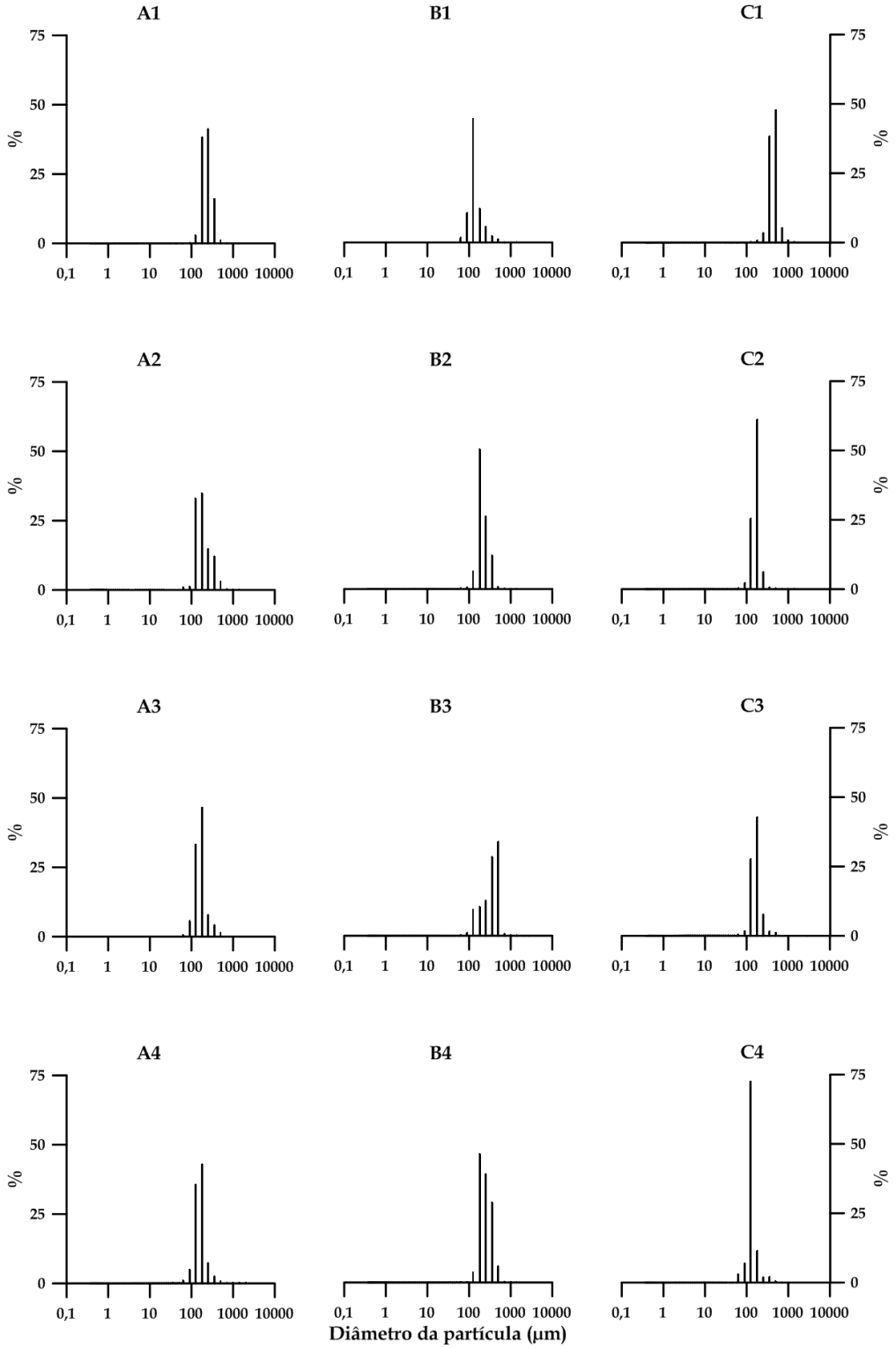
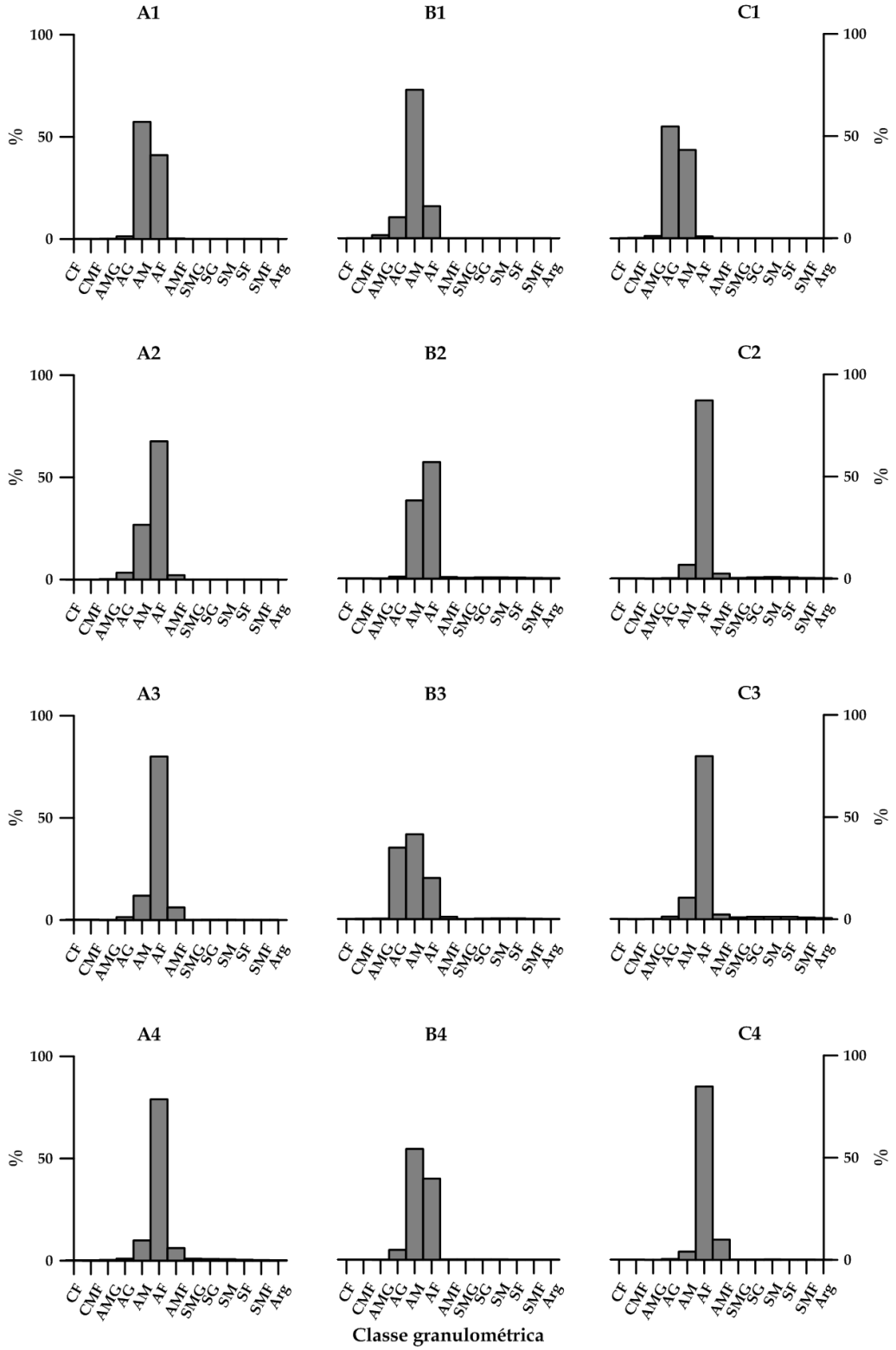
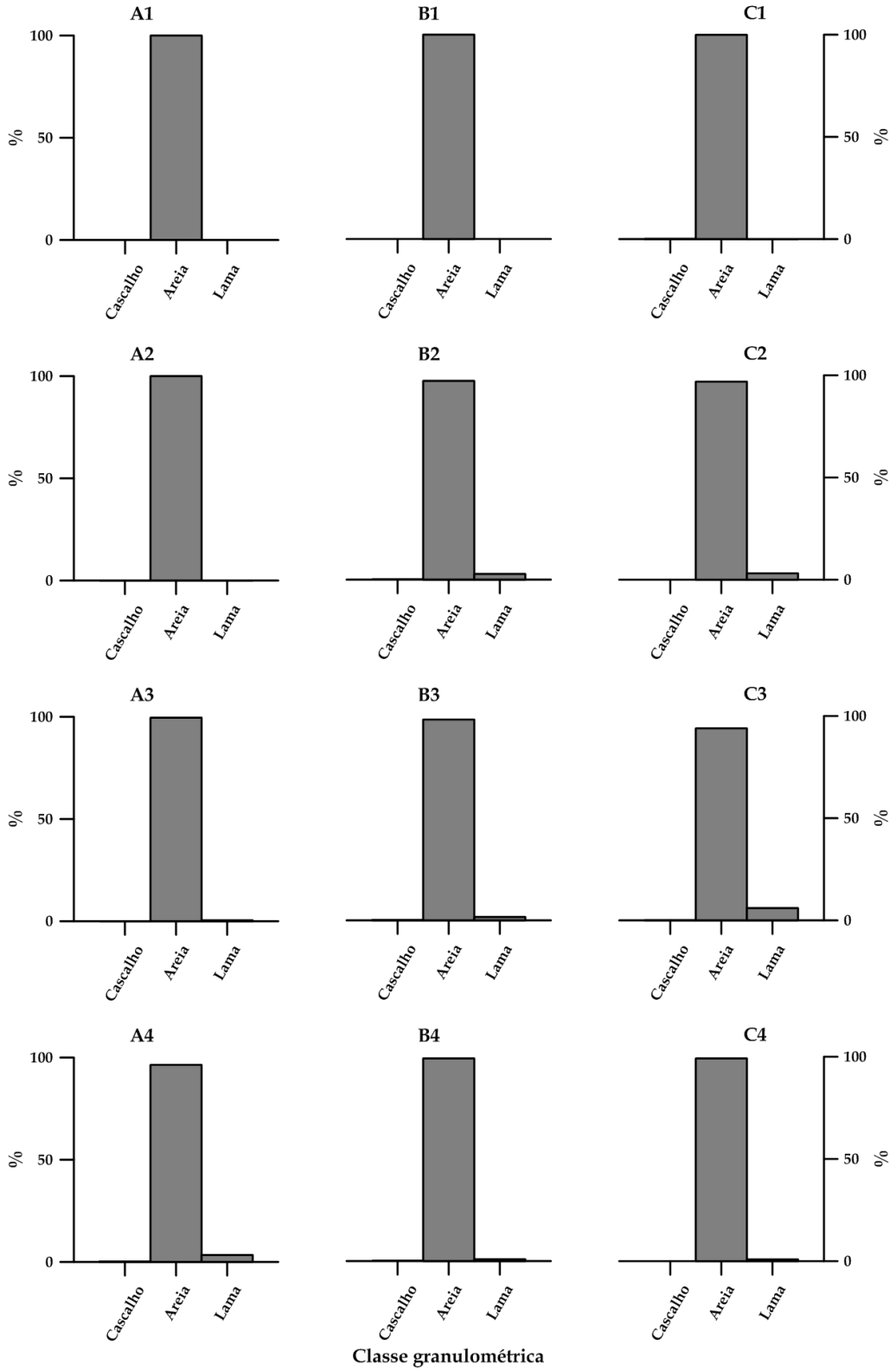


**Figura 51:** Histograma de sub-classes das amostras de sedimento de fundo.




*CF - cascalho fino; CMF - cascalho muito fino; AMG - areia muito grossa; AG - areia grossa; AM - areia média; AF - areia fina; AMF - areia muito fina; SMG - silte muito grosso; SG - silte grosso; SM - silte médio; SF - silte fino; SMF - silte muito fino; Arg - argila.*

**Figura 52:** Histograma de classes das amostras de sedimento de fundo.



# 6 **DISCUSSÃO**

## 6.1 **Circulação e dinâmica do MPS**

O canal de Barra de Guaratiba, em vista da sua proximidade e conexão direta com o oceano, é fortemente influenciado pelas marés. Além disso, a localização da outra extremidade do sistema de canais, no interior da baía de Sepetiba, contribui para que a maré influencie ainda mais o ambiente.

Mesmo na campanha de outubro/2013, onde não foi possível obter dados de correntometria, verificou-se uma primeira evidência da inversão das correntes nas proximidades de cada preamar. Em todos os ciclos medidos, houve um incremento da temperatura nas preamares, persistindo durante os momentos iniciais da vazante. Adicionalmente verificou-se que as menores salinidades também ocorriam nesse período (**Figura 11**). A ocorrência de águas mais quentes e menos salinas durante as preamares e vazantes indica a presença de águas com características distintas das observadas ao longo das enchentes, nas quais as águas são mais frias e salinas, refletindo sua origem oceânica.

Posteriormente, no fundeio de fevereiro/2014, foi possível elucidar essa questão com os dados disponíveis de correntometria. Como mostra a **Figura 28**, da componente longitudinal das correntes em Guaratiba, ocorre uma inversão das correntes durante as enchentes, sendo a partir desse momento que as correntes escoam para fora do canal embora o nível da água continue a subir. Em ambas as enchentes, essa inversão foi brusca e ocorreu cerca de 1:45 h antes de cada preamar (**Figura 28**). Mesmo antes de o nível começar a baixar, as velocidades já eram maiores que 1 $m \cdot s^{-1}$. Mais uma vez, observou-se que em cada preamar houve um aumento considerável da temperatura e diminuição da salinidade. Com isso, é possível afirmar que as águas que passam pelo canal nesses momentos são oriundas do interior da baía de Sepetiba, o que é reforçado pelas medições concomitantes de temperatura realizadas na estação Sepetiba, as quais mostram que a temperatura na região próxima à outra extremidade do sistema de canais está em torno de 27,2 ºC, sendo esta a mesma faixa de temperatura encontrada em Guaratiba durante os períodos em questão (**Figura 19** e **30**).

Tal inversão já havia sido sugerida por HAMACHER (2001) que documentou pulsos de vazão elevada, principalmente associados às preamares, e associando esse padrão à maior pressao hidrostática no contato do sistema de canais com a baía de Sepetiba, em função da

pória circulação da baía, e foi também confirmado por CORTEZ *et al*. (submetido) em medições realizadas durante uma sizígia nas extremidades do sistema de canais, em maio/2012. Estes autores observaram que as correntes na estação Sepetiba apresentaram um padrão bidirecional com correntes de intensidade similar em ambas as direções, indicando condições de enchente e vazante (CORTEZ et al., submetido; HAMACHER, 2001).

Entretanto, conforme observado por meio das medições na estação Sepetiba, a resultante das correntes nesta estação indica um fluxo para dentro da baía, acompanhado a orientação da linha de costa e a isóbata de 5 metros (ver **Figura 1** e **16**). Sendo assim, é possível que durante a campanha de fevereiro/2014, não tenha sido possível observar a influência dos fluxos na estação Sepetiba sobre a inversão de correntes que ocorre na estação Guaratiba. Tampouco foi possível documentar bidirecionalidade no padrão das correntes na estação Sepetiba (**Figura 16**), não estando de acordo com os resultados de GUERRA (1999) que já havia descrito, por meio de modelagem, que deveriam ocorrer correntes em sentidos opostos em cada extremidade do canal.

A **Tabela 2** mostra uma comparação entre os valores máximos de corrente obtidos neste estudo e os demais realizados no local. Em ambas as estações as correntes apresentaram valores coerentes com os demais trabalhos, chegando a ser mais intensas na estação Sepetiba. Nota-se que as correntes mais intensas são sempre observadas durante os períodos de vazante, exceto no caso das medições realizadas em fevereiro/2014 na estação Sepetiba, que foram mais intensas durante a enchente.

**Tabela 2:** Comparação entre velocidades máximas registradas durante a campanha realizada e outros estudos.

| *Estação* | *Velocidades máximas ($m \cdot s^{-1}$)* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *Fevereiro 2014* | *Guerra (1999)* [*] | *Hamacher (2001)* [#] | *Cortez* et al. *(submetido)* |
| Sepetiba | 0,35 (E) | - | 0,19 (V) | 0,22 (V) [Δ] |
| Guaratiba | 1,42 (V) | 1,11 (V) | 1,55 (V) | 0,53 (V) [◊] |

*E - enchente, V - vazante.*
*Medições realizadas a (*) ½ profundidade, (#) 0,5 m de profundidade, (Δ) 2,45 maf e (◊) 0,2-2,5 maf.*

Como é possível verificar, por meio da **Tabela 3**, a estação Guaratiba sempre apresenta temperaturas mais baixas que a estação Sepetiba, o que pode ser explicado pela maior influência do ambiente marinho sobre a estação, que se caracteriza por apresentar águas mais frias, conforme foi observado também pelos resultados obtidos com a campanha de

dezembro/2013 onde foram realizadas medições de temperatura na zona costeira adjacente (**Figura 5**). Além disso, CORTEZ et al. (submetido) observaram que as altas temperaturas observadas próximo à estação Sepetiba podem estar relacionadas à proximidade da estação ao manguezal que disponibiliza águas mais quentes e salinas para a baía, especialmente durante a vazante, conforme pode ser observado na **Figura 19**, onde as maiores temperaturas foram verificadas não só devido à insolação como também à vazante e a estofa de vazante, onde as temperaturas foram maiores mesmo durante o início do período noturno. Ainda que não ocorram fluxos de entrada de águas da baía para o sistema de canais, outro fator que poderia explicar o aumento das temperaturas é o fato de que em áreas de manguezais é comum que certo volume de água fique aprisionado na planície de maré durante períodos de nível mais baixo, favorecendo o aquecimento dessa água que posteriormente irá se misturar novamente com as águas dos canais. Tal padrão já foi observado também em outros estuários e canais de maré (GARONCE & QUARESMA, 2014; WARNER et al., 2003)

**Tabela 3:** Compração entre temperaturas médias (°C) registradas durante a campanha e outros estudos.

| *Estação* | *Temperatura (°C)* | | |
|---|---|---|---|
| | *Fevereiro 2014* | *Hamacher (2001)* [#] | *Cortez* et al. *(submetido)* |
| Sepetiba | 27,2 | 30,1 | 23,1 [Δ] |
| Guaratiba | 21,3 | 29,0 | 21,0 [◊] |

*Medições realizadas a (#) 0,5 m de profundidade,(Δ) 2,45 maf e (◊) 0,2 maf.*

Infelizmente, não foi possível obter medições de salinidade na estação Sepetiba. Em relação à salinidade na estação Guaratiba, esta apresentou-se alta (> 35 UPS) durante a maior parte do tempo, ocorrendo diminuição apenas durante os períodos de inversão das correntes, onde há fluxo em direção ao oceano mesmo antes da maré atingir o nível máximo. De acordo com CORTEZ et al. (submetido) e HAMACHER (2001), cujos estudos abrangeram medições de salinidade na estação Sepetiba, as menores salinidades na estação Guaratiba são observadas, possivelmente, em decorrência da advecção de águas do interior da baía para o sistema de canais. Esse fato também poderia explicar as menores salinidades registradas na estação Guaratiba, porém de acordo com as medições de correntometria na estação Sepetiba, não houve considerável fluxo de água em direção aos canais durante a campanha de fevereiro/2014. Outra hipótese seria a de que a descarga fluvial fornecida pelos demais canais menores que existem na região poderia se misturar com a água oceânica que entra no sistema

de canais, reduzindo a salinidade da coluna d'água. Isso foi especialmente observado durante a campanha de outubro/2013 onde, devido à alta pluviosidade, a salinidade chegou a quase zero.

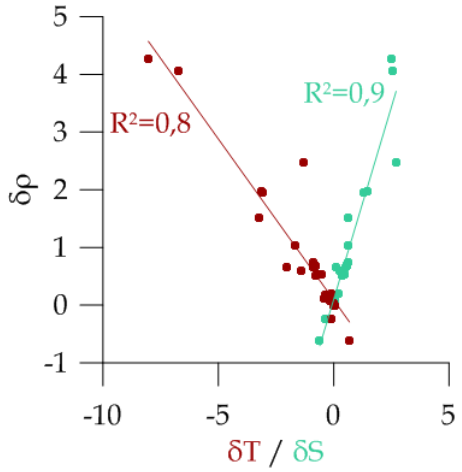
As demais propriedades físico-químicas amostradas na estação Sepetiba (transmissividade, fluorescência e oxigênio dissolvido) juntamente com a temperatura, reforçam a influência das áreas de manguezal adjacentes à estação. Por meio das **Figuras 19** e **20**, é possível notar que a partir das 16 hs do dia 13 as águas junto ao fundo se tornam mais turvas e, embora não estejam disponíveis dados de salinidade, é possível que essas águas mais turvas sejam oriundas das planícies de maré e áreas de manguezal adjacentes que disponibilizam águas com maior turbidez, mais salinas e quentes à baía de Sepetiba durante os períodos de vazante, conforme observado também por CORTEZ et al. (submetido) em maio/2012. Os valores das propriedades ópticas medidas são similares aos registrados por GUTIERREZ (2012), entre 0,39-2,78 $mg \cdot m^{-3}$, em estações no setor norte da baía de Sepetiba, enquanto que nas estações mais externas (próximas ao canal de navegação - ver **Figura 1**) a transmissividade é alta. Em geral, as propriedades ópticas em estuários são bastante variáveis pois dependem de uma série de fatores como a proximidade de rios, advecção de MPS, ressuspensão, entre outros (ALTHAUSEN & KJERFVE, 1992; EPA, 2006; SHIDELER & STELTING, 1983).

A maiores concentrações de clorofila associadas às menores concentrações de oxigênio dissolvido durante a estofa de vazante, indicam ainda que as menores velocidades contribuem para a decantação não somente de sedimentos como também de organismos planctônicos que favorecem a presença de organismos consumidores que são os responsáveis pela diminuição do oxigênio junto ao fundo (ROMAN et al., 1993; WELCH, 1969). As concentrações de clorofila foram maiores do que as registradas por GUTIERREZ (2012), em medições realizadas ao longo do canal de navegação da baía de Sepetiba até as poximidades do canal de São Francisco e rio Guandú. Já HAMACHER (2001) encontrou valores similares, variando de 1,7-16,8 $mg \cdot m^{-3}$, sendo estes valores correspondentes à áreas próximas à manguezais. Segundo RODRIGUES *et al*. (2009), a baía de Sepetiba caracteriza-se como um ambiente mesotrófico, não havendo limitação de nutrientes, sendo a incidência solar o principal fator de controle para a produtividade primária.

As medições das propriedades de tempratura e salinidade na estação Guaratiba permitiram verificar também a estrutura de estratificação do canal, que ocorre principalmente por meio da salinidade, conforme indicado pela correlação na **Figura 61**, embora a influência da temperatura sobre a estratificação de densidade seja igualmente alta ($R^2 = 0,8$). Isso ocorre

porque, segundo DYER (1997), a variabilidade de salinidade em ambientes costeiros e estuarinos é geralmente maior que a da temperatura, resultando na maior influência da salinidade sobre a densidade. Os momentos em que foram observadas os maiores índices de estratificação de densidade corresponderam ao início das vazantes, visto que a água que do interior da baía e dos canais tende a ter uma densidade menor. Além disso, vale ressaltar que os índices de estratificação de temperatura e salinidade apresentaram comportamento inverso, como esperado (**Figura 61**)

**Figura 53:** Correlação entre estratificação de temperatura/salinidade e densidade.




Ainda segundo DYER (1997) as características de estabilidade da coluna d'água podem ser avaliadas por meio do número de Richardson por camada ($Ri_L$), sendo este um valor adimensional que é calculado pela **Equação 4**:

$$Ri_L = \frac{gh}{\bar{u}^2}\frac{\delta\rho}{\bar{\rho}} \qquad \textbf{Equação 1}$$

Onde:

$g$ - aceleração da gravidade, em $m \cdot s^{-1}$;

$h$ - profundidade local, em m;

$\bar{u}$ - velocidade média ao longo da coluna d'água, em $m \cdot s^{-1}$;

$\delta\rho$ - diferença entre densidade do fundo e de superfície, em $kg \cdot m^{-3}$;

$\bar{\rho}$ - densidade média da coluna d'água, em $kg \cdot m^{-3}$.

DYER (1997) propõe que as características de estabilidade caracterizadas pelo número de Richardson podem se dividir em:

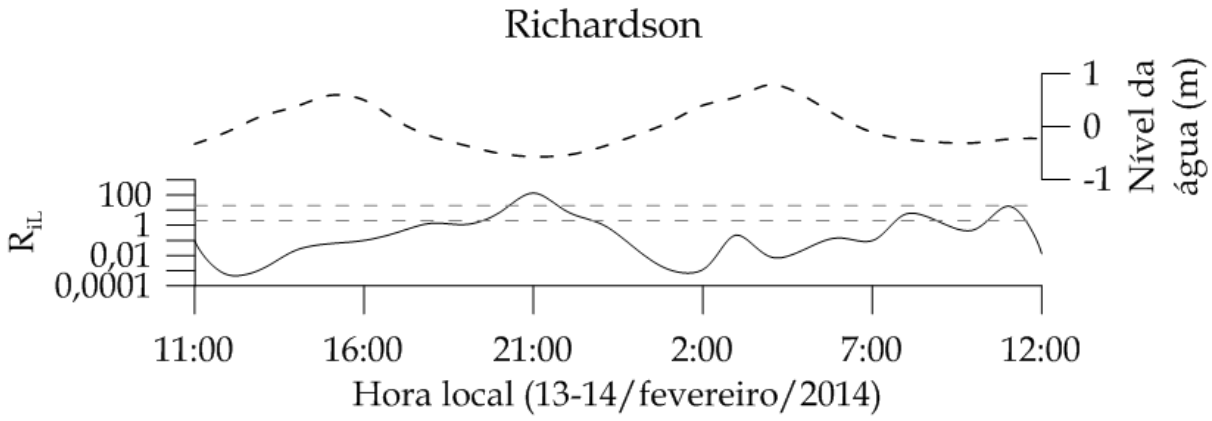
$Ri_L < 2$ - instabilidade;

$2 < Ri_L < 20$ - fraca estabilidade;

$Ri_L > 20$ - alta estabilidade.

De acordo com o gráfico mostrado na **Figura 62**, durante a maior parte do tempo (> 80 %) a coluna d'água esteve sob condições de instabilidade, proporcionando mistura da coluna d'´gua. Apenas nos períodos próximos às mudanças de maré vazante para enchente (baixamar) é que ocorreram condições de fraca estabilidade ou estabilidade, devido às baixas velocidades que foram documentadas durante esse período que propiciam o aumento do grau de estratificação uma vez que as fracas correntes não geram turbulência suficiente para desenvolver a mistura da coluna d'água. GARONCE & QUARESMA (2014) observaram que, na baía de Vitória, tais condições ocorrerram também durante a maré baixa, porém sob condições de quadratura, não sendo observada qualquer estratificação sob sizígia, sugerindo que nesse caso a descarga fluvial tenha sido mais importante em criar condições de estabilidade devido à presença de águas menos salinas em superfície. Infelizmente não há monitoramento de descarga fluvial nos canais que existem próximo à regiao. Entretanto esse padrão registrado por GARONCE & QUARESMA (2014) não parece explicar o observado na estação Guaratiba visto que a estratificação de densidade não é alta nesse momento. Por outro lado, SIEGLE et al. (2009) afirmam que mesmo em um ambiente de micromaré, caso este seja raso, a energia da maré pode tornar a coluna d'água completamente homogênea. Visto que as correntes menos intensas foram registradas durante a baixamar, essa parece ser a melhor explicação para as observações realizadas na estação Guaratiba. Essa mesma relação entre menores velocidades e $Ri_L > 20$, resultando em estratificação da coluna d'água, também foi observada por ZEM (2008) na baía de Paranaguá e BRENNAN *et al*. (2002) na baía de São Francisco.

**Figura 54:** Número de Richardson por camada.
As linhas pontilhadas cinzas indicam os limites entre Ri = 2 e 20.




A caracterização da coluna d'água na desembocadura do canal como instável é então esperada, visto que se trata de uma área com pouca profundidade e submetida a correntes intensas (SIEGLE et al., 2009). O cálculo da tensão cisalhante (τ) por meio do método *Turbulent Kinectic Energy* (TKE), foi realizado de forma a estimar os momentos em que as correntes causam uma maior turbulência, sendo esta responsável não só pelo desenvolvimento da mistura da coluna d'água como possivelmente pela ressuspensão de sedimentos de fundo. A tensão cisalhante (τ) é obtida por meio de uma relação entre a energia cinética turbulenta (TKE) que é calculada com base nas três componentes ortogonais da velocidade e uma constante empírica (BIRON *et al*., 2004; KIM *et al*., 2000; POPE *et al*.,2006; SOULSBY, 1983). A fórmula é dada pela **Equação 5**:

$$\tau = C_1 \left[\frac{\rho}{2}\left(< u'^2 > + < v'^2 > + < w'^2 >\right)\right] \qquad \textbf{Equação 2}$$

Onde:

$C_1$ - constante de proporcinalidade = 0,19;

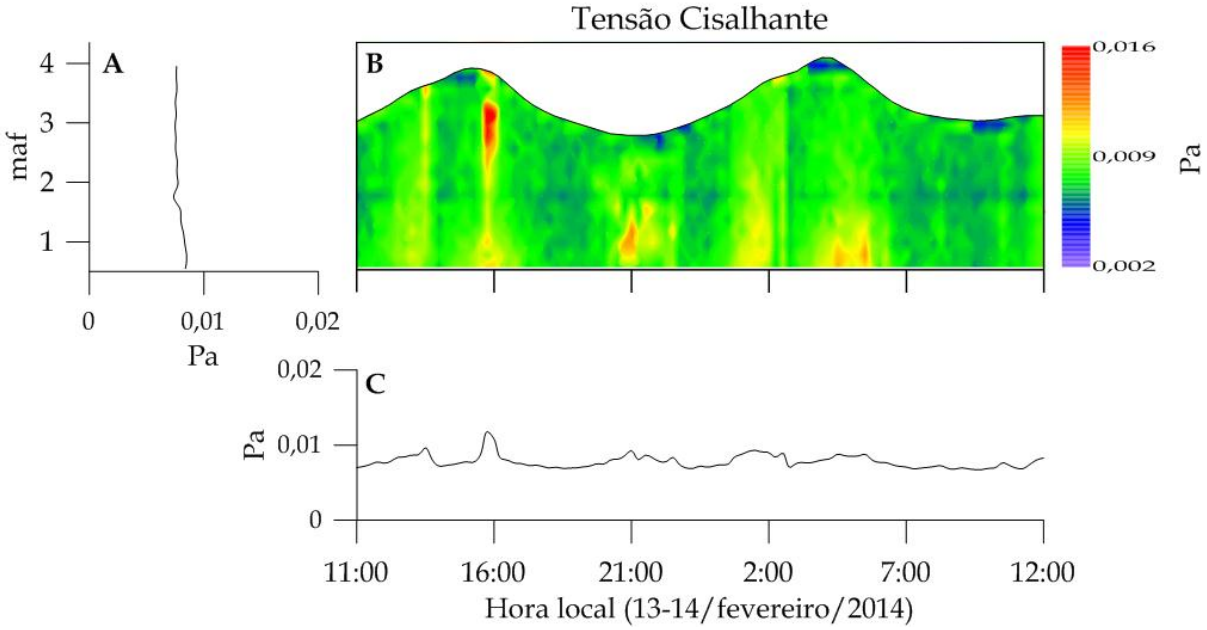
$u'$, $v'$ e $w'$ - componentes turbulentas da velocidade;

$\rho$ - densidade.

Como observado na **Figura 63**, a tensão cisalhante permanece alta durante a maior parte do tempo, especialmente durante os períodos que antecedem e sucedem as preamares (inversões no sentido das correntes) e junto ao fundo no período de mudança da maré vazante para enchente, quando o efeito das correntes menos intensas é compensado pela baixa

profundidade do canal, o que possibilita que a tensão cisalhante seja maior junto ao fundo nesse período.

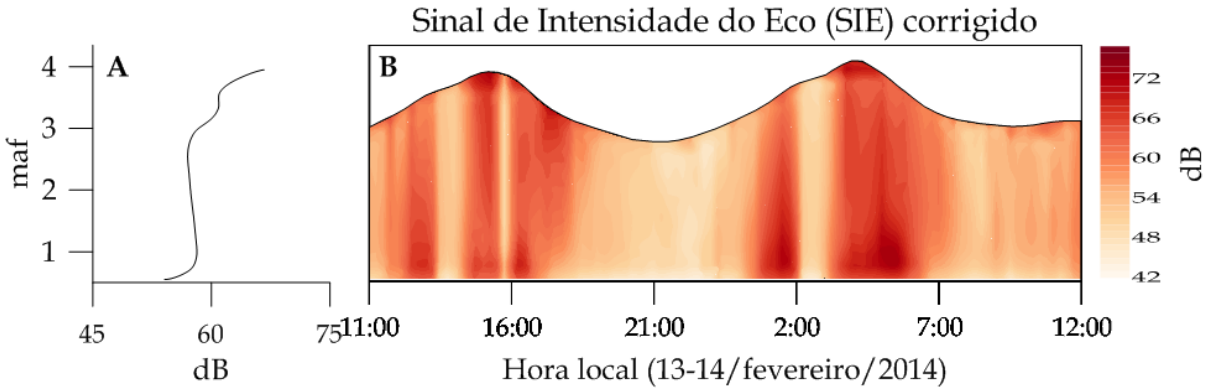
**Figura 55:** Tensão cisalhante calculada pelo método *Turbulent Kinectic Energy*: (a) perfil médio, (b) série temporal e (c) série média.




RIPPETH et al. (2002) encontraram uma clara associação da tensão cisalhante com a variação semi-diurna do fluxo das correntes de maré, sendo também encontrados maiores valores de $\tau$ durante as vazantes e junto ao fundo, além de chegar próximo a zero em superfície, exatamente como observado na série calculada para a estação Guaratiba. Um padrão similar foi observado na baía de São Francisco por BRENNAN et al. (2002).

A distribuição do material particulado em suspensão durante o período investigado pode ser estimado com base na intensidade do eco coletada pelo *Aquadopp HR*. Após as correções realizadas devido às perdas causadas pelo espalhamento e atenuação do sinal acústico, têm-se uma caracterização qualitativa, em dB, da distribuição do MPS na coluna d'água ao longo do tempo (**Figura 64**) que está de acordo com os resultados obtidos pela coleta de MPS, conforme mostrado na **Figura 33**. Foram realizados também testes visando correlacionar as concentrações de MPS obtidas por meio da filtração e o sinal acústico que mostraram-se insatisfatórias, provavelmente em vista das limitações do método e nas características variáveis do MPS coletado. Por esta razão, a série temporal da intensidade do eco não foi convertida em concentrações de MPS em $mg \cdot L^{-1}$.

**Figura 56:** Sinal de intensidade do eco corrigido quanto às perdas do sinal acústico: (a) perfil médio e (b) série temporal




A série do SIE corrigido mostra que as maiores intensidades ocorreram exatamente nos períodos intermediários das enchentes e a partir das preamares persistindo durante as vazantes. Esta distribuição está associada às maiores velocidades observadas nesse período, sendo responsáveis pela advecção do MPS que é transportado desde o interior da baía de Sepetiba, bem como possivelmente pela ressuspensão de sedimentos na região da desembocadura do canal. A ressuspensão é principalmente indicada pelos períodos de maior tensão cisalhante que correspondem aos períodos de maior intensidade do eco (**Figura 59** e **60**). Essa observação é confirmada pelos resultados obtidos por CORTEZ & GUERRA (2013) que encontraram excelente correlação entre a tensão cisalhante de fundo e as concentrações de MPS medidas na desembocadura do canal de Barra de Guaratiba, durante medições realizadas em maio/2012.

Na **Tabela 4** são mostrados os valores extremos medidos durante as campanhas realizadas bem como nos estudos realizados por HAMACHER (2001) e CORTEZ et al. (submetido). Em geral, as concentrações em Guaratiba são superiores às registradas em Sepetiba, exceto para a campanha de sizígia realizada por HAMACHER (2001) onde as concentrações em Sepetiba foram quase o dobro das observadas em Guaratiba. Considerando as duas campanhas realizadas neste estudo, é interessante notar que em outubro/2013 apesar da alta pluviosidade observada, a concentração máxima foi menor que a de fevereiro/2014 (159,5 e 303,0 $mg \cdot L^{-1}$, respectivamente), indicando que a descarga fluvial pode não ser o principal fator que influencia os padrões de variação das concentrações de MPS na região. As concentrações, em ambas as estações, apresentaram concentrações similares às obtidas em

estudos realizados em diversos estuários na costa brasileira (D'AQUINO et al., 2011; GARONCE & QUARESMA, 2014; MOURA et al., 2011; PEREIRA *et al*., 2010; SIEGLE et al., 2009; SCHETTINI & MIRANDA, 2010).

**Tabela 4:** Comparação entre as concentrações de MPS ($mg \cdot L^{-1}$) registradas durante a campanha e outros estudos

| | *MPS* ($mg \cdot L^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Estação* | *Outubro 2013* [*] | *Fevereiro 2014* [*] | *Hamacher (2001)* [#] | *Cortez* et al. *(submetido)* [*] |
| Sepetiba | - | 17,9 - 40,5 | 19,2 - 453,0 | 6,3 - 113,1 |
| Guaratiba | 3,0 - 181,0 | 7,4 - 303,0 | 13,0 - 240,4 | 9,2 - 170,4 |

*Medições realizadas a (#) 0,5 m de profundidade e (*)superfície e fundo.*

Por meio das medições realizadas, foi possível estimar o efeito que a inversão das correntes tem sobre o sistema canal-oceano, sendo principalmente durante estes periodos, associados a fortes correntes, que o MPS e, provavelmente, outras propriedades como poluentes, podem ser exportados para a zona costeira adjacente. Essa exportação fica evidente por meio dos cálculos realizados para determinação dos fluxos de sal e de MPS.

Os fluxos de sal e de MPS, podem ser calculados por meio da **Equação 6**, podendo a fórmula ser aplicada para cada uma das componentes da velocidade, longitudinal e transversal (FONSECA, 2013). Para o canal de Barra de Guaratiba, visto que apresenta fluxos bem orientados, foi utilizada apenas a componente longitudinal. O resultado é obtido em $g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ e convertido para valores horários.

$$FP_r = u \cdot P \qquad \textbf{Equação 3}$$

Onde:

u – componente longitudinal de velocidade das correntes, em $m \cdot s^{-1}$;

*P* - concentração da propriedade, salinidade ou MPS, em $mg \cdot m^{-3}$.

Na **Figura 65** são mostrados os resultados obtidos para cada instante. O fluxo resultante (não mostrado na figura) é calculado por meio da soma cumulativa dos valores de fluxos horários.

Nota-se que o transporte de sal ocorre em ambas as direções, porém devido aos pulsos de vazão elevada observados a partir dos momentos de inversão das correntes, a resultante (-

377 $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) indica exportação para o oceano por meio do canal, durante os períodos finais da enchente, preamar e vazante.

O mesmo comportamente é observado no caso dos fluxos de MPS, sendo que nesse caso a importação de MPS para o canal é muito menor, sendo quase imperceptível devido à escala da figura. Mais uma vez, a resultante (-2847 $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) mostra que o canal de Barra de Guaratiba disponibiliza quantidades consideráveis de material particulado em suspensão para a região costeira.

Esse fato é corroborado até mesmo pelos resultados da análise granulométrica dos sedimentos ao longo dos transectos realizados, pois mostra que há um *pool* de sedimentos com maior tamanho do grão a cerca de 500 metros da desembocadura do canal, evidenciando que deve ocorrer o transporte desse material por intensas correntes que apenas permitem a sedimentação desse MPS alguns metros à frente do canal, além da área amostrada em dezembro/2013, onde não foram encontrados depósitos de sedimentos finos (siltes e argilas).

Outra evidência da exportação de MPS é a pluma de sedimentos que pode ser observada a cada ciclo de maré, por algumas horas a partir da preamar. Segundo observado em campo, durante os dois fundeios e durante a realização dos transectos, as águas no canal mudam completamente de aspecto, passando de águas muito claras a turvas, como mostra a **Figura 66**. Essa mudança é um forte indicativo de que as águas do interior da baía são advectadas através do canal durante os períodos de vazante.

Além disso, as correntes registradas no canal são bastante intensas, tanto durante a enchente quando durante a vazante. Durante a campanha de outubro/2013, por exemplo, por conta das fortes correntes, possivelmente associadas ao vento de SO intenso que soprava permanentemente, foram observados vórtices adentrando o canal (**Figura 67**). Ondas incidindo obliquamente sobre a costa também poderiam gerar correntes litorâneas que, ao interagir com a morfologia da desembocadura do canal, criaria as feições hidrodinâmicas observadas. Tais vórtices são provavelmente resultado da intensa dinâmica observada durante essa campanha, não sendo possível dizer se os mesmos são comuns na região ou não.

**Figura 57:** Transporte de sal e MPS calculado para a estação Guaratiba em fevereiro/2014.

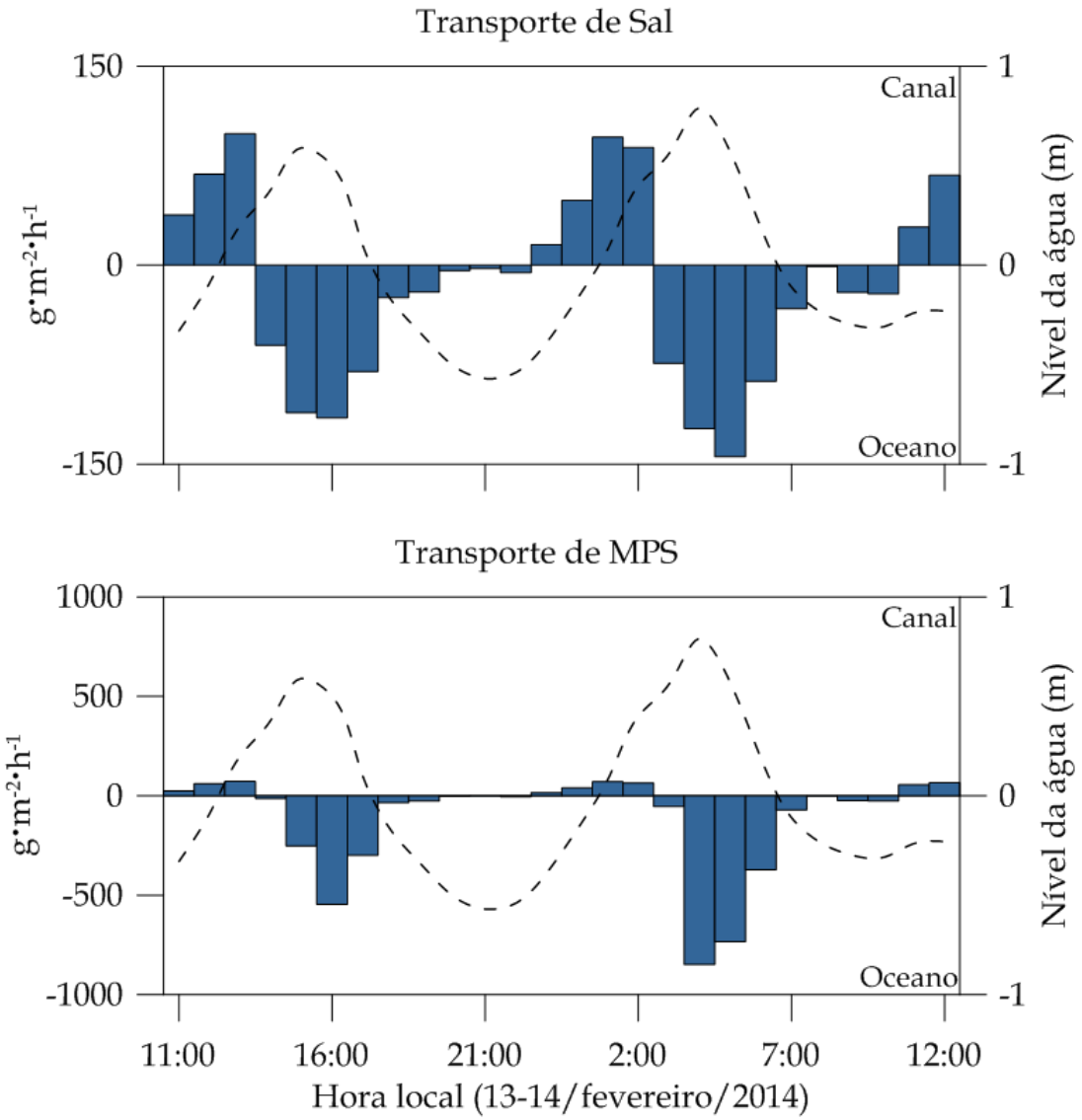
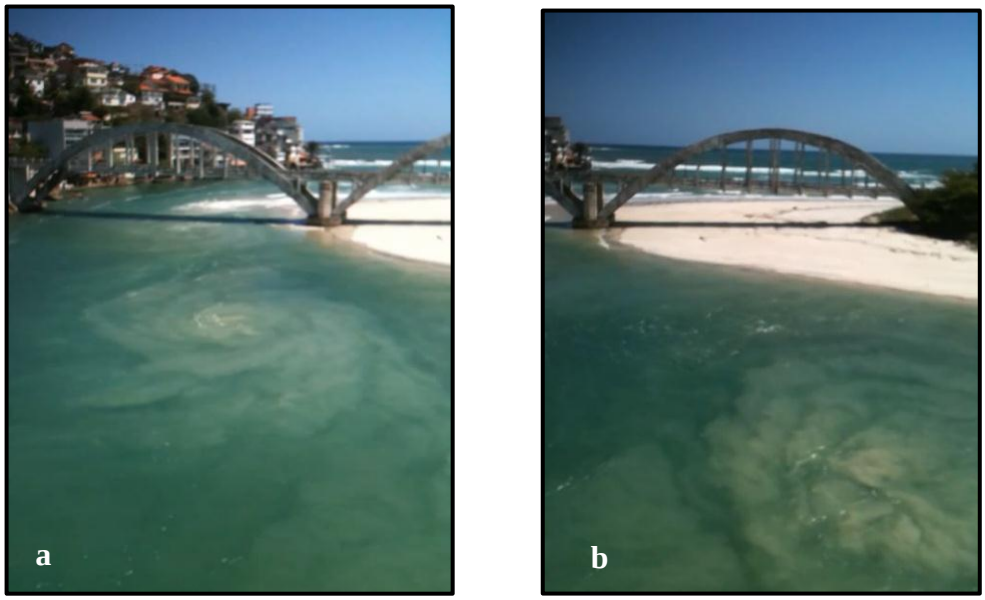



**Figura 58:** Diferenças observadas na cor da água entre enchente e vazante, em outubro/2013.

**Figura 59:** Exemplo de vórtices observados (a) entrando no canal e (b) sendo dissipado.




De qualquer forma, observou-se que os vórtices foram responsáveis pelo transporte de uma grande quantidade de sedimentos para o interior do canal. Uma amostra de água coletada exatamente no interior de um dos vórtice apresentou uma concentração de 9 $g \cdot L^{-1}$ de MPS, sendo basicamente composto de areias.

Na região é possível verificar a presença de um delta de maré enchente que fica parcialmente exposto durante a baixamar, quando podem ser observadas diversas formas de fundo, geradas pela ação das correntes de maré que ocorrem na região. O delta de maré enchente D1 localiza-se a montante do canal, numa região onde a área inundada ainda é grande em comparação com a desembocadura do canal. Durante os períodos de enchente, é nesta região onde possivelmente as correntes que entram no canal perdem sua intensidade visto que ~~a~~ passam de um ambiente canalizado para uma larga área, e por isso as condições propiciam a sedimentação de tamanhos de grãos maiores, formando o depósito arenoso. Na **Figura 68** pode-se observar o delta de maré enchente mais próximo à restinga da Marambaia, com algumas ilhas de floresta de mangue ao fundo, uma planície de maré exposta durante a baixamar e a presença de um canal secundário que fica em evidência com a descida do nível da água, sendo separado do canal principal pelo delta de maré enchente e mais adiante se unindo novamente com o canal principal. Um outro delta de maré enchente (D2) é observado ao longo do canal principal, um pouco mais a montante e próximo ao continente. Em ambos os deltas de maré, a presença de areias deve ocorrer devido ao desconfinamento das correntes

ao atingirem uma maior área de inundação, o que viabiliza a rápida sedimentação. É interessante notar que o delta de maré D1 apresentou diferentes formas de fundo entre maio/2012 (durante um levantamento preliminar realizado no local) e no fundeio de outubro/2013, sendo isso uma evidência de que as condições de formação dessas formas de fundo não são permanentes e devem mudar de acordo com a influência de outras forçantes físicas, tais como as condições meteorológicas que, como já discutido a respeito do fundeio de outubro/2013, foram bastante particulares nesse período.

**Figura 60:** Deltas de maré enchente observados no canal de Barra de Guaratiba.

Além do delta de maré enchente, a batimetria estimada por meio dos perfis de CTD realizados ao longo dos transectos mostra a existência de um delta de maré vazante a jusante do canal, a cerca de 200 metros da desembocadura, correspondendo às estações #1 de cada transecto. Nessa região há uma considerável diminuição da profundidade, sugerindo a presença do delta, principalmente na região dos transectos A e B. Esse delta de maré vazante pode estar associado a uma zona de rápida sedimentação do material que é advectado a partir do interior do canal, ou a um retrabalhamento, por parte das ondas, do sedimento transportado até a região de deposição de areias médias observada a cerca de 500 metros do canal, conforme mostrado na **Figura 52**. Tal feição indica que os fluxos de vazante são de fato mais intensos que os de enchente e possivelmente é o fator que contribui para a estabilização e manutenção do canal (WALTON, 2002).

## 6.2 **Características da Maré**

As características da maré foram quantificadas de acordo com índices de assimetria baseados na duração, nível e velocidades de cada um dos períodos de maré. Tais índices foram propostos por LINCOLN & FITZGERALD (1988) e são mostrados na **Tabela 5**. Os cálculos foram realizados apenas para a estação Guaratiba visto que na estação Sepetiba, o ADCP não possuía sensor de pressão e a duração e nível de cada período seriam apenas estimados, não permitindo muita exatidão na discussão dos índices.

Segundo LINCOLN & FITZGERALD (1988) as razões $\frac{\eta_v}{\eta_e}$, $\frac{t_v}{t_e}$, $\frac{\bar{u}_v}{\bar{u}_e}$ e $\frac{\bar{u}_{\max\, v}}{\bar{u}_{\max\, e}}$ exprimem as relações entre as características dos períodos de vazante e de enchente, onde:

$\eta_v$ - nível máximo na vazante, em m;

$\eta_e$ - nível máximo na enchente, em m;

$t_v$ - duração total da vazante, em minutos;

$t_e$ - duração total da enchente, em minutos;

$\bar{u}_v$ - velocidade média na vazante, em m·s$^{-1}$;

$\bar{u}_e$ - velocidade média na enchente, em m·s$^{-1}$;

$\bar{u}_{max\, v}$ - velocidade máxima na vazante, em m·s$^{-1}$;

$\bar{u}_{max\, e}$ - velocidade máxima na enchente, em m·s$^{-1}$.

Tais razões indicam em que período da maré houve as maiores variações dos parâmetros analisados. Se o valor obtido for maior que 1, significa que as maiores variações foram observadas durante a vazante, enquanto que valores menores que 1 indicam que as variações foram mais acentuadas na enchente. Por fim, o índice de assimetria ($IA_{Du}$) é calculado por meio da soma dos parâmetros de assimetria de duração ($A_D$) e assimetria das velocidades médias das correntes ($A_u$), os quais são calculados segundo as **Equações 7** e **8**:

$$A_D = \frac{t_e - t_v}{t_e + t_v} \qquad \textbf{Equação 4}$$

$$A_u = \frac{\bar{u}_e - \bar{u}_v}{\bar{u}_e + \bar{u}_v} \qquad \textbf{Equação 5}$$

Valores positivos de $A_D$ indicam maior duração das enchentes, enquanto que valores negativos são obtidos quando as vazantes são mais longas. Para o parâmetro de assimetria de velocidades ($A_u$), os valores positivos indicam que nas enchentes ocorreram as velocidades mais intensas e os valores negativos mostram que as vazantes apresentaram velocidades maiores.

A soma dos dois parâmetros indicará o índice de assimetria $IA_{Du}$. Somente esse índice final pode indicar, de fato, se a maré ao longo de um ou mais ciclos de maré é dominada pela enchente (valores positivos) ou pela vazante (valores negativos).

Em outubro/2013, não foram registrados dados válidos de velocidade das correntes, sendo assim foram apenas calculadas as razões de assimetria de duração e nível para os quatro ciclos amostrados. Já na campanha de fevereiro/2014, todos os dados estão perfeitamente disponíveis, sendo assim foram calculadas não só as razões de duração, nível e velocidade, como também os parâmetros $A_D$ e $A_u$, bem como o índice de assimetria final $IA_{Du}$.

Nas duas campanhas foram realizados primeiro os cálculos por ciclo amostrado e depois a méda final, que é provavelmente um valor mais representativo do ambiente estudado. Ressalta-se que os períodos definidos como enchente e vazante para os cálculos de nível e duração foram estipulados tendo como limites cada preamar e baixamar, não considerando a inversão de correntes que ocorre próximo a cada preamar. No caso do ciclo 1 da campanha de fevereiro/2014, foram utilizados os dados da $E_1$ e $E_3$. Para os cálculos de velocidade, os limites foram marcados pela direção das correntes, considerando-se vazante quando as correntes fluem para fora do canal, ainda que o nível continue a aumentar.

Os resultados dos cálculos de assimetria são mostrados na **Tabela 5**. Em outubro/2013, segundo as razões de nível calculadas, dois ciclos (ciclo 1 e 4) apresentaram maior variação de nível na enchente e outros dois (ciclos 2 e 3) durante a vazante. Entretanto, a média dos quatro ciclos amostrados indicou que as maiores variações ocorreram nas enchentes, ainda que essa diferença seja muito pequena, uma vez que a razão média (0,97) esteve muito próxima de 1. Essa característica foi principalmente observada no ciclo 4, no qual a preamar variou cerca de 0,19 metros a mais que a baixamar. As razões de duração dos períodos de maré foram calculadas para apenas três períodos, visto que o fundeio se iniciou no meio de uma enchente. Dentre estes três períodos, apenas no último (ciclo 4) a vazante foi mais longa do que as enchentes. Entretanto, enquanto as enchentes dos ciclos 2 e 3 foram aproximadamente 2 horas mais longas do que as respectivas vazantes, a vazante do ciclo 4 foi apenas 15 minutos mais longa que a vazante. Dessa forma, a média das razões que expressam

a relação entre a duração dos períodos de enchente e vazante, indica que as enchentes tendem a ser consideravelmente mais longas que as vazantes. Sendo assim, durante a campanha de outubro/2013 em Guaratiba foi notado que as enchentes caracterizam-se como sendo mais longas e apresentam maior variação do nível da água.

Durante a campanha de fevereiro/2014, apenas dois ciclos de maré foram amostrados. Em ambos os ciclos, as enchentes apresentaram maior variação de nível, que chegou a ser mais que duas vezes maior que a variação registrada durante a vazante no ciclo 2. Em média, as enchentes variaram cerca de 0,27 metros a mais que as vazantes. Quanto ao tempo de duração de cada período, em ambos os ciclos as enchentes foram mais longas. A média da duração das enchentes, tal como em outubro/2013, foi maior que o tempo de duração das vazantes. Assim, as enchentes foram caracterizadas como mais longas e apresentaram maior variação no nível da água.

As razões que relacionam as velocidades em cada período, indicaram que para o caso das velocidades médias, os ciclos alternaram entre maior velocidade média na enchente (ciclo 1 - razão $\bar{u}_v/\bar{u}_e = 0{,}81$) e na vazante (ciclo 2 - razão $\bar{u}_v/\bar{u}_e = 1{,}03$), sendo que a média do período amostrado indica que as enchentes apresentam velocidades mais intensas. Entretanto, ao considerarmos as velocidades máximas, em ambos os ciclos as maiores velocidades foram registradas durante a vazante, sendo estas em média 0,25 $m \cdot s^{-1}$ (27 %) mais intensas que durante a enchente.

Conforme os índices apresentados na **Tabela 5**, os ciclos alternaram entre uma enchente longa ($A_D > 0$) e veloz ($A_u > 0$), no ciclo 1; e uma enchente longa ($A_D > 0$) e menos veloz ($A_u < 0$), no ciclo 2. Ao somar os valores de cada parâmetro, ambos os índices indicam que os dois ciclos apresentaram dominância de enchente ($IA_{Du} > 0$).

GUERRA (1999) sugere que o canal de Barra de Guaratiba apresenta condições para a ocorrência de dominância de vazante, tal como uma área de planície de maré grande o suficiente para suplantar o efeito da variação temporal da área da seção transversal do canal. Porém, este mesmo autor diz não ter observado essa assimetria em seus experimentos numéricos.

**Tabela 5:** Índices de assimetria de nível, duração e velocidade das marés em cada campanha, na estação Guaratiba.

| *Estação* | *Ciclo* | *Nível (m)* | | | *Duração (h:mm)* | | | *Velocidade média ($m \cdot s^{-1}$)* | | | *Velocidade máxima ($m \cdot s^{-1}$)* | | | $A_D$ | $A_u$ | $IA_{Du}$ | *Dom.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Ench.* | *Vaz.* | $\eta_v/\eta_e$ | *Ench.* | *Vaz.* | $t_v/t_e$ | *Ench.* | *Vaz.* | $\bar{u}_v/\bar{u}_e$ | *Ench.* | *Vaz.* | $\bar{u}_{max\,v}/\bar{u}_{max\,e}$ | | | | |
| Guaratiba (outubro/13) | 1 | 0,63 | -0,55 | 0,88 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 0,53 | -0,61 | 1,16 | 7:00 | 4:45 | 0,68 | - | - | - | - | - | - | 0,19 | - | - | - |
| | 3 | 0,51 | -0,61 | 1,19 | 7:45 | 5:45 | 0,74 | - | - | - | - | - | - | 0,15 | - | - | - |
| | 4 | 0,67 | -0,48 | 0,72 | 6:00 | 6:15 | 1,04 | - | - | - | - | - | - | -0,02 | - | - | - |
| | *Média* | *0,58* | *-0,56* | *0,97* | *6:55* | *5:35* | *0,81* | - | - | - | - | - | - | *0,11* | - | - | - |
| Guaratiba (fevereiro/14) | 1 | 0,65 | -0,59 | 0,90 | 6:45 | 5:45 | 0,85 | 0,49 | 0,39 | 0,81 | 0,82 | 1,03 | 1,26 | 0,08 | 0,10 | 0,18 | Ench. |
| | 2 | 0,82 | -0,35 | 0,42 | 7:00 | 5:15 | 0,75 | 0,52 | 0,54 | 1,03 | 1,02 | 1,30 | 1,28 | 0,14 | -0,02 | 0,13 | Ench. |
| | *Média* | *0,74* | *-0,47* | *0,64* | *6:52* | *5:30* | *0,80* | *0,51* | *0,47* | *0,93* | *0,92* | *1,17* | *1,27* | *0,11* | *0,04* | *0,15* | *Ench.* |

*Dom. - dominância, Ench. - enchente, Vaz. - vazante.*

HAMACHER (2001) relata a ocorrência de assimetria de maré no Canal de Barra de Guaratiba, tendo encontrado vazantes mais longas que as enchentes ao medir dois ciclos competos de sizígia (25 horas). Além disso, GUTIERREZ (2012) afirma, por meio de medições realizadas no limite oeste da baía de Sepetiba, que na região há dominância de enchente, tal como documentado no canal em questão, embora não fosse o esperado para a região da desembocadura, visto que os fluxos resultantes de sal e MPS indicam exportação de propriedades por meio do canal.

BROWN & DAVIES (2010) sugerem que devido à dominância de vazante no estuário do rio Dyfi, ocorre uma tendência de exportar sedimentos em direção *offshore*. Tal tendência também foi constatada para o canal de Barra de Guaratiba, devido à observação da pluma de sedimentos e do delta de maré vazante, embora também ocorra um delta de maré enchente na região, indicando também importação de sedimentos. Entretanto, o canal foi classificado como dominado por enchente, segundo os índices propostos por LINCOLN & FITZGERALD (1988). Tais observações se devem ao fato de que, ao definirmos os períodos de enchente/vazante com base na direção das correntes, temos que as correntes de enchente ocorrem durante períodos relativamente curtos ao longo de cada ciclo de maré (cerca de 3:30h) e mantêm velocidades mais constantes ao longo do período, enquanto que as direções de vazante ocorrem durante cerca de 8:30h, dentre as quais há períodos de baixíssimas velocidades, mascarando os valores médios obtidos durante esse período. Dessa forma, pode-se afirmar que os índices de LINCOLN & FITZGERALD (1988) não podem ser satisfatoriamente aplicados em casos como o do canal de Barra de Guaratiba. Isso destaca a importância de se calcular as razões considerando as velocidades máximas, pois estas demonstram de fato qual período apresenta velocidades mais intensas, embora o índice $IA_{Du}$ não utilize as velocidades máximas para determinar a dominância por enchente/vazante. Por exemplo, ao calcularmos o índice $IA_{Du}$ utilizando as velocidades máximas obtidas, temos que $IA_{Du} < 0$, ou seja, há dominância de vazante, o que seria o esperado para o canal de Barra de Guaratiba, conforme sugerido por GUERRA (1999) e corroborado pelos fluxos de sal e MPS calculados para a campanha de fevereiro/2014, que indicam exportação de propriedades para a zona costeira.

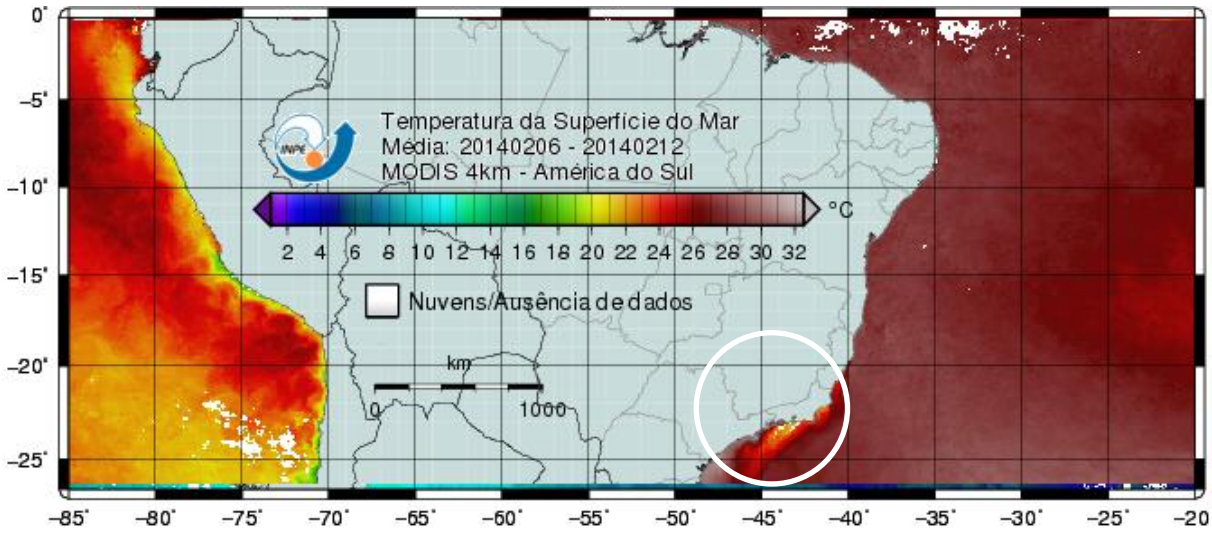
## 6.3 **Massas d'água**

Durante duas campanhas amostrais realizadas, tanto nos transectos de dezembro/2013 como no fundeio de fevereiro/2014, foi observada a presença da Água Central do Atlântico

Sul (ACAS) na região de estudo. Segundo SILVEIRA (2007) esta massa d'água se caracteriza por temperaturas entre 8,7-20 ºC e salinidade entre 34,6-36,2 UPS, sendo transportada pela Corrente do Brasil (CB) ao longo da costa brasileira, próximo à quebra da Plataforma Continental (CASTRO FILHO *et al*., 2006).

Uma imagem de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtida no *website* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2014), com a média dos dias 6-12/fevereiro/2014 mostra que ocorreu ressurgência na costa do Rio de Janeiro durante esse período (**Figura 69**). A presença da ACAS foi claramente documentada no fundeio de fevereiro/2014 durante os períodos de maré enchente, quando ocorre entrada de água oceânica no canal. Neste período as menores temperaturas alcançaram valores entre 14-16 ºC, e a salinidade permaneceu sempre acima de 35 UPS, claramente caracterizando a presença da ACAS no canal (**Figura 70**).

**Figura 61:** TSM média de 6-12/fevereiro/2014. Fonte: INPE.

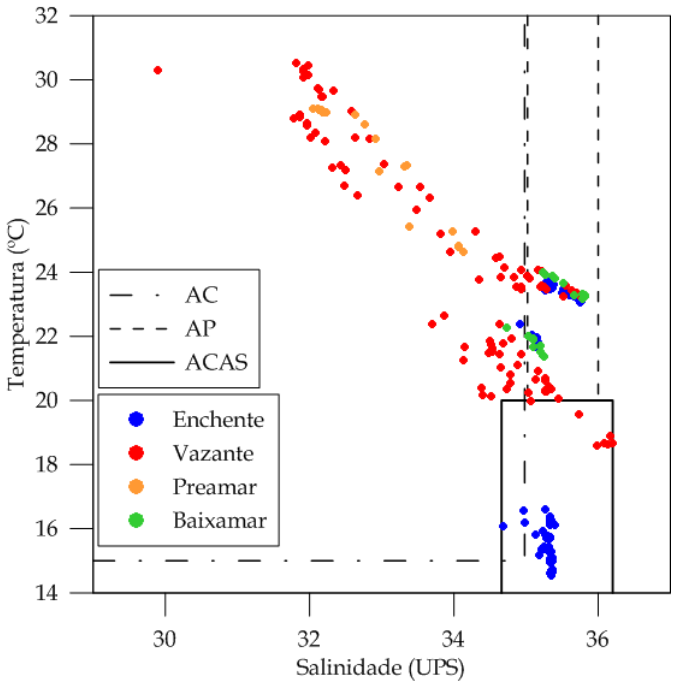



*O círculo branco indica a região de ressurgência, caracterizada pela diminuição da TSM e a área de alcance que se estende até o litoral norte de São Paulo.*

De todos os perfis de CTD realizados a cada hora, em apenas dois perfis realizados durante o início da $E_2$ e em um perfil no início da $E_3$ não foi registrada a presença da ACAS no canal de Barra de Guaratiba (**Figura 30**). No caso dos perfis realizados no início da $E_2$, estes foram realizados quando as velocidades ainda eram baixas e não havia grande volume de água entrando no canal, o mesmo ocorrendo no caso do primeiro perfil da $E_3$. Além disso, durante a $E_2$ os ventos haviam diminuído a intensidade e mudado da direção SE para N (**Figura 14**), não favorecendo a entrada de água no canal.

Segundo MACHADO (2009) a presença da ACAS na costa do estado do Rio de Janeiro pode ser observada devido à ressurgência causada pelas condições impostas pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que tende a provocar ventos principalmente do quadrante N-E, favorecendo o fenômeno. Ainda segundo esse autor, é principalmente durante o verão que a ressurgência ocorre visto que é menos comum a entrada de sistemas frontais que mudam a direção dos ventos e diminuem a ocorrência da ressurgência. Sendo assim, a ACAS é frequentemente observada na costa do RJ durante o verão (SILVA *et al*., 2006). GUTIERREZ (2012) documentou a presença de ACAS no interior da baía de Sepetiba durante medições realizadas na primavera de 2011 (início de dezembro), ao longo de estações posicionadas desde a entrada oeste da baía até as proximidades da ilha de Itacuruçá (ver **Figura 1**), enquanto COELHO (2010) também registrou em novembro/2011 a presença de ACAS numa estação oceanográfica situada na plataforma continental à altura da mesma comunicação da baía com o oceano, entre as isóbatas de 30 m e 60 m. Ainda CORTEZ et al. (2010), durante uma campanha realizada em junho-julho/2010, registraram temperaturas e salinidades características da ACAS a partir de 30 m de profundidade em estações distribuídas ao longo da costa, desde a baía de Guanabara (RJ) até Ubatuba (SP), incluindo uma estação próxima ao canal de Barra de Guaratiba. Estas observações evidenciam que a ocorrência dessa massa d'água na plataforma continental rasa e mesmo no interior da baía de Sepetiba, é fenômeno relativamente frequente e não restrito ao verão.

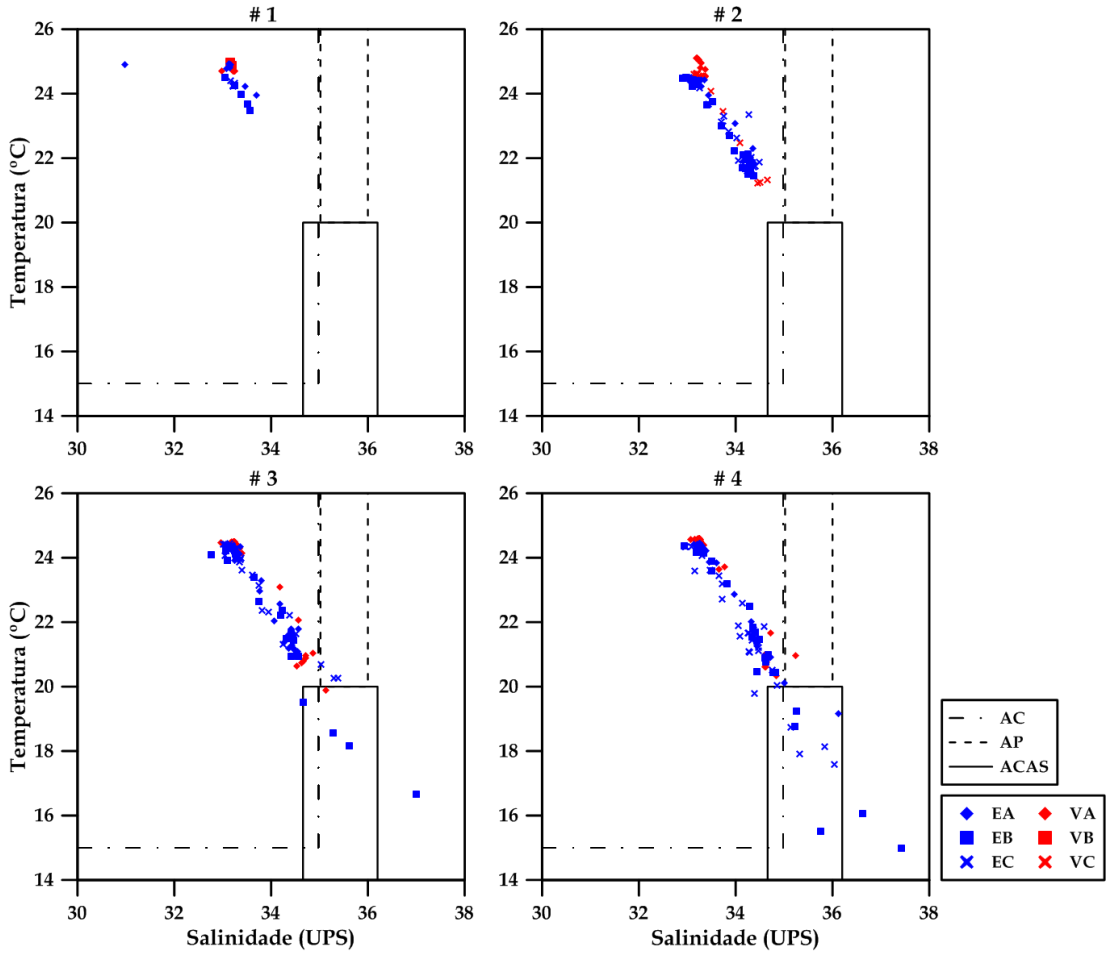
**Figura 62:** Diagrama TS, com dados de perfis horários, do fundeio realizado no canal de Barra de Guaratiba em fevereiro/2014.




Próximo à área de estudo, na baía da Ilha Grande, SIGNORINI (1980a) havia observado a presença da ACAS a apenas 15 metros de profundidade e associou essa ocorrência à ressurgência que ocorre em Cabo Frio e ao possível transporte pela Corrente do Brasil, considerando tal observação uma anomalia. De fato, em um estudo mais recente, LORENZZETTI & GAETA (1996) verificaram que a ocorrência da ACAS em razão da ressurgência que ocorre em Cabo Frio poderia atingir até mesmo a região de São Sebastião, no estado de São Paulo.

Na campanha de dezembro/2013, a ACAS esteve presente nas estações #3 e #4 nos três transectos realizados (**Figura 71**). Tais estações estão localizadas a 600 e 800 metros, respectivamente, da desembocadura do canal, com profundidades estimadas entre 10-13 metros. Nesse período a ACAS não foi observada em superfície e, de fato, as imagens TSM do período não mostram a ocorrência de evento de ressurgência.

**Figura 63:** Diagramas TS das estações distribuídas ao longo dos transectos realizados em dezembro/2013.




Ainda nesta campanha, foram observadas camadas de água com temperaturas baixas, menores que 20 ºC (características de ACAS), porém com salinidade muito elevada, maior que 36 UPS que, segundo SILVEIRA (2007), é a salinidade característica da Água Tropical (AT). Entretanto o par TS não designa nenhuma massa d'água, sendo provavelmente o resultado da mistura de duas massas d'água, visto que a AT tende a se misturar à medida escoa em direção ao sul, transportada pela CB.

Segundo NETO (2008) a AT encontra-se em constante troca de propriedades com a atmosfera, sendo inclusive difícil estabelecer índices termohalinos perfeitamente adequados. A AT pode ser encontrada desde o equador até cerca de 40 ºS (SILVA, 2006). De acordo com o boletim agroclimatológico de dezembro de 2013, disponibilizado por INMET (2013), parte do estado do RJ apresentou pluviosidade abaixo da média durante esse período, sendo possível que tenha diminuído o aporte fluvial à região costeira. Somando isso ao fato de que em grande parte do estado não há deságue de grande volume de água por parte de rios, pode-

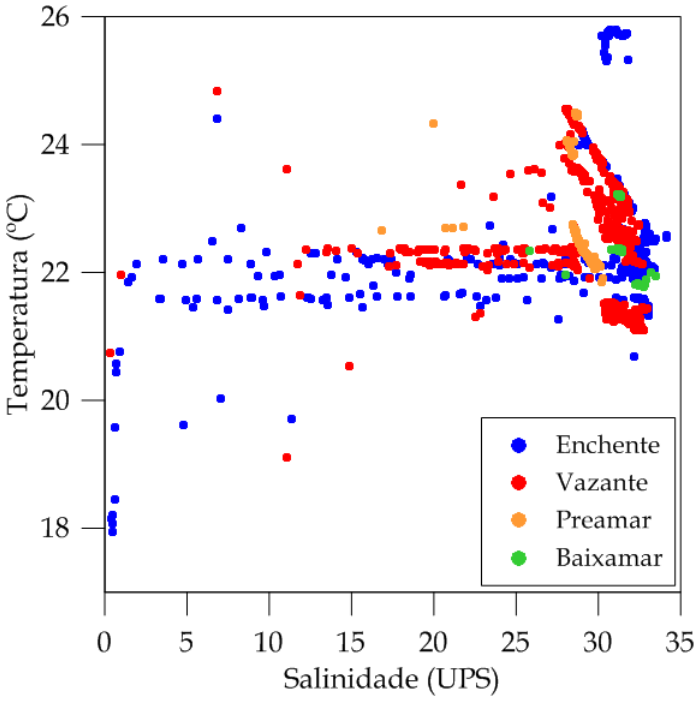
se especular que a mistura da AT com águas mais costeiras de menor salinidade não tenha ocorrido. O boletim do INMET também mostra que entre os dias 10 e 12 de dezembro de 2013 houve a rápida passagem de um sistema frontal que se dirigiu ao Espírito Santo. A passagem dessa frente fria pode ter levado à diminuição da TSM. Visto que a AT já é bastante salina, uma diminuição em sua temperatura poderia aumentar sua densidade a tal ponto que sofresse subsidência e possivelmente mistura com a ACAS, formando uma camada de água que manteve a temperatura fria da ACAS e a salinidade alta da AT e posteriormente sendo transportada até a área de estudo.

Durante o fundeio de outubro/2013 não foi observada claramente a presença da ACAS. Embora tenham ocorrido águas com temperaturas abaixo de 20 ºC, a salinidade foi muito baixa, próxima de zero (**Figura 72**). A baixa salinidade era esperada devido ao período chuvoso, causado pela presença de um sistema frontal na região, e consequente aporte de grande volume de água de origem fluvial, por meio dos canais meandrantes que deságuam na região.

As maiores salinidades durante as vazantes podem estar associadas à lavagem das áreas de apicum e manguezais presentes próximo ao sistema de canais de Barra de Guaratiba. Com as fortes chuvas, os sais poderiam ter sido carreados para as águas do canal que deságuam em Guaratiba. Vale ressaltar que valores de salinidade acima de 30 UPS durante as vazantes também ocorreram em fevereiro/2014 e também foram reportados por HAMACHER (2001) sendo, aparentemente, uma característica das águas transportadas durante esses períodos. Ainda assim é perceptível a influência da alta pluviosidade sobre as medições próximas à superfície, durante a vazante, que apresentaram alguns valores baixos de salinidade, chegando a valores próximos de zero.

Durante as enchentes, entretanto, foram mais frequentes as baixas salinidades, principalmente durante os últimos ciclos medidos. Nesse período os ventos foram intensos e constantes, soprando de SO, direção contrária ao escoamento de água do canal. Esse fato poderia ter contribuído para que a pluma superficial de baixa salinidade que sai do canal durante a vazante não se espalhasse na região costeira, sendo novamente advectada para a desembocadura do canal, com valores ainda mais baixos de salinidade e densidade, uma vez que, devido ao desconfinamento das águas, a mistura causada pelo elevado grau de turbulência existente no canal deve diminuir, permitindo que as águas se mantenham mais estratificadas na região costeira.

**Figura 64:** Diagrama TS, com dados de perfis horários, do fundeio realizado em outubro/2013 no canal de Barra de Guaratiba.



# CONCLUSÃO

As campanhas oceanográficas conduzidas na região do canal de Barra de Guaratiba permitiram realizar uma caracterização do ambiente, de acordo com suas caracterísitcas de circulação e padrões de distribuição de propriedades, em especial do material particulado em suspensão.

O canal de Barra de Guaratiba mostrou ser fortemente influenciado pela dinâmica local de marés, apresentando bidirecionalidade bem marcada durante os períodos de enchente e vazante. Uma característica evidente no canal é a inversão dos fluxos de maré, fazendo com que ocorra um escoamento para fora do canal, característico de uma vazante, cerca de 1:45 h antes do nivel da água atingir o seu máximo, na preamar. Devido à essa inversão, algumas das propriedades da coluna d'água, como temperatura, salinidade e concentração de material particulado em suspensão, são alteradas e mostram maior similaridade com as características estuarinas presentes no interior da baía de Sepetiba. Portanto, a inversão pode ser designada como uma consequência do maior volume de água que adentra a baía de Sepetiba através da conexão principal desta com o oceano, localizada na porção oeste da baía. Conforme já postulado por HAMACHER (2001) volume de água causa um gradiente de pressão entre o interior da baía e o sistema de canais que deságuam em Barra de Guartiba, forçando o escoamento dessas águas até a desembocadura do canal, sobrepondo as correntes de maré enchente e gerando um fluxo de vazante.

Observou-se também que os ventos parecem ter uma influência considerável sobre o fluxo resultante, uma vez que as correntes tendem a ser intensificadas quando ambos apresentam o mesmo sentido. Ventos de S/SO podem intensificar as correntes durante a enchente e até incrementar o transporte de MPS para o interior do canal, ao passo que ventos do quadrante N podem combinar-se com as correntes de vazante e aumentar a intensidade das correntes que se dirigem para fora do canal. Outras condições meteorológicas, tais como a ocorrência de sistemas frontais e o aumento da pluviosidade, tendem a contribuir para o aumento do MPS que é transportado através do canal, bem como podem ser as responsáveis pela presença de feições dinâmicas tais como os vórtices que adentraram o canal durante a campanha de outubro/2013.

A região costeira adjacente ao canal também foi caracterizada e observou-se que o canal tem forte influência sobre a distribuição de diversas propriedades como temperatura, salinidade, densidade, transmissividade, fluorescência e oxigênio dissolvido ao longo da

região que acompanha o eixo do canal de Barra de Guaratiba. Comparando-se os três transectos realizados foi observado que, provavelmente devido à intensidade dos fluxos ao longo do eixo principal, houve pouca variação das propriedades nos transectos mais próximos à restinga da Marambaia e ao continente. A distribuição dos sedimentos de fundo também atestaram a influência do canal, uma vez que a granulometria reflete a alta energia do local e permite ter uma idéia da tendência de transporte ao longo desse eixo preferencial onde foi observada a ocorrência de areias médias, tal como as encontradas no canal, a cerca de 500 metros da desembocadura. Devido às condições inadequadas da embarcação utilizada em dezembro/2013, não foi possível estender a malha amostral para além do limite normalmente alcançado pela pluma e assim identificar a região sob influência dos sedimentos finos oriundos do interior da baía de Sepetiba.

A influência da zona costeira sobre o canal também foi documentada por meio das medições que indicaram a ocorrência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) durante a campanha de fevereiro/2014. A presença dessa massa d'água sugere que deve haver uma considerável importação de nutrientes para o interior do canal, o que seria vantajoso para o sistema manguezal que ocorre na região. Também foram registradas águas muito salinas e frias nas proximidades do canal, cuja origem pode estar relacionada à mistura de massas d’água como a AT e a ACAS com as águas costeiras.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. M. *Análise espaço-temporal da área ocupada por florestas de mangue em Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ) de 1985 até 2006 e sua relação com as variações climáticas*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

ALTHAUSEN, J. D.; KJERFVE, B. Distribution os suspended sediment in a partially mixed estuary, Charleston Harbor, South Carolina, USA. *Estuar Coast Sci*, 35: 517-531, 1992.

BARCELLOS, C. Geodinâmica de Cádmio e Zinco na Baía de Sepetiba. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 1995.

BARCELLOS, C.; LACERDA, L. D.; CERADINI, S. Sediment origin and budget in Sepetiba Bay (Brazil) – an approach base don multielemental analysis. *Environmental Geology*, v. 32, n. 3, p. 203-209. 1997

BIRON, P. M.; ROBSON, C.; LAPOINTE, M. F.; GASKIN, S. J. Comparing different methods of bed shear stress estimates in sample and complex flow fields. *Earth Surface Processes and Landform*, [S.l.], v. 29, p. 1403-1415, 2004.

BORGES, H. V. *Dinâmica sedimentar da Restinga de Marambaia e Baía de Sepetiba*. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1990

BRENNAN, M. L.; SCHOELLHAMER, D. H.; BURAU, J. R.; MONISMITH, S. G. Tidal asymmetry and variability of bed shear stress and sediment bed flux at a site in San Francisco bay, USA. *Proceedings in Marine Science: Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*. Elsevier, p. 93-107. 2002.

BRÖNNIMANN, P.; MOURA, J.A.; DIAS-BRITO, D. *Ecologia dos foraminíferos e microrganismos associados da área de Guaratiba/Sepetiba: modelo ambiental e sua aplicação na pesquisa de hidrocarbonetos*. Rio de Janeiro: Petrobrás, 81 p. Relatório 3549. 1981

BROWN, J. M.; DAVIES, A. G. Flood/ebb tidal assimetry in a shallow sandy estuary and the impacto n net sand transport. *Geomorphology*. v. 114, p. 431-439. 2010.

CAMERON, W. N.; PRITCHARD, D. W. *Estuaries*. IN: GOLDBERG, E. D.; McCAVE, I. N.; O'BRIEN, J. J.; STEELE, J. H. The Sea. New York, John Wiley & Sons. p. 306-324. 1963.

CARRIQUIRY, J. D.; SANCHEZ, A. Sedimentation on the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Marine Geology***,** v. 158. 1999

CASTRO FILHO, B.M., LORENZZETTI, J.A., SILVEIRA, I.C.A., MIRANDA, L.B. Estrutura termo-halina e circulação entre o cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B., MADUREIRA, L.S.P. (Org.). *O ambiente oceanográfico da*

*plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil.* São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

COELHO, L. A. Intrusão da ACAS na região adjacente à baía de Sepetiba. *Anais Hidrográficos*, 67:109-115. 2010.

CORTEZ, R. H. C.; GUTIERREZ, M. T.; GUERRA, J. V. Estudo preliminar da distribuição dos parâmetros físicos ao longo do setor sul da plataforma continental adjacente ao estado do Rio de Janeiro. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 22., 2010, São Paulo. *Anais*...São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

CORTEZ, R. H. C. *Circulação e fluxo de material particulado em suspensão no canal de Barra de Guaratiba (baía de Sepetiba – RJ)*. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

CORTEZ, R. H. C.; GUERRA, J. V. Observação da tensão cisalhante e transporte de material particulado em suspensão em um canal de maré - barra de Guaratiba, RJ. In: X Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélites - OMARSAT, Arraial do Cabo. 2013.

CORTEZ, R. H. C.; GUERRA, J. V.; DADALTO, T. P.; RESENDE, M. C. C. M.; D'OLIVEIRA, V. S. *Observations of tidal currents and water column properties at Sepetiba bay tidal channels (Rio de Janeiro, SE Brazil).* Submetido ao *Geo-Marine Letters*.

CUNHA, C. L. N.; ROSMAN, P. C. C.; FERREIRA, A. P.; MONTEIRO, T. C. N. Hydrodynamics and water quality models applied to Sepetiba Bay. *Continental Shelf Research*, v. 26. p. 1940 – 1953. 2006.

D'AQUINO, C. A.; NETO, J. S. A.; BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F. Caracterização oceanográfica e do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do rio Mampituba, SC. *Revista Brasileira de Geofísica*. 2(2):217-230. 2011.

DAVIS, R. A.; HAYES, M. O. What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*. 60:313-329. 1984.

DAVIS, R. A. A new look at barrier-inlet morphodynamics. *Journal of Coastal Research.* 69:1-12. 2013.

DEINES, K. L. *Backscatter estimation using broadband Acoustic Doppler Current Profilers*. In: IEEE CONFERENCE, San Diego. 1999.

DIAS, G. T. M.; KJERFVE, B. Barrier and beach ridge systems of the Rio de Janeiro coast. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. New York: Springer, 2009.

DIAS-BRITO, D.; MOURA, J. A.; BRÖNIMANN, P. *Aspectos ecológicos, geomorfológicos e geobotânicos da planície de maré de Guaratiba*, RJ. In: IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO DO BRASIL, 1982.

DYER, K. *Estuaries: a physical introduction*. 2nd ed. New York: Wiley, 1997.

DYER, K. *Estuarine circulation*. IN: Encyclopedia of Ocean Sciences. Academic Press. 2001.

EPA. *Ecological condition of the estuaries of Oregon and Washington*. Environmental Monitoring and Assessment Program (EMAP) Report. 910-R-06-001, 2006.

FITZGERALD, D. M. *Tidal Inlets*. IN: SCHWARTZ, M. L. Encyclopedia of Coastal Sciences. Springer. 2005.

FOLK, R.L. E WARD, W.C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, [S.l.], v. 27, p. 3-27, 1957.

FONSECA, S. A. R. *Observações dos padrões de circulação e do fluxo de material particulado em suspensão nas proximidades do canal de acesso à baía de Sepetiba (RJ)*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

FRAGOSO, M. R. *Estimativa do padrão de circulação da Baía de Sepetiba através de modelagem numérica*. Monografia (Bacharelado em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1995.

FRAGOSO, M. R. *Estudo numérico da circulação marinha da região das baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ).* Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

FRIEDERICHS, Y. L. *O sistema fluvio-estuarino da baía de Sepetiba preservado na estratigrafia rada da plataforma interna adjacente (RJ)*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

GARONCE, F. A. A.; QUARESMA, V. S. Hydrodynamic aspects at Vitória bay mouth, ES. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 86(2):555-570. 2014.

GARTNER, J. Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, v. 211. p. 169 – 187. 2004.

GEYER, W. R. *Estuarine salinity structure and circulation*. IN: VALLE-LEVINSON, A. Contemporary Issues in Estuarine Physics. Cambridge University Press. 2010.

GUERRA, L.A.A. *Interações não-lineares da maré em canais com as extremidades abertas - um estudo numérico.* Dissertação (Mestrado em Geoquímica). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 1999.

GUTIERREZ, M.T. *Variabilidade espacial e temporal da distribuição do material particulado em suspensão nas proximidades do canal de navegação da baía de Sepetiba (RJ).* Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Oceanografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

HAMACHER, C. *Fluxo de materiais entre manguezais e áreas costeiras adjacentes: Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil*. Tese (Doutorado em Química). Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2001.

HASLETT, S. K. *Coastal systems*. 1º ed. London. Routledge. 2000

HAYES, M. O. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. *Sedimentary Geology*. 26:139-156. 1980.

INMET. *Boletim Agroclimatológico Mensal – Dezembro 2013*. Instituto Nacional de Meteorologia. 2013

INPE. Imagem MODIS: Temperatura da superfície do mar. 2014. Divisão de satélites e sistemas ambientais. Disponível em: < http://satelite.cptec.inpe.br/tsm/> Acessado em: Junho/2014.

KIM, Y. H.; VOULGARIS, G. *Estimation of suspended sediment concentrations in estuarine environments using acoustic backscatter from an ADCP*. In: INTERNATION CONFERENCE ON COASTAL SEDIMENTS, 2000.

KJERFVE, B. Circulation and salinity distribution in coastal Lousiana bayous. *Contributions in Marine Science*, v. 20. p. 1 – 10. 1976

KJERFVE, B. Measurement and analysis of water current, temperature, salinity and density. In: *Estuarine Hidrography and Sedimentation*. K. R. Dyer (ed.) Cambridge University Press. Cambridge. 230 p. 1979.

KRAUS, N. C. *Engineering of tidal inlets and morphologic consequences*. U.S. Army Engineer Research and Development Center. 2008

KRUMBEIN, W.C. E PETTIJOHN, F. *Manual of sedimentary petrology*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1938.

LINCOLN, J. M.; FITZGERALD, D. M. Tidal distortions and flood dominance at five small tidal inlets in southern Maine.*Marine Geology*. 82: 133-148. 1988.

LORENZZETTI, J.A.; GAETA, S.A. The Cape Frio upwelling effect over the South Brazil Bight Northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v.31, p. 448-453, 1996.

LUCAS, L. V. *Implications of estuarine transport for water quality*. IN: VALLE-LEVINSON, A. Contemporary Issues in Estuarine Physics. Cambridge University Press. 2010.

MACHADO, L. M. C. *Variabilidade interanual da ressurgência de Cabo Frio – RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

MCCAVE, I. N. Suspended sediment. In: DYER, K.R. *Estuarine hydrography and sedimentation.* p. 131-185. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1979.

MIRANDA, T. C. *Distribuição de Zinco e Cádmio associados ao Material Particulado em Suspensão ao longo de um ciclo de maré na Baía de Sepetiba*. Monografia (Bacharelado em Oceanografia). Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários.* Edusp. 2002.

MIRANDA, L. B.; IKEDA, Y.; CASTRO FILHO, B. M.; PEREIRA FILHO, N. Note on the ocurrence of saline fronts in the Ilha Grande (RJ) region. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 26. p. 249 – 256. 1977.

MOLISANI, M. M.; KJERFVE, B.; SILVA, A. P.; LACERDA, L. D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. *Journal of Hidrology*, v. 311. p. 425 – 433. 2007.

MOURA, J. A.; DIAS-BRITO, D.; BRÖNIMANN, P. *Modelo ambiental de laguna costeira clástica – Baía de Sepetiba, RJ*. In: IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL. 1982.

MOURA, M. G.; QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C.; VERONEZ JR, P. Field observations of SPM using ADV, ADP, and OBS in a shallow estuarine system with low SPM concentration - Vitória bay, SE Brazil. *Ocean Dynamics*. 61:273-283.

NETO, H. F. *Análise multiparamétrica ótima de massas de água na Bacia de Campos – RJ*. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

NICHOLS, M. M.; BIGGS, R. B. Estuaries. In: DAVIS Jr, R. A. (ed.). *Coastal Sedimentary Environments*, 2º ed, 1985.

NITTROUER, C. A.; WRIGHT, L. D. Transport of particles across continental shelves. *Review of Geophysics,* v. 32, n. 1. p. 85 – 113. 1994

PAOLO, F. S.; MAHIQUES, M. M. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: Exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. *Revista Brasileira de Geofísica*. 26:211-225. 2008.

PEREIRA, S.D. *Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba – RJ*. Tese de Doutorado. Centro de Geologia Costeira e Oceânica. UFRGS. 1998.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: estuário de Caravelas (BA). *Revista Brasileira de Geofísica*. 28(3):427-444. 2010.

PONÇANO, W. L. *Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, estado do Rio de Janeiro: Contribuição à avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto.* Dissertação

(Mestrado em Oceanografia). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1976.

POPE, N. D; WIDDOWS, J.; BRINSLEY, M. D. Estimation of bed shear stress using turbulent kinect energy approach – A comparison of annular flume and field data. *Continental Shelf Research*. 26:959-970. 2006.

PORTAL GUARATIBA. Na teoria preservação, na prática o manguezal está sendo destruído. 2009. Disponível em: <http://www.portalguaratiba.com.br/2009/index0312> Acesso em: Nov. 2011.

PUGH, D. T. *Tides*. IN: Encyclopedia of Ocean Sciences. Academic Press. 2001.

RALSTON, D. K.; STACEY, M. D. Tidal and meteorological forcing of sediment transport in tributary mudflat channels. *Continental Shelf Research*, v. 27. p. 1510 – 1527. 2007.

RIBEIRO, A. P.; FIGUEIREDO, A. M. G.; SANTOS, J. O.; DANTAS, E.; COTRIM, M. E. B.; FIGUEIRA, R. C. L.; FILHO, E. V. S.; WASSERMAN, J. C. Combined SEM/AVS and attenuation of concentration models for the assessment of bioavailability and mobility of metals in sediments of Sepetiba Bay (SE Brazil). *Marine Pollution Bulletin*. 68: 55-63. 2013.

RIPPETH, T.; WILLIAMS, E.; SIMPSON, J. H. Reynold stress and turbulent energy production in a tidal channel. *Journal of Physical Oceanography*. 32:1242-1251. 2002.

RODRIGUES, R. P.; KNOPPERS, B. A.; SOUZA, W. F. L.; SANTOS, E. S. Suspended matter and nutrient gradients of a small-scale river plume in Sepetiba Bay, SE-Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, n. 2. p. 503 – 512. 2009

ROMAN, M. R.; GAUZENS, A. L.; RHINEHART, W. K.; WHITE, J. R. Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. *Limnol. Oceanogr*., vol. 38, n. 8, 1603-1614, 1993.

RONCARATI, H.; BARROCAS, S. L. S. Estudo preliminar dos sedimentos recentes *superficiais da baía de Sepetiba* . Projeto Sepetiba, Rio de Janeiro: CENPES – PETROBRÁS (Relatório Preliminar). 1978.

ROSS, M. A.; MEHTA, A. J.On the mecanics of lutoclines and fluid mud. *Journal of Coastal Research*, v. 5. p. 51 – 61. 1989.

SCHETTINI, C. A. F.; MIRANDA,L. B. Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*. 58(1):1-11. 2010.

SHIDELER, G. L.; STELTING, C. E. *Maps showing time-sequence surface patterns of estuarine hydrography and suspended sediments in Corpus Christi Bay, Texas Gulf coast*. USGS Report: 1530, 1983.

SIEGLE, E.; SCHETTINI, C .A. F.; KLEIN, A. H. F.; TOLDO JR, E. E. Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: pre jetty conditions. *Brazilian Journal of Oceanography*. v. 57, n. 2, p. 123-135. 2009.

SIGAÚQUE, P. J. *Avaliação hidro-sedimentológica no canal de Itajuru – lagoa de Araruama, RJ, devido a sobrelevaçãodo nível médio do mar por mudança climatic*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

SIGNORINI, S. R. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba Part I: a survey of the circulation based on experimental field data. *Boletim Instituto Oceanográfico*, v. 29, n. 1. p. 41 – 55. 1980a.

SIGNORINI, S. R. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba Part II: an assessment to the tidally and wind-driven circulation using a finite element numerical model. *Boletim Instituto Oceanográfico*, v. 29, n. 1. p.57 – 68. 1980b.

SILVA, L. C. C. *Estudo das massas d'água e da circulação geostrófica na região sudeste da bacia do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

SILVA, G. L.; DOURADO, M. S.; CANDELLA, R. N. *Estudo preliminar da climatologia da ressurgência na região de Arraial do Cabo, RJ*. IN: XI Encontro Nacional dos Grupos PET. UFSC. 2006.

SILVEIRA, I.C.A. *O sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ.* Tese (Doutorado).Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

SOMMERFIELD, C.K.; OGSTON, A.S.; MULLENBACH, B.; DEAKE, D.E.; ALEXANDER, C.R.; NITTROUER, C.A.; ET AL. Oceanic dispersal an accumulation of river sediment. IN: NITTROUER, C.A., AUSTIN, J.A., FIELD, M.E., KRAVITZ, J.H., SYVITSKI, J.P.M., WIBERG, P.L. Continental Margin Sedimentation: From Sediment Transport to Sequence Stratigraphy. *International Association of Sedimentologists Series*, [S.l.], Special Publication 37, p. 157-212. 2007.

SOULSBY, R.L. The bottom boundary layer of shelf seas. In: JOHNS, B. *Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas*. p. 189-266. [S.l.]: Elsevier, 1983.

TAVARES, A. C. A.; BULHÕES, E.; DUQUE-ESTRADA, A. F. Distribuição de fáceis sedimentares e tendências de transporte de sedimentos na enseada de manguinhos, Armação dos Búzios, RJ. *Revista de Geografia*. UFPE. 2010

TURNER, A.; MILLWARD, G. E.Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 55. p. 857 – 883. 2002.

VALLE-LEVINSON, A. *Definition and classification of estuaries*. IN: VALLE-LEVINSON, A. Contemporary Issues in Estuarine Physics. Cambridge University Press. 2010.

VOULGARIS, G.; MEYERS, S. T. Temporal variability of hydrodinamics, sediment concentration and sediment settling velocity in a tidal creek. *Continental Shelf Research*. 24: 1659-1683. 2004.

WALTON, T. *Tidal velocity asymemetry at inlets*. U.S. Army Corps of Engineers. ERDC/CHL CHETN-IV-47. 2002.

WARNER, J. C.; SCHOELLHAMER, D.; SCHLADOW, G. Tidal truncation and barotropic convergence in a channel network tidally driven from opposing entrances. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56:629-639. 2003.

WASSERMAN, J. C. *O impacto da mobilização química de metais durante um serviço de dragagem na Baía de Sepetiba para o terminal marítimo da CSA*. 2005

WELCH, E. B. *Factors initiating phytoplankton blooms and resulting effects on dissolved oxygen in Duwamish river estuary Seattle, Washington*. Geological Survey Water-Supply Paper 1873-A. Municipality of Metropolitan Seattle, 1969.

ZEM, R. C. *Hidrdinâmica e fluxo de material particulado em suspensão na região estuarina da baía de Paranaguá - PR*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.