



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**CÂMPUS APUCÁRANA E LONDRINA**



**ÁLVARO ALFREDO PARRA COLOMA**

**POLUIÇÃO DO AR DENTRO DE BARCOS NO LITORAL DO ESTADO  
DE PARANÁ**

**LONDRINA**  
**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

C718p Coloma, Álvaro Alfredo Parra  
Poluição do ar dentro de barcos no litoral do estado de Paraná / Álvaro  
Alfredo Parra Coloma. Londrina : [s.n], 2019.  
112 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patricia Krecl  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2019.  
Bibliografia: f. 90-100

1. Material Particulado. 2. Saúde Ambiental. 3. Poluentes Atmosféricos.  
4. Poluição Ambiental. I. Krecl, Patricia, orient II. Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental. IV. Título.

CDD: 628

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
CÂMPUS APUCARANA E LONDRINA**

**ÁLVARO ALFREDO PARRA COLOMA**

**POLUIÇÃO DO AR DENTRO DE BARCOS NO LITORAL DO ESTADO  
DE PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patricia Krecl

**LONDRINA  
2019**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Campus Apucarana/Londrina



## TERMO DE APROVAÇÃO

### POLUIÇÃO DO AR DENTRO DE BARCOS NO LITORAL DO ESTADO DE PARANÁ

por

**ÁLVARO ALFREDO PARRA COLOMA**

Dissertação de mestrado apresentada no dia 14 Março do 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **Aprovado.**

---

**Prof. Dra - Patrícia Krecl  
(UTFPR Campus Apucarana)**

---

**Prof. Dr - Admir Créso de Lima Targino  
(UTFPR Campus Londrina)**

---

**Prof. Dr - Boris Galvi  
Universidad de la Salle (Colômbia)**

---

**Profa. Dra Alessandra Furtado da Silva  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Gradu  
em Engenharia Ambiental

Dedico este trabalho para meus pais, meu irmão, meus avós e tios, aqueles que sempre me apoiaram, obrigado por tanto carinho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro que nada à Organização dos Estados Americanos (OEA), o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) e a Organização Panamericana da Saúde (OPS/OMS) pela bolsa de estudo concedida.

Agradeço a minha família por sempre estar presente neste processo de estudo fora de meu país, obrigado por todo esse apoio.

Quero dar meus agradecimentos à Professora Patricia Krecl, a qual me orientou por este trabalho, obrigado pela entrega de novos conhecimentos nesta linha de pesquisa, sem dúvida uma contribuição importantíssima para minha formação pessoal.

Agradeço ao Professor Admir Targino, e ao Eng. Ambiental João Paulo M. Ribeiro pela coleta de dados na Ilha do Mel, também agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dos instrumentos usados neste estudo (projetos 404146/2013-9 e 400273/2014).

À capitania dos Portos de Paranaguá pela informação sobre os barcos nos quais foram realizadas as viagens e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Para todos os membros do *Laboratory for Urban Air Pollution and Climate*, em especial Carol, Isabela, Yago, Marcus, Andrés e Max.

Para o Professor Orlando de Carvalho muito obrigado pela possibilidade de fazer estágio de docência com você, foi uma experiência muito enriquecedora. Para o Professor Edson Fontes de Oliveira muito obrigado pelo convite para participar de suas coletas de campo e também a possibilidade de conhecer esse paraíso dentro de Brasil (Pantanal). Para a Professora Amélia obrigado por toda a ajuda dentro da faculdade.

Para meus amigos dentro da faculdade Crislaine, Michele, Julian, Sergio, Alexander, Renato e fora dela Marcos R., Paulo, Bruna, Marco S. e Junior obrigado por essa linda amizade. Para meus amigos de Chile que sempre durante estes dois anos ficaram presentes Osiel e Naty obrigado por essa amizade.

Por último para toda essa gente linda que eu conheci no Brasil tanto da faculdade como fora dela, sem dúvida foram momentos muito felizes durante meu passo por este belo país, muito obrigado.

## RESUMO

Parra, A.P. **Poluição do ar dentro de barcos no litoral do estado de Paraná**. 2019. 110 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

A queima de combustível nos motores de barcos emite poluentes sólidos e gasosos que impactam negativamente a saúde humana e o meio ambiente. Um dos poluentes atmosféricos particulados de especial interesse são as partículas ultrafinas (com diâmetro menor que 100 nm) que podem atingir a região alveolar e produzir danos no sistema respiratório. Dentro desse grupo, encontram-se as partículas de *black carbon* (BC), que além dos efeitos adversos sobre a saúde humana, contribuem para o aquecimento global.

Nesse contexto, pela primeira vez no Brasil, foram monitoradas as concentrações do número de partículas (CNP) e de BC dentro de barcos que navegam no litoral do Paraná, especificamente entre Paranaguá/Pontal do Sul e a Ilha do Mel (localizada a 4 km da costa) no verão de 2015. Também foram realizadas medições fixas destes poluentes nos trapiches e na Ilha do Mel (em uma pousada e na Praia de Fora), e de variáveis meteorológicas.

Os resultados mostraram uma grande variabilidade espacial das concentrações de BC e CNP. Em média, o trajeto da Ilha do Mel para Pontal do Sul foi mais poluído (BC: 27,25  $\mu\text{g m}^{-3}$  e CNP:  $2,68 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ) do que o trajeto para a Ilha do Mel (BC: 5,43  $\mu\text{g m}^{-3}$  e CNP:  $1,05 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ). A brisa marinha influenciou as concentrações medidas a bordo dos barcos, favorecendo a dispersão dos poluentes em alguns casos e em outros contribuindo com a fumigação desses poluentes para dentro da cabine. As correntes de maré e o vento interagiram com a força de deslocamento do barco, gerando resistências nas viagens em alguns casos e, portanto, causando a elevação das emissões pelo escapamento.

As medições fixas de BC e CNP foram relativamente baixas em comparação com o monitoramento móvel. As menores concentrações médias de BC foram observadas na pousada (0,46  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e Praia Encantada (0,69  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), e no caso da CNP a menor média ( $0,22 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ) foi observada no trapiche de Brasília.

A exposição média para todas as viagens foi de 16,34  $\mu\text{g m}^{-3}$  para BC e  $8,15 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  para CNP. A maior dose de BC foi observada para a tripulação (7,8  $\mu\text{g min}^{-1}$ ), seguida pela dose dos passageiros adultos (3,55  $\mu\text{g min}^{-1}$ ), idosos (3,40  $\mu\text{g min}^{-1}$ ) e crianças (3,35  $\mu\text{g min}^{-1}$ ). A dose de CNP alcançou  $2,24 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$  para a tripulação e as dos passageiros variaram entre 0,96 e  $1,01 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ . A exposição ao BC durante a viagem mais poluída foi 617 vezes maior que a exposição registrada na pousada da Ilha do Mel.

Os resultados deste estudo alertam sobre a ocorrência de valores extremamente altos de BC e CNP a bordo dos barcos quando comparados com outros meios de transporte no Brasil. São necessários mais estudos no setor de transporte aquático no Brasil, já que passageiros e tripulação em outras regiões poderiam estar expostos também a altas concentrações de poluentes atmosféricos.

**Palavras-chave:** Material particulado, *black carbon*, concentração do número de partículas, exposição e dose pessoal, correntes de maré, brisa marinha e terrestre.

## ABSTRACT

Parra, A.P. **Air pollution on board ferry boats sailing along the coast of Paraná State, Brazil.** 2019. 110 p. Dissertation (Master). Graduate Program in Environmental Engineering (PPGEA), Câmpus Apucarana / Londrina, Federal University of Technology. Londrina, 2019.

The burning of fossil fuels in boat engines emits solid and gaseous pollutants that impact negatively human health and the environment. One of the particulate pollutants of special interest is ultrafine particles (diameter less than 100 nm) due to their potential to reach the alveolar region and to damage the respiratory system. Black carbon (BC) particles are a fraction of UFP that, in addition to the deleterious effects on human health, contribute to global warming.

In this context, for the first time in Brazil, concentrations of BC and ultrafine particle number (PN) concentrations were monitored on board ferry boats sailing along the coast of Paraná State, specifically from Paranaguá and Pontal do Sul to Ilha do Mel (an island located 4 km from the coast) in the summer of 2015. Measurements of these pollutants were also conducted in several piers and on Ilha do Mel, together with meteorological variables.

The results showed a large spatial variability of BC and PN during the trips. On average, the trips from Ilha do Mel to Pontal do Sul were more polluted (mean BC  $27.25 \mu\text{g m}^{-3}$  and PN:  $2.68 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ) than the trip to Ilha do Mel (BC:  $5.43 \mu\text{g m}^{-3}$  and PN:  $1.05 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ). The sea breeze influenced the concentrations measured on board the boats, favoring the dispersion of the pollutants in some cases and in others contributing to the fumigation of these pollutants into the cabin. Tidal currents and wind interacted with the boat's shifting force, increasing the resistance to sail and, thus, raising the exhaust emissions in some cases.

BC and PN measurements at fixed sites on the island were relatively low compared to mobile monitoring. On average, the lowest BC concentrations were observed at an inn ( $0.46 \mu\text{g m}^{-3}$ ) and at Praia Encantada beach ( $0.69 \mu\text{g m}^{-3}$ ), and in the case of PN the lowest mean value ( $0.22 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ) was reported at Brasília pier on the island.

The average exposure for all trips was  $16.34 \mu\text{g m}^{-3}$  for BC and  $8.15 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  for PN. The highest potential BC dose was observed for crew members ( $7.8 \mu\text{g min}^{-1}$ ), followed by adult passengers ( $3.55 \mu\text{g min}^{-1}$ ), elderly ( $3.40 \mu\text{g min}^{-1}$ ) and children ( $3.35 \mu\text{g min}^{-1}$ ). The PN dose reached  $2.24 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$  for crew members and for passengers ranged from  $0.96$  to  $1.01 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ . The BC exposure during the most polluted trip was 617 times higher than the exposure recorded at the hostel on Ilha do Mel.

The results of this study raise concern about the occurrence of extremely high BC and PN concentrations on board ferry boats when compared with other transport modes in Brazil. More studies are needed on the water transport sector in Brazil, since passengers and crew in other regions could also be exposed to high concentrations of air pollutants.

**Keywords:** Particulate matter, black carbon, particle number concentration, exposure and personal dose, tidal currents, sea and land breezes.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Ação das marés, A - situação sem maré; B - maré lunar; C - maré lunar e solar (sizígia). O círculo amarelo é o sol, o círculo cinza a lua, o círculo laranja escuro a terra, as elipses azul claro representam as marés. <b>Fonte:</b> Adaptado de Wikipedia, 2018. ....	27
<b>Figura 2</b> – Formação da brisa marinha. <b>Fonte:</b> BLUCHER, 1994. ....	28
<b>Figura 3</b> – Formação do terral. <b>Fonte:</b> BLUCHER, 1994. ....	28
<b>Figura 4</b> – Área de estudo no litoral da costa do Paraná. <b>Fonte:</b> Google Earth, 2018. ....	31
<b>Figura 5</b> – Climograma para a cidade de Paranaguá no período 1961-1990. <b>Fonte:</b> INMET, 2009. ....	32
<b>Figura 6</b> – Barcos e lanchas onde foi realizado o monitoramento. <b>Fonte:</b> Registro fotográfico próprio. ....	34
<b>Figura 7</b> – Emissões pelo escapamento dos barcos. <b>Fonte:</b> Registro fotográfico próprio. ....	35
<b>Figura 8</b> – (a) MicroAeth modelo AE51. Fonte: AETHLABS, 2018. (b) Princípio de funcionamento do MicroAeth modelo AE51. <b>Fonte:</b> Adaptado de ARNOTT et al. (2005). ....	36
<b>Figura 9</b> – (a) CPC-3007 Fonte: TSI, 2018. (b) Princípio de funcionamento do CPC-3007. <b>Fonte:</b> Adaptado de TSI, 2012. ....	39
<b>Figura 10</b> – GPS modelo D-100. <b>Fonte:</b> USGlobalSat, Inc., 2017. ....	40
<b>Figura 11</b> – CPC 3007 em função da concentração do eletrômetro. <b>Fonte:</b> Adaptado de Hämeri et al., 2002. ....	44
<b>Figura 12</b> – Deslocamento do barco através de vetores. <b>Fonte:</b> Adaptado de Ramalho et al., 2003. ....	48
<b>Figura 13</b> – <i>Boxplots</i> das concentrações de BC para cada viagem de ida a Brasília (a) e de volta (b). Concentrações de BC para todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite da caixa é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95, a linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca representa a média. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	51

<b>Figura 14</b> – <i>Boxplots</i> das CNP para cada viagem de ida a Brasília (a) e de volta (b). CNP para todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite da caixa é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95, a linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca representa a média. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	54
<b>Figura 15</b> – Ciclo médio diário de temperatura (a), umidade relativa (b), velocidade do vento (c), direção do vento (d). A área azul clara corresponde aos horários em que foram feitas as viagens em 2015. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	56
<b>Figura 16</b> – Direção do vento na área de estudo, para o período 07-13/02/2015 <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	57
<b>Figura 17</b> – Frequência e distribuição da velocidade do vento para o período 07-13/02/2015. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	58
<b>Figura 18</b> – Séries horárias de temperatura (a), umidade relativa (b), velocidade do vento (c) e direção do vento (d) para o período 07-13/02/2015. A área azul clara corresponde aos horários em que foram realizadas as viagens. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	59
<b>Figura 19</b> – <i>Boxplots</i> das concentrações de BC para cada viagem de ida à Ilha do Mel (a) e de volta (b) no canal de Galheta. Todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. Cada barco é identificado por uma cor única nos painéis a-b (código barco “B”). Cada letra acima de gráfico (I-V) identifica o código da viagem. <b>Fonte:</b> Autoria própria....	63
<b>Figura 20</b> – Componentes vetoriais para as viagens realizadas pelos mesmos barcos, expressos em $m s^{-1}$ . Direção das viagens (setas vermelhas), direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu g m^{-3}$ ) e a cinza indica menores concentrações. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	66
<b>Figura 20</b> (Continuação) – Componentes vetoriais para as viagens realizadas pelos mesmos barcos, expressos em $m s^{-1}$ . Direção das viagens (setas vermelhas), direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu g m^{-3}$ ) e a cinza indica menores concentrações. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	67

**Figura 21** – Série temporal das concentrações de BC1, CNP e BC2 medidas na viagem (a) Brasília – Paranaguá (08:00 – 09:30) e (b) Paranaguá – Brasília (13:03 – 14:35) no dia 11/02/2015. A área cinza corresponde aos horários em que foram realizadas manobras pelo barco. A área turquesa corresponde aos instantes em que se aproximaram outros barcos e se percebeu cheiro a diesel. **Fonte:** Autoria própria.

.....72

**Figura 22** – Componentes vetoriais para a viagem Brasília - Paranaguá no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. Direção dos ventos (setas azules) e direção das correntes de maré (setas amarelas). Símbolo X (Navegação pelo Canal da Cotinha). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). **Fonte:** Autoria própria. ....74

**Figura 23** – Componentes vetoriais para a viagem Paranaguá – Brasília no dia 11/02/2015, 13:03- 14:35. X: indica navegação pelo Canal da Cotinha. Direção dos ventos (setas azules) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). **Fonte:** Autoria própria. ....75

**Figura 24** – Embarcações que vão para Ilha do Mel. **Fonte:** Registro fotográfico próprio. ....75

**Figura 25** – Correlação linear entre as concentrações de BC e CNP para as viagens Brasília-Paranaguá (a,b,c) e Paranaguá – Brasília (d,e,f). R é o coeficiente de correlação linear. Figura a-c, R1 inclui valor  $> 200 \mu\text{m}^{-3}$ . Figura d, R1: Calculado para horário da viagem das 13:03 até 14:13, R2: Calculado para horário da viagem das 14:13 até 14:35 **Fonte:** Autoria própria. ....77

**Figura 26** – Componentes vetoriais para a viagem realizada desde Brasília até Encantadas (a) (15:02 – 15:27) e desde Encantadas até Brasília (b) (16:23 – 16:45) no dia 11/02/2015. Direção dos ventos (setas azules) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça cinza indica representa que a concentração média da viagem foi inferior à concentração média das viagens de ida a Ilha do Mel ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). **Fonte:** Autoria própria.....78

**Figura 27** – Concentração de BC para as viagens do dia 11/02/2015 (a) Brasília – Encantadas (15:02 – 15:27), (b) Encantadas - Brasília (16:23 -16:45). **Fonte:** Autoria própria. **b)**.....79

**Figura 28** – Boxplots das concentrações de BC para monitoramento fixo no período de estudo. O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis

5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	81
<b>Figura 29</b> – Boxplots das CNP para monitoramento fixo no período de estudo. O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	82
<b>Figura 30</b> – Concentrações de BC e CNP no trapiche de Pontal do Sul no dia 12/02/2015, 09:02 - 09:30. <b>Fonte:</b> Autoria própria. <b>Cheiro cigarro</b> .....	83
<b>Figura 31</b> – Concentrações de BC e CNP no trapiche de Pontal do Sul no dia 12/02/2015, 09:02 - 09:30. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	83
<b>Figura 32</b> – (a) Exposição ao CNP para todas as viagens. (b) Dose de CNP inalada para a viagem I1. (c) Dose de CNP média inalada para todas as viagens. (d) Dose de CNP inalada para a viagem V2. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	86
<b>Figura 33</b> – Exposição ao BC para o monitoramento fixo. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ..	88
<b>Figura A1</b> – Concentrações médias de BC para as viagens de ida à Ilha do Mel (Canal de Galheta) vs. idade dos barcos.....	104
<b>Figura A2</b> – Concentrações medias de CNP para as viagens de ida à Ilha do Mel (Canal de Galheta) v/s idade dos barcos sobre o canal de Galheta.....	104
<b>Figura B1</b> – Exemplo de correção ONA utilizada para processar os dados do dia 10/02/2015. <b>Fonte:</b> AethLabs, 2018.....	105
<b>Figura B2</b> – Exemplo de correção ONA que não foi utilizada para processar os dados do dia 07/02/2015. <b>Fonte:</b> AethLabs, 2018.....	106
<b>Figura C1</b> – Gráfico para determinar o fator de correção da velocidade das correntes de maré. <b>Fonte:</b> CHMB, 1976.....	108
<b>Figura C2</b> – 1 hora antes da Preamar. <b>Fonte:</b> CHMB, 1976. ....	108
<b>Figura C3</b> – Representação gráfica das tabuas de maré (cm) para o dia 09/02/2015. Os círculos vermelhos inferiores representam BM, e os verdes superiores PM. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	109
<b>Figura D1</b> – Histogramas das concentrações de BC, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 13 c - d respectivamente). <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	110

<b>Figura D2</b> – Histogramas das CNP, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 14 c - d respectivamente. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	111
<b>Figura D3</b> – Histogramas das concentrações de BC para a análise de casos, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 19 c - d respectivamente. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	112
<b>Figura E1</b> - Distribuição espacial da mediana das concentrações de BC1 cada 250 m durante a viagem Brasília – Paranaguá, no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. <b>Fonte:</b> Autoria própria.....	113
<b>Figura E2</b> - Distribuição espacial da mediana das concentrações de CNP cada 250 m durante a viagem Brasília – Paranaguá, no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. <b>Fonte:</b> Autoria própria. ....	114

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Medições móveis e fixas realizadas na área de estudo.....	41
<b>Tabela 2</b> – Especificações dos equipamentos durante as coletas de dados. ....	42
<b>Tabela 3</b> - Taxa de inalação de curto prazo para homens e mulheres ( $10^{-2} \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ ). .....	46
<b>Tabela 4</b> - Condições meteorológicas apresentadas durante as viagens.....	60
<b>Tabela 5</b> – Detalhe das viagens de barco, indicando para cada caso analisado a data, horário, sentido das viagens (PS: Pontal do Sul; B: Brasília), códigos das viagens e dos barcos, potência do barco, força de deslocamento do barco, velocidade do barco, corrente de maré e vento, concentrações de BC. ....	64
<b>Tabela 6</b> – Fator relativo de exposição para BC medido neste estudo.....	87
<b>Tabela A</b> – Características técnicas dos barcos utilizados neste estudo.....	101
<b>Tabela B1</b> – Estatística descritiva (a cada 10 segundos), dos dados originais, e quando aplicadas as correções propostas pelo fabricante para os dados do dia 10/02/2015 (10:30 – 11:07). ....	107
<b>Tabela B2</b> – Estatística descritiva (a cada 10 segundos), dos dados originais, e quando aplicadas as correções propostas pelo fabricante para os dados do dia 07/02/2015 (16:15 – 16:47). ....	107
<b>Tabela C1</b> – Tabuas de maré (cm) para o período de estudo.....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS

A	Área do filtro
AB	Arqueação bruta
ATN	Atenuação
BC	<i>Black carbon</i>
BM	Baixa-mar
CNP	Concentração do número de partículas
$d_a$	Diâmetro aerodinâmico
DV	Direção do vento
FE	Fatores de emissão
GPS	Sistema de Posicionamento Global
MP	Material particulado
MP <sub>2,5</sub>	Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 $\mu\text{m}$
MP <sub>10</sub>	Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10,0 $\mu\text{m}$
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONA	Algoritmo de Redução de Ruído Otimizado
PM	Preamar
ppm	Partes por milhão
PUF	Partículas ultrafinas
Q	Vazão volumétrica
SIG	Sistema de informação geográfica
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
T	Temperatura
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UR	Umidade relativa
US EPA	United States Environmental Protection Agency
VV	Velocidade do vento

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1 NÚMERO DE PARTÍCULAS .....	20
1.2 <i>BLACK CARBON</i> .....	21
1.3 EXPOSIÇÃO PESSOAL E DOSE .....	22
1.4 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DOS BARCOS .....	24
1.5 CORRENTES DE MARÉ E BRISA MARINHA .....	26
2. OBJETIVOS .....	30
3. METODOLOGIA.....	31
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.1.1 Justificação da área de estudo .....	33
3.1.2 Características das embarcações.....	33
3.2 METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM .....	36
3.2.1 Instrumentos utilizados .....	36
3.2.2 Coleta de dados.....	40
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS.....	42
3.3.1 Validação dos dados .....	42
3.3.2 Descrição estatística .....	44
3.3.3 Exposição e dose inalada .....	45
3.3.4 Distribuição espacial dos poluentes ao longo dos trajetos .....	46
3.3.5 Correntes de maré .....	46
3.3.6 Dados meteorológicos .....	49
4. RESULTADOS .....	50
4.1 MONITORAMENTO MÓVEL .....	50
4.1.1 Análise de BC.....	50
4.1.2 Análise de CNP .....	52
4.1.3 Análise meteorológica .....	54
4.2 ESTUDO DE CASOS .....	61
4.2.1. Mesmos barcos realizando as viagens ida e volta .....	61
4.2.2 Viagem Ilha do Mel – Paranaguá (Ida e Volta).....	71
4.3 MONITORAMENTO FIXO .....	80
4.4 EXPOSIÇÃO PESSOAL E DOSE .....	84

5. CONCLUSÕES .....	89
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	91
REFERÊNCIAS .....	92
APÊNDICE A – Resumo dos barcos .....	103
APÊNDICE B – Algoritmo de Redução de Ruído Otimizado (ONA).....	105
APÊNDICE C – Carta de correntes de maré para o Porto de Paranaguá.....	108
APÊNDICE D – Histogramas das concentrações .....	110
APÊNDICE E – Análise espacial das concentrações .....	113

## 1. INTRODUÇÃO

As emissões dos barcos durante as últimas décadas aumentaram consideravelmente a nível mundial, onde prevê-se que o transporte marítimo emitirá 17% das emissões mundiais de gases de efeito estufa em 2050 (CAMES, 2015), e é o principal modo para o transporte de carga, com aproximadamente 90% do comércio mundial (KILIC e DENIZ, 2010).

CONTINI *et al.* (2011) relataram que a contribuição direta do tráfego marítimo nas concentrações atmosféricas é muito variável entre um lugar e outro como consequência da distância física, mas também devido aos efeitos meteorológicos e micro meteorológicos locais que influenciam na dispersão das plumas emitidas pelos barcos.

As emissões dos barcos têm uma influência significativa sobre a qualidade do ar local, especialmente quando os portos estão localizados perto de cidades. (CONTINI *et al.* 2011). Por exemplo, MÔLDERS *et al.* (2010) modelaram o impacto das emissões dos barcos na qualidade do ar nos parques nacionais de Alasca e concluíram que as embarcações foram responsáveis por 30-40% das concentrações de Material particulado (MP2.5 e 10% das de MP10).

O MP em suspensão na atmosfera tem sido estudado durante os últimos anos, por afetar a saúde humana e a qualidade do ar (por exemplo, FOWLER *et al.*, 2009). Pode ser classificado segundo seu diâmetro aerodinâmico ( $d_a$ )<sup>1</sup> como partículas inaláveis finas com  $d_a < 2,5 \mu\text{m}$  (MP<sub>2,5</sub>) e partículas inaláveis grosseiras onde  $2,5 < d_a < 10 \mu\text{m}$  (SEINFELD e PANDIS, 2016).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 92% das pessoas que moram em áreas urbanas estão expostas a níveis de poluição que excedem os limites recomendados por este organismo (WHO, 2016). Estima-se que cerca de sete milhões de pessoas morrem a cada ano devido à exposição a partículas finas (WHO, 2018).

O Brasil ocupa a terceira posição entre os países com maior potencial de exploração de águas internas navegáveis e os navios são usados para transporte de carga e passageiros, destacando o turismo. Além disso, a movimentação de cargas

---

<sup>1</sup>Diâmetro de uma esfera com densidade de  $1 \text{ g cm}^{-3}$  que se deposita a mesma velocidade terminal que a partícula de interesse (HINDS, 1982).

nos portos brasileiros bateu recorde histórico no ano de 2015, ultrapassando a marca de 1 bilhão de toneladas, 3,9% acima da movimentação de 2014 (GOVERNO DO BRASIL, 2016).

O setor de cruzeiros marítimos contribuiu com R\$ 1,911 bilhões na economia brasileira na temporada de 2015/2016 (MINISTÉRIO DO TURISMO, 2017), com expansão média anual de 33%. O Brasil possui uma frota de 70 mil embarcações acima de 4,88 metros, que inclui lanchas, veleiros, iates e embarcações de médio porte (comprimento inferior a 24 metros) (GOVERNO DO BRASIL, 2013). O setor de transporte marítimo de turistas tem experimentado um crescimento contínuo no Brasil (MINISTÉRIO DO TURISMO, 2010).

Assim, é de suma importância estudar os poluentes emitidos pelos barcos e como eles afetam a saúde humana, já que o transporte de passageiros e carga está em crescimento a nível mundial. Para isso, é fundamental determinar os níveis de exposição pessoal, que é definida como um evento que ocorre quando a pessoa entra em contato com um poluente de certa concentração durante um período de tempo determinado (MONN, 2001). Ainda, outro conceito intimamente relacionado à exposição pessoal é a dose de um poluente, que consiste na passagem do poluente através de uma fronteira física, ou seja, é a quantidade de material absorvido ou depositado no corpo durante um período de tempo (ZARTARIAN *et al.*, 2007). A exposição no interior dos barcos depende das condições do motor e a localização do assento do passageiro (VELASCO *et al.*, 2013).

Requerem-se estimativas precisas da exposição das pessoas à poluição do ar para compreender o alcance e a magnitude de seus impactos sobre a saúde. A medida contínua das concentrações de poluentes com as quais uma pessoa entra em contato é a melhor forma de avaliar sua exposição (BRAUER *et al.*, 2008). Isto permite quantificar a contribuição de diferentes atividades e microambientes a sua exposição diária total, o que proporciona uma base para identificar onde e como se podem reduzir as exposições (WALLACE e OTT, 2011).

Baseado nos antecedentes apresentados, este trabalho visa estudar as concentrações de poluentes no interior de barcos utilizados para o transporte de passageiros e carga pequena que navegam pelo litoral do estado do Paraná. Este estudo é pioneiro no Brasil, tendo em vista que não existem pesquisas relacionadas com o monitoramento de concentração de poluentes dentro de barcos.

## 1.1 NÚMERO DE PARTÍCULAS

As partículas ultrafinas (PUF) são geradas principalmente por combustão, conversão de gás em partículas, processos de nucleação ou processos fotoquímicos, sendo algumas delas primárias e outras secundárias (NAZAROFF, 2004). O modo de nucleação é o estágio inicial em que o gás se torna partícula, e geralmente consiste de produtos de combustão primária e reações entre compostos gasosos. As partículas podem crescer por condensação (quando vapores adicionais se condensam nas partículas) ou coagulação (quando duas ou mais partículas se combinam para formar partículas maiores). A composição química das partículas é multifatorial e depende da fonte de partículas bem como dos processos de pós-formação. As propriedades químicas mais importantes das PUF incluem composição elementar, íons inorgânicos e compostos carbonáceos (orgânicos e carbono elementar) (NAZAROFF, 2004; MORAWSKA *et al.*, 2009).

O tamanho das partículas está diretamente ligado ao seu potencial para causar problemas à saúde. Quanto menor a partícula, maior é o risco. Partículas com diâmetros inferiores a 10 µm apresentam os maiores problemas (EPA, 2016). A medida que o tamanho de uma partícula diminui, sua área de superfície aumenta, permitindo que essas partículas transportem maiores quantidades de substâncias tóxicas (BERNSTEIN *et al.*, 2008; NAZAROFF 2004). As PUF alcançam a região alveolar e as células dos pulmões de forma mais eficiente do que as partículas maiores (SAMET *et al.*, 2009).

A OMS reconhece que a poluição do ar é um fator de risco crítico para doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), causando mortes por doenças cardíacas, acidentes vasculares cerebrais, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer de pulmão (WHO, 2018). As crianças e idosos são os mais propensos a serem afetados pela exposição à poluição por partículas ultrafinas (EPA, 2016).

## 1.2 BLACK CARBON

O Black carbon (BC) é emitido por uma variedade de processos de combustão, com predomínio a escala global da queima de florestas e savanas a céu aberto e a combustão de sólidos residenciais (carvão e biomassa), representando cerca de 60% a 80% das emissões nos continentes asiático e africano, respectivamente. Os motores a diesel contribuem com cerca de 70% das emissões na Europa, América do Norte e América do Sul (BOND *et al.*, 2013).

As partículas de BC têm as seguintes propriedades:

- Absorvem fortemente a radiação eletromagnética, com uma seção transversal de absorção de massa de pelo menos  $5 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ , no comprimento de onda de 550 nm (BOND e BERGSTROM, 2006);
- É um material refratário com uma temperatura de vaporização próxima de 4000 K (SCHWARZ *et al.*, 2006);
- É insolúvel em água e solventes orgânicos comuns (BOND *et al.*, 2013);
- As densidades variam entre  $0,625$  e  $2,25 \text{ g cm}^{-3}$  (FULLER *et al.* 1999);
- É composto por pequenas esferas de carbono com diâmetros entre 10 e 50 nm que absorvem radiação solar e terrestre nos comprimentos de onda entre 280 e 2500 nm (LACK *et al.*, 2014).

As partículas de BC afetam negativamente a saúde humana e devido ao seu pequeno tamanho, ingressam no sistema respiratório causando danos no sistema respiratório e cardiovascular (HUA *et al.*, 2014; LIN *et al.*, 2011), aumentando a morbidade e mortalidade (JANSSEN *et al.*, 2012).

As partículas de BC afetam o balanço radiativo da terra através do espalhamento e a absorção de radiação solar (BOND *et al.*, 2013). Além disso, o BC afeta os processos dentro das nuvens pela sua ação como núcleos de condensação. Também pode causar derretimento de neve e gelo devido à absorção de radiação solar, escurecimento da superfície e diminuição da refletividade (Bond *et al.*, 2013; EPA 2010). Por tanto, a redução das emissões de BC é uma estratégia de mitigação para reduzir a taxa associada às mudanças climáticas (BOND *et al.*, 2013).

### 1.3 EXPOSIÇÃO PESSOAL E DOSE

A exposição pessoal é definida como uma medição de um poluente realizado por um monitor que é usado em um ponto próximo da zona de respiração de uma pessoa durante a amostragem (BRANIŠ, 2010). Amostragem na zona de respiração exige que a entrada de ar do monitor esteja posicionada a uma distância máxima de 30 cm do nariz e da boca. Embora essa amostragem seja a mais desejável, locais alternativos como ao nível da cintura também são usados (CARVALHO *et al.*, 2018). Um adulto saudável respira normalmente 10 a 15 vezes por minuto em um nível de atividade baixo, resultando na inalação e exalação de mais de 12,9 m<sup>3</sup> de ar por dia (IVANOV e MIJORSKI, 2017).

A exposição pessoal ocorre quando a concentração do poluente em um determinado lugar e tempo é superior a zero, e a pessoa está presente naquele momento e lugar (OTT, 1985). Há uma distinção importante entre concentração e exposição. A concentração é uma característica física do ambiente em um determinado lugar e tempo, e a exposição descreve uma interação entre o ambiente e um sujeito vivo (WATSON *et al.*, 1988). A exposição também pode ser integrada ao longo do tempo para incorporar a duração da exposição. O campo da concentração espacial também é uma função do tempo, assim mudará à medida que a pessoa se desloca pelo espaço (OTT, 1982). Além disso, as evidências disponíveis indicam que a exposição pessoal para muitos poluentes não é adequadamente caracterizada, porque o tempo que as pessoas passam em diferentes lugares e suas atividades variam drasticamente com a idade, sexo, ocupação e status socioeconômico (SPENGLER e SEXTON 1983; SPENGLER *et al.*, 1985). É por isso que informações sobre o poluente, também onde e por quanto tempo o indivíduo foi exposto são fatores essenciais para entender quais atividades ou microambientes são nocivos à saúde. Os microambientes são definidos como espaços tridimensionais onde o nível de poluente em um dado momento é uniforme ou apresenta propriedades estatísticas constantes (SEXTON e RYAN, 1998).

A distinção entre exposição e dose também é importante. Como dito acima, a exposição é a concentração de poluentes no ar no ponto de contato entre o corpo e o ambiente externo. A dose é a quantidade do poluente que realmente atravessa um dos limites do corpo (WATSON *et al.*, 1988).

A diferença entre exposição e a dose é ilustrada considerando duas pessoas, uma sedentária e outra ativa, em uma sala onde a concentração de poluentes do ar é constante. Ambos têm a mesma exposição nominal, mas devido à respiração mais rápida e profunda, a dose real de poluição do ar é maior no indivíduo ativo do que no indivíduo sedentário (WATSON *et al.*, 1988).

Os riscos para a saúde da exposição a uma concentração específica durante 5 minutos são provavelmente diferentes, sendo todos os outros fatores iguais, do que a exposição à mesma concentração durante uma hora. Da mesma forma, a frequência de exposição ou o tempo entre as exposições subsequentes podem ter implicações na saúde. Se uma pessoa é exposta uma vez por semana ou várias vezes ao dia pode ser um importante determinante da lesão gerada pela poluição do ar (WATSON *et al.*, 1988).

Por tanto, estimativas precisas da exposição humana a poluentes atmosféricos inalados são necessárias para uma avaliação realista dos riscos que esses poluentes representam e para o desenho e implementação de estratégias para controlar e limitar esses riscos (STEINLE *et al.*, 2011).

## 1.4 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DOS BARCOS

As emissões do setor de transporte marítimo contribuem significativamente para a poluição do ar global (WANG *et al.*, 2007), com 15% dos NOx antropogênicos e 8% das emissões de SOx (EYRING *et al.*, 2005; CORBETT *et al.*, 2007). LACK *et al.* (2008) calcularam que as emissões do setor de transporte comercial internacional contribuem com 1-2% das emissões globais de BC.

CORBETT *et al.* (2007) modelaram as concentrações ambientais de MP oriundas de navios oceânicos utilizando dois inventários de emissões e dois modelos globais de dispersão, e estimaram a mortalidade regional aplicando aumentos ambientais de MP devido a barcos e modelos populacionais. Os resultados indicaram que as emissões relacionadas ao transporte são responsáveis por 60.000 mortes por câncer cardiopulmonar e pulmonar anualmente, com a maioria das mortes ocorrendo perto das costas na Europa, Ásia Oriental e sul da Ásia.

Nas áreas costeiras da Europa, as emissões dos navios contribuem com 1–7% dos níveis atmosféricos de MP<sub>10</sub> e 1-14% de MP<sub>2,5</sub> (VIANA *et al.*, 2014). FU *et al.* (2013) mediram as emissões de CO, HC NOx e PM de sete barcos no Grande Canal da China baixo diferentes modos de operação, relatando que o modo de manobra gera maior quantidade de partículas pequenas, o que pode afetar a qualidade do ar regional e a saúde humana. Também foram observadas altas emissões enquanto os barcos estão ancorados e com o motor ligado (DE MEYER *et al.*, 2008). As emissões dos barcos afetam não apenas os principais portos, mas também os de médio e pequeno porte (VIANA *et al.*, 2009).

Um conceito importante vinculado com as emissões é o fator de emissão (FE) que relaciona a quantidade de um poluente emitido à atmosfera com uma atividade associada com a emissão desse poluente. Estes fatores geralmente expressam-se como massa do poluente emitido por unidade de distância ou duração da atividade que emite o contaminante (EPA, 2017). Os FE para os barcos dependem de muitos parâmetros como, por exemplo, o tipo de combustível, modo de operação, tamanho do motor, velocidade de deslocamento e peso da carga (CORBETT e KOEHLER, 2004). Os fatores de emissão utilizados nas metodologias baseadas na atividade dos barcos, expressam-se geralmente em termos da massa de poluente por unidade de potência do motor ou massa de contaminante por unidade de massa de combustível queimado.

TROZZI e VACCARO (1999) determinaram os fatores de emissão para embarcações (barcos de carga, transporte de passageiros, de pesca, etc.) em modo cruzeiro para motores funcionando com alto, médio e baixo consumo de combustível. Os valores obtidos para MP foram de 1,5 kg poluente/ton. combustível para alto consumo de combustível e 1,2 kg poluente/ton. combustível para consumo médio e baixo de combustível.

As taxas de emissão tanto de BC como de carbono orgânico dependem do processo de combustão, incluindo a composição do combustível, a temperatura da chama, a mistura entre o combustível e o ar durante a combustão e o tratamento pós-combustão do escapamento (BOND *et al.*, 2013). Zhang *et al.* (2016) mediram os gases pelo escapamento de três navios propulsados por motores diesel na China com diferentes potências (350, 600 e 1600 kW) e concluíram que os fatores de emissão para CO, NOx, VOC total e MP eram mais altos para a potência de motor baixo que para os dois navios de maior potência motriz.

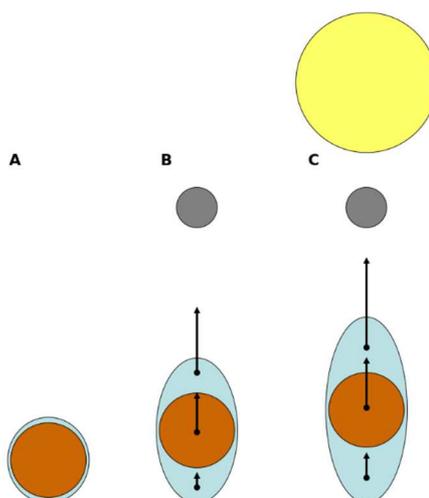
Neste contexto, é necessário investigar o impacto das emissões dos barcos sobre a exposição pessoal dos passageiros dentro dos barcos e nos portos.

## 1.5 CORRENTES DE MARÉ E BRISA MARINHA

Sabe-se desde os primórdios da navegação marítima, que os fatores ambientais como os ventos, as ondas e as correntes da maré são de grande importância para a navegação, afetando ou favorecendo o desempenho dos barcos em alta mar. O roteamento do barco é um procedimento que determina a rota ótima para as viagens oceânicas em função das previsões meteorológicas, as condições do mar e as características individuais do barco (SEM e PADHY, 2010). LO e MCCORD (1995) estimaram que para um barco que navega a 16 nós, era possível conseguir uma economia de combustível de 7,5% ao navegar em correntes favoráveis e 4,5% quando se evitam as correntes desfavoráveis.

Conhecer a resistência gerada pelo oceano tem uma grande importância na navegação, devido à crescente demanda e duração das viagens, consumo de combustível e emissões geradas (GUEDES SOARES *et al.*, 1998; PRPIĆ-ORŠIĆ *et al.*, 2014). O desempenho de um barco depende de uma série de fatores como a altura e direção das ondas, velocidade do vento, roteamento do barco, velocidade e características do barco (dimensões principais e forma do barco) (PRPIĆ-ORŠIĆ *et al.*, 2014).

A superfície dos mares não permanece estacionária já que existem atrações da Lua e do Sol, as quais movimentam a água no sentido vertical e horizontal dando origem às marés (Figura 1) e correntes de maré, respectivamente. Maré é a oscilação vertical da superfície do mar sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e do Sol (MIGUENS, 1995). Para compreender a coexistência das marés e das correntes de maré, é necessário entendê-las como efeitos de uma mesma causa (movimento vertical e horizontal). Nas entradas dos portos a ação direta das forças astronômicas é desprezível, a corrente de maré é o resultado da diferença de nível entre o oceano e o interior do porto.



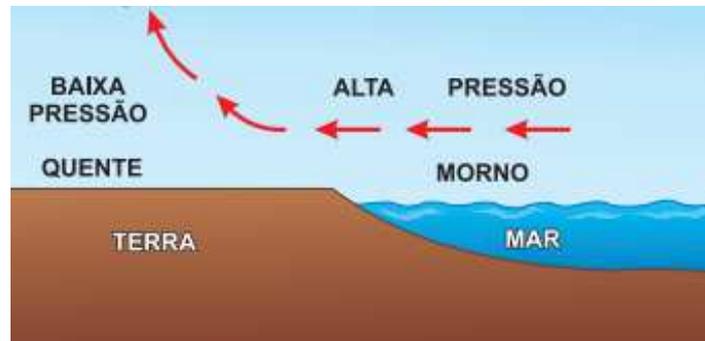
**Figura 1** – Ação das marés, A - situação sem maré; B - maré lunar; C - maré lunar e solar (sizígia). O círculo amarelo é o sol, o círculo cinza a lua, o círculo laranja escuro a terra, as elipses azul claro representam as marés. **Fonte:** Adaptado de Wikipedia, 2018.

segundo o eixo do canal. No oceano aberto, as correntes de maré têm um caráter rotatório, pela interação entre as forças astronômicas e a rotação terrestre. O efeito de Coriolis tende a desviar as correntes de maré para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul. Dada a afinidade entre a maré e a corrente de maré, para um determinado porto é possível relacionar a velocidade e a direção da corrente de maré às horas da PREAMAR (PM – maior altura que alcançam as águas numa oscilação) e BAIXA-MAR (BM – menor altura que alcançam as águas numa oscilação) no porto. Isto é possível de ser realizado por meio das cartas de correntes de maré e tábuas de maré para um porto específico (CHMB, 1976; MIGUENS, 1995).

Como a Terra gira em torno de seu eixo, completando uma rotação a cada 24 horas, o ponto da superfície da Terra que fica na direção da Lua muda e, teoricamente, cada ponto na Terra apresentaria duas PM e duas BM no período de 24 horas (MIGUENS, 1995). A maré alta coincide com a culminação superior da Lua, e a baixa com sua culminação inferior. A diferença entre ambas se denomina amplitude de maré (GARRISON, 2003). Além disso, como resultado da inclinação do eixo da Terra, as PM e as BM sucessivas não são normalmente de níveis iguais (MIGUENS, 1995). O alinhamento do sol, a terra e a lua é conhecido como maré de sizígia (Figura 1 C).

Outro fenômeno observado no litoral é a brisa marinha, que é uma circulação local frequente em todo o mundo (MASSELINK, 1998). Durante o dia, a terra esquenta mais rapidamente que a superfície do mar, e essa diferença de temperatura causa uma pequena área de baixa pressão sobre a terra. O ar sobe à medida que a Terra

aquece e o ar mais frio acima da superfície do mar forma uma zona de alta pressão que faz com que essa massa de ar ocupe o espaço deixado pelo ar mais quente que ascendeu sobre a terra (Figura 2).



**Figura 2** – Formação da brisa marinha. **Fonte:** BLUCHER, 1994.

O efeito geral desta distribuição de pressão é uma brisa marinha que sopra em direção à terra. Os ventos mais fortes geralmente ocorrem perto da praia e diminuem no interior. O maior contraste de temperatura entre a terra e a água ocorre geralmente à tarde e, por tanto, a brisa marinha é mais forte neste momento (AHRENS, 2011).

À noite, a terra se esfria mais rapidamente que a água. O ar acima da terra torna-se mais frio que o ar sobre a água, produzindo um gradiente de pressão que inverte a direção do vento soprando da terra em direção do mar (brisa terrestre ou terral) (Figura 3).



**Figura 3** – Formação do terral. **Fonte:** BLUCHER, 1994.

O desenvolvimento da brisa marinha influencia fortemente a distribuição dos poluentes atmosféricos em muitas cidades ao redor do mundo (CLAPPIER *et al.*, 2000). Por tanto, quando os portos estão próximos de cidades, as emissões dos

barcos têm uma influência significativa sobre a qualidade do ar local que pode ser influenciada pela brisa marinha (CONTINI *et al.*, 2011).

## 2. OBJETIVOS

Determinar as concentrações e avaliar a exposição pessoal ao BC e CNP dos passageiros que utilizam os barcos que navegam para a Ilha do Mel desde os portos de Paranaguá e Pontal do Sul. Os objetivos específicos são:

- Analisar as concentrações de BC e CNP nos trajetos efetuados desde o continente até a Ilha do Mel.
- Relacionar as características técnicas dos barcos com os fatores naturais da zona de estudo, e como elas podem influir nas concentrações de BC e CNP.
- Determinar as possíveis causas associadas às diferenças de concentrações geradas nos portos de embarque (monitoramento fixo) em comparação com os obtidos nas viagens desde o continente à ilha do Mel (monitoramento móvel) e como estas se relacionam com as variáveis meteorológicas.
- Analisar espacialmente a concentração de poluentes para determinar os trechos mais poluídos.
- Calcular a exposição pessoal e dose dos passageiros e as características dos barcos que apresentam maior influência sobre a dose e a exposição.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o litoral do estado do Paraná e considera os trajetos pelo mar entra Paranaguá - Ilha do Mel, Pontal do Sul - Ilha do Mel, ida e volta. Também considera os trapiches de Pontal do Sul, Paranaguá e Ilha do Mel (Brasília e Encantadas), Praia de Fora e uma pousada da Ilha do Mel (Brasília) (Figura 4). Em termos populacionais, Paranaguá é a cidade mais populosa com 153.666 habitantes, seguida por Pontal do Sul com 26.636 moradores e o distrito de Ilha do Mel com 1.094 habitantes (IBGE, 2017).

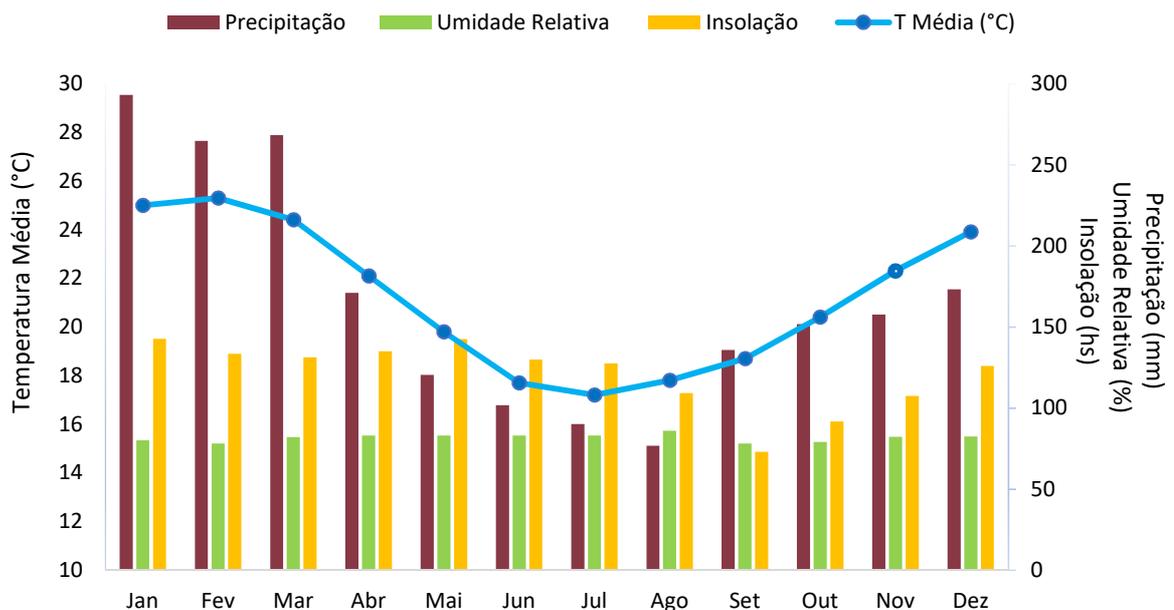


**Figura 4** – Área de estudo no litoral da costa do Paraná. **Fonte:** Google Earth, 2018.

Dentro da área de estudo, encontram-se duas estações meteorológicas localizadas na cidade de Paranaguá (Estação Meteorológica – 83844) e na Ilha do Mel (Estação Meteorológica – A847) (Figura 4). A primeira entrou em funcionamento em 1911 e a segunda em 2007. Os dados da estação meteorológica de Paranaguá foram usados para elaborar um climograma do período 1961 - 1990 (RAMOS *et al.*, 2009), em quanto que os dados horários da Ilha do Mel foram utilizados na análise dos resultados.

Também dentro da área de estudo, existem vários canais que são a porta de entrada dos navios para o porto de Paranaguá, sendo o Canal de Galheta (Figura 4) o navegado para esse estudo.

Segundo a classificação de Köppen e Geiger, o clima da região é classificado como Cfa (CLIMATE-DATA, 2017). No período 1961-1990, a temperatura média anual foi de 21,2 °C, apresentando médias máximas e mínimas anuais de 25,9 °C e 17,8 °C, respectivamente, e umidade relativa média anual de 81,6 %. A precipitação acumulada média anual foi de 2.004 mm, sendo janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os meses mais secos (Figura 5). Os meses com maior insolação são janeiro e maio com 143 e 142 horas por mês, respectivamente. Os ventos predominantes são de sul e leste com velocidade média de 1,8 m s<sup>-1</sup> (RAMOS *et al.*,2009).



**Figura 5** – Climograma para a cidade de Paranaguá no período 1961-1990. **Fonte:** INMET, 2009.

A Ilha do Mel está localizada no estado do Paraná, no município de Paranaguá. É uma área de preservação administrada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), com 25 quilômetros de praias desertas ou com pouca urbanização (ILHA DO MEL, 2017). No ano 2002, foi criado o Parque Estadual da Ilha do Mel (Decreto Estadual n. 5.506/2002) com área de 337,84 ha, para proteger uma área de fragilidade ambiental na região sul da Ilha, onde se localizam os mananciais de abastecimento local, os

sítios históricos e arqueológicos, e um bosque remanescente de Floresta Atlântica à beira mar (GONZAGA *et al.*, 2013).

A população da ilha se distribui entre algumas pequenas vilas: Encantadas, Brasília, Farol, Praia Grande e Fortaleza. Para preservar o meio ambiente e evitar a degradação da ilha, não são permitidos veículos automotores e de tração animal, e o número de visitantes é limitado a 5.000 pessoas por dia (ILHA DO MEL, 2017).

### 3.1.1 Justificação da área de estudo

A Ilha do Mel é um dos principais atrativos turísticos do Paraná, recebendo anualmente um número significativo de turistas. Se, por um lado, o turismo promove um impacto positivo na economia local, por outro lado, origina impactos ambientais negativos, como a poluição do ar gerada pelas embarcações.

Além disso, dentro da zona de estudo se encontra o Porto de Paranaguá, que é o segundo maior porto do Brasil, detrás do porto de Santos (NETO *et al.*, 2009), pelo qual é uma zona de alto tráfego de embarcações.

### 3.1.2 Características das embarcações

A Norma da Autoridade Marítima para embarcações do Brasil (NORMAM-03/DPC, item 0106) estabelece que as áreas de navegação são as áreas onde uma embarcação empreende uma singradura ou navegação, e são divididas em:

a) Navegação em mar aberto: Realizada em águas marítimas consideradas desabrigadas. Para efeitos de aplicação dessas normas, as áreas de navegação de mar aberto serão subdivididas nos seguintes tipos:

- 1) Navegação costeira: Aquela realizada dentro dos limites de visibilidade da costa até a distância máxima de 20 milhas náuticas;
- 2) Navegação oceânica: Aquela considerada sem restrições e realizada além das 20 milhas náuticas da costa.

b) Navegação interior: Realizada em águas consideradas abrigadas ou parcialmente abrigadas.

Para esse estudo, as embarcações navegam no mar aberto, dentro da zona costeira. Os barcos que realizam a travessia para a Ilha do Mel correspondem a barcos e lanchas de médio porte (Figura 6), que são definidas como aquelas com comprimento<sup>2</sup> inferior a 24 metros. Esta norma, estabelece em seu item 0215 que os barcos são embarcações de tamanho curto, sem convés, usado para pequenos serviços de transporte e as lanchas são embarcações rápidas, de vários formatos e portes, com propulsão mecânica, normalmente utilizadas para transporte de pessoal ou no esporte e/ou recreio. A legislação, acordos e convenções internacionais assinados pelo Brasil determinam um tratamento diferenciado para as embarcações com comprimento menor a 24 metros, as quais estão sujeitas a um número menor de exigências, como por exemplo, estão dispensadas de balsa salva-vidas e rádio transmissor radar, entre outras.



**Figura 6** – Barcos e lanchas onde foi realizado o monitoramento. **Fonte:** Registro fotográfico próprio.

Os barcos onde foi realizado o monitoramento têm uma capacidade de 21 até 96 passageiros, o ano de construção varia entre 1985 e 2014, a potência do motor

<sup>2</sup>O comprimento é definido como a distância horizontal entre os pontos extremos da proa a popa.

varia desde 60 até 340 hp, o combustível utilizado é óleo diesel comum ou óleo diesel marítimo, e a arqueação bruta<sup>3</sup> varia entre 13,0 e 27,3. As características técnicas das embarcações são resumidas na Tabela A1 do Apêndice A e foram fornecidas pela Capitania dos Portos de Paranaguá.

Os barcos iniciam suas viagens desde Pontal do Sul ou de Paranaguá, com duração de 30 min e 1h 30 minutos, respectivamente. Existem linhas regulares diariamente entre às 08:00 e 17:00 horas, mas também podem ser fretadas embarcações em outros horários. Durante a temporada de verão, os barcos partem cada 30 minutos e fora de temporada a cada hora cheia. Existem dois pontos de desembarque na Ilha do Mel: Encantadas e Nova Brasília, que dá acesso também à Praia Grande, Praia do Farol e Praia da Fortaleza e uma linha regular de barco entre Encantadas e Nova Brasília (SPECIAL PARANÁ, 2017). O fluxo turístico da Ilha do Mel teve um aumento muito grande a partir da década de 70, com a criação da rodovia BR 277 que dá acesso às praias do litoral paranaense, chegando a mais de 70 mil visitantes durante a temporada de verão, entre dezembro e fevereiro.

Os barcos estudados emitem poluentes pelo escapamento que está localizado no centro da popa muito próxima aos bancos dos passageiros (Figura 7).



**Figura 7** – Emissões pelo escapamento dos barcos. **Fonte:** Registro fotográfico próprio.

Segundo a SEMA (2004), a Ilha teria capacidade para receber diariamente 46 barcos oriundos de Pontal do Sul e cinco barcas de Paranaguá, cada embarcação com capacidade para transporte até 100 passageiros, transportando 5.100 pessoas. Também existem transportes náuticos eventuais, que realizam travessias para a Ilha

---

<sup>3</sup>Arqueação bruta é um valor adimensional relacionado com o volume interno total de um navio (NORMAM-03/DPC).

e entre suas comunidades e que geralmente não são controladas SEMA (2004).

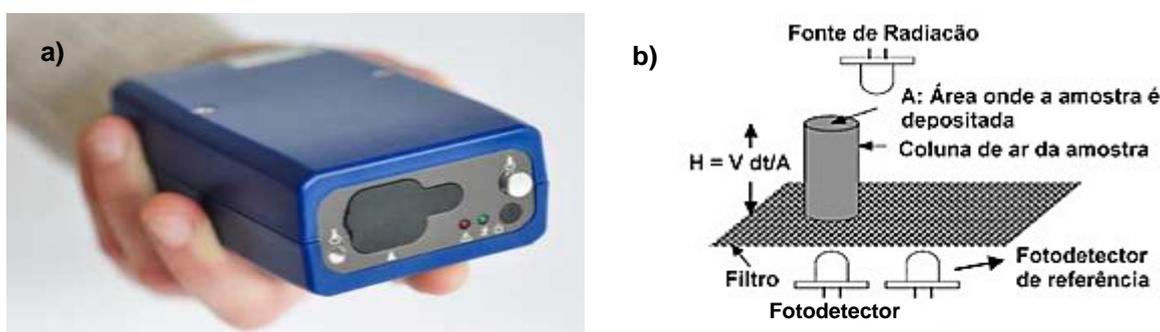
Um evento relacionado com uma embarcação irregular aconteceu o dia 07/01/2018, onde um barco que viajava entre Paranaguá e Ilha do Mel teve problemas no meio do trecho e o convés se encheu de água (GLOBO, 2018).

## 3.2 METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

### 3.2.1 Instrumentos utilizados

#### a) Concentração de BC

O microaetalômetro modelo AE51 (AethLabs, EUA; Figura 8a) é um instrumento óptico cujo princípio de funcionamento está baseado na absorção de radiação eletromagnética por partículas, utilizando a lei de Beer-Lambert. O AE51 aspira o ar ambiente por meio de uma bomba e as partículas em suspensão no ar são carregadas e depositadas em um filtro com uma vazão volumétrica constante  $Q$ . Um feixe de radiação eletromagnética no comprimento de onda  $\lambda$  de 880 nm é emitido por um LED, iluminando o filtro e posteriormente é coletado por um fotodetector (Figura 8b). Este método registra as mudanças na atenuação (ATN) do feixe e compara com uma porção do filtro não exposta à amostra (branco). Um aumento da ATN é devido à absorção de radiação pelas partículas de BC que é acumulado no filtro em um determinado tempo ( $\Delta t$ ).



**Figura 8** – (a) MicroAeth modelo AE51. Fonte: AETHLABS, 2018. (b) Princípio de funcionamento do MicroAeth modelo AE51. **Fonte:** Adaptado de ARNOTT et al. (2005).

A atenuação do feixe de radiação através do filtro é calculada segundo ARNOTT *et al.* (2005) como:

$$ATN = \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \quad \text{Equação 1,}$$

onde  $I_0(\lambda)$  é a intensidade de radiação de referência e  $I(\lambda)$  é a intensidade de radiação atenuada depois de passar pelo filtro.

A partir da variação da atenuação ( $\Delta ATN$ ) em um determinado intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), calcula-se o coeficiente de extinção ( $b_{ext.}$ ):

$$b_{ext.}(\lambda) = \frac{A \Delta ATN(\lambda)}{Q \Delta t} \quad \text{Equação 2.}$$

Dentro do cálculo da variação da ATN existe uma pequena porção de radiação que pode ser espalhada ou absorvida por outros materiais. Assim, o coeficiente de extinção medido relaciona-se com o coeficiente de absorção das partículas ( $b_{abs,part.}$ ) através da equação 3:

$$b_{ext.} = b_{abs,ar} + b_{abs,filtro} + b_{abs,part.} + b_{esp,ar} + b_{esp,filtro} + b_{esp,part.} \quad \text{Equação 3,}$$

onde:

- $b_{abs,ar}$  : Coeficiente de absorção do ar;
- $b_{abs,filtro}$  : Coeficiente de absorção do filtro;
- $b_{esp,ar}$  : Coeficiente de espalhamento do ar;
- $b_{esp,filtro}$  : Coeficiente de espalhamento do filtro;
- $b_{esp,part.}$  : Coeficiente de espalhamento da partícula.

Os coeficientes  $b_{abs,ar}$ ,  $b_{abs,filtro}$  e  $b_{esp,ar}$  são desprezíveis, devido às seguintes condições:

$b_{abs,ar}$  : Os componentes gasosos do ar absorvem muito pouco no comprimento de onda utilizado.

$b_{abs,filtro}$  : O filtro de quartzo não absorve nos comprimentos de onda que o monitor opera.

$b_{esp,ar}$  : Devido à pequena distância percorrida pela radiação dentro da câmera óptica.

O  $b_{esp,part.}$  está relacionado com o espalhamento de radiação pelas partículas, e é geralmente avaliado com o aetalômetro operando em paralelo com outro equipamento capaz de medir o coeficiente de espalhamento, por exemplo um nefelômetro. Neste estudo, o  $b_{esp,part.}$  não foi avaliado devido à falta de instrumento.

Nesse caso, a equação (2) pode ser re-escrita como:

$$b_{abs.}(\lambda) = \frac{A \Delta ATN(\lambda)}{Q \Delta t} \quad \text{Equação 4,}$$

onde  $b_{abs,part.}$  é denominado  $b_{abs}$  para simplificar a notação.

O método assume que o coeficiente de absorção é linear e proporcional à concentração de BC (Equação 5) e que não há outro material absorvente na amostra. A partir da variação da atenuação em um determinado intervalo de tempo, é calculado o coeficiente de absorção. A concentração em massa de BC ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) está relacionada com o coeficiente de absorção através da seção transversal de absorção ( $\sigma_\lambda$ ):

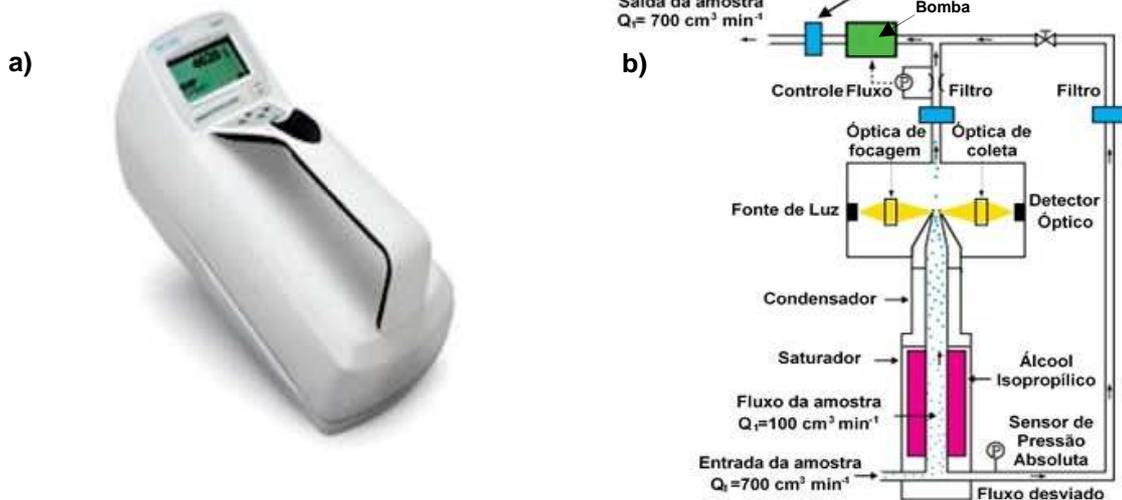
$$BC(\lambda) = \frac{b_{abs}}{\sigma_\lambda} \quad \text{Equação 5,}$$

onde  $\sigma_\lambda = 12,5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  para  $\lambda = 880 \text{ nm}$ , determinado pelo fabricante.

## b) Concentração do número de partículas

O CPC modelo 3007 (TSI, EUA) (Figura 9a) aspira de forma contínua uma amostra de aerossol com uma vazão de  $700 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ . Parte desse fluxo ( $100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ ) passa através de um sistema de saturação com álcool isopropílico, que está a uma temperatura entre 35 a 45 °C. A amostra posteriormente passa por um condensador ( $T=10^\circ\text{C}$ ) onde o vapor de álcool atinge sua supersaturação<sup>4</sup>.

As partículas presentes servem como núcleos de condensação, e uma vez que a condensação começa, as partículas crescem rapidamente e são contadas com um detector óptico que detecta partículas de diâmetro entre 0,01 e 1  $\mu\text{m}$ , em uma faixa de concentrações de 0 a 100.000 partículas  $\text{cm}^{-3}$ . A Figura 9b mostra o princípio de funcionamento do CPC 3007.



**Figura 9** – (a) CPC-3007 Fonte: TSI, 2018. (b) Princípio de funcionamento do CPC-3007. Fonte: Adaptado de TSI, 2012.

<sup>4</sup>Estado no qual um vapor está submetido a uma pressão superior à de equilíbrio com a fase líquida quando se encontra na mesma temperatura, e no qual qualquer perturbação pode propiciar a liquefação (<https://www.dicio.com.br/>)

### c) Posicionamento geográfico

O georreferenciamento das medidas móveis foi realizado com receptores de GPS modelo D-100 (Globalsat, Taiwan) (Figura 10) que armazenam data, hora, velocidade de deslocamento, latitude, longitude e altitude em intervalos pré-definidos.



**Figura 10** – GPS modelo D-100. Fonte: USGlobalSat, Inc., 2017.

O receptor localiza quatro ou mais satélites do Sistema de Posicionamento Global, acha a distância até cada um deles e usa essa informação para deduzir a sua própria posição baseada na triangulação (Timbó, 2000).

#### 3.2.2 Coleta de dados

As concentrações de BC e CNP foram medidas em pontos fixos (portos, praia e pousada na ilha) e a bordo de barcos no trajeto Pontal do Sul – Ilha do Mel (Brasília), Paranaguá – Ilha do Mel, Ilha do Mel (Praia Encantada – Praia Brasília) ida e volta no período de 07-13/02/2015. O monitoramento foi realizado ao longo do dia, registrando as primeiras medições nos portos, para posteriormente também medir dentro dos barcos, praia e pousada (Tabela 1).

Antes da amostragem, os equipamentos foram preparados e configurados. Para o Microaetalômetro AE51 se trocou o filtro antes de dar início às medições e para o CPC 3007, verificou-se que o cartucho tinha o nível de álcool isopropílico necessário para o funcionamento. A vazão volumétrica do AE51 foi medida diariamente com um fluxímetro calibrado de fábrica (AethLabs, modelo AE51, EUA). Ambos os equipamentos foram configurados utilizando seu próprio software. Posteriormente os instrumentos foram acondicionados dentro de uma mala acolchoada para proteger e reduzir a vibração durante as viagens. Os tubos de entrada de ar foram deixados do

lado exterior da mala para sugar o ar ambiente, realizando-se verificações constantemente para determinar possíveis obstruções. A mala viajou com o pesquisador dentro do barco, mantendo certa distância do chão. Realizaram-se anotações com os horários de saída e chegada dos barcos, tempo de monitoramento das medições fixas, observação de fumaça pelo escapamento, cheiro de combustível e detenções dos barcos durante a realização da viagem. Os instrumentos foram operados com as configurações descritas na Tabela 2.

**Tabela 1** – Medições móveis e fixas realizadas na área de estudo.

Medições móveis			Medições fixas	
Número de viagens	Trajetos	Datas	Setor	Datas
15	Pontal do Sul – Ilha do mel (Brasília)	7/02/2015	Porto de Pontal do Sul	8/02/2015
		8/02/2015		9/02/2015
		9/02/2015		10/02/2015
		10/02/2015		12/02/2015
		12/02/2015		13/02/2015
15	Ilha do mel (Brasília) - Pontal do sul	8/02/2015	Porto de Ilha do Mel (Brasília)	8/02/2015
		9/02/2015		9/02/2015
		10/02/2015		10/02/2015
		12/02/2015		12/02/2015
		13/02/2015		
1	Paranaguá - Ilha do mel (Brasília)	11/02/2015	Porto de Paranaguá	11/02/2015
1	Ilha do mel (Brasília) - Paranaguá	11/02/2015	Pousada na Ilha do Mel	8/02/2015 9/02/2015 10/02/2015 11/02/2015 12/02/2015
1	Ilha do mel (Brasília – Encantadas)	11/02/2015	Ilha do mel Praia de Fora	11/02/2015
1	Ilha do mel (Encantadas – Brasília)	11/02/2015	Ilha do mel Praia Encantadas	11/02/2015

**Tabela 2** – Especificações dos equipamentos durante as coletas de dados.

Equipamento	Variável	Frequência de medição (s)	Tipo de medição	Vazão (ml min <sup>-1</sup> )
AE51	BC	10	Móvel	150
		10 - 30	Fixo porto	
		30	Praia	
		30 - 60	Pousada	
CPC 3007	CNP	10	Móvel Fixo	700
GPS	Latitude, longitude, altitude e velocidade.	1	Móvel	-

### 3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

#### 3.3.1 Validação dos dados

##### a) AE51

Para tentar reduzir os valores negativos, foram aplicadas às séries de dados algoritmos de correção disponibilizados na plataforma do fabricante (AethLabs, 2018):

- ONA (algoritmo de Redução de Ruído Otimizado): O algoritmo altera a variação da atenuação associada a cada concentração negativa de BC durante o tempo de amostragem realizado. Em seguida, para cada ponto onde foi corrigido o ruído e que corresponde a uma nova ATN, o algoritmo ONA calcula uma média das concentrações originais de BC e aplica esse valor médio a cada registro como uma concentração corrigida. O algoritmo utiliza a seguinte equação:

$$Ruido(ng/m^3) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n [BC_{i+1} - BC_i] \quad \text{Equação 6,}$$

onde  $i$  é a  $i$ -ésima medição de BC, e  $i+1$  é a medição subsequente.

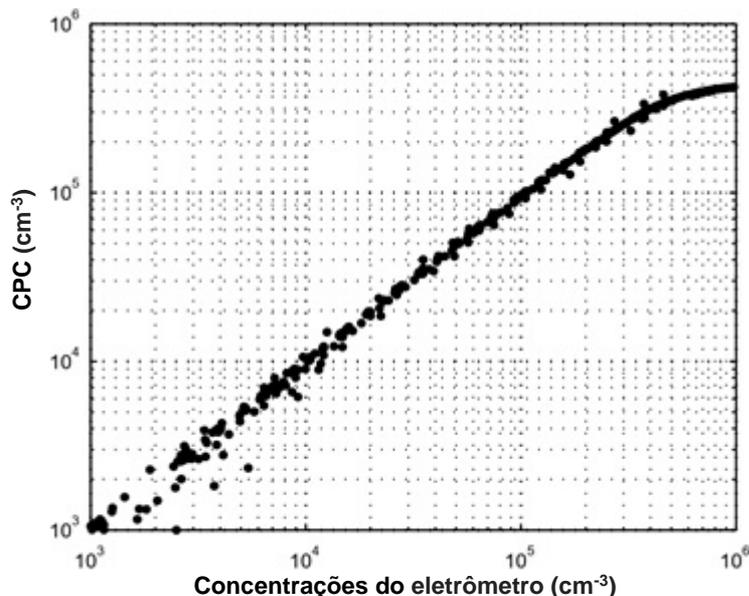
- LPR (Local Polynomial Regression): Utiliza o método dos mínimos quadrados para suavizar os dados.
- CMA (Centered Moving Average): A partir de uma quantidade de pontos escolhidas (5, neste caso), o algoritmo calcula uma média de  $n$  até  $n+5$ , para toda a série de dados.

Com a aplicação destes métodos, percebeu-se que ONA foi a melhor opção de correção de dados em alguns casos já que não variava muito a série temporal das concentrações originais (Figura B1, Apêndice B), também não modificou os picos mais altos, e tirou as concentrações negativas (Tabela B1, Apêndice B). Nos casos onde os valores corrigidos variavam muito da série temporal original (como a Figura B2, Apêndice B), não se aplicou ONA, nem outro algoritmo de correção de dados já que ainda apresentavam concentrações negativas e também modificava os picos máximos registrados (Tabela B2, Apêndice B).

#### **b) CPC 3007**

Hämeri *et al.* (2002) investigaram a eficiência de detecção do modelo CPC 3007 que mede concentrações até 100.000 partículas  $\text{cm}^{-3}$ , para partículas de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  com diâmetros entre 3 e 40 nm. A eficiência do modelo 3007 em altas concentrações de partículas foi investigada comparando a leitura de CPC com a de um eletrômetro usando uma configuração similar para estudos de eficiência de detecção mais baixos. A Figura 11 mostra as concentrações de CPC versus as concentrações do eletrômetro.

As diferenças entre os instrumentos ocorrem a partir de aproximadamente  $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Portanto, o CPC 3007 é capaz de determinar com precisão a concentração total até o valor indicado nas especificações do fabricante. Além disso, as correções de coincidência podem ser aplicadas para concentrações de até  $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ , usando a relação entre a concentração de CPC e a concentração do eletrômetro.



**Figura 11** – CPC 3007 em função da concentração do eletrômetro. **Fonte:** Adaptado de Hämeri et al., 2002.

Neste estudo, não se realizou a correção de CNP para concentrações altas. Segundo Hämeri *et al.*, (2002), o CPC 3007 opera normalmente até  $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  e CNP maiores a 100.000 partículas  $\text{cm}^{-3}$  foram observadas em 4,6% dos dados, atingindo uma CNP máxima de 275.252 partículas  $\text{cm}^{-3}$ .

### 3.3.2 Descrição estatística

#### a) Estatística descritiva e caracterização dos conjuntos de dados

As medições de BC e CNP foram combinadas com os dados de GPS utilizando um programa computacional que faz a varredura de cada arquivo de dados e identifica os horários e datas coincidentes. Desta forma, criaram-se matrizes de dados georreferenciadas contendo concentração de BC, CNP, latitude, longitude e velocidade de deslocamento do barco. Calcularam-se os valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão e percentis 5/25/75 e 95. Neste estudo foi possível constatar através de análise de histogramas que os dados de BC não apresentam distribuição normal. Para que pudessem ser identificados diferenças estatisticamente significativas aplicou-se o teste não paramétrico de Mann – Whitney, o qual avalia a similaridade das medianas das populações de duas mostras independentes  $x$  e  $y$  (GIBBONS e CHAKRABORTI, 2011). O teste avalia duas hipóteses:

Hipótese nula ( $H_0$ ): As duas populações avaliadas têm a mesma mediana.

Hipótese alterativa ( $H_1$ ): Rejeita a hipótese nula ( $H_0$ ).

Para verificar se as variáveis estão correlacionadas, foi calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de Pearson. Um valor entre 0 e 1 indica a porcentagem da variância que é explicada pelo modelo linear (MARTINS, 2009).

### 3.3.3 Exposição e dose inalada

Segundo Monn (2001), a exposição média para o microambiente  $j$  ( $\bar{E}_j$ ) foi calculada como o valor médio das concentrações  $C_i$  medidas no microambiente  $j$ . A dose inalada média para o microambiente  $j$  ( $\bar{D}_j$ ) foi estimada como:

$$D_j = \bar{E}_j \cdot V_{jk} \quad \text{Equação 7,}$$

onde  $V_{jk}$  é a taxa de inalação para a atividade  $k$  realizada no microambiente  $j$ .

As taxas de inalação dependem da idade da pessoa exposta, a atividade realizada e o nível de esforço específico dentro de cada atividade. Para este estudo, foram utilizadas taxas de inalação para crianças, adultos e idosos da EPA (2011) (Tabela 3). Considerou-se a viagem de barco e a estadia na pousada como uma atividade de intensidade leve a moderada, devido que as pessoas não realizam um maior esforço físico (pessoas sentadas na viagem, preparação de comida, assistir televisão, etc.). Entretanto que a presença na praia e a estadia nos portos são consideradas como atividades de intensidade moderada a alta, já que as pessoas realizam um esforço físico maior (caminhar, nadar, ou praticar outros esportes).

**Tabela 3** - Taxa de inalação de curto prazo para homens e mulheres ( $10^{-2} \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ ).

<b>Idade</b>	<b>Intensidade leve</b>	<b>Intensidade moderada</b>	<b>Intensidade alta</b>
<b>1 a &lt;2</b>	1,2	2,1	3,8
<b>2 a &lt;3</b>	1,2	2,1	3,9
<b>3 a &lt;6</b>	1,1	2,1	3,7
<b>6 a &lt;11</b>	1,1	2,2	4,2
<b>11 &lt;16</b>	1,3	2,5	4,9
<b>16 &lt;21</b>	1,2	2,6	4,9
<b>21 &lt;31</b>	1,2	2,6	5,0
<b>31 &lt;41</b>	1,2	2,7	4,9
<b>41 &lt;51</b>	1,3	2,8	5,2
<b>51 &lt;61</b>	1,3	2,9	5,3
<b>61 &lt;71</b>	1,2	2,6	4,7
<b>71 &lt;81</b>	1,2	2,5	4,7
<b>≥ 81</b>	1,2	2,5	4,8

**Fonte:** EPA, 2011

### 3.3.4 Distribuição espacial dos poluentes ao longo dos trajetos

A análise espacial dos dados foi realizada através do Sistema de Informação Geográfico (SIG) que é uma ferramenta utilizada na gestão de problemas ambientais. As concentrações de BC e CNP foram integradas com os dados de posicionamento geográfico, fazendo mapas com a distribuição espacial de poluentes atmosféricos identificando os trajetos mais poluídos.

Os mapas são apresentados no sistema de referência geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e projeção cartográfica de referência espacial UTM22S (Universal Transversal Marcador Zona 22 Sul).

### 3.3.5 Correntes de maré

Para determinar a direção e velocidade das correntes de maré, foram usadas as cartas de correntes de maré da zona de estudo, preparadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHMB, 2018). Esta coletânea de 13 cartas fornece a direção e a velocidade das correntes de maré nos canais de acesso ao Porto de Paranaguá, em intervalos horários referidos ao instante da PM no porto de Paranaguá, e em condições médias de sizígia.

A seleção da carta leva em conta apenas a diferença em horas entre o instante considerado e o da PM prevista nas tábuas das marés para o Canal de Galheta.

Contudo, se for desejável maior aproximação (portanto as cartas espelham apenas as condições médias de sizígia), recomenda-se multiplicar as velocidades por um fator de correção (Figura C1, Apêndice C). Para calcular o fator é necessário conhecer o intervalo de tempo entre a PM e a BM, ou vice-versa, e a amplitude da maré (distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas a que o navegante está sujeito no momento) (CHMB, 1976). Os valores das tábuas de maré para o mês de fevereiro de 2015 foram fornecidos por CHMB para a região de estudo.

A seguir, se apresenta um exemplo para determinar a velocidade e direção das correntes de maré, no dia 09/02/2015 no período 16:26:30 - 16:58:00. Segundo as tábuas de maré para esse dia (Apêndice C, Tabela C1 - Figura C3), o horário de PM (altura de 1,22 m) foi às 18:00 horas e a BM (altura de 0,37 m) ocorreu as 11:00 horas. Portanto, selecionamos a carta de uma hora antes de PM (Apêndice C, Figura C2). O fator de correção da velocidade (0,5) foi obtido, através do ábaco, com os seguintes elementos de entrada: Intervalo PM-BM: 7 horas e amplitude da maré de 0,85 m, portanto, as velocidades das correntes seriam 50% daquelas indicadas na carta selecionada. As velocidades das cartas estão expressas em nós (1 Nó: 0,5144 m s<sup>-1</sup>).

As velocidades vectoriais das correntes de maré e dos barcos foram relacionadas (Figura 12) através da equação:

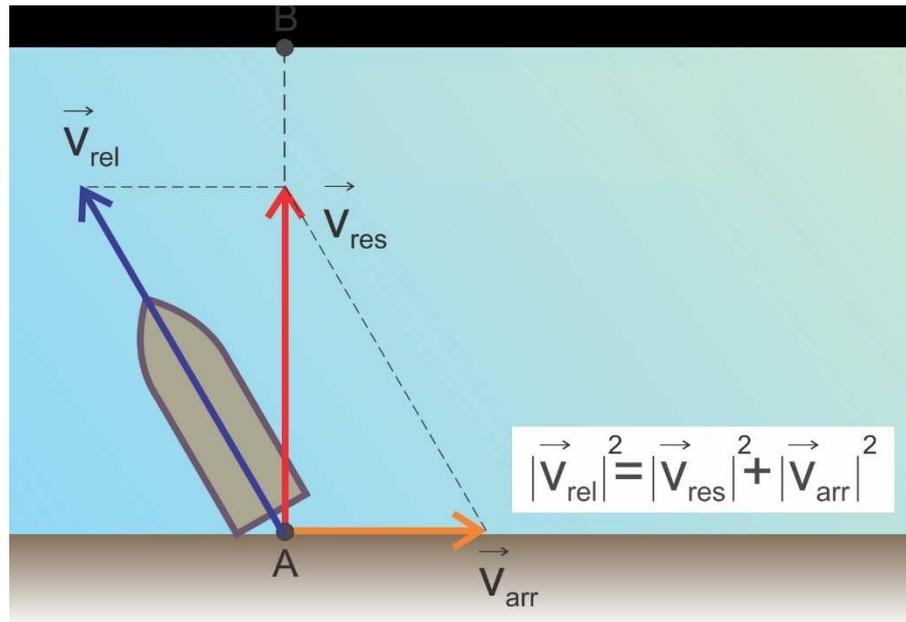
$$[V_{rel}]^2 = [V_{res}]^2 + [V_{arr}]^2 \quad \text{Equação 8,}$$

onde:

$V_{rel}$ : Velocidade relativa do barco em relação às águas,

$V_{res}$ : Velocidade resultante do barco em relação às margens,

$V_{arr}$ : Velocidade de arrastamento das águas.



**Figura 12** – Deslocamento do barco através de vetores. **Fonte:** Adaptado de Ramalho et al., 2003.

A potência ( $P$ ) das embarcações pode ser relacionada com o trabalho ( $T$ ) realizado em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) (TIPLER, 2000):

$$P = \frac{T}{\Delta t} \quad \text{Equação 9.}$$

Também podemos relacionar potência e velocidade, já que trabalho ( $T$ ) é força versus deslocamento ( $\Delta d$ ):

$$T = F \cdot \Delta d \quad \text{Equação 10,}$$

e a velocidade relativa é representada por:

$$V_{rel} = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad \text{Equação 11.}$$

Nesse caso, a Equação (9) pode ser re-escrita como:

$$P = F \cdot V \quad \text{Equação 12.}$$

Neste estudo,  $P$  foi considerada como a potência de motor para cada barco nas fichas cadastrais (Tabela A1, Apêndice A).

### 3.3.6 Dados meteorológicos

É altamente recomendável que o monitoramento das concentrações dos poluentes seja relacionado com variáveis meteorológicas, já que essas variáveis tem uma forte influência na dispersão e concentração dos poluentes. Na Ilha do Mel, existe uma estação meteorológica (A847) operada pelo INMET que mede temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV) e direção do vento (DV). Para caracterizar a região de estudo, foram utilizadas medições horárias no período 2010-2014. As mesmas variáveis também foram analisadas no período de coleta de poluentes atmosféricos em fevereiro de 2015.

## 4. RESULTADOS

Nessa seção, são apresentados os resultados do monitoramento móvel de todas as viagens realizadas entre Pontal do Sul – Ilha do Mel, Ilha do Mel – Paranaguá e dentro da Ilha, tanto de ida e de volta, relacionando a variabilidade das concentrações medidas dentro dos barcos com fenômenos meteorológicos e oceanográficos presentes na área de estudo. Na segunda etapa, se analisam as viagens de ida e volta realizadas no mesmo barco, procurando relacionar as concentrações medidas com fatores naturais que exercem resistência à navegação como os ventos e correntes de maré. Também, a distribuição espacial dos poluentes é estudada para alguns destes casos.

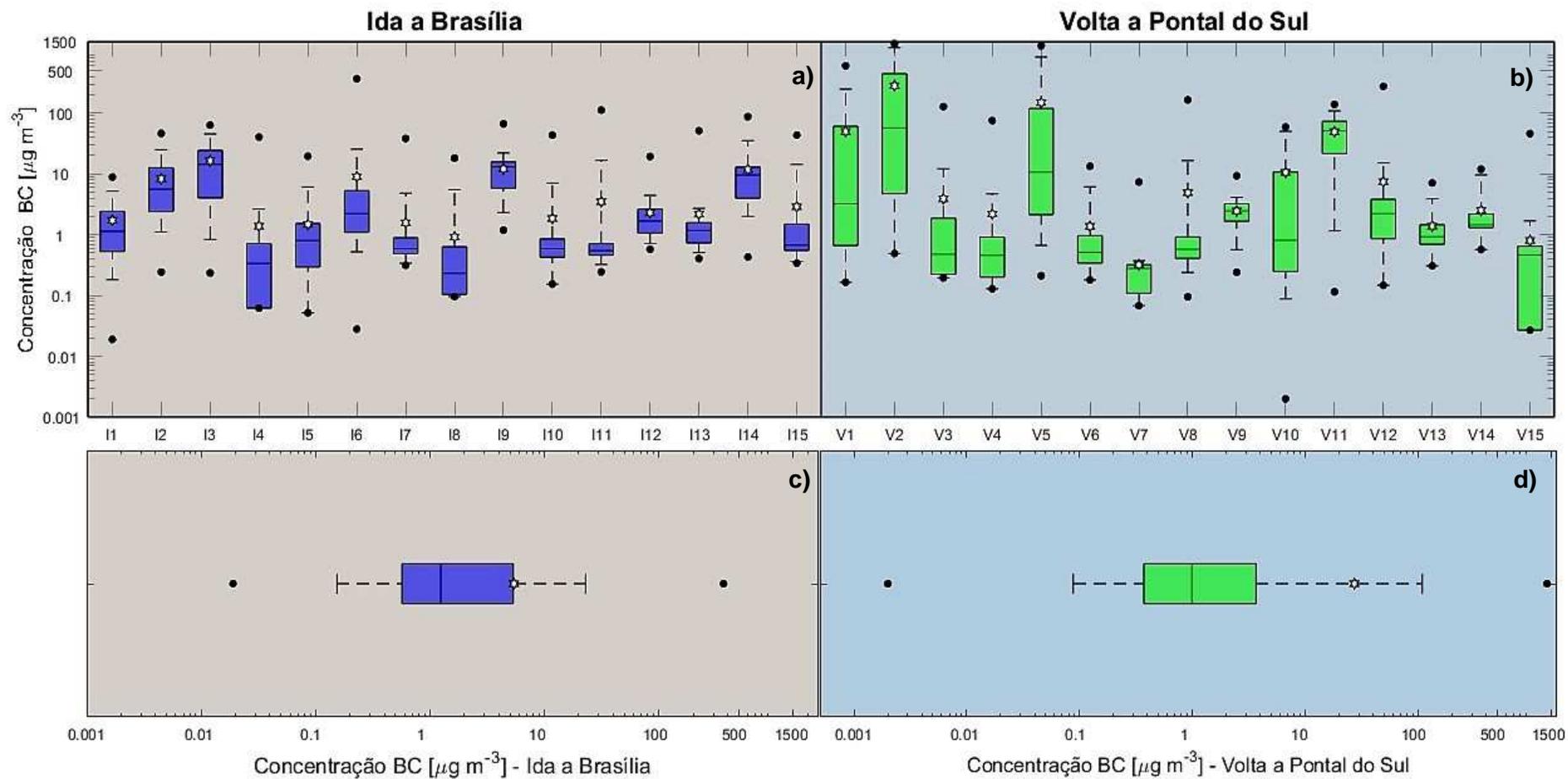
Posteriormente, são apresentadas as medições fixas nos trapiches de Pontal do Sul e Ilha do Mel (Brasília e Encantadas), Praia de Fora e pousada na Ilha do Mel (Brasília). Finalmente, os valores de dose e exposição pessoal ao BC e CNP dos passageiros e tripulação durante as viagens de barco são apresentados e comparadas com os outros microambientes.

### 4.1 MONITORAMENTO MÓVEL

#### 4.1.1 Análise de BC

A Figura 13 mostra os *boxplots* das concentrações de BC para todas as viagens realizadas entre Pontal do Sul e Ilha do Mel, ida e volta, no período 07-13/02/2015. As viagens realizadas entre a Ilha do Mel e Paranaguá e dentro da Ilha do Mel (Encantada – Brasília) são analisadas posteriormente (ver seções 4.2.3 e 4.2.4). Os *boxplots* foram separados para as viagens de ida “I” (Figura 13a) e viagens de volta “V” (Figura 13b). Os números consecutivos das viagens foram ordenados com base na data e hora da viagem começando no dia 07/02/2015. Também se apresentam os *boxplots* para todas as viagens de ida (Figura 13c) e volta em conjunto (Figura 13d).

As viagens de ida e volta apresentaram uma alta dispersão das concentrações de BC, sendo maior as registradas na volta a Pontal do Sul (Figura 13b). Também se registraram as maiores concentrações médias para as viagens de volta: 283,63  $\mu\text{g m}^{-3}$  (V2), 148,32  $\mu\text{g m}^{-3}$  (V5) e 49,94  $\mu\text{g m}^{-3}$  (V1).



**Figura 13** – *Boxplots* das concentrações de BC para cada viagem de ida a Brasília (a) e de volta (b). Concentrações de BC para todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite da caixa é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95, a linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca representa a média. **Fonte:** Autoria própria.

Neste mesmo trajeto, se registraram os valores máximos das concentrações pontuais para estas mesmas viagens, com valores de  $1.389,80 \mu\text{g m}^{-3}$  (V2),  $1.276,20 \mu\text{g m}^{-3}$  (V5) e  $599,98 \mu\text{g m}^{-3}$  (V1).

As séries de BC de ida e volta não apresentaram distribuição normal (ver histogramas no Apêndice D1) e por isso, se aplicou o teste não paramétrico Mann-Whitney, que não achou diferenças estatisticamente significativas entre os valores medianos de cada trajeto. Porém, as viagens de volta a Pontal do Sul apresentaram uma maior dispersão das concentrações de BC que as de ida (Figura 13c), sendo em média ( $27,25 \mu\text{g m}^{-3}$ ) mais poluídos que as viagens de ida ( $5,43 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

#### 4.1.2 Análise de CNP

A Figura 14 mostra os *boxplots* das CNP para todas as viagens realizadas de Pontal do Sul para a Ilha do Mel, ida e volta, no período de 07-13/02/2015. O número de viagens com medições de CNP foi menor que o número de viagens com monitoramento de BC já que o CPC-3007 era único. Os *boxplots* foram separados por viagens de ida (Figura 14a) e viagens de volta (Figura 14b). Além disso, se determinou para cada trajeto um *boxplot* que agrupa as viagens de ida (Figura 14c) e de volta (Figura 14d).

Da mesma forma que para as concentrações de BC, as viagens de volta (Figura 14b) apresentaram uma maior dispersão das CNP, com valores médios de  $8,15 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  (viagem V2),  $5,89 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  (V5) e  $4,22 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  (V11). Também, neste mesmo trajeto se registraram as maiores CNP com valores de  $2,75 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  (viagem V2),  $2,46 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  (V5) e  $2,15 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  (V11).

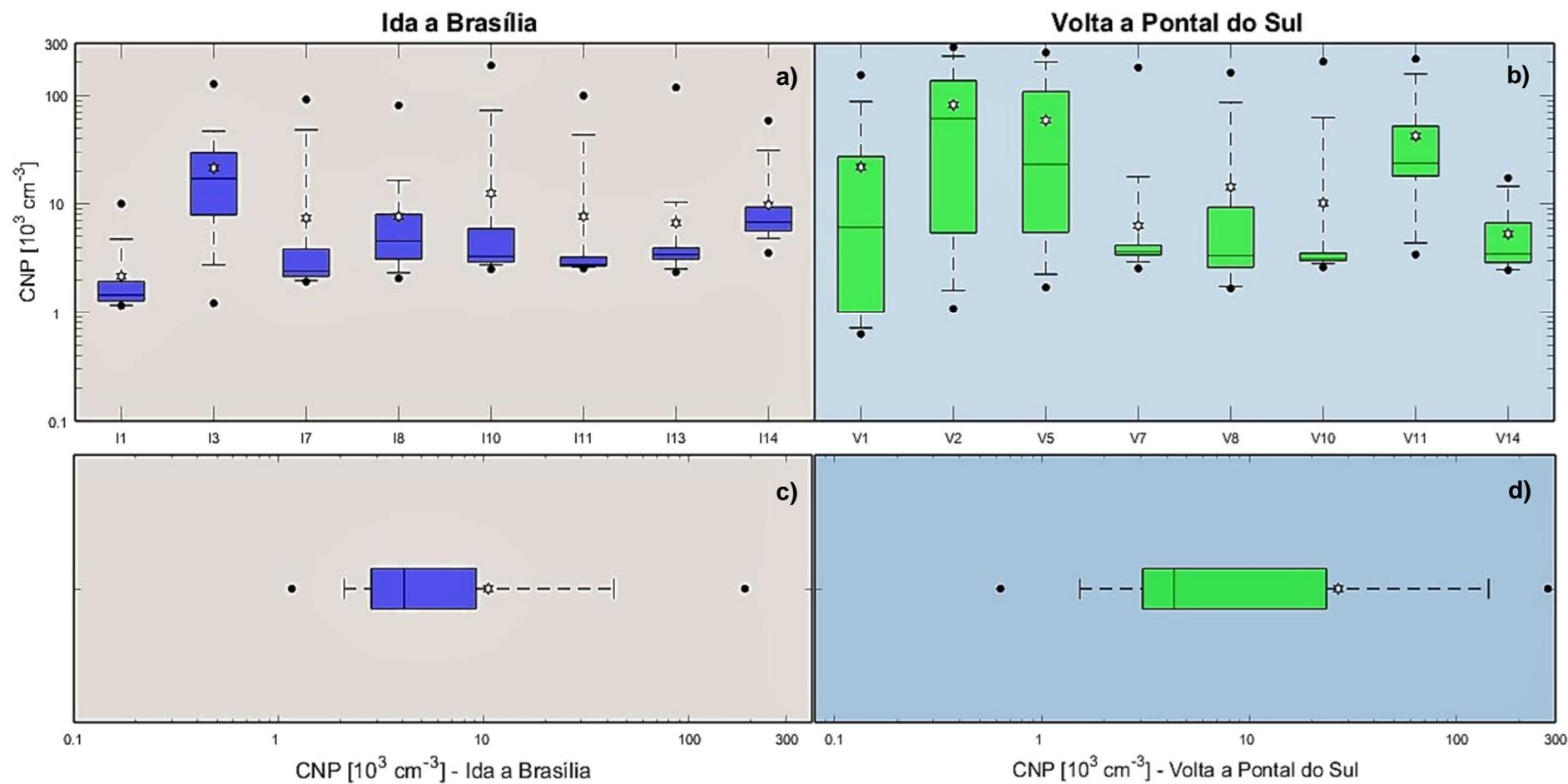
As séries de CNP de ida (Figura 14c) e de volta (Figura 14d) também não apresentaram uma distribuição normal (ver Apêndice D2). O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney também não achou diferenças estatisticamente significativas entre os valores medianos de cada trajeto. As viagens de volta a Pontal do Sul (Figura 14d) apresentam uma maior dispersão de CNP que as de ida à Ilha do Mel (Figura 14c), e maior concentração média ( $2,68 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  versus  $1,05 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ).

Devido à falta de estudos na medição de poluentes dentro das embarcações, se realizou uma comparação com outras pesquisas, isto, com o fim de evidenciar as maiores concentrações registradas neste estudo, quando são comparadas com outros meios de transporte monitorados principalmente para BC.

SEGURA (2017) mediu as concentrações de BC e CNP dentro de ônibus do transporte público urbano em três cidades do Brasil (São Paulo, Curitiba e Londrina), relatando valores médios de BC de até  $16,9 \mu\text{g m}^{-3}$  em viagens de ônibus em Curitiba, e as maiores médias de CNP registaram-se na cidade do São Paulo ( $53.479 \text{ cm}^{-3}$ ), atingindo valores máximos para BC e CNP de  $429,4 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $608.919 \text{ cm}^{-3}$  respectivamente, em Curitiba (o valor pontual de Curitiba foi mais alto em comparação com nosso estudo). TARGINO *et al.* (2017b) mediram as concentrações de BC em viagens de ônibus, a pé e de bicicleta na cidade de Londrina (Brasil), registrando valores médios que variaram entre  $4,7 \mu\text{g m}^{-3}$  no lado Leste da cidade a  $17,0 \mu\text{g m}^{-3}$  no lado Oeste, atingindo um pico máximo de  $473,1 \mu\text{g m}^{-3}$  no terminal central de ônibus. Os modos ativos (bicicleta e caminhada) registraram valores médios bem menores ( $3,0 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $4,1 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente). Em outro estudo realizado por KRECL *et al.* (2016) num cânion urbano do centro de Londrina a concentração de BC foi  $3,6 \mu\text{g m}^{-3}$  (média) e  $9,1 \mu\text{g m}^{-3}$  (percentil 95), baseado em valores horários.

Em outro estudo, TARGINO *et al.* (2017a) mediram as concentrações de BC em diferentes microambientes de 12 aeroportos (Brasil, França, Holanda, Itália e Uruguai), registrando valores médios para o embarque e desembarque de  $3,78 \mu\text{g m}^{-3}$ , no terminal do aeroporto ( $3,16 \mu\text{g m}^{-3}$ ), dentro das aeronaves com as portas abertas e fechadas ( $2,78$  e  $0,81 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e em voo ( $0,20 \mu\text{g m}^{-3}$ ), respectivamente.

CHEOL *et al.* (2017) mediram as concentrações de BC e CNP dentro dos trens suburbanos no centro de Toronto (Canadá), atingindo valores médios de  $17,8 \mu\text{g m}^{-3}$  para BC e  $126.000 \text{ cm}^{-3}$  para CNP.

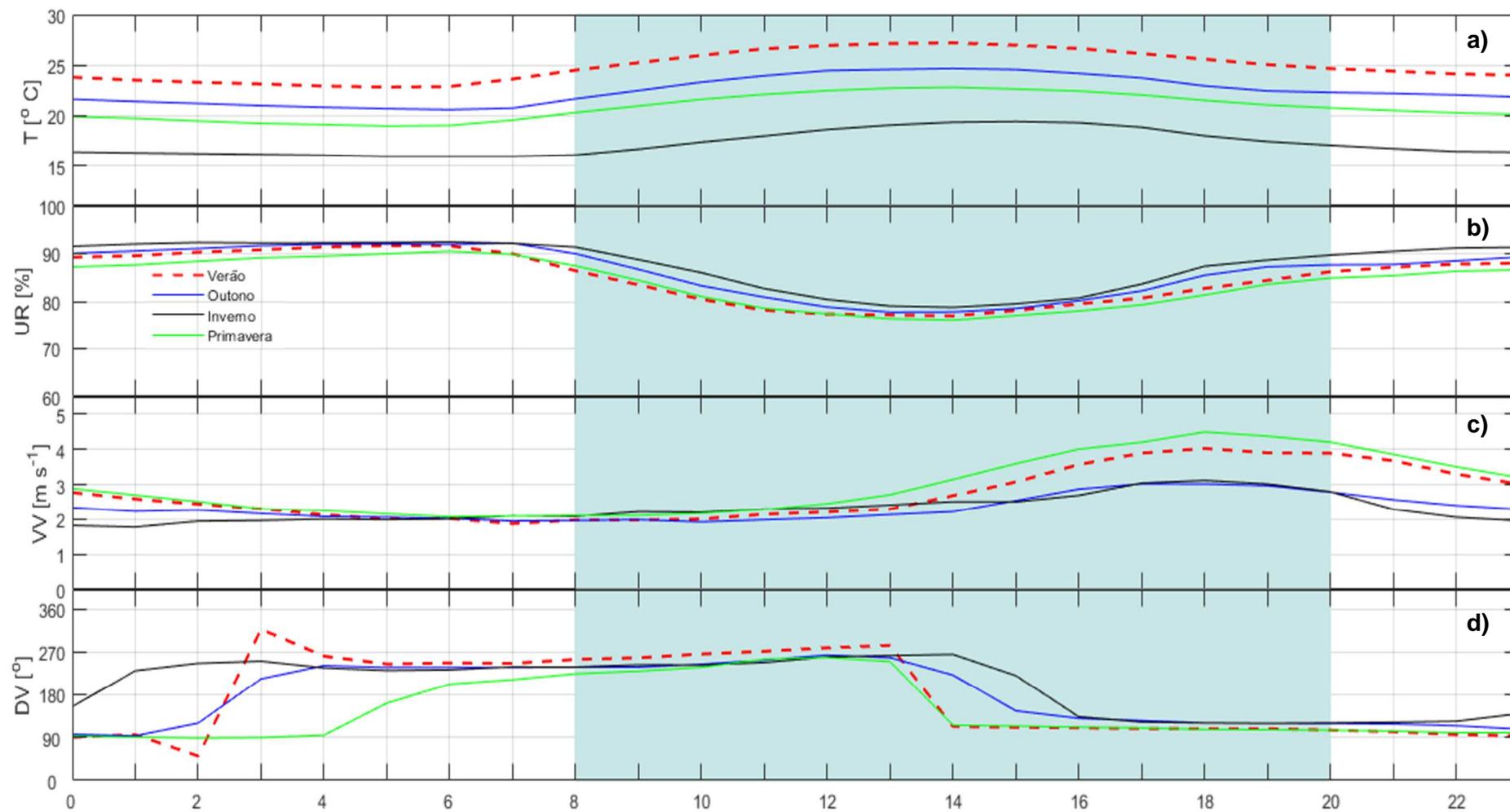


**Figura 14** – *Boxplots* das CNP para cada viagem de ida a Brasília (a) e de volta (b). CNP para todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite da caixa é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95, a linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos superior e inferior respectivamente, a estrela branca representa a média. **Fonte:** Autoria própria.

#### 4.1.3 Análise meteorológica

A Figura 15 apresenta os ciclos médios diários das variáveis meteorológicas para as quatro estações do ano: verão (01/12 – 28/02), outono (01/03 – 31/05), inverno (01/06 – 31/08) e primavera (01/09 – 31/11) no período 2010 – 2014. Também é salientada a faixa horária quando foram realizadas as medições de poluição em fevereiro de 2015.

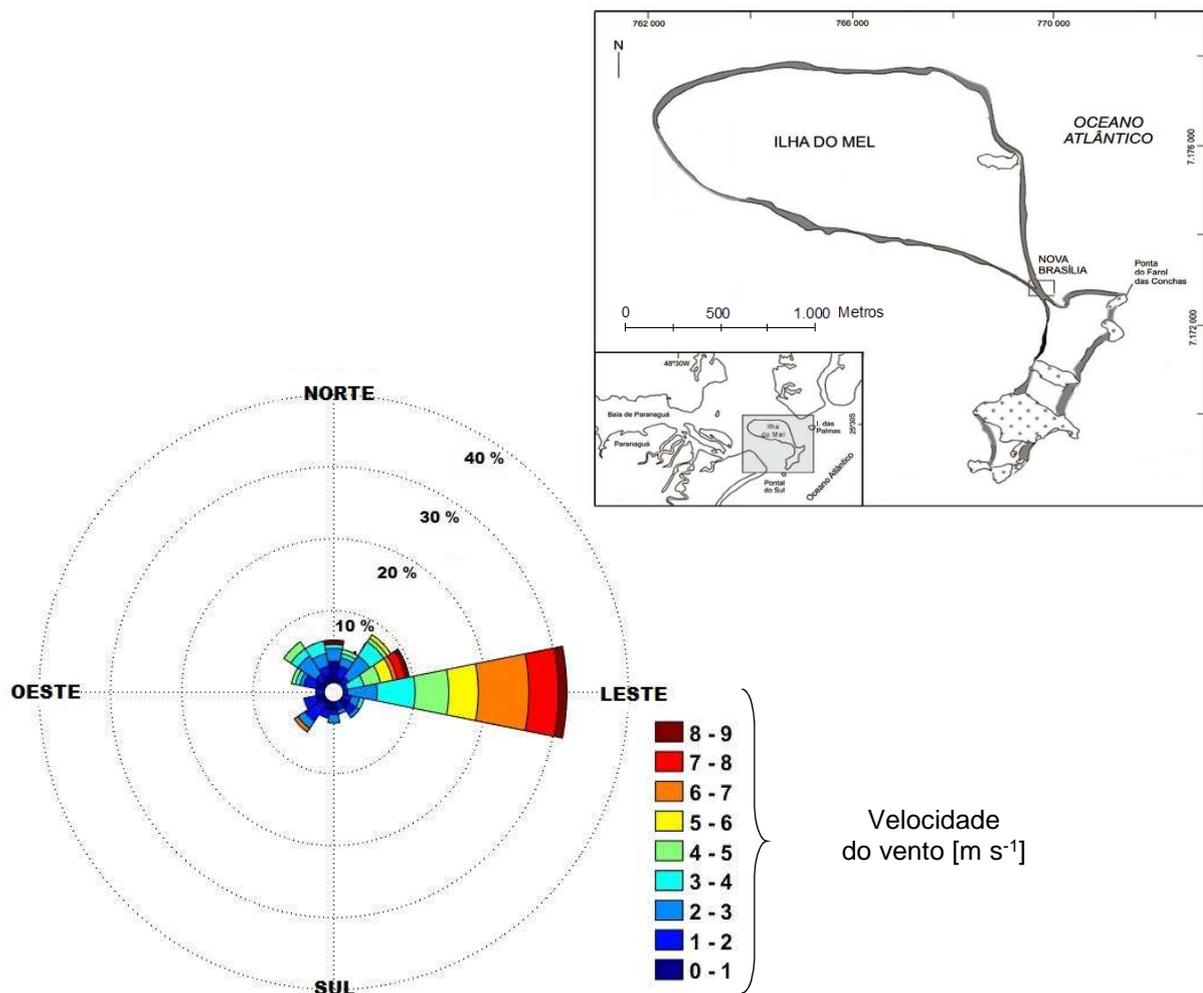
No verão se registraram as maiores temperaturas ao longo do dia; as quais começam a aumentar desde as 06:00 horas (Figura 15a), atingindo uma máxima de 27,2°C às 13:00 horas. A umidade relativa durante a madrugada é alta (89 % as 06:00) e cai até 77 % as 13:00 horas (Figura 15b). A velocidade do vento é inferior a 3,0 m·s<sup>-1</sup> nas primeiras horas da madrugada, e aumenta a partir das 13:00 horas, alcançando uma velocidade de 4,0 m·s<sup>-1</sup> as 18:00 horas (Figura 15c). Observa-se brisa terrestre no horário 03:00 – 13:00 com direção predominante de oeste, e brisa marinha entre 14:00 e 01:00 com ventos de leste (Figura 15d).



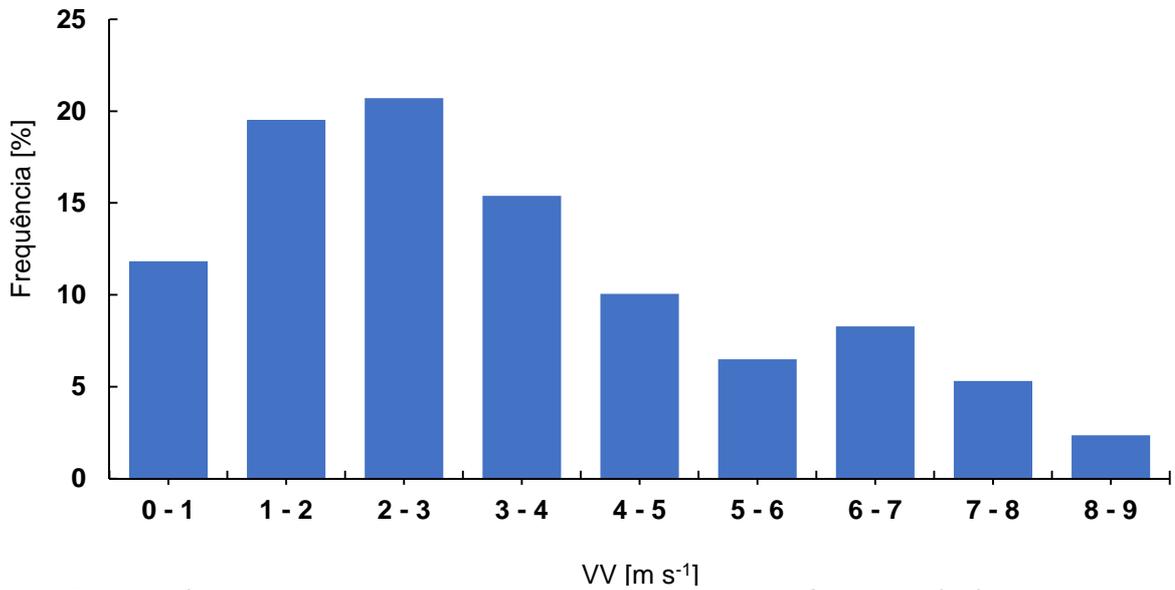
**Figura 15** – Ciclo médio diário de temperatura (a), umidade relativa (b), velocidade do vento (c), direção do vento (d). A área azul clara corresponde aos horários em que foram feitas as viagens em 2015. **Fonte:** Autoria própria.

As outras estações do ano apresentam os mesmos padrões diários para temperatura, umidade relativa e velocidade do vento que os observados para o verão, só que a velocidade do vento em primavera atinge valores maiores que os registrados no período de verão (Figura 15c). O fenômeno de brisa marinha/terrestre apresenta variação sazonal (Figura 15d) com início as 14:00 no verão e 16:00 no inverno.

A Figura 16 apresenta a rosa dos ventos para o período 07-13/02/2015 com predomínio dos ventos de leste (31,4 %), leste-nordeste (9,5 %) e nordeste (8,3 %). Para o mesmo período, predominam as velocidades entre 2,0 a 3,0  $\text{m s}^{-1}$  (20,7 %) seguidos por velocidades de 1,0 a 2,0  $\text{m s}^{-1}$  (19,5%) (Figura 17).

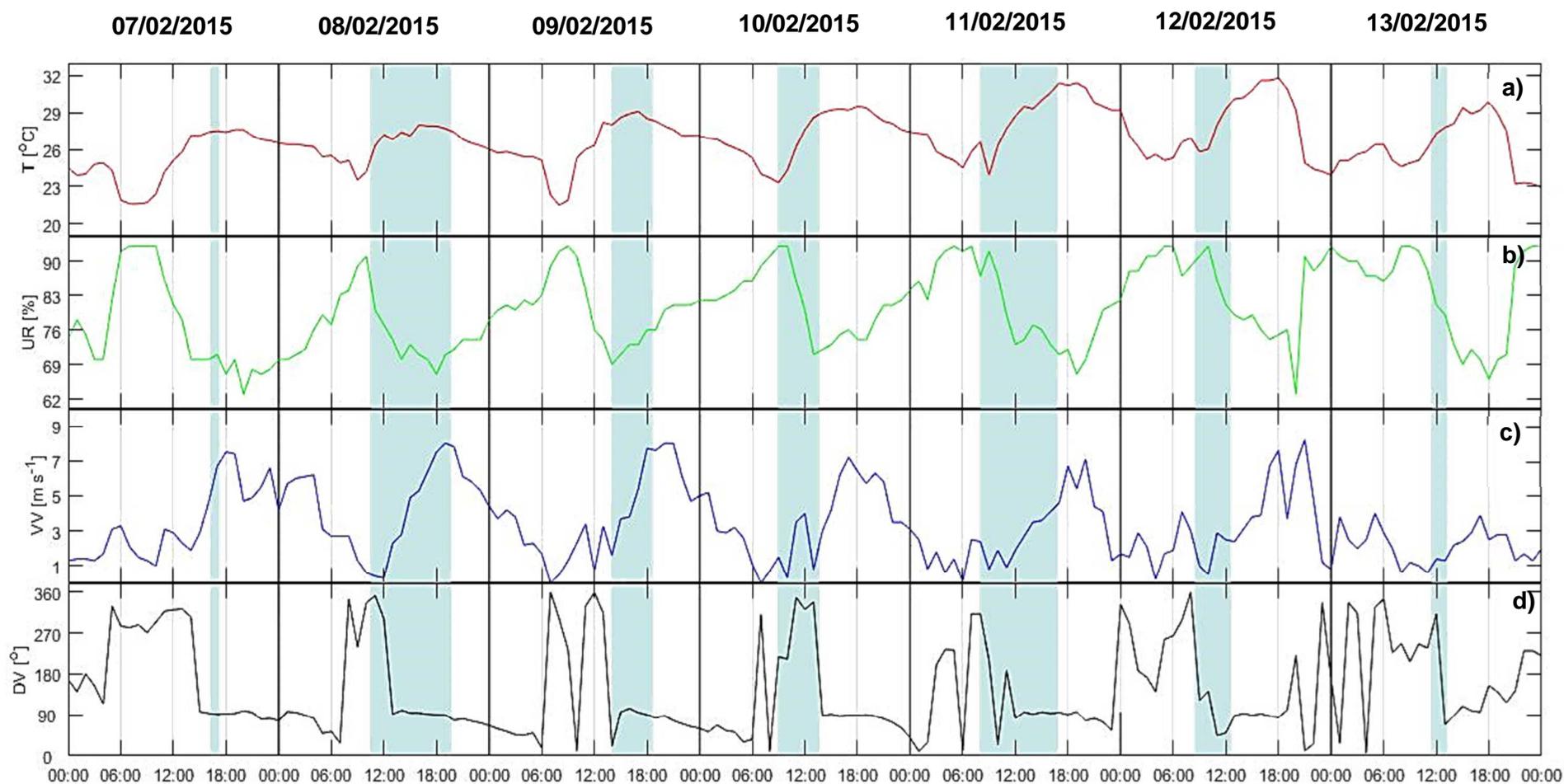


**Figura 16** – Direção do vento na área de estudo, para o período 07-13/02/2015  
**Fonte:** Autoria própria.



**Figura 17** – Frequência e distribuição da velocidade do vento para o período 07-13/02/2015. **Fonte:** Autoria própria.

A Figura 18 apresenta as séries horárias das variáveis meteorológicas no período 07-13/02/2015, destacando com azul claro os horários das viagens de barco. As temperaturas sempre foram em aumento no decurso das viagens, com valores superiores a 23,0°C, e diminuição da umidade relativa com exceção do dia 09/02/2015. A velocidade do vento aumentou desde o começo das viagens com presença da brisa marinha principalmente a tarde (depois das 13:00 horas) e nos dias 11-12/02/2015 a brisa iniciou-se de manhã (09:00-10:00) devido as maiores temperaturas registradas nesses dias. As condições meteorológicas para cada viagem foram resumidas na Tabela 4.



**Figura 18** – Séries horárias de temperatura (a), umidade relativa (b), velocidade do vento (c) e direção do vento (d) para o período 07-13/02/2015. A área azul clara corresponde aos horários em que foram realizadas as viagens. **Fonte:** Autoria própria.

**Tabela 4** - Condições meteorológicas apresentadas durante as viagens.

Dia	Horário dos Viagens	Número de Viagens	T [°C]	UR [%]	VV [m s <sup>-1</sup> ]	DV [°]
<b>07/02/2015</b>	16:15 - 17:12	2	27,3	70,0	5,0	97 – 96 (E)
			27,4	71,0	7,0	
<b>08/02/2015</b>	10:31 - 19:36	7	25,0	86,0	0,5	350 – 80 (NO – E)
			28,0	67,0	8,0	
<b>09/02/2015</b>	13:58 - 18:35	6	28,0	69,0	1,5	20 – 100 (N – E)
			29,0	76,0	7,7	
<b>10/02/2015</b>	08:58 - 13:35	6	23,2	93,0	0,5	220 – 340 (SO – O)
			29,0	72,0	4,0	
<b>11/02/2015</b>	08:00 - 16:45	4	24,0	92,0	0,7	310 – 100 (NO – E)
			31,0	72,0	4,5	
<b>12/02/2015</b>	08:30 - 12:32	6	26,0	93,0	0,5	280 – 40 (NO – E)
			30,0	80,0	3,0	
<b>13/02/2015</b>	11:29 - 13:00	3	27,0	86,0	1,0	310 – 80 (O – E)
			28,0	78,0	1,5	

As maiores concentrações de BC registradas na viagem de volta a Pontal do Sul poderiam estar relacionadas com a influência das correntes de maré, (Este fenômeno é explicado mais detalhadamente na Seção 4.2) à formação da brisa marinha, com ventos de leste, dispersando a pluma emitida pelo escapamento para o interior do barco.

As maiores CNP foram registradas nas viagens de volta a Pontal do Sul. Isto poderia estar relacionado com a presença da brisa marinha (que dispersão os poluentes dentro dos barcos, principalmente quando as viagens ocorrem a tarde) e também favorecido pela curta distância entre o escapamento do barco e os monitores de poluição (Figura 7).

## 4.2 ESTUDO DE CASOS

### 4.2.1. Mesmos barcos realizando as viagens ida e volta

Nesta seção, se analisam as viagens realizadas pelos mesmos barcos considerando tanto os trajetos de ida e volta no Canal de Galheta (Figura 4). Essa estratégia permitiria relacionar mais facilmente as concentrações medidas com a influência de fatores naturais existentes na área de estudo e também com as características técnicas dos barcos. A escolha do trecho está baseada na maior intensidade que podem apresentar os ventos nessa zona e à existência das correntes de maré. Além disso, nesse trecho se espera uma menor interferência de outras fontes de poluição local, quando comparado com as que se observam próximos dos trapiches de Pontal do Sul, Paranaguá e Ilha do Mel (Brasília e Encantadas).

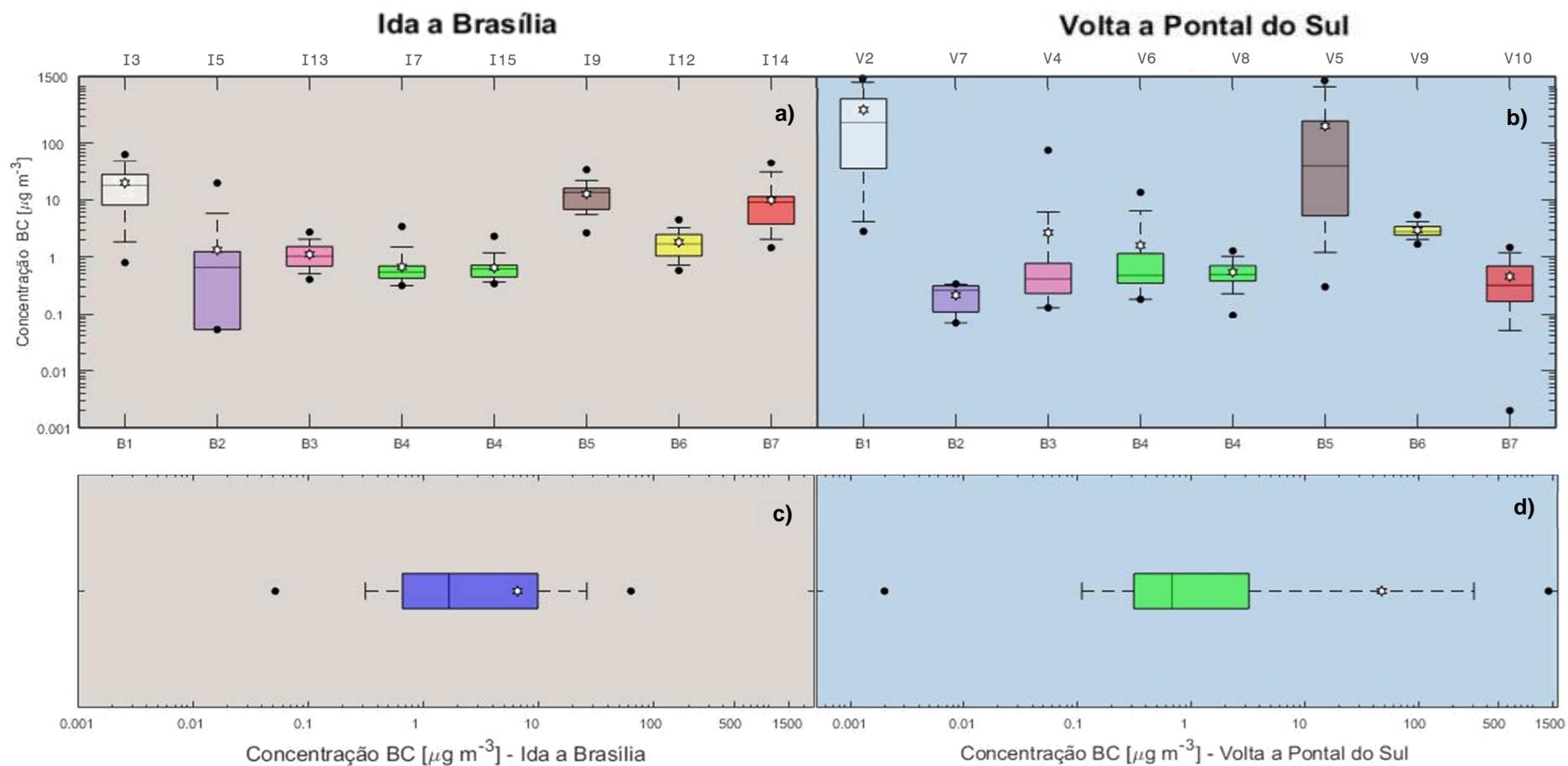
A Figura 19 mostra os *boxplots* das concentrações de BC para as viagens realizadas de Pontal do Sul para Brasília, ida (Figura 19a) e volta (Figura 19b), considerando os mesmos barcos (B1 a B7). Além disso, se calculou para cada trajeto um *boxplot* que agrupa as concentrações das viagens de ida (Figura 19c) e de volta (Figura 19d).

As Figuras 19 a-b apresentam uma grande dispersão das concentrações de BC, sendo maiores as registradas nas viagens de volta. Destaca-se que as maiores concentrações de todo o estudo foram observadas no Canal de Galheta (viagens V2 e V5, Figura 19b). As agrupações das concentrações (Figuras 19c-d) não apresentaram uma distribuição normal (ver histogramas no Apêndice D3), e o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney não achou diferenças estatisticamente significativas entre os valores medianos de cada trajeto. No Canal de Galheta, as concentrações de BC apresentaram uma maior variabilidade nas viagens de ida (Figura 19c) e uma maior mediana (1,67 versus 0,68  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Porém, a concentração média foi menor nas viagens de ida (6,58 versus 47,37  $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

As emissões atmosféricas dos barcos dependem de fatores internos (tipo de combustível, modo de operação, manutenção, tamanho do motor, velocidade e carga) (CORBETT e KOEHLER, 2004) e externos (por exemplo, correntes de maré e ventos). A Tabela 5 resume as variáveis utilizadas neste estudo para analisar a dependência das concentrações com fatores internos e externos. São detalhadas datas e horários, sentido das viagens, identificação do barco e viagem, ano de fabricação e potência do

motor extraídas das fichas técnicas, a velocidade do vento medida na estação A-847, a velocidade do barco medida com o GPS. Também foram calculadas a força exercida pelo barco e a velocidade e direção da corrente de maré para cada viagem.

A Figura 20 apresenta as velocidades vectoriais do barco, do vento e da corrente de maré para as mesmas viagens.

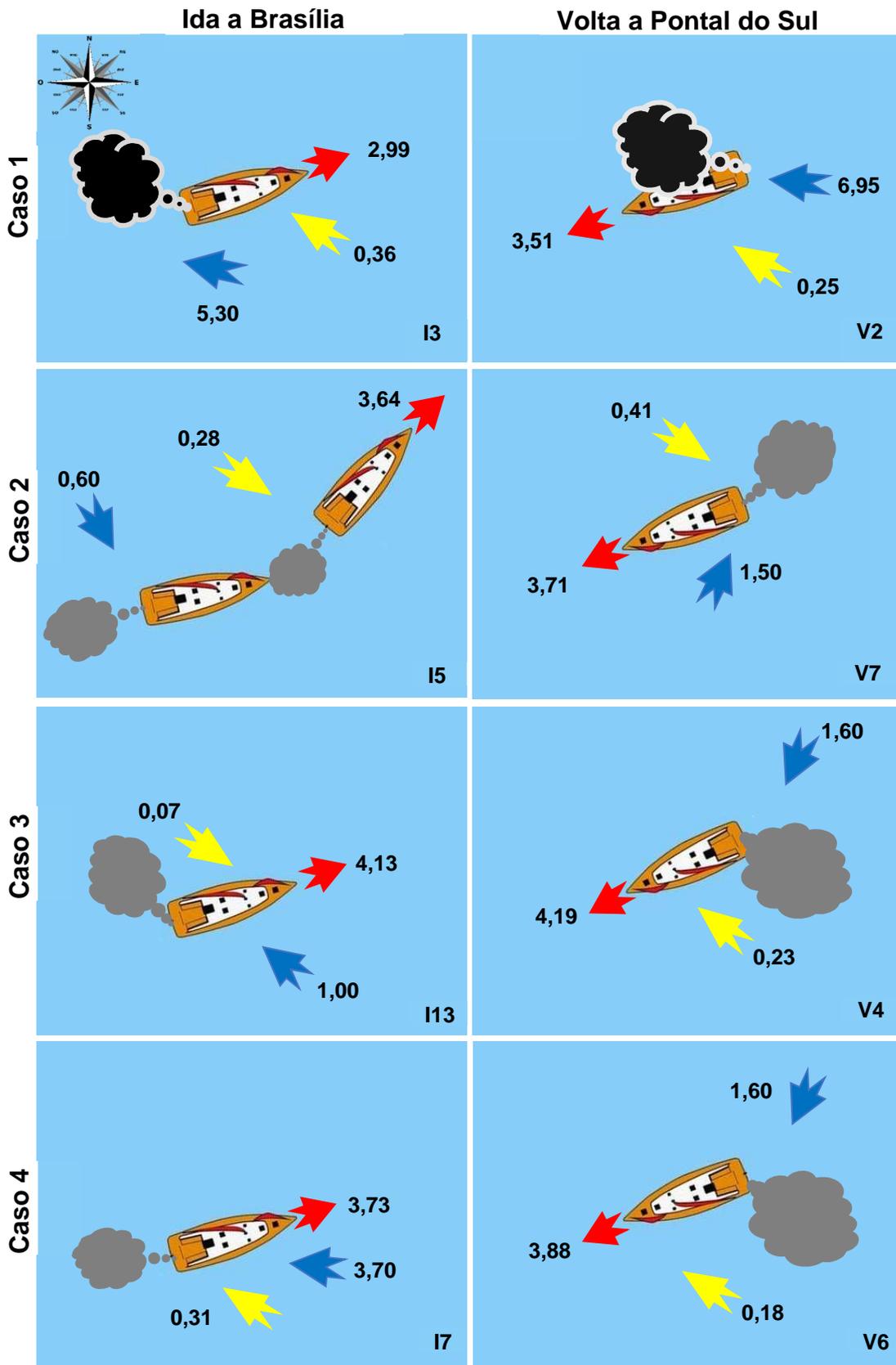


**Figura 19** – *Boxplots* das concentrações de BC para cada viagem de ida à Ilha do Mel (a) e de volta (b) no canal de Galheta. Todas as viagens de ida (c) e de volta (d). O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. Cada barco é identificado por uma cor única nos painéis a-b (código barco “B”). Cada letra acima de gráfico (I-V) identifica o código da viagem. **Fonte:** Autoria própria.

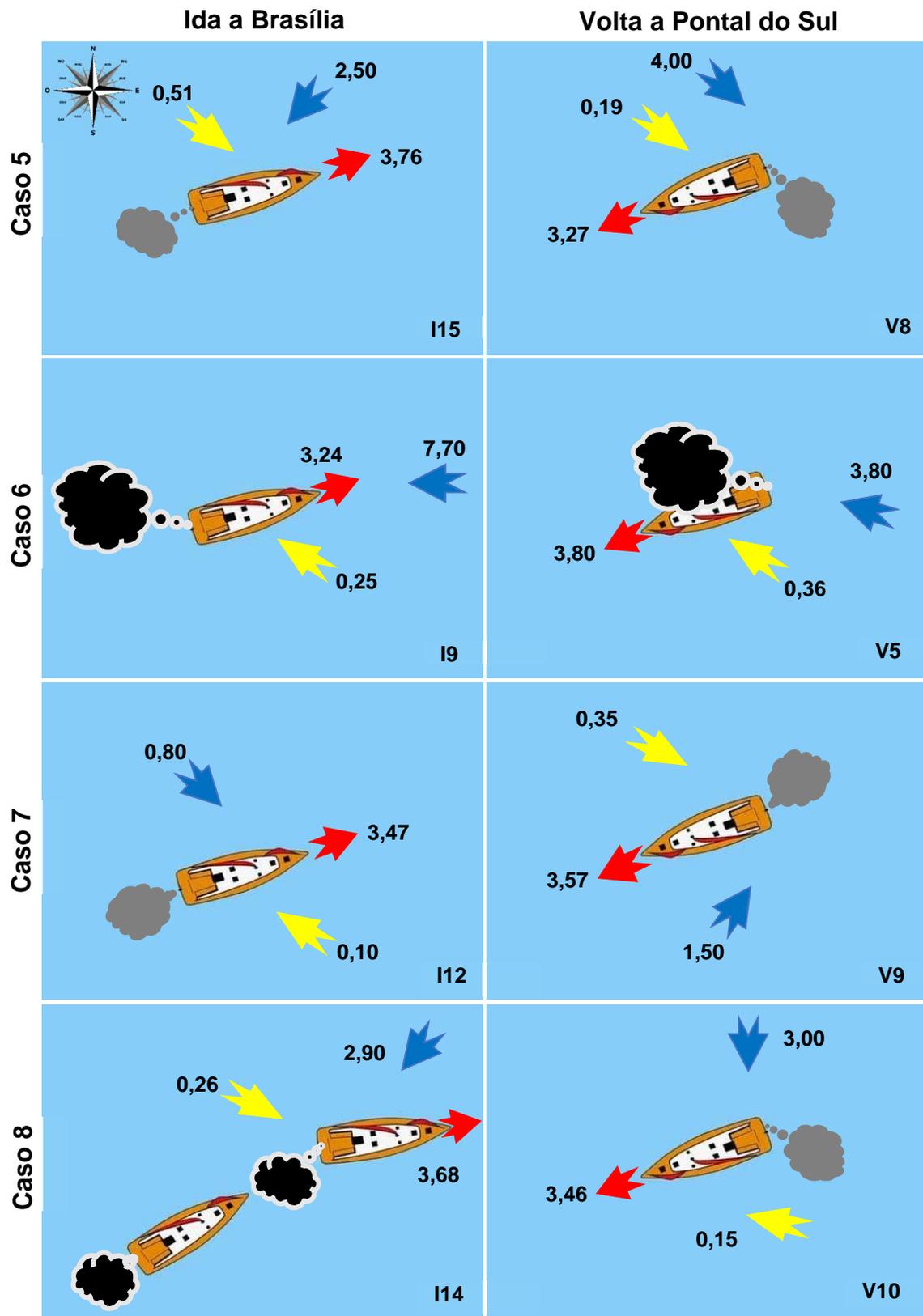
**Tabela 5** – Detalhe das viagens de barco, indicando para cada caso analisado a data, horário, sentido das viagens (PS: Pontal do Sul; B: Brasília), códigos das viagens e dos barcos, potência do barco, força de deslocamento do barco, velocidade do barco, corrente de maré e vento, concentrações de BC.

Caso	Data	Horário	Sentido	Código Viagem	Código Barco	Potência Motor (hp)	Força (kN)	Vel. Média Barco (m s <sup>-1</sup> )	Vel. Maré (m s <sup>-1</sup> )	Vel. Vento (m s <sup>-1</sup> )	BC Mediana (µg m <sup>-3</sup> )	BC Média (µg m <sup>-3</sup> )
1	08-02-2015	16:30:20	PS - B	I3	B1	130	32,43	2,99	0,36	5,3	17,78	19,67
		17:06:50										
	17:50:40	B - PS	V2									
08-02-2015	18:21:40											
2	08-02-2015	10:31:00	PS - B	I5	B2	115	23,57	3,64	0,28	0,6	0,66	1,33
		11:05:40										
	10-02-2015	B - PS	V7				23,12	3,71	0,41	1,5	0,26	0,22
09:29:10	10:00:10											
3	12-02-2015	09:32:00	PS - B	I13	B3	250	45,16	4,13	0,07	1,0	1,03	1,10
		09:58:30										
	09-02-2015	B - PS	V4				44,51	4,19	0,23	1,6	0,41	2,64
14:28:30	14:59:00											
4	09-02-2015	15:29:20	PS - B	I7	B4	229	45,80	3,73	0,31	3,7	0,54	0,67
		16:01:40										
	09-02-2015	B - PS	V6				44,03	3,88	0,18	1,6	0,48	1,59
13:58:20	14:30:00											

Caso	Data	Horário	Sentido	Código Viagem	Código Barco	Potência Motor (hp)	Força (kN)	Vel. Média Barco (m s <sup>-1</sup> )	Vel. Maré (m s <sup>-1</sup> )	Vel. Vento (m s <sup>-1</sup> )	BC Mediana (µg m <sup>-3</sup> )	BC Média (µg m <sup>-3</sup> )	
5	12-02-2015	11:57:00	PS - B	I15	B4	229	45,43	3,76	0,51	2,50	0,62	0,65	
		12:32:00											
	10-02-2015	11:30:00	B - PS	V8			52,24	3,27	0,19	4,00	0,49	0,54	
		12:02:30											
6	09-02-2015	18:00:00	PS - B	I9	B5	-----	-----	3,24	0,25	7,70	13,34	12,60	
		18:35:30											
	09-02-2015	16:26:30	B - PS	V5			-----	-----	3,80	0,36	3,80	39,02	201,58
		16:58:00											
7	10-02-2015	13:03:00	PS - B	I12	B6	220	47,30	3,47	0,10	0,80	1,68	1,82	
		13:35:00											
	10-02-2015	08:58:00	B - PS	V9			45,97	3,57	0,35	1,50	2,74	2,93	
09:31:40													
8	12-02-2015	11:02:10	PS - B	I14	B7	115	23,31	3,68	0,26	2,90	9,04	9,81	
		11:33:20											
	12-02-2015	08:30:00	B - PS	V10			24,79	3,46	0,15	3,00	0,32	0,45	
09:01:40													



**Figura 20** – Componentes vetoriais para as viagens realizadas pelos mesmos barcos, expressos em  $m s^{-1}$ . Direção das viagens (setas vermelhas), direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu g m^{-3}$ ) e a cinza indica menores concentrações. **Fonte:** Autoria própria.



**Figura 21** (Continuação) – Componentes vetoriais para as viagens realizadas pelos mesmos barcos, expressos em  $\text{m s}^{-1}$ . Direção das viagens (setas vermelhas), direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e a cinza indica menores concentrações. **Fonte:** Autoria própria.

A seguir, são analisados os casos representados na Figura 20 relacionando as características técnicas dos barcos antes citadas e as anotações realizadas, com os fatores externos medidos e calculados para o período de estudo, visando entender como estas variáveis influenciam os níveis de poluição de BC monitorados.

**Caso 1:** O caso 1 abrange as viagens I3 e V2 que foram realizados o mesmo dia no barco B1. Destacam-se as altas concentrações (média e mediana) na viagem de volta, que foram muito superiores as da viagem de ida. A força experimentada pelo barco na ida foi um pouco maior que na volta, e com velocidade de deslocamento um pouco menor. Isto poderia ser explicado pela maior velocidade da corrente de maré na ida que na volta ( $0,36 \text{ m s}^{-1}$  vs  $0,25 \text{ m s}^{-1}$ ), e também pelo vento forte de leste que poderiam ter gerado uma maior resistência ao deslocamento do barco na ida (Figura 20 - I3). O vento leste com velocidade alta ( $7,0 \text{ m s}^{-1}$ ) ajudou na dispersão dos poluentes para dentro da cabine (Figura 20 - V2). No caso da viagem I3, a velocidade do vento ( $5,3 \text{ m s}^{-1}$ ) também foi um 44 % maior que a velocidade de deslocamento do barco, com direção favorável para a dispersão de poluentes (Figura 20 - I3). Este barco tem uma capacidade de transporte de até 86 passageiros, foi fabricado no ano 2000 e utiliza como combustível óleo diesel comum. Na viagem de volta se registrou uma alta quantidade de passageiros (76 pessoas).

**Caso 2:** O caso 2 abrange as viagens I5 e V7, realizadas em dias diferentes pelo barco B2. A viagem de ida (I5) apresentou maiores concentrações que a viagem de volta (V7). Também a força de deslocamento desta viagem alcançou um valor um pouco maior que a viagem de volta (Tabela 5a). O barco na viagem de ida muda um pouco sua trajetória (Figura 20 - I5), podendo a corrente de maré gerar uma maior resistência a viagem devido à nova posição do barco. As maiores concentrações registradas na viagem I5, podem ser devidas à direção do vento, que foi menos favorável para a dispersão de poluentes e apresentou uma velocidade de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$ , que na viagem de volta (Figura 20 - V7), com uma velocidade de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ . Este barco tem uma capacidade de transporte de até 60 passageiros, foi fabricado no ano 2006 e utiliza como combustível diesel marítimo. Sem registo de número de passageiros transportados na ida ou volta.

**Caso 3:** O caso 3 abrange as viagens I13 e V4, realizados em distintos dias pelo barco B3. A viagem de ida (I13) apresentou maiores concentrações para a mediana, mas, a

viagem de volta (V4) apresentou maiores concentrações para a média. A força de deslocamento da viagem de ida alcançou um valor um pouco maior que a viagem de volta (Tabela 5a), isto, se pode dever a vento com direção favorável para a navegação, gerando uma menor resistência na viagem. A maior concentração média para a viagem V4, pode ser devida à velocidade do vento ( $1,5 \text{ m s}^{-1}$ ) e sua direção, levando os poluentes dentro da cabina do barco. Este barco tem uma capacidade de transporte de até 90 passageiros, foi fabricado no ano 1998. Sem registo de tipo de combustível. Na viagem de volta se registrou um total de 24 passageiros mais 2 tripulantes.

**Caso 4:** O caso 4 abrange as viagens I7 e V6, realizadas o mesmo dia pelo barco B4. A viagem de volta (V6) apresentou maiores concentrações para a média, mas, a viagem de ida (I7) apresentou maiores concentrações para a mediana. A força de deslocamento foi maior para a viagem I7, possivelmente devido à direção do vento e à corrente de maré, as quais geram certa resistência à viagem (Figura 20 – I7). Também é importante salientar que a velocidade do vento ( $3,7 \text{ m s}^{-1}$ ) para a viagem I7, apresentou um valor quase similar à velocidade do barco ( $3,73 \text{ m s}^{-1}$ ), favorecendo a dispersão de poluentes. Este barco tem uma capacidade de transporte de até 94 passageiros, foi fabricado no ano 1995 e utiliza como combustível óleo diesel comum. Sem registo de número de passageiros a bordo.

**Caso 5:** O caso 5 abrange as viagens I15 e V8, realizadas em dias distintos pelo barco B4. A viagem de ida (I15) apresentou maiores concentrações, tanto para média e mediana que a viagem de volta (V8). A força de deslocamento desta viagem alcançou um valor maior para a viagem de volta (Tabela 5b). As maiores concentrações registradas na viagem I15 podem ser devidas à presença de outros barcos navegando próximo ao barco de estudo. Este barco tem uma capacidade de transporte de até 94 passageiros, foi fabricado no ano 1995 e utiliza como combustível óleo diesel comum. Sem registo de número de passageiros a bordo.

**Caso 6:** O caso 6 abrange as viagens I9 e V5, realizadas em distintos dias pelo barco B5. A viagem de ida (I9) apresentou menores concentrações para a mediana e média que a viagem de volta (V5). A força de deslocamento não foi calculada devido a que não se contava com dato da potência do barco. A viagem de ida apresentou condições desfavoráveis em relação com os vetores velocidade do vento e corrente de maré, o que poderia aumentar a resistência à viagem. A maior concentração média registrada na viagem V5 pode ser devida a uma alta velocidade do vento ( $3,8 \text{ m s}^{-1}$ ) e soprando em direção à cabine após passar pelo escapamento. Além disso, a velocidade do

barco é a mesma que a do vento, impossibilitando a dispersão da fumaça. Este barco tem uma capacidade de transporte de até 88 passageiros, foi fabricado no ano 1993. Sem registo de tipo de combustível. Na viagem de ida registrou um total de 64 passageiros mais dois tripulantes e na viagem de volta foram 45 passageiros a bordo.

**Caso 7:** O caso 7 abrange as viagens I12 e V9, realizadas no mesmo dia pelo barco B6. A viagem de volta (V9) apresentou maiores concentrações para a mediana e média. A força de deslocamento alcançou um valor maior para a viagem de ida (Tabela 5b), com menor velocidade de deslocamento, e possivelmente influenciada por baixos valores da corrente de maré y de velocidade do vento em comparação a viagem de volta. As maiores concentrações registradas na viagem V9, podem ser devidas à presença de outros barcos navegando próximo ao barco de estudo. Este barco tem uma capacidade de transporte de até 86 passageiros, foi fabricado no ano 1994 e utiliza como combustível óleo diesel comum. Sem registo de número de passageiros a bordo.

**Caso 8:** O caso 8 abrange as viagens I14 e V10, realizadas no mesmo dia pelo barco B7. A viagem de ida (I14) apresentou maiores concentrações para a mediana e média. A força de deslocamento alcançou um valor maior para a viagem de volta (Tabela 5b), possivelmente devido à passagem de um navio cargueiro próximo do barco as 11:11 horas. O barco tem uma capacidade de transporte de até 56 passageiros, foi fabricado no ano 2012 e utiliza como combustível óleo diesel comum. Sem registo de número de passageiros a bordo na volta; na ida foram 57 passageiros mais dois tripulantes.

No caso dos combustíveis utilizados, o óleo diesel marítimo (ODM) possui uma concentração de enxofre que pode chegar até 5.000 mg/kg e o óleo diesel comum é comercializado como S10 e S500, conforme o seu teor máximo de enxofre. O diesel S10 apresenta no máximo 10 mg/kg de enxofre e o S500 até 500 mg/kg (Petrobras, 2014; Resolução ANP Nº 50/2013; RANP 52, 2010). DAMASCENO *et al.* (2015) analisaram amostras de S10, S500 e ODM na cidade de Natal, e relataram teores de enxofre de 7, 250 e 905 mg/kg respectivamente.

O teor de enxofre é reconhecido mundialmente como indicador do tipo de óleo diesel e da boa qualidade do produto (quanto menor o teor de enxofre, menor a emissão de poluentes particulados). A presença de enxofre no combustível reduz a vida útil do motor e aumenta as emissões de óxidos de enxofre. Além disso, o enxofre pode aumentar as emissões de material particulado, devido à presença de sulfatos

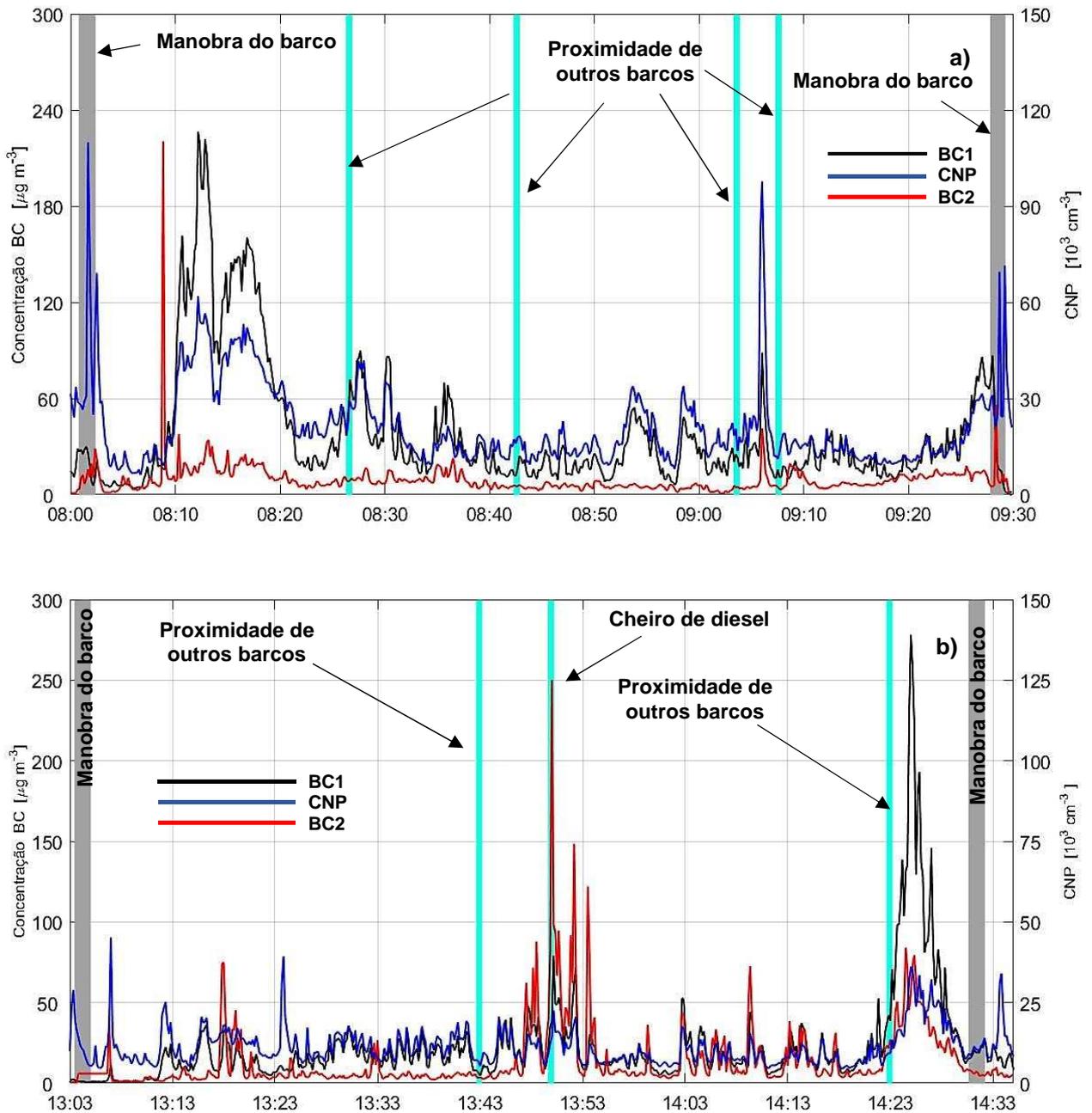
(Petrobras, 2018). Da análise de casos, só o barco B2 (I5 – V7) utilizou como combustível óleo diesel marítimo, onde não se registaram maiores concentrações de BC.

As datas de fabricação dos barcos variam entre 1985 e 2014 (Apêndice A – Tabela A1), e não foi possível estabelecer uma relação clara entre idade dos barcos e nível das concentrações medidas a bordo (Figuras A1 e A2, Apêndice A). Isto se deve a influência de outros fatores como frequência de manutenção, tipo de combustível, e resistência à viagem por fenômenos naturais. As maiores concentrações corresponderam ao barco B1 (15 anos) nas viagens V2 e I3, seguidas pelo barco B5 (22 anos) nas viagens V5 e I9, e o barco B7 (3 anos) na viagem I14. As concentrações a bordo do barco mais antigo (B13, 30 anos) ocuparam a quinta posição dentre os mais poluidores (viagens I2 e I11). O barco mais novo (B12, 1 ano) apresentou a terceira menor concentração média do trajeto de ida e a segunda concentração mais baixa do trajeto de volta (viagens I8, I10 e V15).

#### 4.2.2 Viagem Ilha do Mel – Paranaguá (Ida e Volta)

Durante o período de estudo, também foram realizadas viagens que abrangem outros trajetos, como a viagem ida e volta Ilha do Mel até Paranaguá com duração de 01h30, com monitoramento simultâneo de dois Microaetalômetros AE51 e um CPC 3007. Estes equipamentos foram levados pelos pesquisadores em assentos diferentes dentro do barco nas viagens de ida e volta; um Microaetalômetro e um CPC foram levados em um assento que fica mais perto da cabine (BC1 - CNP) e um Microaetalômetro (BC2) foi levado na parte detrás, mais próximo do escapamento do barco.

A Figura 21a ilustra as séries temporais de BC e CNP no trajeto Ilha do mel (Brasília) até Paranaguá no dia 11/02/2015.



**Figura 22** – Série temporal das concentrações de BC1, CNP e BC2 medidas na viagem (a) Brasília – Paranaguá (08:00 – 09:30) e (b) Paranaguá – Brasília (13:03 – 14:35) no dia 11/02/2015. A área cinza corresponde aos horários em que foram realizadas manobras pelo barco. A área turquesa corresponde aos instantes em que se aproximaram outros barcos e se percebeu cheiro a diesel. **Fonte:** Autoria própria.

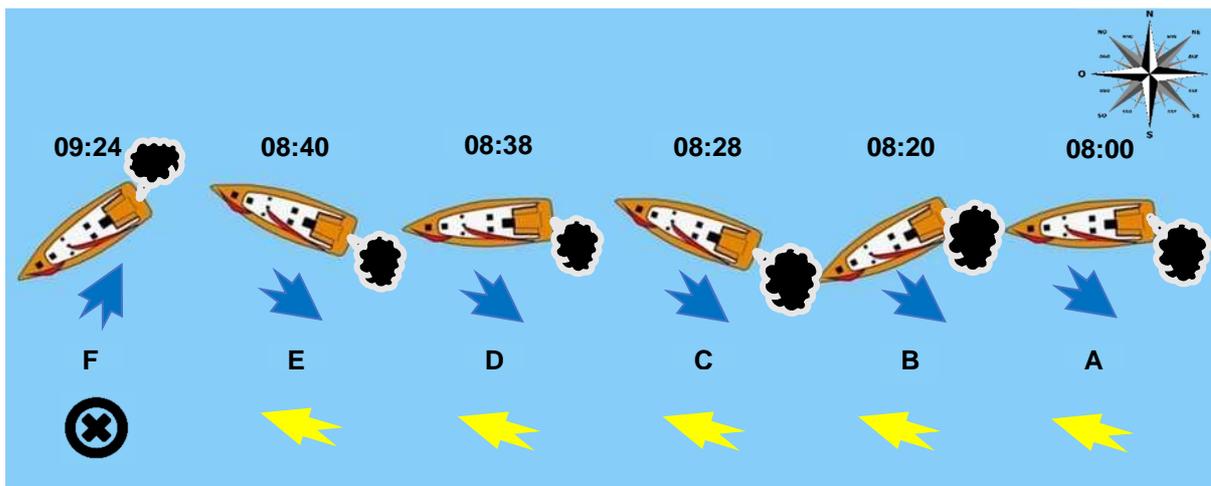
A viagem iniciou às 08:00 horas, no trapiche de Brasília, com concentrações de BC relativamente baixas para ambos os equipamentos e CNP altas com um pico máximo de  $1,1 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . A área cinza destacada no início da viagem corresponde ao período de manobras do barco para sair do trapiche.

Os altos valores de CNP registrados no início da viagem poderiam ser explicados por emissões de outros barcos próximos, labores de manobra e à ignição de seus motores. As concentrações de BC começaram a subir às 08:09:30 horas registrando um pico de  $220,40 \mu\text{g m}^{-3}$  para o Microaetalômetro (BC2; mais próximo do escapamento do barco). Às 08:12:50 horas houve um aumento das concentrações para BC1 e CNP com valores de  $226,53 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $61,86 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ , respectivamente. As áreas marcadas com azul claro correspondem à proximidade de outros barcos. Ao chegar no trapiche de Paranaguá, as CNP aumentaram durante as manobras. A localização do assento do passageiro dentro do barco influencia no monitoramento. Por exemplo, Velasco et al. (2013) relataram que os passageiros que ficam mais próximos ao motor estão expostos a concentrações maiores de BC ( $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ ) de curta duração (alguns segundos). Porém, em outros lugares do barco se registraram concentrações menores ( $200 \mu\text{g m}^{-3}$ ) com frequências de duração maior (2-10 min).

Neste estudo, chama a atenção que o Microaetalômetro (BC2) que estava mais próximo do escapamento do barco registrou uma menor concentração média ( $9,21 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e mediana ( $7,19 \mu\text{g m}^{-3}$ ) em comparação com o outro equipamento BC1 (média de  $37,68 \mu\text{g m}^{-3}$  e mediana de  $23,04 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Os valores médios e medianos de CNP foram  $21,48 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$  e  $17,06 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ , respectivamente.

A viagem de ida para Paranaguá foi caracterizada pela presença da brisa terrestre durante todo o trajeto, com vento de NO até SO e velocidade do vento de  $2,4 \text{ m s}^{-1}$  na primeira hora de viagem que depois diminui até  $0,8 \text{ m s}^{-1}$  (última meia hora da viagem), isto segundo a informação da estação meteorológica – A847. A Estação – 83844, localizada em Paranaguá registrou ventos de SO até NE com velocidades de  $1,02 \text{ m s}^{-1}$  na primeira hora de viagem que depois diminui até  $0,85 \text{ m s}^{-1}$  (última meia hora da viagem). A diferença de direção e velocidade do vento entre as estações poderia ser explicada pela localização da estação de Paranaguá, que está dentro da cidade, e a presença de prédios e árvores poderia gerar atrito.

O barco muda a posição enquanto percorre o trajeto, distinguindo-se 6 tipos de movimentos, representados pelas letras A até a F. O trajeto percorrido no Canal de Galheta (A-E) apresentou uma velocidade da corrente de maré de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ . Posteriormente, o barco ingressa pelo Canal da Cotinga (Figura 4), do qual não há informação disponível para calcular as correntes existentes na região. Por isso, é representada por o símbolo “X” na Figura 22.



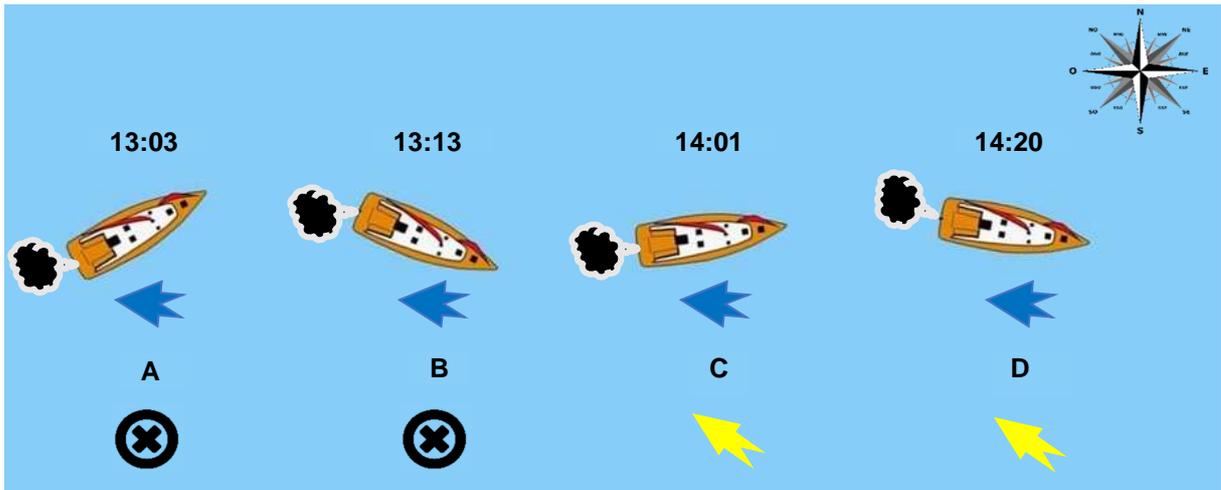
**Figura 23** – Componentes vetoriais para a viagem Brasília - Paranaguá no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. Direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). Símbolo X (Navegação pelo Canal da Cotinga). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Fonte: Autoria própria.

A análise espacial para as medianas das concentrações de BC1 e CNP medidas dentro do mesmo barco para a viagem de ida a Paranaguá é apresentada nas Figuras E1-E2 (Apêndice E). As maiores concentrações são observadas durante a navegação pelo Canal de Galheta, possivelmente devido à resistência ao deslocamento produto das correntes de maré, e também a presença de outros barcos durante a viagem.

A Figura 21b apresenta as concentrações medidas durante a viagem Paranaguá – Brasília (Ilha do Mel), onde o máximo de BC ( $250,04 \mu\text{g m}^{-3}$ ) se registrou às 13:49 horas para o Microaetalômetro (BC2), associado a um forte cheiro de combustível.

O Microaetalômetro (BC1) registrou um máximo de  $278,10 \mu\text{g m}^{-3}$  às 14:26 horas, possivelmente devido à passagem de um barco próximo do barco onde se realizavam as medições. A CNP alcançou um máximo de  $45,13 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$  às 13:07 horas. As áreas cinza da figura indicam o período de manobras realizadas pelo barco, porém sem registrar altas CNP.

A viagem de volta foi caracterizada pela presença da brisa marinha durante todo o trajeto, com velocidades de  $2,7 \text{ m s}^{-1}$  na primeira hora de viagem que depois aumentou até  $3,5 \text{ m s}^{-1}$  (última meia hora da viagem), isto segundo a informação da estação meteorológica – A847. A Estação – 83844 de Paranaguá registrou ventos de leste com velocidade de  $3,18 \text{ m s}^{-1}$  na primeira hora de viagem que depois aumentou até  $3,60 \text{ m s}^{-1}$  (última meia hora da viagem).



**Figura 24** – Componentes vetoriais para a viagem Paranaguá – Brasília no dia 11/02/2015, 13:03-14:35. X: indica navegação pelo Canal da Cotinga. Direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça preta indica que a concentração média da viagem foi superior à concentração média das viagens de ida ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Fonte: Autoria própria.

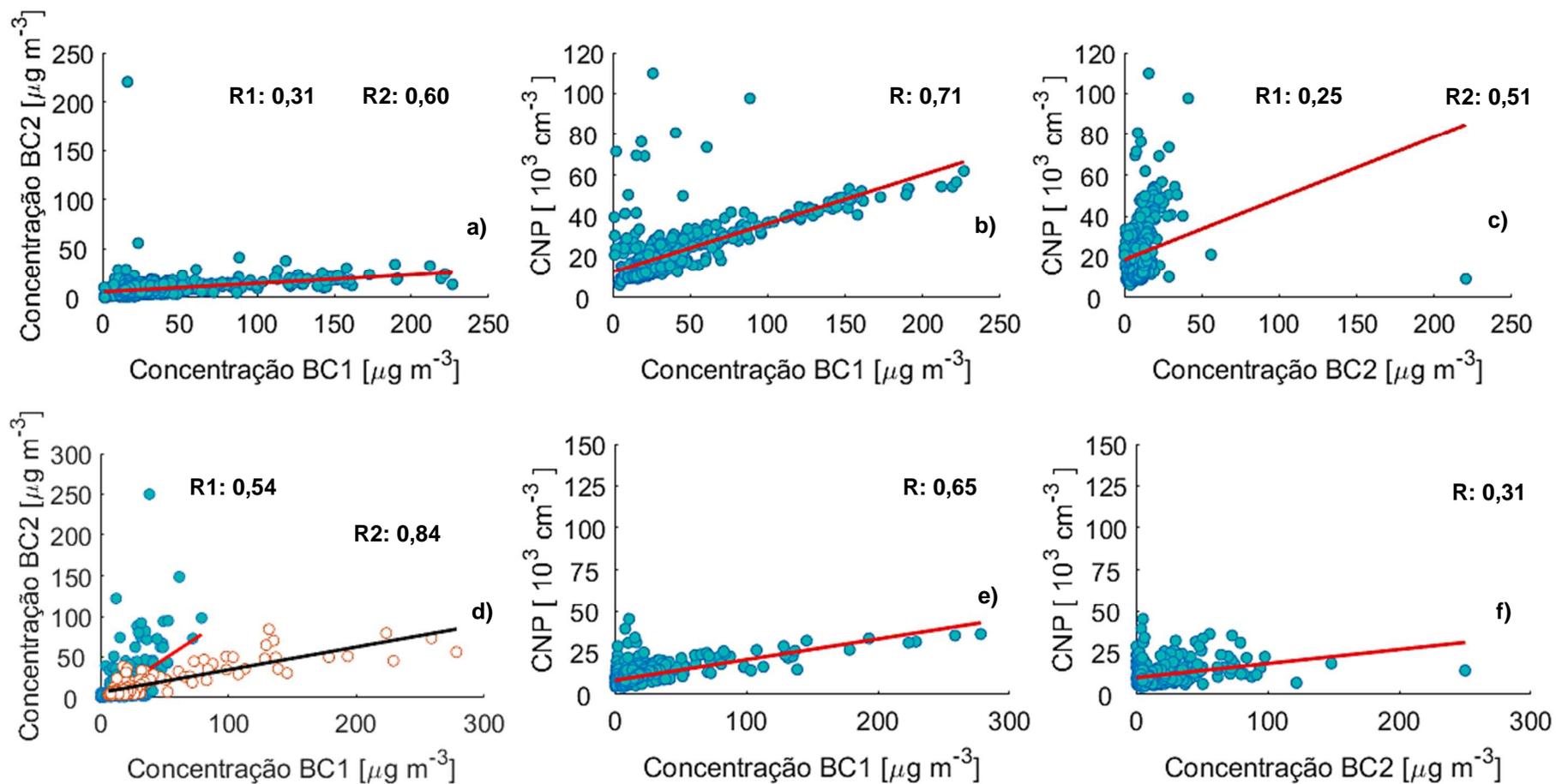
Também para esta viagem o barco muda a posição ao longo do percurso (A-D). No trajeto percorrido no Canal de Cotinga (A-B) não há informação para calcular as correntes existentes na zona, por isso é representada por o símbolo “X” (Figura 23). Posteriormente, o barco entra pelo Canal de Galheta (C-D) com uma velocidade da corrente de maré de  $0,09 \text{ m s}^{-1}$ . A mudança de posição do barco durante o trajeto pode ter contribuído com a variabilidade das concentrações, pela influência da direção e velocidade do vento que podem levar os poluentes dentro da cabine do barco. A entrada dos poluentes no barco é facilitada pelas janelas abertas que estão localizadas próximo do escapamento (Figura 24).



**Figura 25** – Embarcações que vão para Ilha do Mel. Fonte: Registro fotográfico próprio.

A Figura 25 apresenta a correlação linear de Pearson entre as concentrações de BC1, BC2 e CNP para a viagem realizada entre Brasília - Paranaguá (Figuras 25 a-c). A correlação é fraca entre o BC1 e BC2 (coeficiente de correlação linear  $R_1=0,31$ , Figura 25 - a), é desprezível para BC2 e CNP (coeficiente de correlação linear  $R_1=0,25$ , Figura 25c), isto se pode dever à presença de outras fontes de poluição (outros barcos) ou a influência das variáveis meteorológicas, as quais contribuem alterando a relação linear entre os poluentes. Para obter uma melhor relação linear, não se considerou o valor  $> 200 \mu\text{g m}^{-3}$  para BC2 da Figura 25 a- c, obtendo um novo valor de  $R_2$  para cada caso ( $R_2=0,60$  (a) –  $R_2=0,51$  (c)). A Figura 25b apresentou uma moderada relação linear (coeficiente de correlação linear  $R=0,71$ ), isto devido a que ambos equipamentos se encontravam com o pesquisador e uma grande proporção de partículas de BC é submicrométrica.

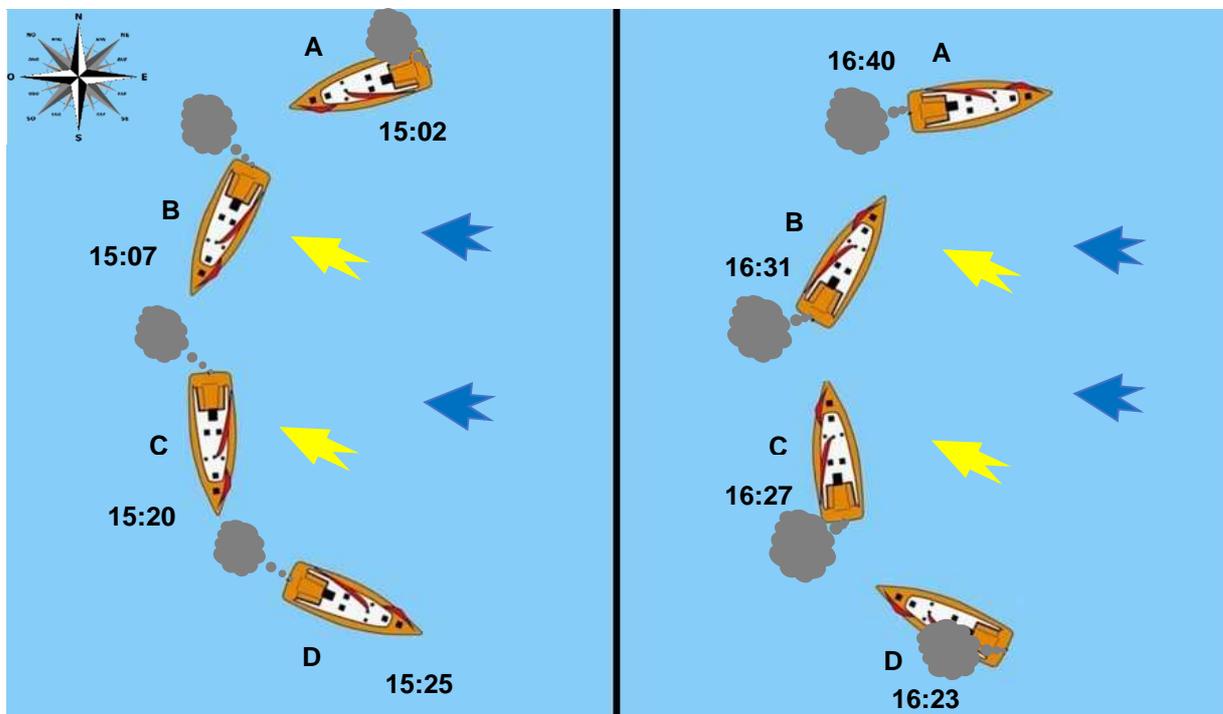
O mesmo padrão de correlação linear fraca-moderada foi observado para a viagem realizada entre Paranaguá e Brasília (Figuras 25d-e). Para o primeiro tramo da viagem (13:03 até 14:13) apresentou uma correlação moderada débil ( $R:0,54$ ) e para o segundo tramo da viagem, apresentou uma correlação moderada ( $R: 0,84$ ). A correlação linear entre BC2 e CNP foi fraca (Figura 25f) pela diferente posição dos instrumentos dentro do barco e a influência das variáveis meteorológicas, que podem alterar a relação linear entre os poluentes.



**Figura 26** – Correlação linear entre as concentrações de BC e CNP para as viagens Brasília-Paranaguá (a,b,c) e Paranaguá – Brasília (d,e,f). R é o coeficiente de correlação linear. Figura a-c, R1 inclui valor  $> 200 \mu\text{m}^{-3}$ . Figura d, R1: Calculado para horário da viagem das 13:03 até 14:13, R2: Calculado para horário da viagem das 14:13 até 14:35 **Fonte:** Autoria própria.

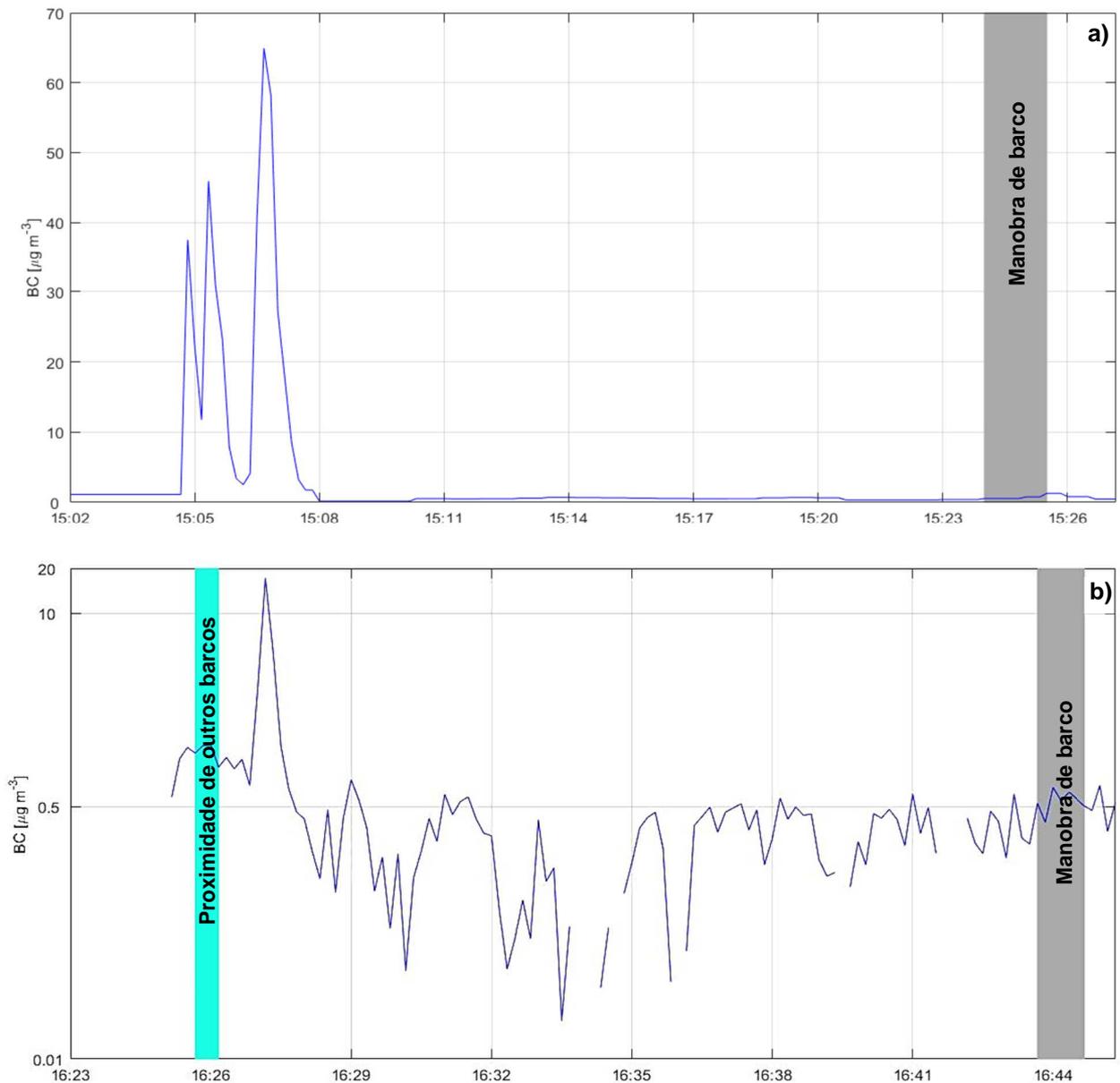
#### 4.2.3 Viagem dentro da Ilha do Mel (Praia Brasília – Praia Encantada)

As viagens foram realizadas por distintos barcos com presença de brisa marinha (leste) durante todo o trajeto e velocidade do vento de  $3,6 \text{ m s}^{-1}$  na ida e  $4,1 \text{ m s}^{-1}$  na volta. O vento de leste pode ter facilitado a dispersão dos poluentes devido à direção de deslocamento do barco (Figura 26), que é totalmente oposto à direção do vento. As menores concentrações da viagem de volta poderiam ser explicadas pela maior velocidade do vento. As velocidades das correntes de maré foram quase similares, com valores de  $0,093$  e  $0,12 \text{ m s}^{-1}$ , para ida e volta respectivamente.



**Figura 27** – Componentes vetoriais para a viagem realizada desde Brasília até Encantadas (a) (15:02 – 15:27) e desde Encantadas até Brasília (b) (16:23 – 16:45) no dia 11/02/2015. Direção dos ventos (setas azuis) e direção das correntes de maré (setas amarelas). A fumaça cinza indica que a concentração média da viagem foi inferior à concentração média das viagens de ida a Ilha do Mel ( $6,58 \mu\text{g m}^{-3}$ ). **Fonte:** Autoria própria.

A Figura 27a apresenta a variação temporal das concentrações de BC para a viagem Brasília - Encantada realizada em 11/02/2015 à tarde com uma duração de 25 minutos e medindo só com um Microaetalômetro AE51. Atingindo um máximo de  $64,92 \mu\text{g m}^{-3}$  às 15:07 horas. Segundo as anotações da viagem, foram registradas manobras chegando ao trapiche de praia Encantadas (área cinza), mas sem aumento de BC. A concentração média da viagem foi de  $3,24 \mu\text{g m}^{-3}$ , com uma mediana de  $0,60 \mu\text{g m}^{-3}$ .



**Figura 27** – Concentração de BC para as viagens do dia 11/02/2015 (a) Brasília – Encantadas (15:02 – 15:27), (b) Encantadas - Brasília (16:23 -16:45). **Fonte:** Autoria própria.

A Figura 27b apresenta a série temporal das concentrações de BC para o trajeto de volta, com concentrações relativamente baixas com um máximo de 17,16  $\mu\text{g m}^{-3}$  às 16:27 horas. Houve barcos navegando próximos ao barco de estudo (área azul claro) e manobras chegando ao trapiche de praia Brasília (área cinza), porém sem aumento de concentrações. A concentração média da viagem foi de 0,63  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com uma mediana de 0,41  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

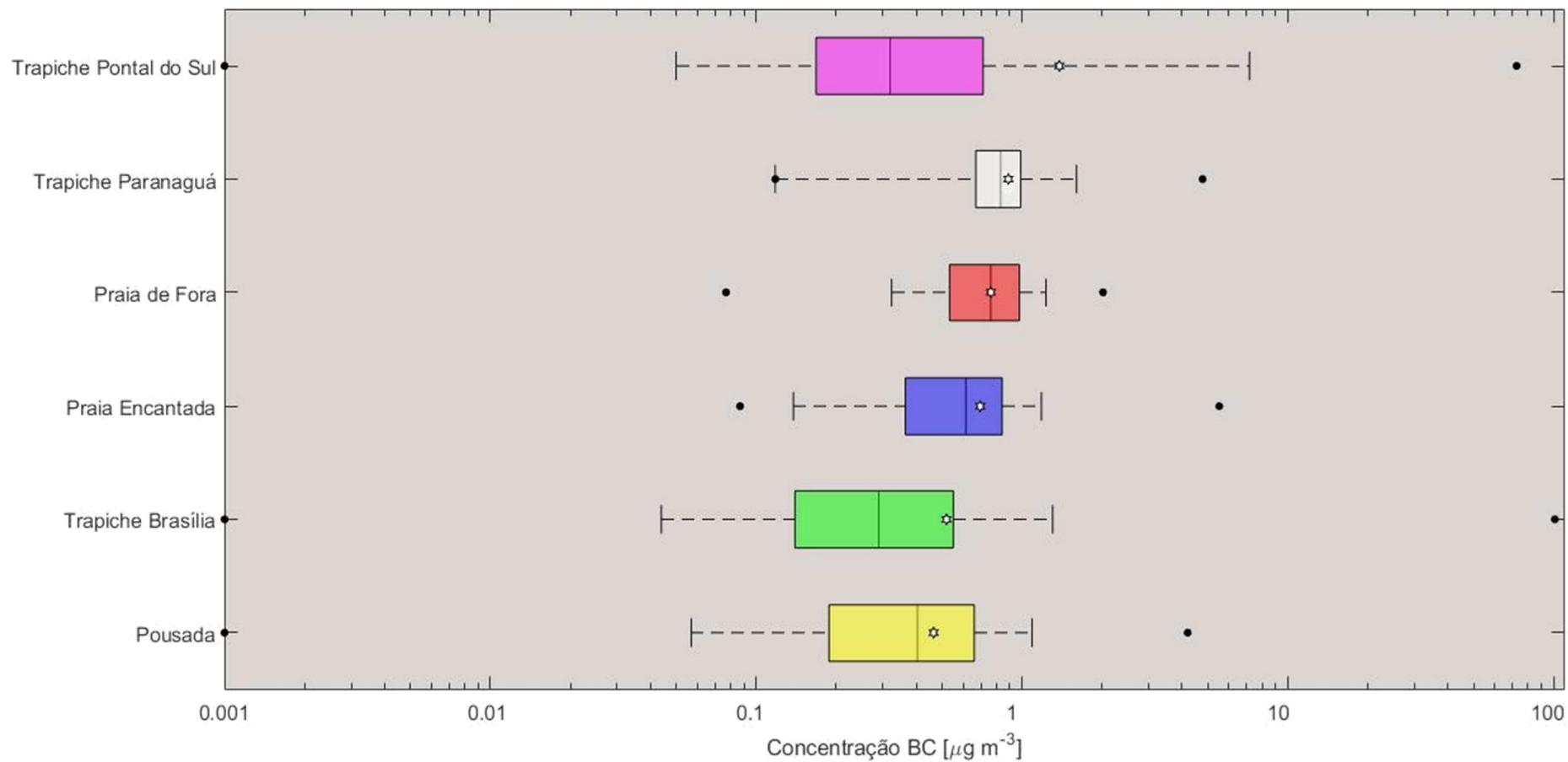
#### 4.3 MONITORAMENTO FIXO

Nesta seção, são apresentados os resultados do monitoramento fixo com coleta nos diversos trapiches (Pontal do Sul, Brasília, Paranaguá e Encantadas), na Praia de Fora e numa pousada em Brasília.

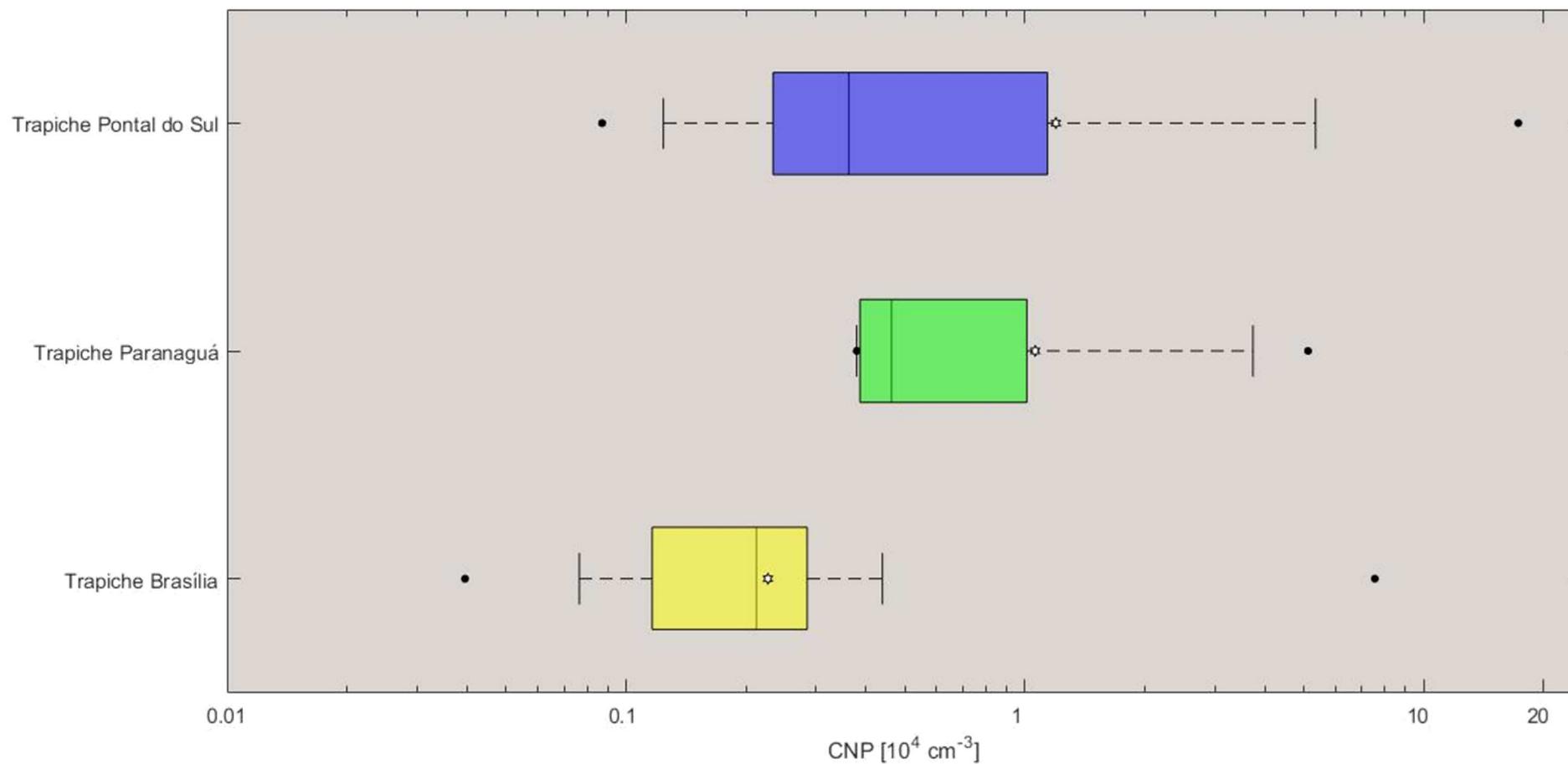
O monitoramento fixo foi realizado no período 08-13/02/2015 com um tempo total de coleta de 10h30 para o trapiche de Pontal do Sul, 24h03 para o trapiche de Brasília, 02h27 para o trapiche de Paranaguá e 00h53 para o trapiche de Encantadas. Na Praia de Fora o tempo de coleta dos dados foi de 4h10 minutos e para a pousada de Ilha de Mel foi de 69h33.

A Figura 28 mostra os *boxplots* das concentrações de BC para todos os locais, com concentrações relativamente baixas em comparação com as registradas no monitoramento móvel. As máximas concentrações foram registradas no trapiche de Brasília e de Pontal de Sul (100,96 e 72,44  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), com uma média de 1,38  $\mu\text{g m}^{-3}$ , para esta última. Os outros locais apresentaram concentrações médias e medianas baixas ( $<1 \mu\text{g m}^{-3}$ ). As menores concentrações foram observadas na praia e pousada, o que é consistente com a proibição de veículos motorizados na Ilha, por tanto, a principal fonte de poluição atmosférica são os barcos. O trapiche de Paranaguá também apresentou concentrações baixas, porém podem existir outras fontes de poluição pela proximidade da cidade de Paranaguá. A mesma situação aplica ao trapiche de Pontal do Sul, já que tem ruas próximas aos pontos de embarques.

A Figura 29 apresenta os *boxplots* das CNP para os trapiches de Brasília, Pontal de Sul e Paranaguá. A concentração máxima foi registrada no trapiche de Pontal de Sul ( $17,27 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ), onde foi registrada uma média de  $1,20 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ . As menores concentrações se registraram no trapiche de Brasília com média de  $0,22 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ .

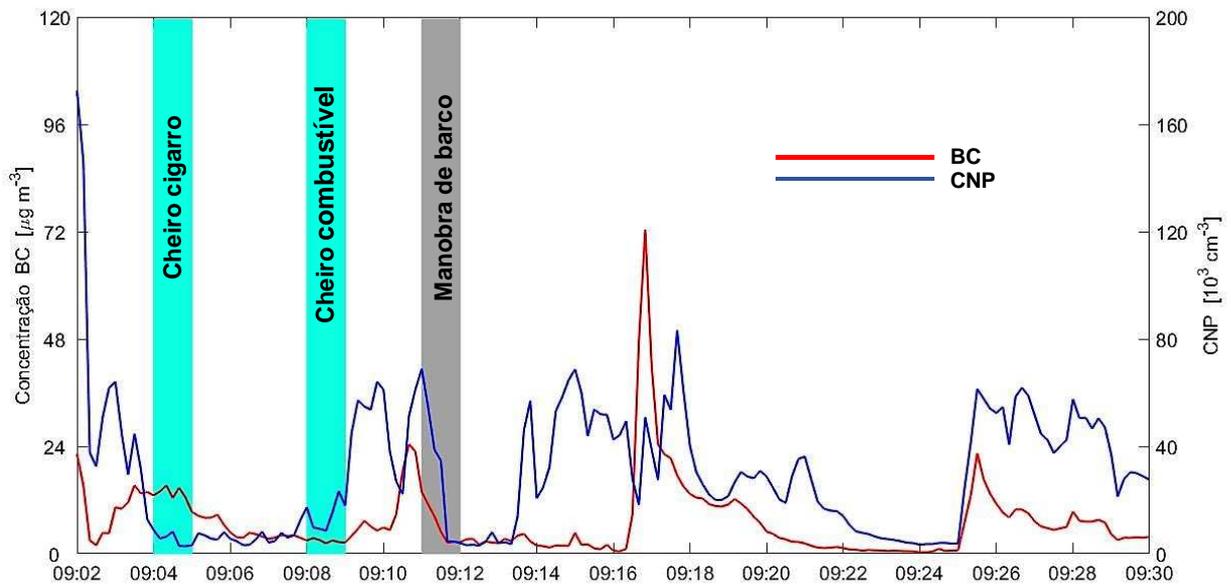


**Figura 29** – *Boxplots* das concentrações de BC para monitoramento fixo no período de estudo. O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. **Fonte:** Autoria própria.



**Figura 30** – *Boxplots* das CNP para monitoramento fixo no período de estudo. O limite das caixas é o intervalo interquartil e os bigodes são os percentis 5 e 95. A linha dentro da caixa é a mediana. Os máximos e mínimos correspondem aos círculos pretos superior e inferior respectivamente, a estrela branca corresponde à média. **Fonte:** Autoria própria.

A Figura 30 exemplifica a variação temporal das concentrações de BC e CNP para a coleta de dados realizada no trapiche de Pontal do Sul no dia 12/02/2015 com uma duração de 28 minutos. As concentrações de BC atingiram um máximo de  $72,44 \mu\text{g m}^{-3}$  às 09:17 e as CNP alcançam um máximo de  $1,72 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  no início da viagem (09:02). Segundo as anotações realizadas, houve cheiro de cigarro e de combustível (área azul – claro) e manobras de barcos chegando ao trapiche de Pontal do Sul (área cinza), mas sem aumento substancial de BC ou CNP.

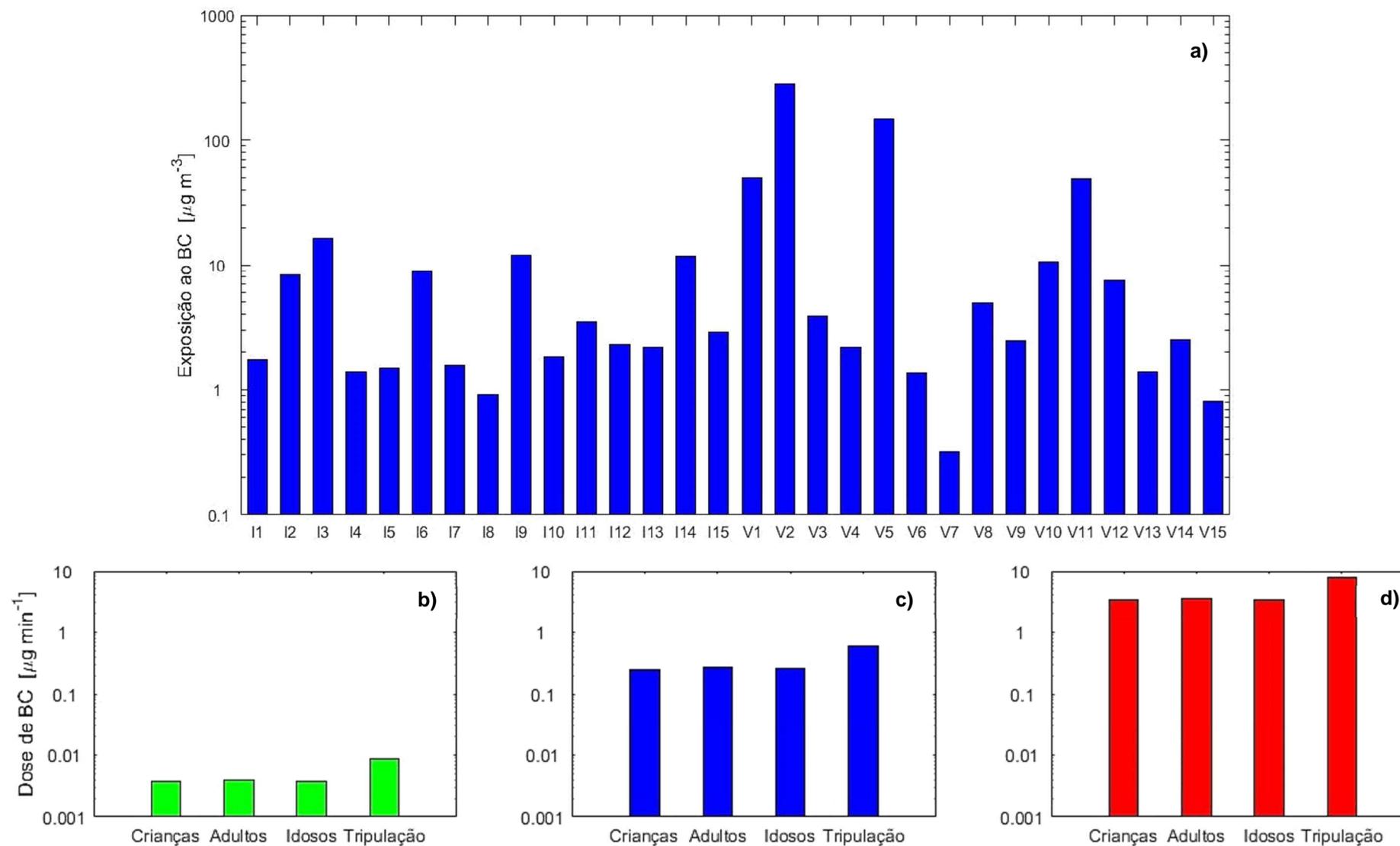


**Figura 32** – Concentrações de BC e CNP no trapiche de Pontal do Sul no dia 12/02/2015, 09:02 - 09:30. **Fonte:** Autoria própria.

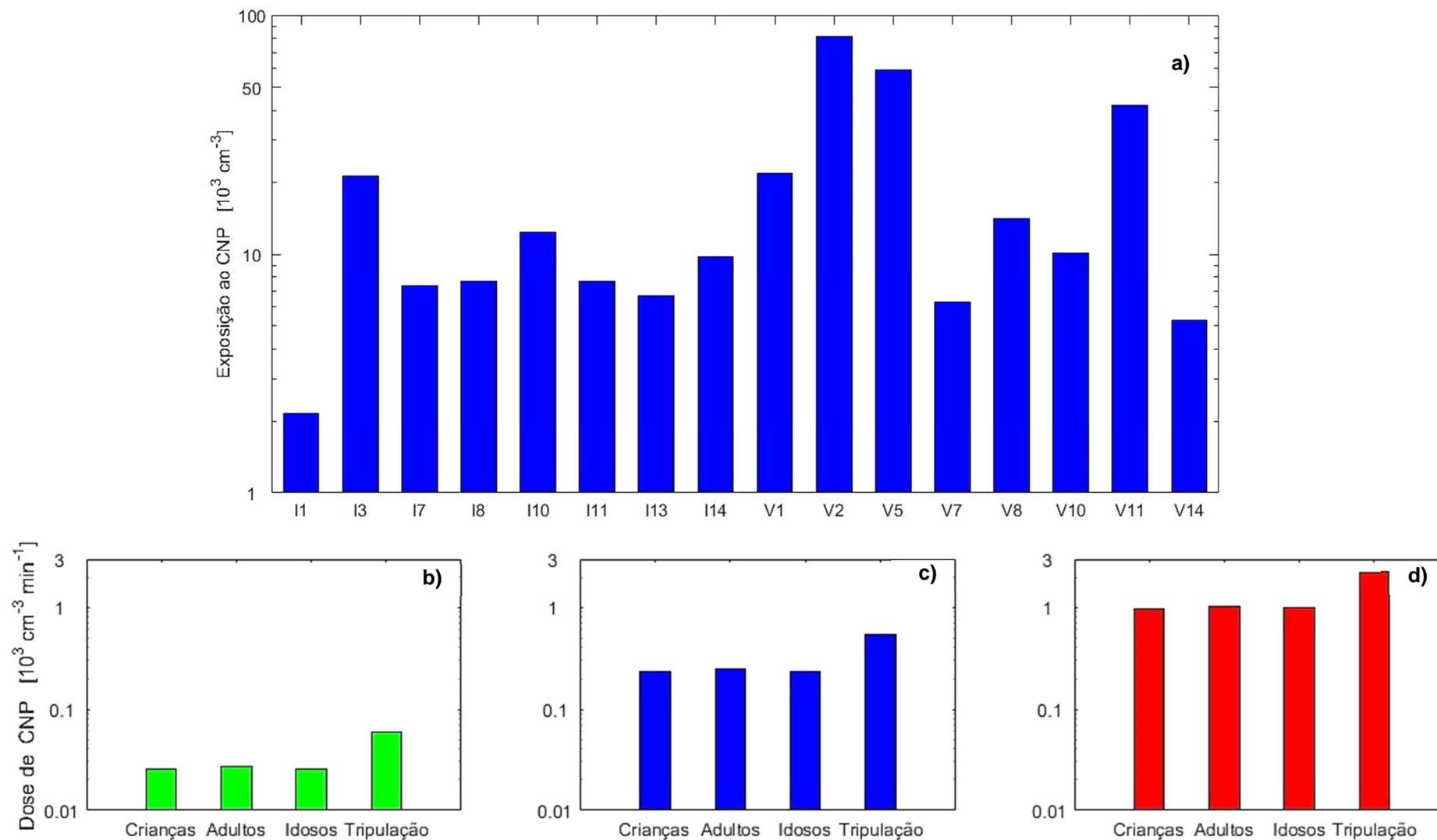
#### 4.4 EXPOSIÇÃO PESSOAL E DOSE

A Figura 31a apresenta a exposição ao BC para as viagens realizadas entre Pontal do Sul e Ilha do Mel (Brasília), ida (I) e (V). Há uma grande variabilidade quanto à exposição. A exposição média total foi de  $16,34 \mu\text{g m}^{-3}$ , sendo a maior exposição para a viagem V2 ( $283,62 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e a menor para a viagem V7 ( $0,32 \mu\text{g m}^{-3}$ ). A Figura 31b apresenta a dose para a viagem V7, com baixos valores de doses para crianças, adultos e idosos, e aumentando para a tripulação já que eles realizam um maior esforço físico ( $8,8 \times 10^{-3} \mu\text{g min}^{-1}$ ). A Figura 31c apresenta a dose média determinada para todas as viagens realizadas no período de estudo, com valores quase similares para crianças, adultos, idosos, variando para a tripulação com um máximo de  $0,59 \mu\text{g min}^{-1}$ . A Figura 31d apresenta a dose determinada para a viagem V2 que foi a mais poluída, com uma dose máxima para a tripulação de  $7,80 \mu\text{g min}^{-1}$ , adultos  $3,55 \mu\text{g min}^{-1}$ , idosos  $3,40 \mu\text{g min}^{-1}$  e crianças  $3,35 \mu\text{g min}^{-1}$ .

A Figura 32a apresenta a exposição ao CNP para as viagens realizadas entre Pontal do Sul e Ilha do Mel (Brasília), também com uma grande variabilidade entre viagens. A exposição média total foi de  $18,70 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ . A viagem V2 apresentou a maior exposição para CNP ( $81,54 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e a viagem I1 a menor exposição ( $2,15 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ ). A Figura 32b apresenta a dose para a viagem I1, com baixos valores de dose para crianças, adultos e idosos e um pouco maior para a tripulação ( $0,059 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ). A Figura 32c apresenta a dose média para CNP para todas as viagens juntas com valores quase similares para crianças, adultos e idosos, e para a tripulação com um máximo atingiu ( $0,54 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ). A Figura 32d apresenta a dose determinada para a viagem mais poluído (V2), com valores para a tripulação de  $2,24 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$  e as outras categorias entre  $0,96$  e  $1,01 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ .



**Figura 31** – (a) Exponção ao BC para todas as viagens. (b) Dose de BC inalada para a viagem V7. (c) Dose de BC média inalada para todas as viagens. (d) Dose de BC inalada para a viagem V2. **Fonte:** Autoria própria.



**Figura 33** – (a) Exponção ao CNP para todas as viagens. (b) Dose de CNP inalada para a viagem I1. (c) Dose de CNP média inalada para todas as viagens. (d) Dose de CNP inalada para a viagem V2. **Fonte:** Autoria própria.

A Figura 33 resume a exposição para BC obtida do monitoramento fixo, com valor máximo no trapiche de Pontal do Sul ( $1,38 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e mínimo na pousada da Ilha do mel ( $0,46 \mu\text{g m}^{-3}$ ). A Tabela 6 apresenta o fator relativo da exposição, tomando como base a exposição na pousada ( $0,46 \mu\text{g m}^{-3}$ ). A viagem V7 apresentou a menor concentração medida neste estudo, mas este valor é descartado já que foi fortemente influenciado pelo vento e também porque apresentou um menor tempo de medição em comparação ao monitoramento da pousada.

A viagem V2 foi 617 vezes mais poluída que a exposição média na pousada. Também a exposição média de todas as viagens de ida e volta apresentou um maior fator relativo que as viagens de Ida para Ilha do Mel, e a exposição média total de todas as viagens de barco foi 36 vezes maior que a exposição média na pousada. Só a viagem V7 apresentou um valor de exposição menor que o da pousada, devido a presença de vento favorável para a dispersão de poluentes.

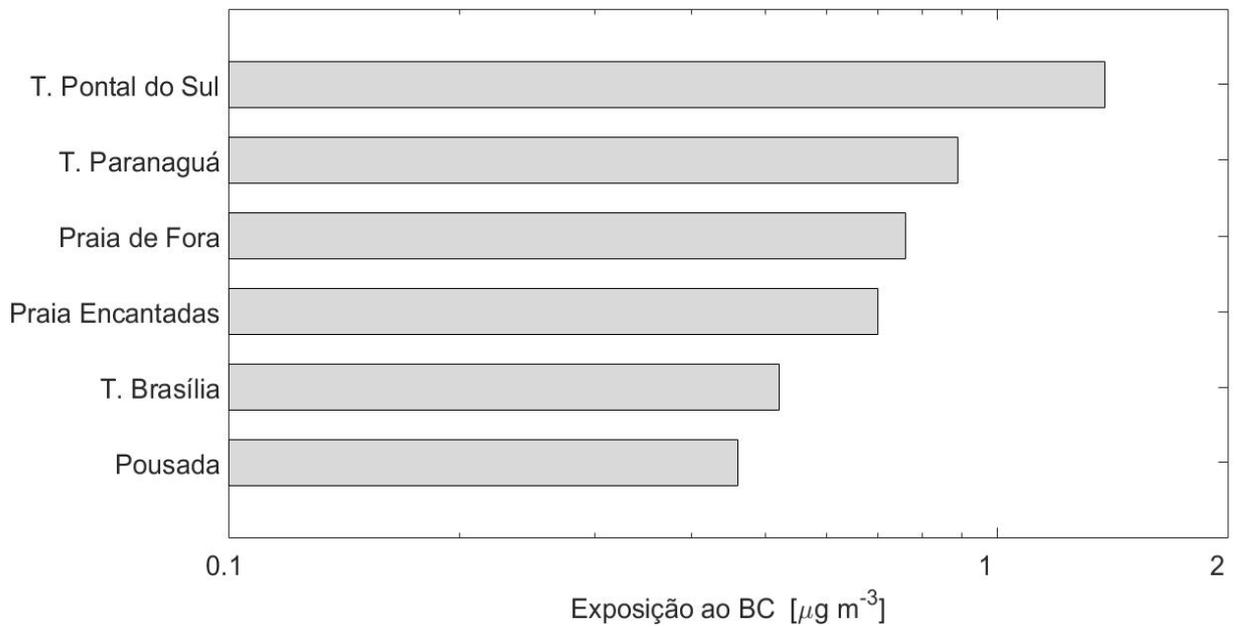
**Tabela 6** – Fator relativo de exposição para BC medido neste estudo.

Microambiente	Exposição média ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Fator relativo de exposição
Viagem V7	0,32	0,7
Ida a Ilha do Mel (Brasília)	5,43	12,0
Média das viagens	16,34	36,0
Volta a Pontal do Sul	27,24	59,0
Viagem V2	283,62	617,0

As exposições pessoais para BC apresentadas neste trabalho são bem superiores as apresentadas em outros estudos, considerando o valor máximo, e em alguns casos o valor médio (valor máximo  $283,62 \mu\text{g m}^{-3}$ , médio  $16,34 \mu\text{g m}^{-3}$ , mínimo  $0,32 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Por exemplo, CARVALHO *et al.* (2018) determinaram a exposição pessoal ao BC para casais em diferentes microambientes e acharam uma exposição máxima de  $8,35 \mu\text{g m}^{-3}$  e dose de  $0,097 \mu\text{g min}^{-1}$  para o microambiente transporte.

RODES *et al.* (1998) mediram a exposição pessoal dentro de carros com uma média de  $6,0 \mu\text{g m}^{-3}$  na zona urbana de Califórnia e  $4,0 \mu\text{g m}^{-3}$  viajando para outro estado. SABIN *et al.* (2005a; 2005b) mediram os níveis de BC dentro de ônibus escolares na cidade dos Angeles, com valores que variam entre  $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$  e

$19 \mu\text{g m}^{-3}$ . BIZJAK e TURSIC (1998) mediram concentrações de BC entre  $10$  e  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  em ônibus que utilizam combustível diesel, e entre  $5$  e  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  para ônibus movidos a gás natural.



**Figura 34** – Exposição ao BC para o monitoramento fixo. **Fonte:** Autoria própria.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo é considerado pioneiro no Brasil, já que pela primeira vez foram medidos poluentes atmosféricos dentro de barcos para o transporte de passageiros que se deslocam no litoral de Paraná, mais especificamente entre os trajetos de Pontal do Sul e Paranaguá até Ilha do Mel (Brasília – Encantadas). Além disso, foram realizados monitoramentos fixos nos trapiches, praia e uma pousada em Ilha do Mel. Determinou-se a exposição e dose pessoal que experimentaram os passageiros e tripulação, alertados pelos altos valores registrados quando são comparados com outros meios de transporte.

Os resultados deste estudo evidenciaram uma grande variabilidade espacial nas concentrações de BC e CNP, onde o valor médio para o trajeto de ida a Ilha do Mel foi de  $5,43 \mu\text{g m}^{-3}$  e para o trajeto de volta foi de  $27,25 \mu\text{g m}^{-3}$ . Pode-se apreciar que as maiores concentrações para BC foram registradas na volta a Pontal do Sul, com valores de  $283,63 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $148,32 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $49,94 \mu\text{g m}^{-3}$ , para as viagens V2, V5 e V11, respectivamente. Neste mesmo trajeto, se registraram os valores máximos das concentrações pontuais para estas mesmas viagens, com valores de  $1.389,80 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $1.276,20 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $599,98 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Para o caso de CNP, as viagens de volta apresentam uma maior dispersão com valores médios de  $8,15 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ,  $5,89 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ,  $4,22 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ , para as viagens V2, V5 e V11, respectivamente. Também, neste mesmo trajeto se registraram as maiores concentrações de CNP com valores de  $2,75 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  para a viagem V2,  $2,46 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  para a viagem V5 e  $2,15 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  para a viagem V11.

As maiores concentrações nas viagens de volta a Pontal do Sul podem ser explicadas pela brisa marinha, a qual favorece a entrada de poluentes emitidos pelos barcos para dentro da cabine principalmente quando as viagens são realizadas no período da tarde. Isto também se vê favorecido pelo desenho das embarcações, as quais possuem muitas janelas e espaços abertos, e a proximidade do escapamento aos assentos de passageiros.

Da análise horária das variáveis meteorológicas para um período de cinco anos (2010-2014), observou-se que em média a brisa terrestre sopra de oeste no horário das 03:00 até as 13:00, e a brisa marinha de leste está presente entre as 14:00 até as 02:00. Esse mesmo comportamento foi observado no verão 2015 durante a amostragem nos barcos.

Os níveis de poluentes registrados dentro dos barcos foram influenciados pela direção e velocidade do vento, com maiores concentrações nas viagens de volta a Pontal de Sul, com presença de brisa marinha. A força de deslocamento do barco está influenciada pela velocidade do barco, já que a potência de cada barco foi deixada constante para objetos de cálculo. A velocidade de deslocamento do barco pode ser alterada pela presença das correntes de maré e do vento.

A maioria dos barcos analisados neste estudo utilizou como combustível óleo diesel comum (82%), e uns poucos utilizaram ODM (18%), e não foram observadas maiores concentrações de particulados com o uso de um combustível mais sujo.

Não existe uma relação diretamente proporcional entre o aumento das concentrações e a idade dos barcos. Isto poderia ser explicado pela interação de múltiplos fatores como manutenção dos barcos, tipo de combustível, e a resistência à viagem por fatores naturais (direção e velocidade do vento, correntes de maré).

Dentro de um mesmo barco, a exposição dos passageiros não é a mesma, isto devido ao sentido de deslocamento do barco, velocidade e direção do vento e à existência de várias janelas por onde ingressam os poluentes. O escapamento das embarcações estudadas está muito próximo aos passageiros, por isso as altas concentrações relatadas por este estudo.

O monitoramento fixo indicou baixas concentrações médias de poluentes na Ilha do Mel (trapiche de Brasília, pousada e Praia de Fora). Isto pode ser explicado pelas medidas adotadas na Ilha do Mel que proíbem a circulação de veículos motorizados, fazendo da Ilha um ambiente menos poluído em relação com os trapiches de Pontal do Sul e Paranaguá.

A exposição média ao BC e CNP foi alta durante as viagens, com maior dose para a tripulação, devido à maior taxa de inalação pelo tipo de atividade realizada. A viagem de barco mais poluída apresentou uma exposição 617 vezes superior à exposição na pousada da Ilha do Mel (Brasília). Também, a exposição média de todas as viagens de ida e volta foi de 36 vezes superior que a exposição na pousada. A viagem de volta para Pontal do Sul (59) foi 47 vezes superior que a de ida à Ilha do Mel (12).

A partir destes resultados é evidente a importância da poluição particulada emitida pelos barcos no litoral do Paraná, que é bem superior a outros meios de transporte que foram monitorados no Brasil.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido às altas concentrações registradas neste estudo e que são inclusive mais altas que outras fontes de poluição é que se recomenda realizar novas pesquisas nesta área com o fim de avaliar a poluição gerada pelos barcos em outras regiões do Brasil. No mundo, há poucos trabalhos que avaliam a exposição a poluentes atmosféricos dentro dos barcos, e por isso a importância e relevância deste estudo.

No geral, interpreta-se que as emissões dos barcos nos portos são mais preocupantes que as geradas durante o trajeto da navegação porque afetam a uma maior população (OECD, 2014). Porém, os resultados deste estudo revelam altas concentrações medidas dentro das embarcações, as quais podem afetar a saúde dos passageiros e tripulação.

Por tanto, é necessário pesquisar este tipo poluição para obter suficiente informação que permita adotar medidas de mitigação e controle da poluição em barcos.

## REFERÊNCIAS

AETHLABS, 2018. Disponível em: <<https://aethlabs.com/search/node/ONA>>. Acesso em: 14/02/2019.

AHRENS, C. D. **Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere**. Cengage Learning, 2011.

ARNOTT, W.P.; HAMASHA, K.; MOOSMÜLLER, H.; SHERIDAN, P.J.; OGREN, J.A. Towards aerosol light-absorption measurements with a 7-wavelength aethalometer: Evaluation with a photoacoustic instrument and 3-wavelength nephelometer. **Aerosol Science and Technology**, v.39, n°1, p.17-29, 2005.

BERNSTEIN, J.A; ALEXIS, N.; BACCHUS, H.; BERNSTEIN, L.; FRITZ, P.; HORNER, E.; LI, N.; MASON, S.; NEL, A.; OULLETTE, J.; REIJULA, K.; REPONEN, T.; SELTZER, J.; SMITH, A.; TARLO, S.M. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v.121, n°3, p.585-591. 2008.

BIZJAK, M.; TURSIC, J. Measurement of aerosol black carbon concentration inside the city buses of Ljubljana. **Journal of Aerosol Science**, v.29, p.S291-S292, 1998.

BOND, T.C.; BERGSTROM, R.W. Light absorption by carbonaceous particles: An investigative review. **Aerosol Science and Technology**, v.40, n°1, p.27-67, 2006.

BOND, T.C; DOHERTY, S.J.; FAHEY, D.W.; FORSTER, P.M.; BERNTSEN, T.; DEANGELO, B.J.; FLANNER, M.G.; GHAN, S.; KÄRCHER, B.; KOCH, D.; KINNE, S.; KONDO, Y.; QUINN, P.K.; SAROFIM, M.C.; SCHULTZ, M.G.; SCHULZ, M.; VENKATARAMAN, C.; ZHANG, H.; ZHANG, S.; BELLOUIN, N.; GUTTIKUNDA, S.K.; HOPKE, P.K.; JACOBSON, M.Z.; KAISER, J.W.; KLIMONT, Z.; LOHMANN, U.; SCHWARZ, J.P.; SHINDELL, D.; STORELMO, T.; WARREN, S.G.; ZENDER, C.S. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.118, n°11, p.5380-5552, 2013.

BRANIŠ, M. Personal Exposure Measurements. In: **Human Exposure to Pollutants via Dermal Absorption and Inhalation**, 97-141, 2010.

BRAUER, M.; AINSLIE, B.; BUZZELLI, M.; HENDERSON, S.; LARSON, T.; MARSHALL, J.; NETHERY, E.; STEYN, D.; SU, J. Models of exposure for use in epidemiological studies of air pollution health impacts. **Air Pollution Modeling and its Application, XIX**. Springer, Dordrecht, p.589-603, 2008.

CAMES, M.; GRAICHEN, J.; SIEMONS, A.; COOK, V. Emission reduction targets for international aviation and shipping. **Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Parliament, B-1047 Brussels**, 2015.

CARVALHO, A.M.; KRECL, P.; TARGINO, A.C. Variations in individuals' exposure to black carbon particles during their daily activities: a screening study in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.18412-18423, 2018.

CHMB, 2019. Cartas de Correntes de Maré. Disponível em: < <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/cartas-de-correntes-de-mare> >. Acesso em: 14/02/2019.

CHMB, 1976. Cartas de correntes de maré, porto de Paranaguá. Disponível em: < <https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1974/ccm-porto-de-paranagua.pdf> >. Acesso em: 14/02/2019.

CLAPPIER, A; MARTILLI, A.; GROSSI, P.; THUNIS, P.; PASI, F.; KRUEGER, B.C.; BERTRAND C.; GIOVANNI G.; VAN DEN BERGHE, H. Effect of sea breeze on air pollution in the greater Athens area. Part I: numerical simulations and field observations. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, n°4, p.546-562, 2000.

CLIMATE-DATA.ORG. América del Sur. Brasil. Paraná. Paranaguá. Clima: Paranaguá. Disponível em: < <https://es.climate-data.org/location/3457/> >. Acesso em: 14/02/2019.

COLVILE, R. N.; HUTCHINSON, E. J.; MINDELL, J. S.; WARREN, R. F. The transport sector as a source of air pollution. **Atmospheric Environment**, v.35, p.1537-1565, 2001.

CONTINI, D.; GAMBARO, A.; BELOSI, F.; DE PIERI, S.; CAIRNS, W.; DONATEO, A.; ZANOTTO, E.; CITRON, M. The direct influence of ship traffic on atmospheric PM2.5, PM10, and PAH in Venecia. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.2119-2129, 2011.

CORBETT, J.J.; KOEHLER, H.W. Considering alternative input parameters in an activity-based ship fuel consumption and emissions model: Reply to comment by Øyvind Endresen et al. on "Updated emissions from ocean shipping". **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.109, n°D23, 2004.

CORBETT, J.J.; WINEBRAKE, J.J.; GREEN, E.H.; KASIBHATLA, P.; EYRING, V.; LAUER, A. Mortality from ship emissions: a global assessment. **Environmental Science & Technology**, v.41, n°24, p.8512-8518, 2007.

DAMASCENO, C.G.; YONARA L.; SOUZA, A.; FERNANDES, V.J. Caracterização físico-química de óleo diesel rodoviário e marítimo por técnicas convencionais e destilação simulada por cromatografia gasosa. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás natural e biocombustíveis. III Workshop de Engenharia de Petróleo. 2015. Disponível em: <[http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade\\_1datahora\\_30\\_03\\_2015\\_19\\_21\\_31\\_idinscrito\\_1910\\_535fb1c2beff8bc3dc5a997103a93d30.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_1datahora_30_03_2015_19_21_31_idinscrito_1910_535fb1c2beff8bc3dc5a997103a93d30.pdf)>. Acesso em: 14/02/2019.

DECRETO ESTADUAL Nº. 5.506, de 21 de março de 2002. Cria o Parque Estadual da Ilha do Mel, localizado no município de Paranaguá. Diário Oficial do Estado do Paraná nº. 6195. Curitiba, 22/03/2002. Disponível em: <[http://celepar7.pr.gov.br/sia/AtosNormativos/form\\_cons\\_ato1.asp?codigo=1049&Imprime=1](http://celepar7.pr.gov.br/sia/AtosNormativos/form_cons_ato1.asp?codigo=1049&Imprime=1)>. Acesso em: 14/02/2019.

EPA, 2011. Exposure factors handbook. Disponível em: <<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>>. Acesso em: 14/02/2019.

EPA, 2016. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification>>. Acesso em: 14/02/2019.

EPA, 2017. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>>. Acesso em: 14/02/2019.

EPA, 2018. Mobile Source Pollution and Related Health Effects. Disponível em: <<https://www.epa.gov/mobile-source-pollution>>. Acesso em: 14/02/2019.

EYRING, V.; KÖHLER, H.W.; AARDENNE, J.V; LAUER, A. Emissions from international shipping: 1.The last 50 Years. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v.110, n°D17, p.3928-3950, 2005.

FOWLER, D.; PILEGAARD, K.; SUTTON M.A; AMBUS, P.; RAIVONEN M.; DUYZER, J.; SIMPSON, D.; FAGERLI, H.; FUZZI, S.; SCHJOERRING J.K.; GRANIER, C.; NEFTEL, A.; ISAKSEN, I.S.A.; LAJ, P.; MAION, M.; MONK, P.S.; BURKHARDT, J.; DAEMMGEN, U.; ERISMANAR, J.W. Atmospheric composition change: ecosystems-atmosphere interactions. **Atmospheric Environment**, v.43, n°33, p. 5193-5267, 2009.

FU, M.; DING, Y.; GE, Y.; YU, L.; YIN, H.; YE, W.; Liang, B. Real-world emissions of inland ships on the Grand Canal, China. **Atmospheric Environment**, v.81, p.222-229, 2013.

FULLER, K.A.; MALM, W.C.; KREIDENWEIS, S.M. Effects of mixing on extinction by carbonaceous particles. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.104, n°D13, p.15941-15954, 1999.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. Cengage Learning, 2010.

GIBBONS, J.D.; CHAKRABORTI, S. Nonparametric statistical inference. In: **International Encyclopedia of Statistical Science**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 977-979, 2011.

GLOBO, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/video-mostra-resgate-de-passageiros-de-barco-que-ia-de-paranagua-para-a-ilha-do-mel-noparana.ghtml>>. Acesso em: 14/02/2019.

GONZAGA, C.; DENKEWICZ, P.; PRADO, K.; Pereira, C. Unidades de Conservação, ecoturismo e conflitos socioambientais na Ilha do Mel, PR, Brasil, 2013.

GOVERNO DO BRASIL, 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/turismo/2013/12/brasil-investe-rs-570-milhoes-em-turismo-maritimo>>. Acesso em: 14/02/2019.

GOVERNO DO BRASIL, 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/02/portos-brasileiros-batem-recorde-de-movimentacao-de-cargas-1>>. Acesso em: 14/02/2019.

GUEDES SOARES, C.; FONSECA, N.; RAMOS, J. Prediction of voyage duration with weather constraints. In: **Proceedings, International Conference on Motions and Manoeuvrability**, 1998.

HAGLER, G.S.W.; YELVERTON, T.L.B.; VEDANTHAM, R.; HANSEN, A.D.A.; TURNER, J.R. Post-processing method to reduce noise while preserving high time resolution in aethalometer real-time black carbon data. **Aerosol and Air Quality Research**, v.11, p.539-546, 2011.

HARYANTO, B. Air pollution: A comprehensive perspective. August 2012, Publisher: In Tech Open, Editor: Budi Haryanto, ISBN: 978-953-51-0705-7. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/249315514\\_Air\\_pollution\\_A\\_comprehensive\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/249315514_Air_pollution_A_comprehensive_perspective)>. Acesso em: 14/02/2019.

HÄMERI, K.; KOPONEN, I.; ALTO, P.; KULMALA, M. The particle detection efficiency of the TSI-3007 condensation particle counter. **Journal of Aerosol Science**, v.184, n°33, p.1463-1469, 2002.

HINDS, W.C. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. **Wiley-Interscience**, p.233-249, 1982.

HUA, J.; YIN, Y.; PENG, L.; DU, LI.; GENG, F.; ZHU, L. Acute effects of black carbon and PM<sub>2.5</sub> on children asthma admissions: A time-series study in a Chinese city. **Science of the Total Environment**, v.481, p.433-438, 2014.

IBGE, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranagua/panorama>>. Acesso em: 14/02/2019.

ILHA DO MEL, 2017. Disponível em: <<http://ilhadomel.com/>>. Acesso em: 14/02/2019.

IVANOV, M.; MIJORSKI, S. CFD modelling of flow interaction in the breathing zone of a virtual thermal manikin. **Energy Procedia**, v.112, p.240-251, 2017.

JANSSEN, N.A.H.; GERLOFS-NIJLAND, M.E.; LANKI, T.; SALONEN, R.O.; CASSEE, F.; HOEK, G.; FISCHER, P.; BRUNEKREEF, B.; KRZYZANOWSKI, M. Health effects of black carbon. **WHO Regional Office for Europe**, p.1-87, 2012.

JEONG, C.H.; TRAUB, A.; EVANS, G.J. Exposure to ultrafine particles and black carbon in diesel-powered commuter trains. **Atmospheric environment**, v.155, p.46-52, 2017.

KILIÇ, A.; DENİZ, C. Inventory of shipping emissions in Izmit Gulf, Turkey. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.29, n°2, p.221-232, 2010.

KRECL P.; TARGINO, A.C.; WIESE, L.; KETZEL, M.; CORREA, M.P. Screening of short-lived climate pollutants in a street canyon in a mid-sized city in Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v.7, p.1022-1036, 2016.

LACK, D.; LERNER, B.; GRANIER, C.; BAYNARD, T.; LOVEJOY, E.; MASSOLI, P.; WILLIAMS, E. Light absorbing carbon emissions from commercial shipping. **Geophysical Research Letters**, v.35, n°13, doi:10.1029/2008GL033906, 2008.

LACK, D. A.; CORBETT, J.J. Black carbon from ships: a review of the effects of ship speed, fuel quality and exhaust gas scrubbing. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.12, n°9, p.3985-4000, 2012.

LACK, D.A.; MOOSMÜLLER, H.; MCMEEKING, G.R.; CHAKRABARTY, R.K.; BAUMGARDNER, D. Characterizing elemental, equivalent black, and refractory black carbon aerosol particles: a review of techniques, their limitations and uncertainties. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v.406, n°1, p.99-122, 2014.

LIN, W.; HUANG, W.; ZHU, T., HU, M.; BRUNEKREEF, B.; ZHANG, Y.; LIU, X.; CHENG, H.; GEHRING, U.; LI, C.H.; TANG, X. Acute Respiratory inflammation in

children and black carbon in ambient air before and during the 2008 Beijing Olympics. **Environmental Health Perspectives**, v.119, n°10, p.1507-1512, 2011.

LO, H. K.; MCCORD, M. R. Adaptive ship routing through stochastic ocean currents: General formulations and empirical results. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v.32, n°7, p.547-561, 1998.

MARTINS, G.A. **Estatística geral e aplicada**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MASSELINK, G. The effect of sea breeze on beach morphology, surf zone hydrodynamics and sediment resuspension. **Marine Geology**, v.146, n°1-4, p.115-135, 1998.

MIGUENS, A.P. Marés e correntes de maré; correntes oceânicas. **Navegação: a ciência e a arte**, v.1, p.227-274, 1995.

MINISTÉRIO DO TURISMO, 2010. Disponível em: <  
[http://www.turismo.gov.br/sites/default/turismo/o\\_ministerio/publicacoes/downloads\\_publicacoes/Turismo\\_Nxutico\\_Versxo\\_Final\\_IMPRESSxO\\_.pdf](http://www.turismo.gov.br/sites/default/turismo/o_ministerio/publicacoes/downloads_publicacoes/Turismo_Nxutico_Versxo_Final_IMPRESSxO_.pdf)>. Acesso em: 14/02/2019.

MINISTÉRIO DO TURISMO, 2017. Disponível em: <  
<http://www.turismo.gov.br/%C3%BAltimas-not%C3%ADcias/8296-come%C3%A7a-a-temporada-brasileira-de-cruzeiros-mar%C3%ADtimos.html>>. Acesso em: 14/02/2019.

MOON, C. Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone. **Atmospheric Environment**, v°35, n°1, p.1-32, 2001.

MORAWSKA, L.; HE, C.; JOHNSON, G.; GUO, H.; UHDE, E.; AYOKO, G. Ultrafine particles in indoor air of a school: possible role of secondary organic aerosols. **Environmental Science & Technology**, v.43, n°24, p.9103-9109, 2009.

MÖLDERS, N.; PORTER, S.E.; CAHILL, C.F.; GRELL, G.A. Influence of ship emissions on air quality and input of contaminants in southern Alaska National Parks and Wilderness Areas during the 2006 tourist season. **Atmospheric Environment**, v.44, n°11, p.1400-1413, 2010.

NAZAROFF, W.W. Indoor particle dynamics. **Indoor air**, v.14, p.175-183. 2004.

NETO, C. DA SILVA, C.A.; PÊGO, F.B.; ROMMINGER, A.E.; FERREIRA, I.M. Portos Brasileiros 2009: Ranking, área de influência, porte e valor agregado médio dos produtos movimentados. Texto para Discussão, Instituto de

Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2009. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2606/1/TD\\_1408.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2606/1/TD_1408.pdf)>. Acesso em: 14/02/2019.

NORMAN 03/DPC. DO BRASIL, Marinha. Normas da Autoridade Marítima para Amadores, Embarcações de Esporte e/ou Recreio e para Cadastramento e Funcionamento das Marinas, Clubes e Entidades Desportivas Náuticas - Norman, v.3, 2003.

OTT, W.R. Concepts of human exposure to air pollutants. **Environment International**, v.7, n°3, p.179–196, 1982.

OTT, W.R. Total human exposure. **Environmental Science and Technology**, v.19, n°10, p.880-886, 1985.

PETROBRAS, 2014. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf>>. Acesso em: 14/02/2019.

PETROBRAS, 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 14/02/2019.

PRPIĆ-ORŠIĆ, J.; VETTOR, R.; FALTINSEN, O.M.; GUEDES SOARES, C. Influence of ship routes on fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission. In: **The 2nd Congress Maritime Technology and Engineering-MARTECH 2014**, p.857-864, 2014.

RAMALHO, F.; FERRARO, N.; SOARES, P. Os Fundamentos da Física. **São Paulo: Moderna**, v.1, 2003.

RAMOS, A.; DOS SANTOS, L.; FORTES, L. (Ed.). **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, 2009.

RESOLUÇÃO ANP Nº 50, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2013. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resolanp/2013/dezembro&item=ranp-50--2013>>. Acesso em: 14/02/2019.

RESOLUÇÃO ANP Nº 52, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2010. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resolanp/2010/dezembro&item=ranp-52--2010>>. Acesso em: 28/03/2019.

RODES, C.; SHELDON, L.; WHITAKER, D.; CLAYTON, A.; FITZGERALD, K. **Measuring concentrations of selected air pollutants inside California vehicles. Final Report.** Research Triangle Inst., 1999.

SABIN, L.D.; BEHRENTZ, E.; WINER, A.M.; JEONG, S.; FITZ, D.R.; PANKRATZ, D. V.; FRUIN, S.A. Characterizing the range of children's air pollutant exposure during school bus commutes. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v.15, n°5, p.377, 2005.

SABIN, L.D.; KOZAWA, K.; BEHRENTZ, E.; WINER, A.M.; FITZ, D.R.; PANKRATZ, D.V.; FRUIN, S.A. Analysis of real-time variables affecting children's exposure to diesel-related pollutants during school bus commutes in Los Angeles. **Atmospheric Environment**, v.39, n°29, p.5243-5254, 2005.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **História ecológica da Terra.** Edgard Blücher, 1994.

SAMET, J.M.; RAPPOLD, A.; GRAFF, D.; CASCIO, W.E.; BERNTSEN, J.H.; HUANG, Y.C.; HERBST, M.; BASSETT, M.; MONTILLA, T.; HAZUCHA, M.J.; BROMBERG, P.A.; DEVLIN, R.B. Concentrated ambient ultrafine particle exposure induces cardiac changes in young healthy volunteers. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v.179, n°11, p.1034-1042, 2009.

SCHWARZ, J.P.; GAO, R.S.; FAHEY, D.W.; THOMSON, D.S.; WATTS, L.A.; WILSON, J.C.; CHUNG, S.H. Single-particle measurements of midlatitude black carbon and light-scattering aerosols from the boundary layer to the lower stratosphere. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.111, doi:10.1029/2006JD007076, 2006.

SEGURA, J.F. **Concentração de partículas atmosféricas finas em ônibus do transporte público urbano no Brasil.** 2017. 109 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.** New York: John Willey & Sons, 3 ed., 2016.

SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano de controle ambiental e uso do solo da Ilha do Mel.** Curitiba, 2004.

SEN, D.; PADHY, P.P. Development of a ship weather-routing algorithm for specific application in North Indian Ocean region. In: The international conference on marine technology. Dhaka, Bangladesh: BUET. 2010. p. 21-7. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/9276/23ce591a1a20e4f61defa7e8bcada2f243df.pdf>>. Acesso em: 14/02/2019.

SEXTON, K.; RYAN, P.B. Assessment of human exposure to air pollution: methods, measurements, and models. **Air Pollution, the Automobile and Public Health**, p. 207-238, 1998.

SPECIAL PARANÁ, 2017. Turismo Receptivo. Disponível em: < <http://www.curitiba-travel.com.br/pt/travel-info/ilha-do-mel-honey-island> >. Acesso em: 14/02/2019.

SPENGLER, J.D.; SEXTON, K. Indoor air pollution: a public health perspective. **Science**, v.221, n°4605, p.9-17, 1983.

SPENGLER, J.D.; TREITMAN, R. D.; TOSTESON, T.D.; MAGE, D.T.; SOCZEK, M.L. Personal exposures to respirable particulates and implications for air pollution epidemiology. **Environmental Science and Technology**, v.19, n°8, p.700-707, 1985.

STEINLE, S.; REIS, S.; SABEL, C.E. Assessment of personal exposure to air pollutants in Scotland—an integrated approach using personal monitoring data. In: **MODSIM**, 2011.

TARGINO, A.C.; MACHADO, B.L.F.; KRECL, P. Concentrations and personal exposure to black carbon particles at airports and on commercial flights. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.52, p.128-138, 2017a.

TARGINO, A.C.; RODRIGUES, M.V.C.; KRECL, P.; CIPOLI, Y.A.; RIBEIRO, J.P.M. Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.1132-1146, 2017b.

TIMBÓ, M. Levantamentos através do Sistema GPS. **Notas de aula do Departamento de Cartografia da UFMG. Belo Horizonte**, 2000. Disponível em: < [http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia\\_timbo.pdf](http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia_timbo.pdf) >. Acesso em: 14/02/2019.

TIPLER, P.A.; MOSCA, G. TIPLER, P.A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros. Vol. 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. Grupo Gen-LTC, 2000.

TROZZI, C.; VACCARO, R. Methodologies for estimating future air pollutant emissions from ships. **Techne Report MEET RF98b**, 1999.

TSI Incorporated. Hand-held condensation particle counter model 3007, 2012. Disponível em: <

[http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/3007\\_1930032.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/3007_1930032.pdf) >. Acesso em: 14/02/2019.

TSI Incorporated. Condensation particle counter model 3007, 2018. Disponível em: < <http://www.tsi.com/condensation-particle-counter-3007/> >. Acesso em: 14/02/2019.

VELASCO, E.; HO, K.J.J.; ZIEGLER, A.D. Commuter exposure to black carbon, carbon monoxide, and noise in the mass transport along boats of Bangkok, Thailand. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.21, p.62-65, 2013.

VIANA, M.; HAMMINGH, P.; COLETTE, A.; QUEROL, X.; DEGRAEUWE, B.; DE VLIJGER, I.; VAN AARDENNE, J. Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. **Atmospheric Environment**, v.90, p.96-105, 2014.

VIANA, M.; AMATO, F.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X.; MORENO, T.; GARCÍA DOS SANTOS, S.; FERNÁNDEZ-PATIER, R. Chemical tracers of particulate emissions from commercial shipping. **Environmental Science and Technology**, v.43, nº19, p.7472-7477, 2009.

WALLACE, L.; OTT, W. Personal exposure to ultrafine particles. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v.21, nº1, p.20-30, 2011.

WANG, C.; CORBETT, J.J.; FIRESTONE, J. Improving spatial representation of global ship emissions inventories. **Environmental Science and Technology**, v.42, nº1, p.193-199, 2007.

WATSON, A.Y.; BATES, R.R.; KENNEDY, D. **Air pollution, the automobile, and public health**. National Academies, 1988.

WHO. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks, 2012. Disponível em: < [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/) >. Acesso em: 14/02/2019.

WHO. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, 2016. Disponível em: < <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353eng.pdf?ua=1> >. Acesso em: 14/02/2019.

WHO. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action, 2018. Disponível em: < <http://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> >. Acesso em: 14/02/2019.

ZARTARIAN, V.; DUAN, N.; OTT, W. **Exposure Analysis**. 1. ed. Boca Raton: Taylor e Francis, 2007.

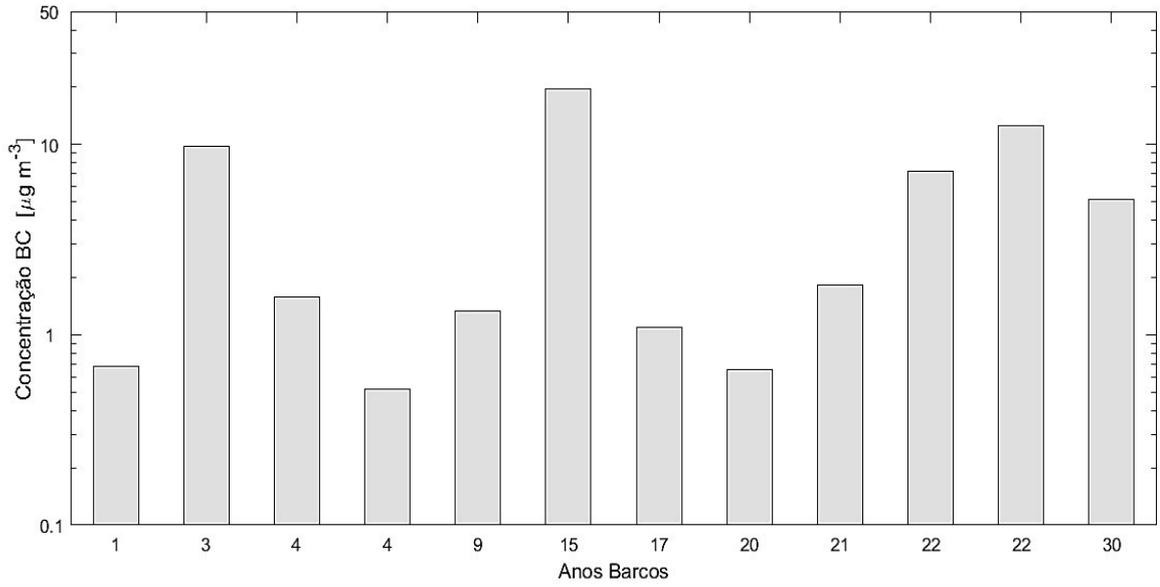
ZHANG, F.; CHEN, Y.; TIAN, C.; LOU, D.; LI, J.; ZHANG, G.; MATTHIAS, V. Emission factors for gaseous and particulate pollutants from offshore diesel engine vessels in China. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.16, n°10, p.6319-6334, 2016.

## APÊNDICE A – Resumo dos barcos

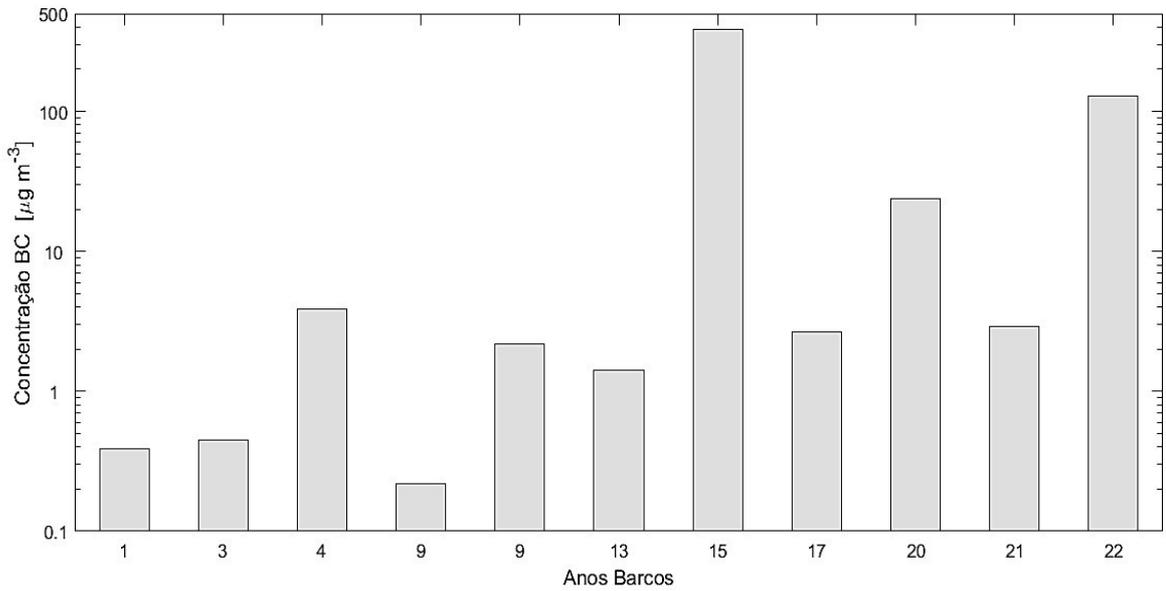
Tabela A - Características técnicas dos barcos utilizados neste estudo.

Tipo de Embarcação	Código Identificação Barco	Código da Viagem		Marca Motor	Potência Motor (hp)	Combustível	Ano de Construção	Comprimento (m)	Arqueação Bruta	Número Máximo de Passageiros
		IDA	VOLTA							
Lancha	B1	I3	V2	Mercedes Benz	130	Óleo diesel comum	2000	13,60	21,00	76
Bote	B2	I5	V7	MWM	115	Diesel marítimo	2006	12,95	18,40	60
Lancha	B3	I13	V4	Mercedes Benz	250	-----	1998	13,80	19,20	90
Lancha	B4	I7-I15	V6-V8-V1	MWM	229	Óleo diesel comum	1995	14,60	19,60	94
Lancha	B5	I9	V5-V11	Mariniz	0,00	-----	1993	14,33	19,20	88
Lancha	B6	I12 - *PI	V9 - *PV	Cummins	220	-----	1994	14,10	19,90	86
Lancha	B7	I14	V10	Mercedes Benz	115	Óleo diesel comum	2012	12,70	13,00	56
Bote	B8	I1	--	Mercedes Benz	180	Óleo diesel comum	2011	13,65	15,60	70
Lancha	B9	I4	--	Mercedes Benz	134	Óleo diesel comum	2011	15,22	18,00	65
Bote	B10	--	V3	Mercedes Benz	120	-----	2011	12,00	10,60	43
Lancha	B11	I6	--	Mercedes Benz	115	Óleo diesel comum	1993	13,00	15,90	72
Lancha	B12	I8/I10	V15	MWM	60	-----	2014	12,45	19,00	56
Lancha	B13	I2/I11	--	Mercedes Benz	200	Óleo diesel comum	1985	12,00	13,70	60
Lancha	B14	--	V12	-----	200	Óleo diesel comum	2006	14,20	22,10	90
Lancha	B15	--	V13	-----	340	Óleo diesel comum	2002	15,70	27,30	96
Bote	B16	--	*EV	Yanmar	0,00	Diesel Marítimo	1998	10,00	4,20	21

\*PI: Paranaguá ida – \*PV: Paranaguá volta – \*EV: Encantadas volta.



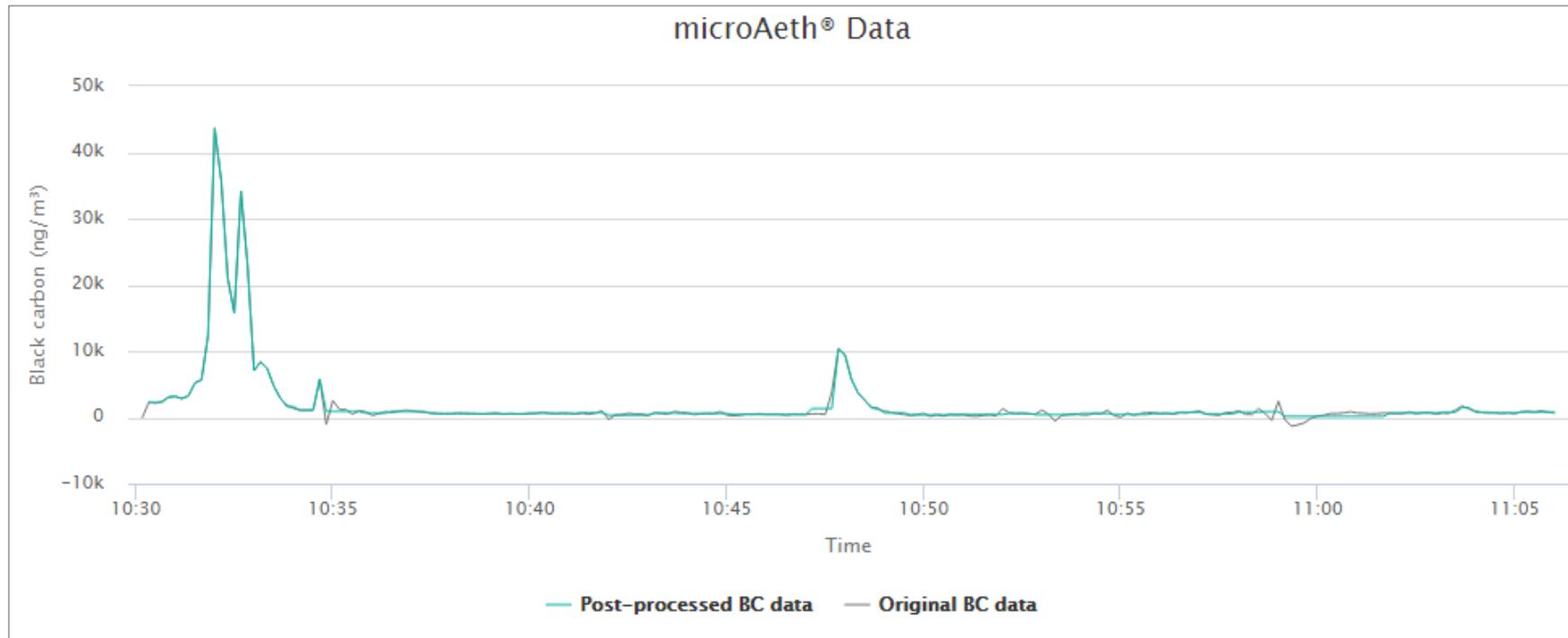
**Figura A1** – Concentrações médias de BC para as viagens de ida à Ilha do Mel (Canal de Galheta) vs. idade dos barcos.



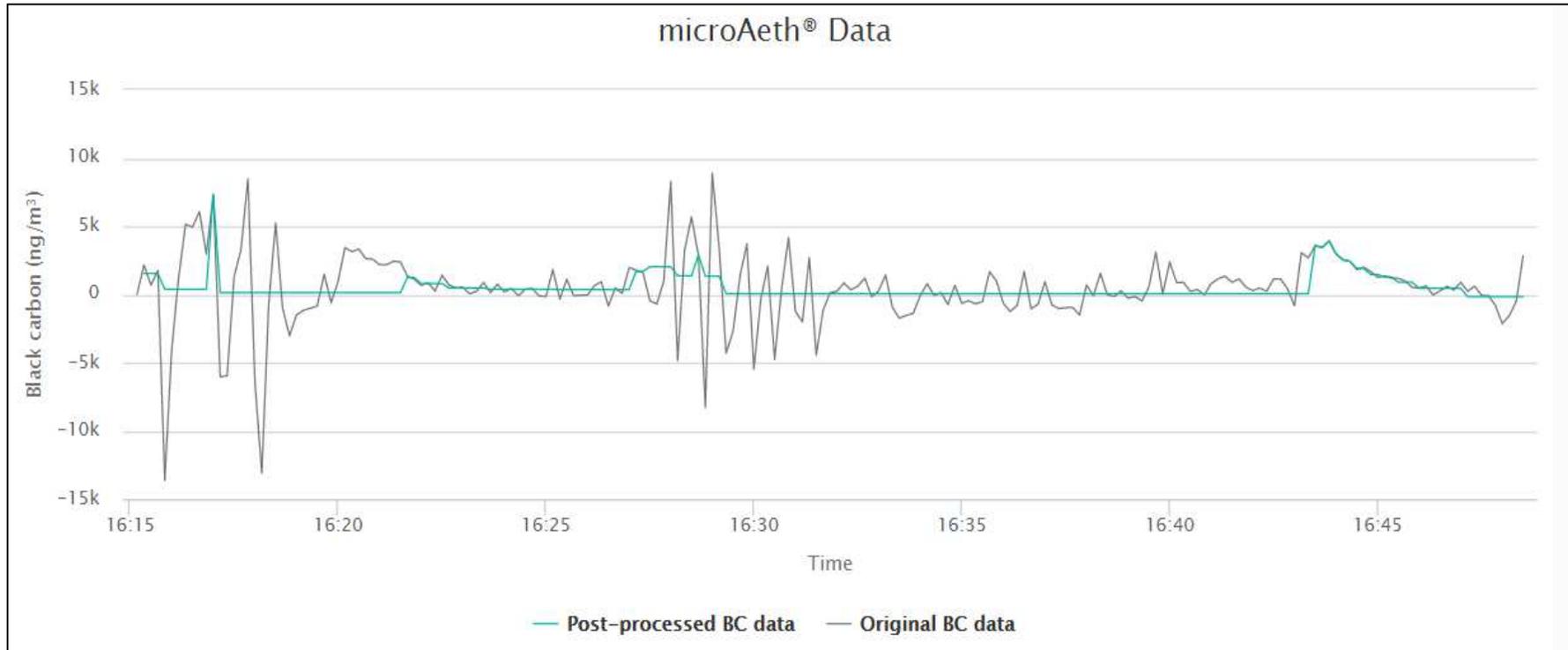
**Figura A2** – Concentrações médias de BC para as viagens de volta a Pontal do Sul (Canal de Galheta) vs. idade dos barcos.

## APÊNDICE B – Algoritmo de Redução de Ruído Otimizado (ONA)

**Figura B1** – Exemplo de correção ONA utilizada para processar os dados do dia 10/02/2015. **Fonte:** AethLabs, 2018.



**Figura B2** – Exemplo de correção ONA que não foi utilizada para processar os dados do dia 07/02/2015. **Fonte:** AethLabs, 2018.



**Tabela B1** – Estatística descritiva (a cada 10 segundos), dos dados originais, e quando aplicadas as correções propostas pelo fabricante para os dados do dia 10/02/2015 (10:30 – 11:07).

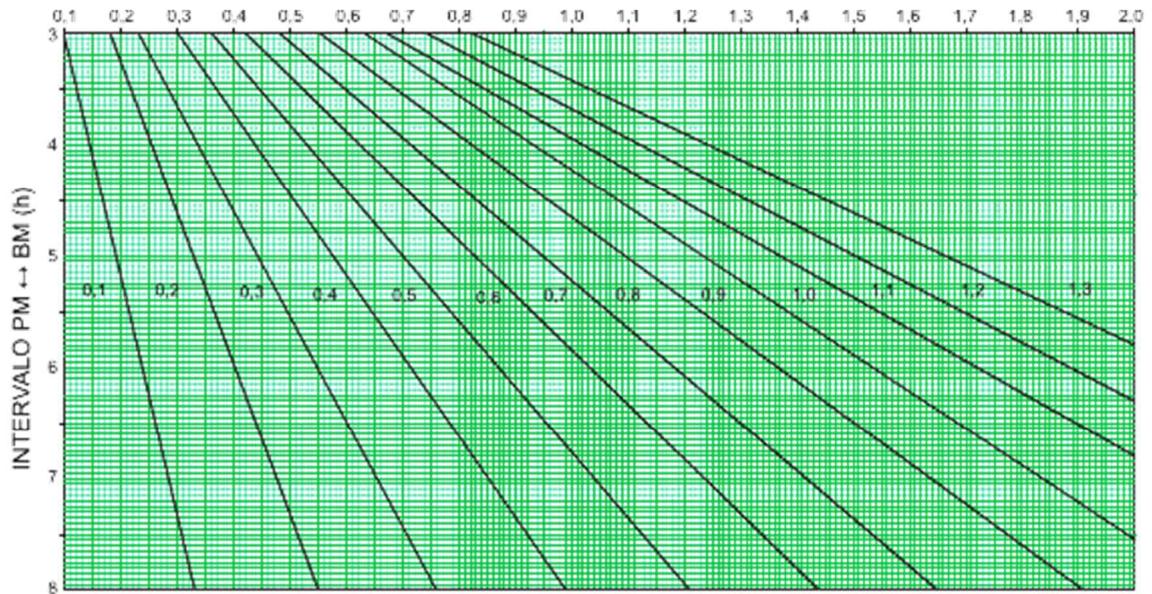
Estatística	Original	ONA	LPR	CMA
Total de dados válidos	206	215	210	210
Total de dados inválidos	9	0	5	5
% de dados inválidos	4	0	2	2
Mediana	0,61	0,59	0,62	0,63
Média	1,85	1,85	1,85	1,85
Mínimo	-1,32	0,15	-1,30	-0,75
P5	0,16	0,15	0,21	0,29
P25	0,46	0,43	0,49	0,49
P75	0,95	0,86	0,86	0,86
P95	7,16	7,16	6,81	6,42
Máximo	43,64	43,64	37,11	30,05

**Tabela B2** – Estatística descritiva (a cada 10 segundos), dos dados originais, e quando aplicadas as correções propostas pelo fabricante para os dados do dia 07/02/2015 (16:15 – 16:47).

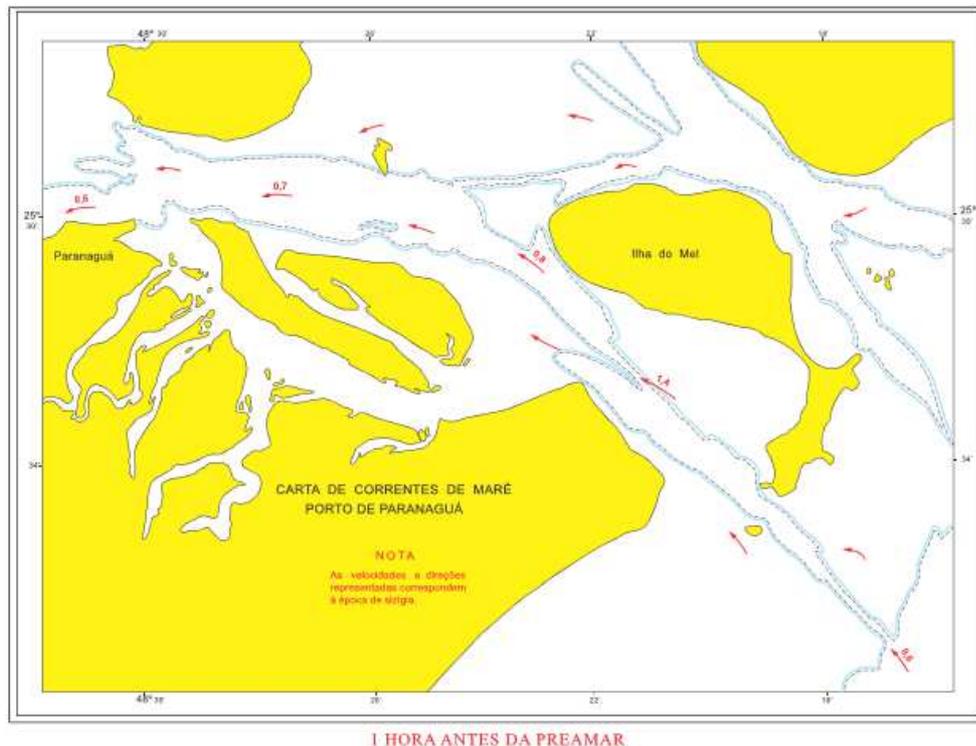
Estatística	Original	ONA	LPR	CMA
Total de dados válidos	128	192	135	138
Total de dados inválidos	73	9	66	63
% de dados inválidos	57	7	52	49
Mediana	0,47	0,13	0,45	0,39
Média	0,46	0,46	0,46	0,45
Mínimo	-13,64	-0,18	-9,96	-3,19
P5	-4,31	0,06	-2,41	-1,49
P25	-0,48	0,06	-0,19	-0,17
P75	1,47	0,47	1,15	0,86
P95	3,92	2,02	3,53	2,73
Máximo	8,88	7,32	6,11	5,28

## APÊNDICE C – Carta de correntes de maré para o Porto de Paranaguá

**Figura C1** – Gráfico para determinar o fator de correção da velocidade das correntes de maré. **Fonte:** CHMB, 1976.

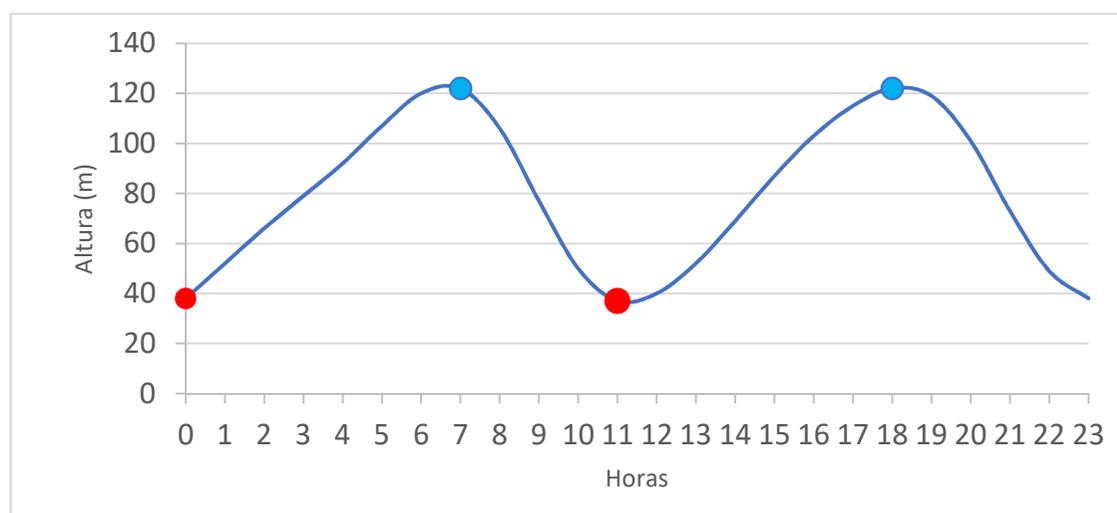


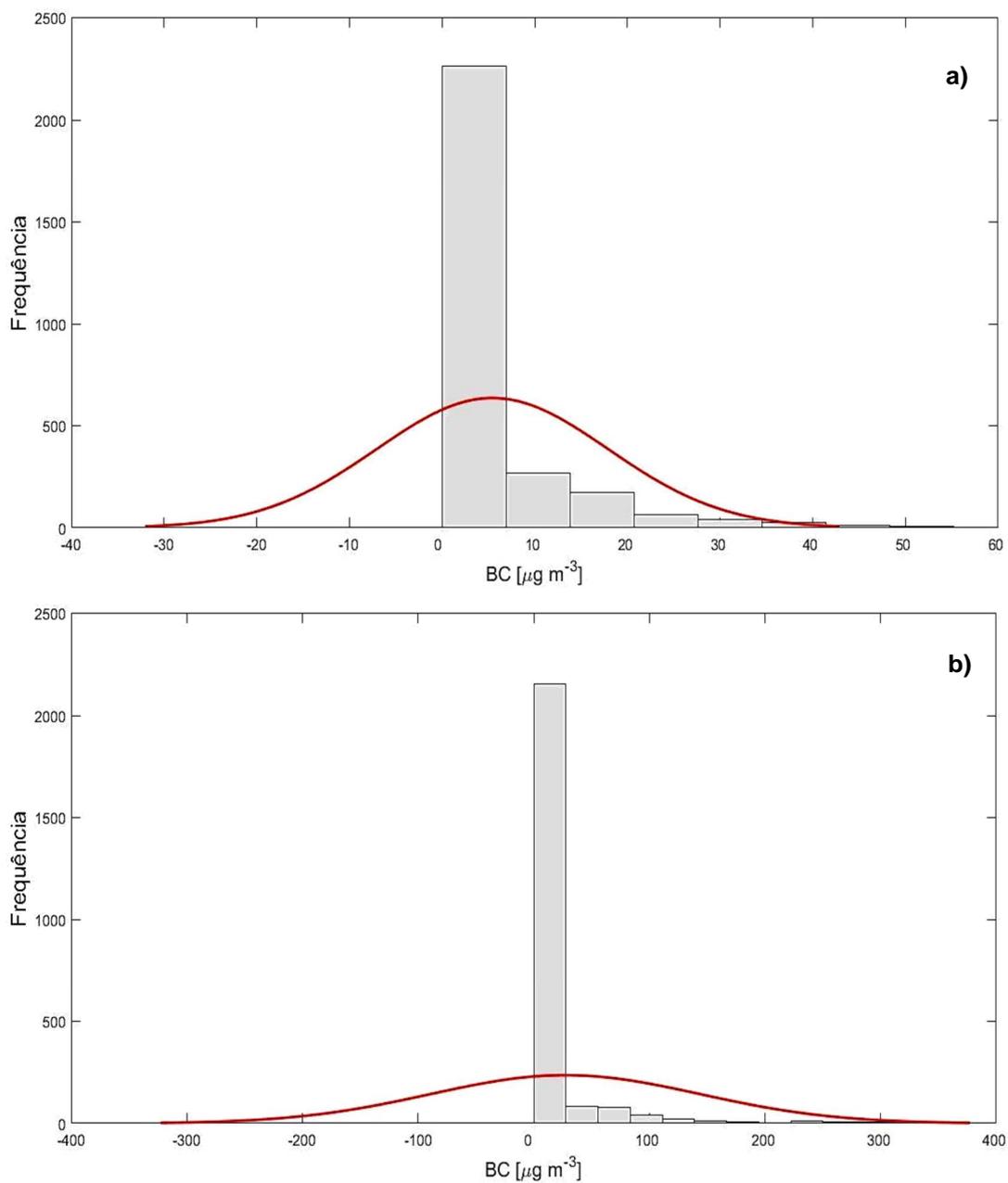
**Figura C2** – 1 hora antes da Preamar. **Fonte:** CHMB, 1976.



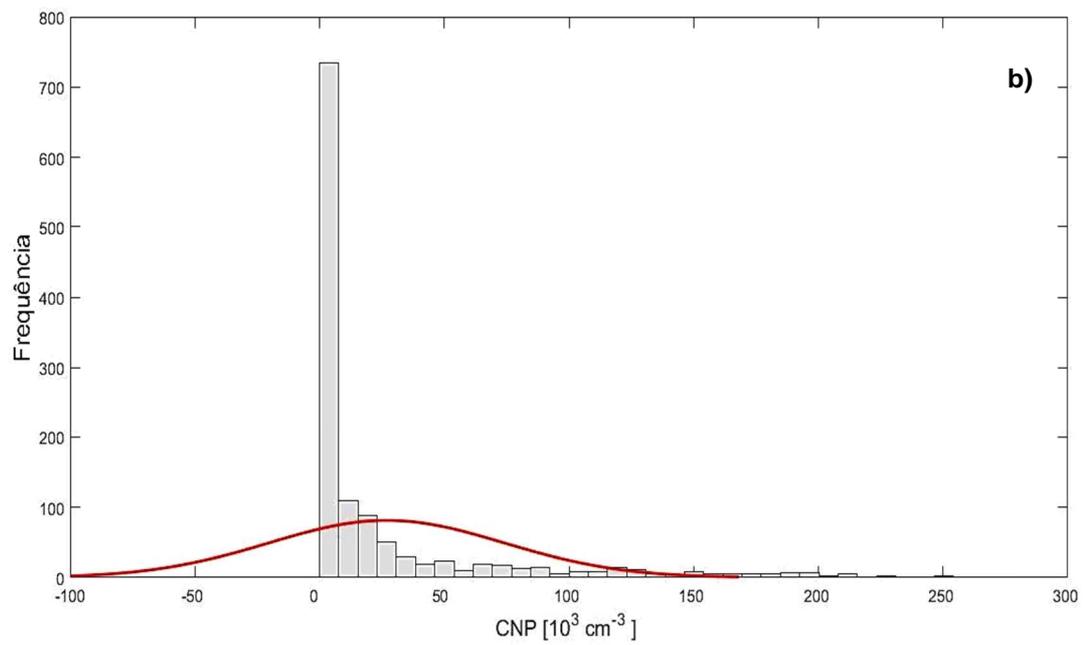
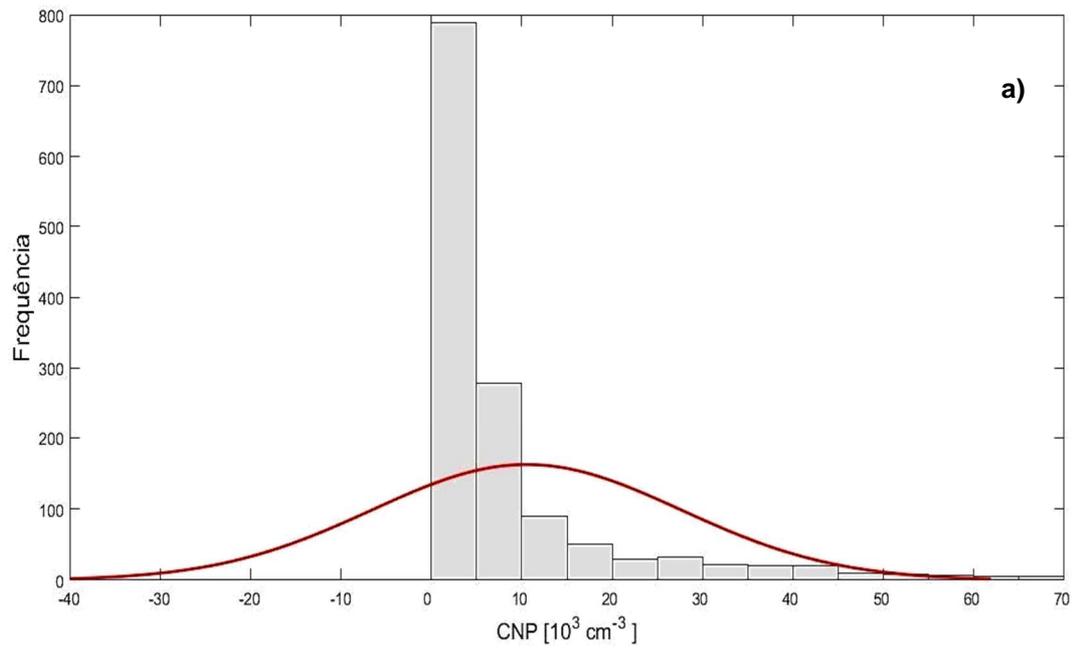
**Tabela C1** – Tabuas de maré (cm) para o período de estudo.

DATA	HORA																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
07/02/2015	36	54	75	100	125	143	141	115	75	40	24	29	46	69	92	113	129	137	131	106	68	35	20	23
08/02/2015	36	51	68	86	106	125	135	125	94	58	34	29	40	59	81	100	117	128	130	117	88	54	32	28
09/02/2015	38	52	66	79	92	107	120	122	106	77	50	37	40	52	69	87	103	115	122	119	101	73	49	38
10/02/2015	43	54	66	75	83	92	102	111	108	91	69	52	47	51	61	74	88	100	110	114	108	90	67	53
11/02/2015	52	59	68	74	77	80	86	94	101	97	84	70	60	58	58	63	71	81	93	103	108	101	86	70
12/02/2015	65	68	74	76	75	72	72	77	87	94	94	86	78	72	65	59	57	61	70	83	98	105	102	91
13/02/2015	82	80	82	82	77	69	62	60	68	83	95	99	96	90	80	66	53	45	45	56	75	96	109	110

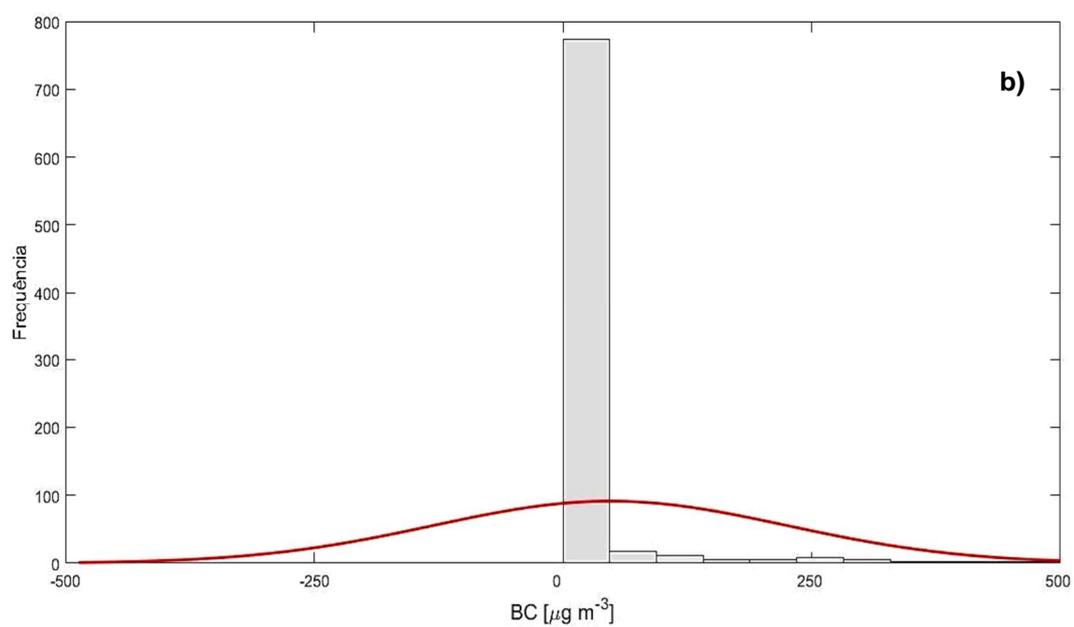
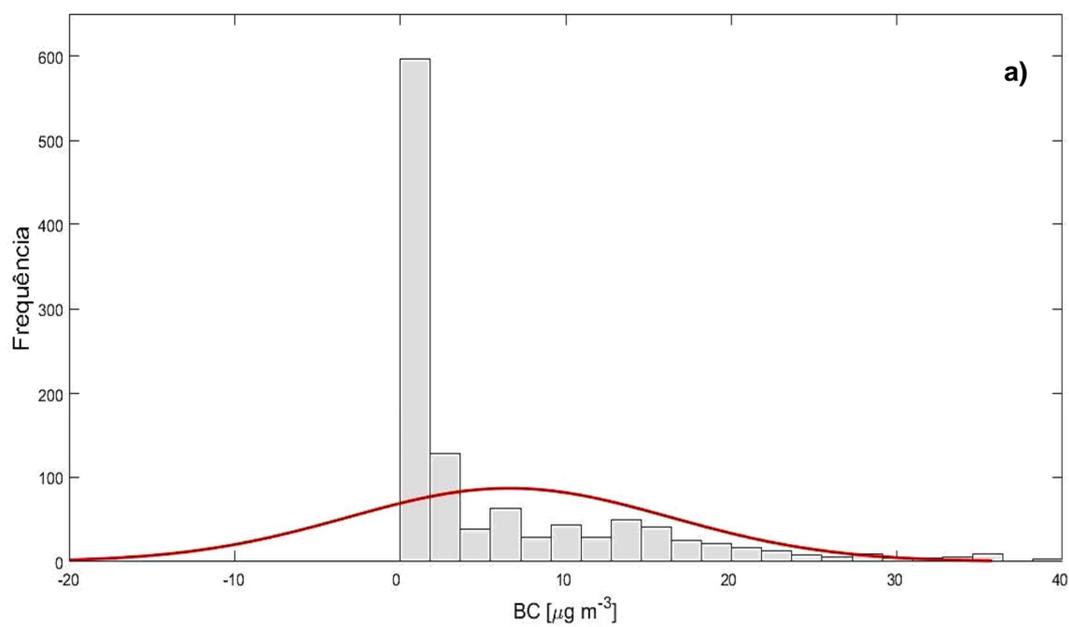
**Figura C3** – Representação gráfica das tabuas de maré (cm) para o dia 09/02/2015. Os círculos vermelhos inferiores representam BM, e os verdes superiores PM. **Fonte:** Autoria própria.

**APÊNDICE D – Histogramas das concentrações**

**Figura D1** – Histogramas das concentrações de BC, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 13 c - d respectivamente). **Fonte:** Autoria própria.



**Figura D2** – Histogramas das CNP, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 14 c - d respectivamente. **Fonte:** Autoria própria.



**Figura D3** – Histogramas das concentrações de BC para a análise de casos, a) viagens de ida, b) viagens de volta da Figura 19 c - d respectivamente. **Fonte:** Autoria própria.

## APÊNDICE E – Análise espacial das concentrações



**Figura E1** - Distribuição espacial da mediana das concentrações de BC1 cada 250 m durante a viagem Brasília – Paranaguá, no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. **Fonte:** Autoria própria.



**Figura E2** - Distribuição espacial da mediana das concentrações de CNP cada 250 m durante a viagem Brasília – Paranaguá, no dia 11/02/2015, 08:00 – 09:30. **Fonte:** Autoria própria.