

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARÍLIA LOPES DA ROCHA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA PLUMA DE
PEQUENA ESCALA NA BAÍA DE PARANAGUÁ, PR –
BRASIL.

PONTAL DO PARANÁ
2009

MARÍLIA LOPES DA ROCHA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA PLUMA DE
PEQUENA ESCALA NA BAÍA DE PARANAGUÁ, PR –
BRASIL.

Monografia apresentada à disciplina de estágio supervisionado I como requisito parcial a conclusão do Curso de Oceanografia com Habilitação de Pesquisa Oceanográfica, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Eunice da Costa Machado.

PONTAL DO SUL
2009

*Dedico esse trabalho aos meus avós,
Maria da Graça e Francisco, e a minha mãe.
Pessoas que tanto lutaram para que eu pudesse
chegar até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e aos meus avós que me criaram e fizeram de mim o que sou hoje. À minha mãe e irmã que foram duas mães cada uma em seu tempo. Com certeza essas pessoas são as que mais acreditaram e torceram por mim todo esse tempo.

À minha orientadora que nesses quase 5 anos me ensinou a ter responsabilidade e maturidade pra lidar com o trabalho e que muitos desses ensinamentos se refletiram na vida. Costumo dizer que alguns têm orientador amigo eu tenho uma orientadora “mãe”, que “puxa a orelha”, mas que sabe reconhecer seus acertos.

Aos meus pais “adotivos” seu João e dona Ilsa que me deram suporte e muitas vezes casa e comida nesses anos de faculdade. Ao meu irmão Hugo que desde a primeira semana de aula me acompanha em todos os momentos da minha vida, sem dúvida alguma parte do que sou hoje vem dele.

Aos meus amigos de Pontal que me agüentaram ao longo dessa jornada de coletas certas e erradas, aturando as muitas “rabugisses” e permanecendo do meu lado.

À japonesa que é “cheia de graça” e possui a sabedoria do “urso oriental”. À ruiva que tem o poder da doçura. À morena que tem a Clara Nunes dentro de si e aquela que tem o pai que dança pisando no meu pé. Às loirinhas, que cantam e fazem da sua vida uma diversão a cada dia e, a outra que é cheia de conversas profundas sobre o futuro, mesmo sendo a que mais fala coisas “úteis”. À magrela que é companheira de futebol e de vida. Aquela que tem cara de brava é rosa e faz “a dança do gordinho”. A baixinha que tem as mãozinhas de amassar “pão”. E finalmente, aquela que vem da cidade do “pepino” que é mais do que especial na minha vida. Quanto aos rapazes, ao que leva um limão e um “el zorro” na minha casa e me carrega nas costas por Pontal, aos que são gigantes de altura e tem a alma de uma criança e aos que vieram diretamente do filme “monstros SA” para alegrar minha vida.

Na realização deste trabalho, agradeço imensamente a inestimável ajuda do Professor Maurício Noernberg, que além de sugerir a ideia, me apoiou durante toda a execução, chegando até a se aventurar em uma canoa ao longo do canal do DNOS. Sempre se mostrando disposto a responder indiretamente às milhões de

dúvidas que eu tinha e algumas vezes precisando explicar várias vezes a mesma coisa para que eu pudesse entender. Mas nunca perdendo o sorriso e paciência (pelo menos eu acho).

Aos companheiros de laboratório de todos esses anos que fizeram das horas de trabalho mais divertidas. Em especial à Liciane que me ensinou tudo que sei de análise laboratorial com uma paciência divina.

Ao laboratório de oceanografia e geoprocessamento costeiro pelos empréstimos de equipamentos e ajuda constante no trabalho, especialmente ao Magrão, Glauco e Carolzinha.

Aos barqueiros Josias, Abraão e Roney, pela boa vontade durante a realização das coletas e ensinamentos sobre o mar.

Aos professores: Marcelo Dourado pelos dados da estação meteorológica e a ajuda com a interpretação da pluviosidade. Ao Marone, pela amizade inesperada e as conversas sempre inspiradoras. Ao Professor Maurício Camargo pela paciência em me ensinar os primeiros passos no software R e por fim, ao Professor César de Castro por ceder a balança para a pesagem dos filtros e pelos “empurrões” sempre visando o crescimento.

A todas as pessoas que tiveram a paciência, em participar das inúmeras coletas nem sempre bem sucedidas. Em especial aos amigos Lizi, Magrão, Glauco e Rodrigo que esse ano se tornaram mais que companheiros de trabalho.

A todas as pessoas que fizeram ou fazem parte da minha vida nesses 22 anos, que, diga-se de passagem, já tiveram em vários lugares desse Brasil (rs).

Agradeço ainda, ao auxílio financeiro do CNPq durante a realização deste trabalho.

Ao GRR 2005 que com certeza vai deixar saudades, por todos os momentos vividos, ensinados e trocados com vocês. Desejo tudo de melhor para os que ainda estão aqui e àqueles que se foram saibam que levaram um pouco de nós.

E por fim, a todos aqueles que julgaram a minha capacidade em realizar um bom trabalho.

Obrigada!

“Cada um carrega em si o dom de ser capaz”.

Almir Sater.

RESUMO

As plumas são estruturas dinâmicas caracterizadas pelo gradiente de salinidade acentuado, porém menor que da água oceânica circundante. Essas feições representam áreas de grande importância, devido ao seu papel de exportador de nutrientes, material orgânico e particulado em suspensão das áreas onde são originadas. O presente trabalho procurou investigar a influência da pluma do canal do DNOS abordando a interação entre a hidrodinâmica e variáveis físico-químicas durante marés vazantes de sizígia. A área de estudo localiza-se na desembocadura do Canal do DNOS na Baía de Paranaguá que constitui o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Quatro campanhas amostrais foram realizadas em outubro de 2008, março, julho e agosto de 2009. Foram efetuadas perfilagens da coluna d'água, utilizando sensores físicos em conjunto com coletas de água através de uma garrafa de Van Dorn. As variáveis investigadas foram: pH, material particulado em suspensão, substâncias húmicas (SH), oxigênio dissolvido (OD), clorofila-a, feofitina, nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), fosfato (PO_4^{3-}) e silicato (Si(OH)_4). O gradiente mais expressivo de salinidade foi registrado na campanha de outubro, quando a pluma esteve restrita a áreas de menores profundidades. Os constituintes que apresentaram maior correlação com este campo foram o nitrito, silicato e substâncias húmicas. Na campanha de março observou-se um gradiente restrito à superfície da coluna d'água com altas razões Si:NID, sugerindo condições favoráveis ao desenvolvimento das diatomáceas no local. Por outro lado, estas razões associadas aos baixos nutrientes nitrogenados poderiam ser decorrentes de uma incorporação e posterior senescência dos organismos. Dentre todas as campanhas, a de julho foi a que apresentou menor variação de salinidade, em função da maior amplitude de maré enchente em relação à vazante. As concentrações dos nutrientes foram levemente elevadas neste período em relação a outubro e março. A campanha de agosto apresentou um gradiente de salinidade similar ao de outubro. Nesta amostragem, as concentrações de fosfato foram mais elevadas nos primeiros pontos concomitantes com uma diminuição no OD e incremento nos teores de clorofila-a e MPS, indicando a ocorrência de um processo natural de remobilização e liberação do fósforo do sedimento para a coluna d'água. Todas as concentrações estiveram abaixo dos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para águas salobras das classes I e II. As razões baixas clorofila-a/feofitina e a magnitude do gradiente horizontal de nutrientes e substâncias húmicas, a partir da desembocadura do canal, indicam que a área investigada recebe grande quantidade de matéria orgânica em depuração e é fertilizada pela pluma. Observou-se ainda, que a maré é a grande "modeladora" da pluma do canal do DNOS.

Palavras-chave: pluma, canal do DNOS, gradientes de salinidade, nutrientes inorgânicos dissolvidos.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO. A - MAPA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ COM QUADRADO EVIDENCIANDO A LOCALIZAÇÃO DA DESEMBOCADURA DO CANAL DO DNOS. B - IMAGEM AÉREA DA ÁREA DE ESTUDO, EVIDENCIADOS: A GAMBOA DO PEREQUÊ E O CANAL DO DNOS. A SETA INDICA O SENTIDO DA VAZANTE NO LOCAL E NA BAÍA..... 19
- FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA DE AMOSTRAGEM. P1 (S), P2 (S) E P3 (S) APENAS MEDIDAS COM SENSOR FÍSICO. FONTE: LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA E GEOPROCESSAMENTO DO CEM..... 20
- FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA PROFUNDIDADE DAS REGIÕES PRÓXIMAS A DESEMBOCADURA DO CANAL DO DNOS 26
- FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO MÊS DE OUTUBRO/08. SUPERFÍCIE (A), SUB-SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE 27
- FIGURA 5 - VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE OUTUBRO/08. SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL. 28
- FIGURA 6 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE OUTUBRO/08. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM 28
- FIGURA 7 – A - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em $m.s^{-1}$) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM OUTUBRO/08..... 29
- FIGURA 8 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR (em $W.m^{-2}$) DO DIA DA AMOSTRAGEM DE OUTUBRO/08. A SETA PREENCHIDA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PONTILHADA, O FINAL 30
- FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS COLETADOS NO MÊS DE MARÇO/09. SUPERFÍCIE (A) E SUB-SUPERFÍCIE (B) 31
- FIGURA 10 – VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE MARÇO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL. 31
- FIGURA 11 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE MARÇO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM 32
- FIGURA 12 – ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em $m.s^{-1}$) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM MARÇO/09 33
- FIGURA 13 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM DE JULHO/09 (em $W.m^{-2}$). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL..... 34

FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS COLETADOS NO MÊS DE JULHO/09. SUPERFÍCIE (A), SUB - SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE	35
FIGURA 15 - VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA AMOSTRAL DE JULHO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL.....	36
FIGURA 16 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE JULHO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM	37
FIGURA 17 - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em m.s ⁻¹) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM JULHO/09.....	38
FIGURA 18 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM EM JULHO/09 (EM W.m ⁻²). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.....	39
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO MÊS DE AGOSTO/09. SUPERFÍCIE (A), SUB-SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE	40
FIGURA 20 – VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE AGOSTO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL	40
FIGURA 21 – PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE AGOSTO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM	41
FIGURA 22 - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em m.s ⁻¹) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM AGOSTO/09	42
FIGURA 23 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM EM AGOSTO/09 (em W.m ⁻²). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.....	43
FIGURA 24- PARAMETRO INDICADOR DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS (SH), ESTIMADAS A PARTIR DA LEITURA EM ABSORBÂNCIA 320 nm, AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRADOS	45
FIGURA 25- DISTRIBUIÇÃO OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS. INÍCIO DA ESCALA EM 50	46
FIGURA 26- DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (mg/L) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.....	47
FIGURA 27- DISTRIBUIÇÃO DE CLOROFILA-a (µg/L) - AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	48
FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DE FEOFITINA (µg/L) - AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	49

FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO DO FOSFATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	50
FIGURA 30- DISTRIBUIÇÃO DE NITRATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	51
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DO NITRITO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	52
FIGURA 32- DISTRIBUIÇÃO DO AMÔNIO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	53
FIGURA 33- RAZÃO MOLAR DE NID: PID^- AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	54
FIGURA 34- DISTRIBUIÇÃO DA RAZÃO MOLAR DE SI:NID AO LONGO DOS PONTOS E MESES AOSTRADOS	55
FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS	56
FIGURA 36 - PCA DE TODAS AS COLETAS EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DA CAMPANHA DE AGOSTO.....	57
FIGURA 37-DIAGRAMAS DE MISTURA DAS VARIÁVEIS (SH , PO_4^{-3} , Si(OH)_4 , NO_2^- E MPS) NA COLETA DE OUTUBRO. LINHA PREENCHIDA INDICA ÁGUA DE FUNDO E PONTILHADA DE SUPERFÍCIE	59
FIGURA 38 - DIAGRAMAS DE MISTURA DAS VARIÁVEIS (SH , Si(OH)_4 , NO_2^- E MPS) NA COLETA DE OUTUBRO. LINHA PREENCHIDA INDICA ÁGUA DE FUNDO E PONTILHADA DE SUPERFÍCIE	60
FIGURA 39- FOTO DA COLETA DE AGOSTO/09, EXEMPLIFICANDO A COLORAÇÃO BEM MARCADA DAS ÁGUAS APRESENTADAS NAS AMOSTRAGENS	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - HORÁRIO DE REALIZAÇÃO DAS CAMPANHAS.....	21
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DA TEMPERATURA (°C) E pH AO LONGO DAS AMOSTRAGENS, RESPECTIVAMENTE	42
TABELA 3 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE AS VARIÁVEIS E A SALINIDADE NAS CAMPANHAS.....	57
TABELA 4 - ESTIMATIVAS DE FERTILIZAÇÃO NA DÁ AREA INVESTIGADA	60
TABELA 5 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA COLUNA D'ÁGUA EM ALGUNS SISTEMAS ESTUARINOS.....	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.1.1. <u>Objetivos específicos</u>	15
3. ÁREA DE ESTUDO	16
3.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL	16
3.2. CANAL DO DNÓS.....	17
3.2.1. <u>Breve histórico</u>	17
3.2.2. <u>Caracterização da área</u>	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM	20
4.2. COLETA DE E TRATAMENTO DE DADOS FÍSICOS	21
4.3. COLETAS DE DADOS FÍSICO-QUÍMICOS.....	23
4.3.1. <u>Oxigênio dissolvido</u>	23
4.3.2. <u>Material particulado em suspensão e feopigmentos</u>	23
4.3.3. <u>Nutrientes inorgânicos dissolvidos</u>	24
4.3.4. <u>Parâmetro indicador de substâncias húmicas (SH)</u>	24
4.4. CALCULO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	25
5. RESULTADOS	26
5.1. PARÂMETROS REFERENTES A DINÂMICA ESPACIAL DA PLUMA.....	26
5.1.1. <u>Profundidade</u>	26
5.1.2. <u>Campanha de outubro de 2008</u>	27
5.1.2.1. <u>Salinidade</u>	27
5.1.2.2. <u>Altura da maré</u>	27
5.1.2.3. <u>Precipitação mensal</u>	28
5.1.2.4. <u>Intensidade dos ventos</u>	29
5.1.2.5. <u>Incidência solar</u>	30
5.1.3. <u>Campanha de março de 2009</u>	31
5.1.3.1. <u>Salinidade</u>	31
5.1.3.2. <u>Altura da maré</u>	32
5.1.3.3. <u>Precipitação mensal</u>	33
5.1.3.4. <u>Intensidade dos ventos</u>	33
5.1.3.5. <u>Incidência solar</u>	34
5.1.4. <u>Campanha de julho de 2009</u>	35
5.1.4.1. <u>Salinidade</u>	35
5.1.4.2. <u>Altura da maré</u>	36
5.1.4.3. <u>Precipitação mensal</u>	37
5.1.4.4. <u>Intensidade dos ventos</u>	38
5.1.4.5. <u>Incidência solar</u>	39
5.1.5. <u>Campanha de agosto de 2009</u>	40
5.1.5.1. <u>Salinidade</u>	40
5.1.5.2. <u>Altura da maré</u>	41
5.1.5.3. <u>Precipitação mensal</u>	42

5.1.5.4	<i>Intensidade dos ventos</i>	42
5.1.5.5	<i>Incidência solar</i>	43
5.2.	VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DA PLUMA	44
5.2.1.	<u>Parâmetro indicador de substâncias húmicas</u>	45
5.2.2.	<u>Oxigênio dissolvido (OD)</u>	47
5.2.3.	<u>Material particulado em suspensão (MPS)</u>	48
5.2.4.	<u>Clorofila-a</u>	49
5.2.5.	<u>Feofitina</u>	50
5.2.6.	<u>Fosfato</u>	51
5.2.7.	<u>Nitrato</u>	52
5.2.8.	<u>Nitrito</u>	53
5.2.9.	<u>Amônio</u>	54
5.2.10.	<u>Razão NID:PID (molar)</u>	55
5.2.11.	<u>Razão Si: NID (molar)</u>	56
5.2.12.	<u>Silicato</u>	57
5.3.	ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	58
5.4.	CORRELAÇÃO DE PEARSON	59
5.5.	DIAGRAMAS DE MISTURA	59
5.6.	ESTIMATIVAS DE EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E SH	62
6.	DISCUSSÃO	63
6.1.	DINÂMICA ESPACIAL DA PLUMA	63
6.2.	DINÂMICA FÍSICO-QUÍMICA DA PLUMA	66
7.	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PLUMA SOBRE A ÁREA COSTEIRA ADJACENTE E A ESTRATÉGIA AMOSTRAL	76
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXOS	86

1. INTRODUÇÃO

Na Zona costeira há uma constante interação entre os sistemas terrestres e marinhos, sendo, portanto uma área influenciada por várias forçantes hidrodinâmicas e biogeoquímicas em diferentes escalas espaço-temporal. Nessas áreas de interface existe uma grande diversidade de ambientes, sendo os estuários, as lagoas costeiras e os deltas de rios os mais comumente encontrados.

De maneira geral, os ambientes citados acima são controlados a partir da variabilidade climática nas bacias de drenagem e pelas oscilações no regime de marés (nas áreas de influência marítima), fatores que geram alterações diárias nestes sistemas (MIRANDA *et al* 2002). Dentro desses ambientes, a interação de água doce com os processos costeiros e a descarga de materiais podem contribuir para uma manutenção favorável dos ecossistemas, na reprodução, desenvolvimento de espécies e padrões de transporte e deposição (SEELIGER, 1998).

Do ponto de vista hidrodinâmico, a água doce proveniente do fluxo dos rios tende a se espalhar através da desembocadura do rio e formar um fluxo paralelo à costa (NARAYANAN & GARVINE, 2002). Neste contexto, as águas continentais entram na plataforma em forma de plumas, estruturas dinâmicas formadas por uma massa d'água flutuante de baixa densidade e com alta concentração de material em suspensão (MARQUES *et. al.*, 2009), caracterizadas pelo gradiente de salinidade acentuado, porém menor que da água oceânica circundante. Dentro das plumas, a presença de águas contrastantes e o gradiente formado por elas fazem desses ambientes regiões distintas, onde a transformação é substituída pela exportação de sedimentos, nutrientes e materiais orgânicos provenientes da drenagem continental para a zona costeira (DAGG *et al.*,2004).

Embora estas estruturas representem grande importância nas regiões costeiras, os estudos relacionados a plumas no litoral paranaense são escassos, destaca-se os trabalhos de Angelotti (2008) e Noernberg (2001) desenvolveram estudos na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). O primeiro autor estudou a variabilidade e a estratificação termo-halina da pluma formada na plataforma continental adjacente ao CEP, O segundo autor delimitou a área e alguns processos de dispersão da pluma através de imagens de LANDSAT 7.

Dentro do Complexo Estuarino de Paranaguá, a desembocadura do canal artificial do DNOS é uma área de pequena escala em relação ao ambiente do qual faz parte. No entanto, o canal apresenta grande importância local, pois é ponto de partida de várias embarcações pesqueiras e turísticas para dentro e fora da baía, além de abrigar o Porto de embarque para a Ilha do Mel, segundo maior ponto turístico do Paraná.

O presente estudo foi desenvolvido com intuito de caracterizar as variáveis físico-químicas nas águas da pluma do canal do DNOS. Tais fatores representam, no sentido ambiental, ferramentas dinâmicas para descrever alguns dos processos que ocorrem durante a interação das águas do canal com o estuário adjacente, bem como a influência deste no local. Dessa forma, investigou-se a pluma do canal do DNOS por meio da abordagem da interação da hidrodinâmica e dos indicadores físico-químicos, a partir de perfilagens da coluna d'água com sensores físico-químicos, em quatro campanhas realizadas entre outubro de 2008 e agosto de 2009, durante marés vazantes de sizígia.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As plumas costeiras podem ser classificadas como fluviais e estuarinas. No primeiro caso, a liberação de água doce é em direção ao mar, quando o gradiente fluvial é mais acentuado que as variações das marés. Com relação às estuarinas, as marés promovem uma mistura da maior parte de água provinda da drenagem continental. Ambas as formas de pluma costeira podem ocorrer num estuário, basicamente em função da variância de descarga dos rios e amplitude de maré (MANN & LAZIER, 1996).

A morfologia das plumas depende diretamente da descarga do rio, das condições de maré, do stress do vento e da direção das correntes (MORRIS *et al* 1995). Durante seu percurso ao longo da plataforma a pluma é gradualmente diluída, formando um gradiente horizontal de salinidade (LENTZ & LIMEBURNER, 1995), dessa maneira, a composição básica desta feição pode ser definida através da salinidade, devido à boa representatividade dessa variável aos progressos relativos da mistura do aporte fluvial com as águas mais salinas (HORNBERGER & DEVINE 2009).

Na zona costeira, a descarga de água doce proveniente dos rios cria a estratificação vertical, enquanto que a intensidade do stress dos ventos nas águas superficiais gera as misturas verticais. Em certos estágios da maré, as águas rasas nas margens dos estuários são misturadas de acordo com o destino da maré. Esses fatores somados às variações nas condições meteorológicas locais induzem a uma grande variabilidade espacial e temporal na descarga da água doce para o sistema e, conseqüentemente, na extensão e direção principal da diluição da pluma (MORRIS *et al* 1995; PIOLA 2004).

Dessa maneira, essas áreas podem ser biogeoquimicamente caracterizadas pela alta descarga de constituintes e por ocorrerem em locais de menor alcance do estuário, onde a turbidez é relativamente baixa e as condições de crescimento do fitoplâncton são favoráveis. Estes fatores resultam em alta atividade biológica e o possível desenvolvimento de uma biota especializada e de grande abundância (GASTON *et al.*, 2006).

Regiões onde há formação de plumas são perceptíveis tanto em imagens de satélite ou *in situ* e apresentam as seguintes características: são comumente circundadas por uma estreita zona, com acentuados gradientes horizontais de densidade, que podem estar associados a uma marcada mudança na coloração ou na turbidez, muitas vezes com a presença de uma linha de espuma e/ou detritos. Tais limites são chamados de frentes, regiões extremamente importantes para determinar a influência e a dinâmica que a pluma apresentará na zona costeira (GARVINE & MONK, 1974; O'DONNEL, 1993)

Neste sentido, Lewis (1997) cita que em locais influenciados pela descarga fluvial, é possível inferir a distribuição de nutrientes na zona costeiras através dos movimentos de dispersão do gradiente de salinidade. Além disso, as descargas de contaminantes nos estuários tendem a ser associadas com águas superficiais menos salinas, e a taxa de diluição dessas regiões determina quais os impactos que essas substâncias terão no ambiente.

Com enfoque na descarga de rios e a formação de plumas, destaca-se a revisão bibliográfica elaborada por Dagg *et al* (2004), o estudo discute vários processos que envolvem a transformação do material particulado e dissolvido em regiões de formação das plumas. Os autores ressaltam que as grandes quantidades de processos de transformação biogeoquímicos afetam os constituintes sobre pequenas escalas espaciais e temporais, tornando esses ambientes altamente

dinâmicos e importantes para o transporte e transformação do material terrestre nas margens continentais.

Em todo o mundo, são inúmeros os estudos voltados para o entendimento e funcionamento das plumas. Com relação à influência biológica dessas áreas, sobressai-se o trabalho de Sánchez-Gil *et al* (2008) no Golfo do México, no qual os autores estudaram abundância sazonal de duas espécies utilizando áreas de influência da pluma. Este estudo concluiu que o sucesso ecológico das espécies é baseado no uso em tempo e espaço das plumas estuarinas.

No Rio Tâmis (Londres) Weston *et al* (2008) verificou na região da pluma a composição do fitoplâncton e os processos biogeoquímicos da pluma estuarina formada pelo rio, o autor concluiu que a região da pluma é uma área que transportes de nutrientes e de ocorrência de processos fitoplanctônicos no sudeste do Mar Norte.

No contexto do presente trabalho, Morris *et al* (1995) em estudo no estuário Humber no Reino Unido, utilizaram três métodos para determinar a descarga de nutrientes provenientes da zona costeira. Estes autores constataram que a exportação de nutrientes da pluma para a zona costeira varia sazonalmente, apresentando comportamento conservativo no inverno, agindo como um sumidouro na primavera e no verão a pluma funcionaria como um sumidouro para alguns elementos e suprimento de outros.

No Brasil, Schettini *et al* (2005), estudaram a influência da região de água doce do rio Itajaí-Açu em Santa Catarina. A partir de transectos realizados durante 15 campanhas, as variáveis químicas foram coletadas juntamente com uma perfilagem da coluna d'água usando uma sonda CTD. Os autores, entretanto, não verificaram correlação significativa entre os efeitos da vazão do rio e as variáveis físico-químicas estudadas.

Grande parte dos trabalhos relacionados a essas feições é relativa a regiões de alta e média descarga, tais como o Amazonas-PA, o Rio Ródano-França entre outros (GEYER *et al* 1996; ALLIOT 2003). Porém, frentes de pequena escala associadas com a mistura de água salobra e do mar são feições aparentemente comuns em estuários e áreas costeiras adjacentes. Neste sentido, Pritchard & Huntley (2002) comentam que apesar da pequena espacialidade, essas frentes apresentam comportamentos bastante efêmeros, com extenso formato espacial e

temporal, podendo representar áreas de grande importância em escalas local e regional.

Este trabalho foi desenvolvido a partir de observações visuais relativas ao ciclo da maré na desembocadura do canal do canal do DNOS, em que há um constante aporte de águas turvas, algumas vezes acompanhadas de manchas de óleo provenientes do constante fluxo de embarcações na área, detritos e lixos, na região costeira adjacente. Além disso, a região é constantemente utilizada, tanto pela população local quanto pelos turistas, (movimento acentuado na época de temporada) em atividades de recreação como pesca amadora e banhistas.

Neste contexto, a lacuna de dados relativos ao funcionamento da pluma do canal do DNOS, representa uma limitação para o entendimento dos ciclos de nitrogênio e fósforo na baía, no que tange à identificação e quantificação das fontes desses nutrientes e, portanto para o gerenciamento adequado do CEP.

O entendimento da distribuição dos nutrientes aliados aos gradientes de salinidade pode fornecer subsídios para que se caracterize a influência da pluma na área adjacente. Além disso, podem ser identificadas as principais fontes de materiais dissolvidos e particulados, como o aporte de manguezais e a drenagem proveniente das habitações, marinas e restaurantes, localizados nas margens do canal.

Dessa maneira, o estudo da pluma é importante por ser indicador do impacto local da comunidade de Pontal do Sul e dos que se estabelecem ao largo do canal, como é o caso das marinas. Assim, o presente estudo pretende contribuir na avaliação de impactos positivos e/ou negativos na área adjacente, fornecendo subsídios para melhores estratégias de gestão da desembocadura do canal do DNOS.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Investigar a influência da pluma do canal do DNOS na estrutura físico-química da coluna d'água na área adjacente a sua desembocadura, durante marés vazantes de sizígia.

2.2 Objetivos específicos:

- Correlacionar as variações da salinidade com a situação de maré e as condições meteorológicas anteriores e do dia da amostragem.
- Quantificar os níveis de nutrientes inorgânicos dissolvidos, os teores de oxigênio dissolvido, material particulado, clorofila-a, feopigmentos e estimativa das substâncias húmicas nas águas da pluma.
- Verificar a distribuição das variáveis investigadas em relação aos gradientes verticais e horizontais de salinidade
- Efetuar uma estimativa da magnitude do potencial da exportação da pluma na área de influência da mesma.
- Determinar as razões NID: PID, Si: NID e clorofila-a: feopigmentos e suas implicações para o desenvolvimento do fitoplâncton e estado trófico da área em questão.
- Verificar a reatividade dos constituintes investigados ao longo do gradiente de salinidade.
- Avaliar a qualidade da água através de uma comparação em relação às variáveis mensuradas com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

O litoral paranaense apesar de sua pequena extensão em comparação aos outros estados brasileiros, destaca-se pela ocorrência de dois importantes sistemas estuarinos. A Baía de Guaratuba, localizada na porção sul do litoral, com aproximadamente 50 km² e o Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (CEP), o CEP apresenta dois eixos principais: um ocupado pelas baías de Paranaguá e Antonina (eixo E-W) e outro pelas baías das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros (eixo NNE-SSW), aos quais se conectam diversos canais de maré. A conexão do CEP com o mar se dá por duas entradas localizadas entre Pontal do Sul e Ilha do Mel (canal do Sul), e entre as ilhas do Mel e das Peças (canal do Norte).

A desembocadura do canal do DNOS está localizada na entrada da Baía de Paranaguá. Desta forma ele sofre ação direta da maré da plataforma continental e da baía.

De acordo com Knoppers *et al.* (1987), Marone *et al.* (1995), entre outros, o sistema estuarino da Baía de Paranaguá exibe um padrão de estratificação salina somente em situações de fortes marés vazantes, que ocorrem principalmente durante a ocorrência de chuvas intensas. Nos demais períodos é observada uma variação espacial no padrão de estratificação, com águas bem misturadas no setor externo e uma progressiva estratificação em direção ao interior da baía.

O clima é classificado como pluvial temperado, sempre úmido, com chuvas em todos os meses do ano e temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C (Cfa) (IPARDES, 1989). O índice médio pluviométrico é elevado, e pode atingir valores superiores a 2.000mm.

Na região foi observado um padrão sazonal de circulação e estratificação, com salinidades médias entre 12 e 29 e temperaturas entre 23 e 30 °C no período chuvoso de verão e, entre 20 e 34 para salinidade e 18 e 25 °C para temperatura, no período seco de inverno (LANA *et al.*, 2001). Mantovanelli (1999) reporta que o tempo de renovação da água doce no sistema é de 3 a 10 dias. A variação sazonal da descarga de água doce corresponde a aproximadamente 30% da média anual dos valores durante o período seco (maio/outubro) e 170% durante o período chuvoso (novembro/abril). Os ventos mais frequentes na região são de nordeste com

razão de velocidade média de 4 m/s, acentuados em eventos de tempestades provenientes da região sul (FUNPAR, 1997).

3.2 CANAL DO DNOS

3.2.1 Breve histórico

O órgão Departamento Nacional de Saneamento, responsável pelo desenvolvimento das áreas litorâneas das praias, passou a executar o projeto de Drenagem do Litoral do Paraná na metade do século XX, o qual tinha como objetivo principal realizar o controle de inundações e a recuperação de terras para fins agrícolas e de ocupação. Para tal fim, foram realizadas drenagens nos rios existentes e a abertura de canais artificiais, com o intuito de facilitar o escoamento das áreas de banhados (MIRANDA, 2006)

Segundo Soares *et al.* (1997), o antigo órgão do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) construiu o canal do DNOS na década de 1950, com o objetivo de melhorar o saneamento, pois na época a região de construção deste era repleta de manguezais, os quais eram vistos como áreas insalubres. Desde a sua abertura, a foz do canal se manteve instável e diversas obras de contenção foram realizadas pela população local, modificando a dinâmica de transporte da deriva litorânea, que desencadeou um intenso processo erosivo que perdura até os dias de hoje.

Atualmente o gerenciamento da área do canal, é feito pelo Governo do Estado através da Secretária do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, que a partir de dragagens visa retirar resíduos lançados indevidamente e que bloqueiam o fluxo da água neste (MIRANDA, 2006).

O asfaltamento do acesso ao embarque para a Ilha do Mel também provocou aumento explosivo das marinas no canal do DNOS e no trecho canalizado do Rio Perequê, na década de 90 (ANGULO, 1993)

3.2.2 Caracterização da área

O município de Pontal do Paraná está localizado na planície costeira do estado do Paraná, região sul do Brasil. Essa planície tem cerca de 20 km de largura, atingindo um máximo de 50 km na Baía de Paranaguá e está situada principalmente em altitudes inferiores a 10 m sobre o nível do mar, embora possa chegar a 20 m nas áreas interiores. Dessa maneira, essa topografia suave da região favorece o afloramento do lençol freático em eventos de elevada pluviosidade que no local ocorrem em curto espaço de tempo, implicando em inundação de extensas áreas, principalmente durante os períodos chuvosos.

O início do canal DNOS é no balneário Grajaú no município de Pontal do Paraná e a desembocadura, está localizada na entrada do Complexo Estuarino de Paranaguá no balneário de Pontal do Sul. O canal estende-se paralelo à costa, e possui aproximadamente trinta e cinco quilômetros de extensão, ligando o balneário Caiobá até a desembocadura no balneário de Pontal do Sul (figura 1), no litoral do Estado do Paraná (GOBBI; 1995).

A configuração do canal sofre várias mudanças ao longo de sua extensão apresentando locais de avançado assoreamento (principalmente a montante), com muitos trechos estrangulados pela presença de manilhas (PARANÁSAN, 2002). Próxima a desembocadura do canal deságua o Rio Perequê com 2,6 km de extensão, o Rio Perequê apresenta um traçado meandrante dominado pelo regime de marés (LANA *et al.*, 1989)., ao longo de suas margens está localizado o manguezal do Perequê apresenta uma área de aproximadamente 30 ha, estendendo-se ao longo de praticamente toda a área da gamboa.

O canal do DNOS é influenciado pelo regime de marés da Baía de Paranaguá, que é predominantemente semidiurno, com desigualdades diurnas, e com forte assimetria nas elevações e corrente de maré (MARONE *et al.*, 1995; MARONE & JAMIYANAA, 1997). As correntes de maré apresentam-se mais intensas nos momentos de vazantes, chegando aos 58cm/s enquanto que na enchente não ultrapassam os 22 cm/s (MARTINS *et al.*, 2001). O trecho de maior influência da maré e da água salgada no canal encontra-se na região mais próxima a sua desembocadura, e as intensidades e direções dos fluxos variam de acordo com o estágio da maré.

Dentre todos os aspectos que influenciam a descarga do canal do DNOS na Baía de Paranaguá, a situação mais crítica e de difícil previsão é a ocorrência de maré meteorológica durante maré de sizígia, tanto em época de grande e pouca vazão. Tais marés geram o represamento das águas do canal e em períodos de maior demanda (temporada) podem causar diminuição na qualidade da água do canal. (PARANÁSAN, 2002)

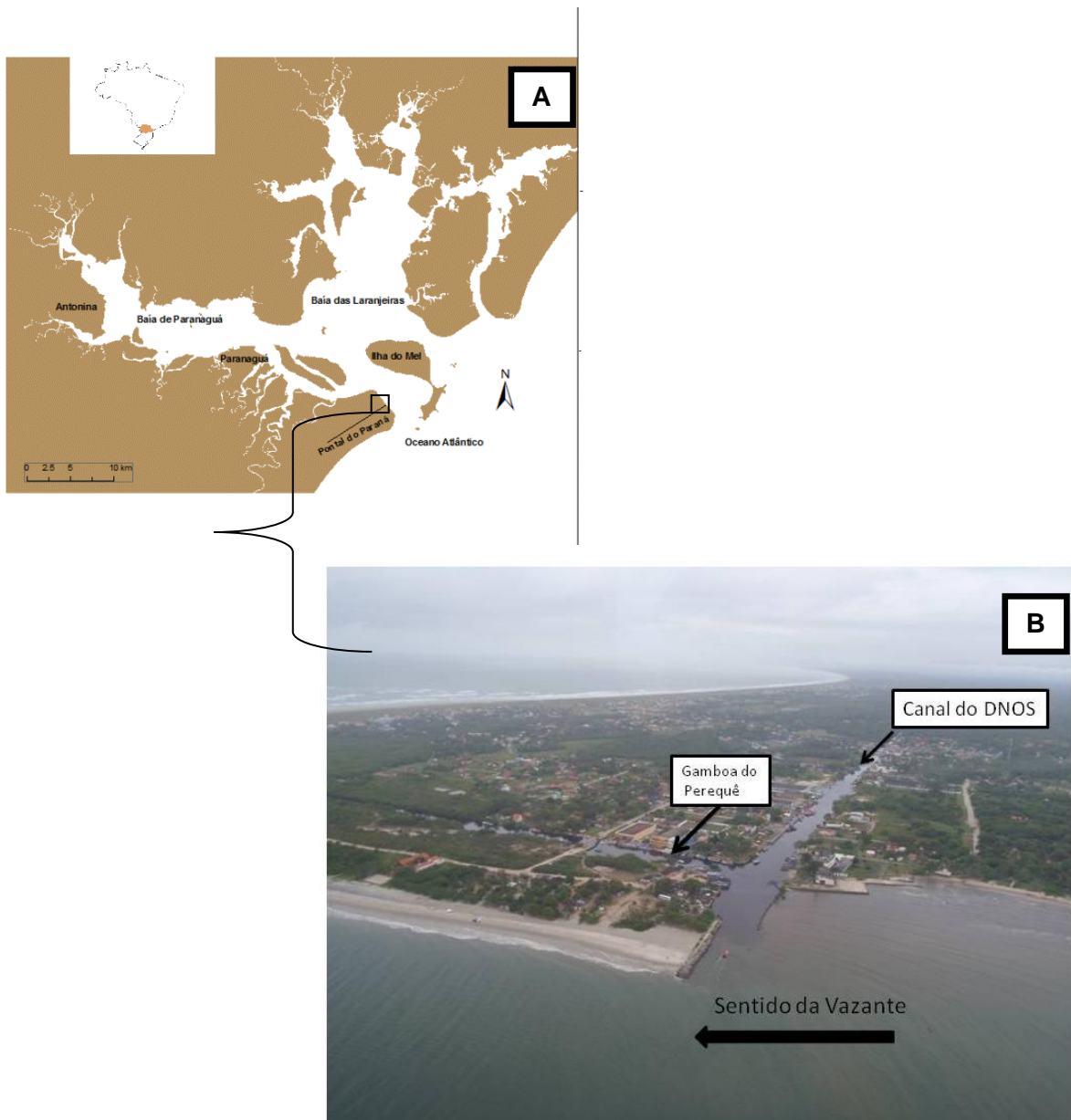


FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO. A- MAPA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ COM QUADRADO EVIDENCIANDO A LOCALIZAÇÃO DA DESEMBOCADURA DO CANAL DO DNOS. B- IMAGEM AÉREA DA ÁREA DE ESTUDO, EVIDENCIADOS: A GAMBOA DO PEREQUÊ E O CANAL DO DNOS. SETA INDICA O SENTIDO DA VAZANTE NO LOCAL E NA BAÍA.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM

As campanhas de amostragem foram realizadas em marés vazantes de sizígia, com o intuito de abranger o período em que a pluma pode ter a maior extensão na costa. Além disso, sempre que possível, amostrou-se após períodos de precipitação intensa ou em épocas mais secas, para que se pudesse observar eventuais diferenças no comportamento da pluma e compará-las.

As campanhas foram efetuadas nos meses de outubro de 2008, março, julho e agosto de 2009. Na primeira coleta, treze pontos foram georeferenciados com o auxílio de um GPS (marca *Garmim* – com precisão média entre 9 e 15 metros) de acordo com o deslocamento da pluma na coluna d'água. Posteriormente, uma nova malha foi estabelecida através de uma imagem ikonos utilizando a interface do software Arcgis 9.2, na qual os pontos foram escolhidos e georeferenciados com base na espacialidade apresentada pela pluma nas outras amostragens e utilizada nas campanhas, de julho e agosto (figura 2).

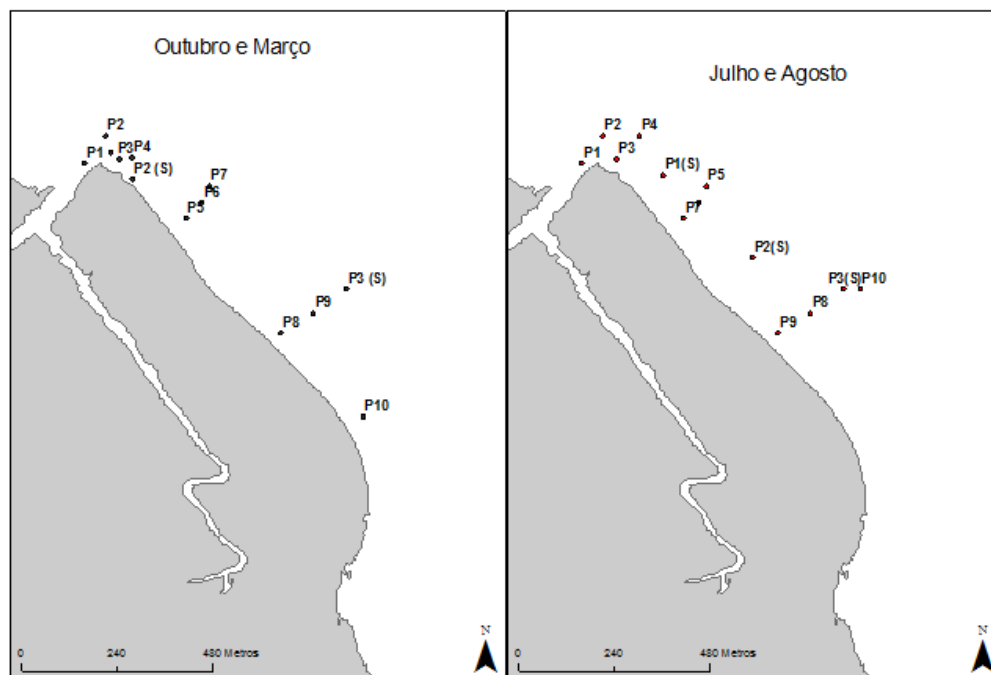


FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA DE AMOSTRAGEM. P1 (S), P2 (S) E P3 (S) APENAS MEDIDAS COM SENSOR FÍSICO. FONTE: LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA E GEOPROCESSAMENTO DO CEM.

No momento da coleta, foram registradas a hora de lançamento do equipamento na água (tabela 1) e as condições visualmente perceptíveis do ambiente, como a cobertura de nuvens, direção do vento, força da corrente de maré, além de observações referentes ao comportamento da pluma, extensão, coloração, presença de detritos e linhas de espuma. Essas anotações foram analisadas em conjunto com os dados de amostragens *in situ*, e quando necessárias utilizadas como complemento na interpretação dos resultados.

TABELA 1 - HORÁRIO DE REALIZAÇÃO DAS CAMPANHAS

CAMPANHAS	HORÁRIO INICIAL	HORÁRIO FINAL
OUTUBRO/2008	6:30	08:30
MARÇO/2009	16:22	18:01
JULHO/2009	15:50	17:33
AGOSTO/2009	15:40	17:12

Foram obtidos dados meteorológicos dos dias anteriores até o momento de finalização da amostragem. As informações respectivas a precipitação, pressão do ar, direção e velocidade de vento foram fornecidas pela estação meteorológica localizada no Centro de Estudos do Mar (UFPR).

4.2. COLETAS E TRATAMENTO DE DADOS FÍSICOS.

Inicialmente, a perfilagem da coluna d'água nas campanhas de outubro/2008 e março/2009, foi efetuada com auxílio de um correntômetro eletromagnético S4 fabricado pela *InterOcean Systems*, com frequência de 2 Hz e programado para amostrar a cada 8 segundos. Nas campanhas de julho/2009 e agosto/2009 utilizou-se um CTD modelo *Sea-birds electronics*, programado para realizar uma média das medidas a cada 7 segundos. Os equipamentos foram presos a um cabo e após os sensores serem estabilizados por 30 segundos na água, soltos até o fundo e puxados lentamente para a superfície, respeitando-se o tempo de medida.

As variáveis de interesse para esse trabalho obtidas com estes equipamentos foram: a salinidade, temperatura e profundidade, sendo descartados os valores medidos fora da água.

De maneira geral, optou-se por usar os dados medidos durante o trajeto do fundo a superfície para evitar o ruído. Porém, devido ao fato de que muitas vezes a pluma encontrava-se restrita às águas mais superficiais, foram consideradas em algumas ocasiões, após a estabilização do aparelho, medidas realizadas no momento de descida do equipamento que não fossem espúrias.

Por conseguinte, as profundidades de acordo com a variação da salinidade foram separadas a cada meio metro e em regiões sem medidas foram realizadas interpolações simples utilizando a fórmula do próprio (EXCEL). A partir disto, foram construídas tabelas, com as seguintes nomenclaturas: superfície-A (o valor mais próximo a superfície), sub-superfície-B (logo abaixo do anterior), meio-C (meia-água) e fundo-D (último valor medido no fundo pelo equipamento).

Posteriormente, as coordenadas e a salinidade do ponto amostrado foram organizadas em uma planilha de três colunas (x, y e z). Esses valores foram usados para construção dos mapas de contorno no software Surfer 8.0 (Golden Software, Inc.), onde as medidas entre os pontos foram resolvidas através do método de interpolação via triangulação linear. A escala numérica com intervalo de 1 e o gradiente de cores foi padronizado para todas as campanhas.

Os gráficos de direção e velocidade do vento foram correspondentes aos dados medidos no dia anterior e até o final da coleta, os valores foram rotacionados 30 graus, de acordo com a localização do canal na costa seguindo a metodologia de Miranda (2002), e os gráficos foram gerados através de uma rotina do software matlab. A rosa dos ventos foi padronizada para o sentido oceanográfico, ou seja, a direção dos ventos não é de onde estes são originados.

Os dados medidos da altura da maré foram cedidos pela Paranaguá Pilots Serviços de Praticagem S/C Ltda, provenientes da estação maregráfica situada próximo à desembocadura sul do CEP. No software R 2.9. foi extraída a média da altura a cada hora e plotados os gráficos.

A extensão espacial da pluma foi estimada no software Arcgis 9.2, através de uma imagem IKONOS, do canal utilizando uma ferramenta de medida próprio programa, na qual foram plotados os pontos e medidas as distâncias do início ao fim das variações na salinidade.

4.3 COLETA DE DADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Para as análises físico-químicas, devido ao curto período de tempo para a amostragem (até o final da vazante) e ao relativo pequeno espaço amostral foram escolhidos dez entre os treze pontos de coleta (P01 a P10).

Foram coletadas amostras de água de superfície e fundo com o auxílio da garrafa de Van Dorn, com exceção do ponto um, no qual a amostragem foi realizada um pouco abaixo da superfície, pois não apresentou profundidade suficiente na primeira campanha e esta sistematização foi adotada para as campanhas seguintes.

Em todas as coletas, retirou-se primeiramente uma alíquota para a determinação do oxigênio dissolvido, a qual foi fixada imediatamente em frasco previamente calibrado, seguido do pH, ambos abrigados da luz em caixa térmica com água do local. As demais amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e conservadas refrigeradas até a análise em laboratório.

As variáveis foram analisadas por procedimentos analíticos de rotina no laboratório de Biogeoquímica Marinha do Centro de Estudos do Mar (CEM) localizado em Pontal do Sul, com exceção do Potencial hidrogeniônico – pH, que foi medido através de um pH-metro Hanna (precisão de $\pm 0,02$ unidades de pH). Os detalhes considerados mais relevantes dos procedimentos executados para as demais variáveis serão descritos a seguir.

4.3.1 Oxigênio dissolvido

Oxigênio dissolvido através do método de Winkler, modificado por Grasshoff *et al.* (1999). O método apresenta precisão de $\pm 0,02 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para teores de $2 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ e $\pm 0,04 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para teores superiores.

4.3.2 Material Particulado em suspensão e Feopigmentos

As amostras para a determinação do MPS e clorofila-a foram filtradas a partir de volumes conhecidos em filtros Whatman GF/C (47 mm), conservados congelados até a análise posterior. O material em suspensão foi determinado pelo método gravimétrico (STRICKLAND & PARSONS, 1972), isto é pela diferença do peso dos filtros vazios (secos em estufa à 60°C por 3 horas, resfriados, etiquetados e

previamente pesados antes de cada campanha) e cheios, medida em uma balança analítica de quatro casas.

Os pigmentos foram extraídos em acetona 90 % (v/v), mantidos no escuro e sob refrigeração por um período mínimo de 20 horas. A leitura das concentrações foi determinada seguindo o método fluorimétrico descrito por Strickland e Parsons (1972), utilizando um aparelho Turner Designs modelo AU-10.

4.3.3 Nutrientes inorgânicos dissolvidos

Foram analisados pelos métodos colorimétricos descritos por Grasshoff *et al.* (1999), que consiste na adição de reagentes formando complexos coloridos, cujas absorvâncias foram lidas em comprimentos de onda específicos em espectrofotômetro SHIMADZU UV/V-1601, na faixa de luz do visível (λ de 400 a 700 nanômetros). Foram determinadas as concentrações dos seguintes nutrientes: nitrato - NO_3^- , nitrito NO_2^- (precisão de $\pm 0,02 \mu\text{mol/L}$), amônio - NH_4^+ (soma de NH_4^+ e NH_3) com precisão de $\pm 0,1 \mu\text{mol/L}$ (na faixa de 0 a $5 \mu\text{mol/L}$), fosfato PO_4^{3-} (precisão de $0,01 \mu\text{mol/L}$) e silicato Si(OH)_4 , com uma precisão variando de 0,2 a $1,1 \mu\text{mol/L}$, em concentrações ambiente de 1 a $45 \mu\text{mol/L}$.

As análises foram efetuadas em amostras previamente filtradas para minimizar a interferência das partículas na leitura no espectrofotômetro, aproveitando-se o filtrado do MPS. O nitrato foi previamente reduzido a nitrito em uma coluna redutora de cádmio cuperizado.

Os reagentes que foram utilizados para a realização das análises foram os mesmos que Araújo (2008) utilizou em seu trabalho. A autora construiu curvas de calibração dos nutrientes com várias diluições a partir de concentrações conhecidas usando a solução estoque ($10.000 \mu\text{mol/L}$) conforme os procedimentos descritos por Grasshoff *et al.* (1999), com leitura em espectrofotômetro SHIMADZU UV/V-1601. Todos os coeficientes de correlação (r^2) foram superiores a 0,9.

4.3.4 Parâmetro indicador de substâncias húmicas (SH)

Após a filtragem em filtros Schleicher & Schuell, com porosidade nominal de $0,2 \mu\text{m}$, as amostras foram lidas em espectrofotômetro SHIMADZU UV/V-1601, no comprimento de onda de 320 nm , como indicador semi-quantitativo das

concentrações das substâncias húmicas conforme utilizado por Noernberg (2001) e Brandini (2008), doravante denominados por SH.

4.4 CÁLCULOS E TRATAMENTO DOS DADOS

As concentrações dos constituintes investigados foram calculadas no software Excel 2007. O nitrato foi determinado através da subtração do nitrito. Foram calculadas ainda as concentrações do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) a partir da soma de todos os compostos nitrogenados (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-). Finalmente, utilizando as concentrações totais de silicato, NID e fosfato foram estabelecidas as razões $\text{Si}(\text{OH})_4/\text{NID}$ e NID/PO_4^- , doravante Si:N e N:P. Além disso, efetuou-se o cálculo da razão entre a clorofila-*a* feofitina e uma estimativa de fertilização da área investigada, através da razão entre os valores máximos e mínimos de NID, substâncias húmicas, fosfato e silicato, na área de distribuição da pluma do canal do DNOS. Assim, os valores máximos seriam representativos da fonte (canal), e os mínimos interpretados como os níveis naturais do ambiente sem a influência da pluma.

No software R 2.9 foram construídos os gráficos das concentrações e das razões de cada elemento estudado em relação aos meses amostrados. As variáveis foram submetidas ao teste de normalidade Shapiro-wilk ($p > 0,05$), no qual valores que não apresentaram significância foram transformados e utilizados na realização de uma análise de componentes principais (PCA), para verificar possíveis tendências considerando todas as coletas. Foram efetuadas análises de correlações entre todas as variáveis *versus* a salinidade e para as variáveis com correlação significativa ($r > 0,5$) foram construídos diagramas de mistura com a salinidade.

Além disso, ressalta-se que em anexo seguem todas as tabelas brutas, com o cálculo das razões e as concentrações das variáveis.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos no presente estudo serão descritos em dois tópicos: 3.1. Parâmetros referentes a dinâmica espacial da pluma, que relata cada campanha individualmente, e; 3.2. Variáveis físico-químicas nas águas da pluma, que aborda o comportamento apresentado de cada parâmetro em todas as amostragens.

5.1. PARÂMETROS REFERENTES A DINÂMICA ESPACIAL DA PLUMA

5.1.1 Profundidade

Nota-se que as profundidades (figura 3) nas áreas adjacentes ao canal têm média de 3 metros e apresentam aumento concomitante com a distância do canal.

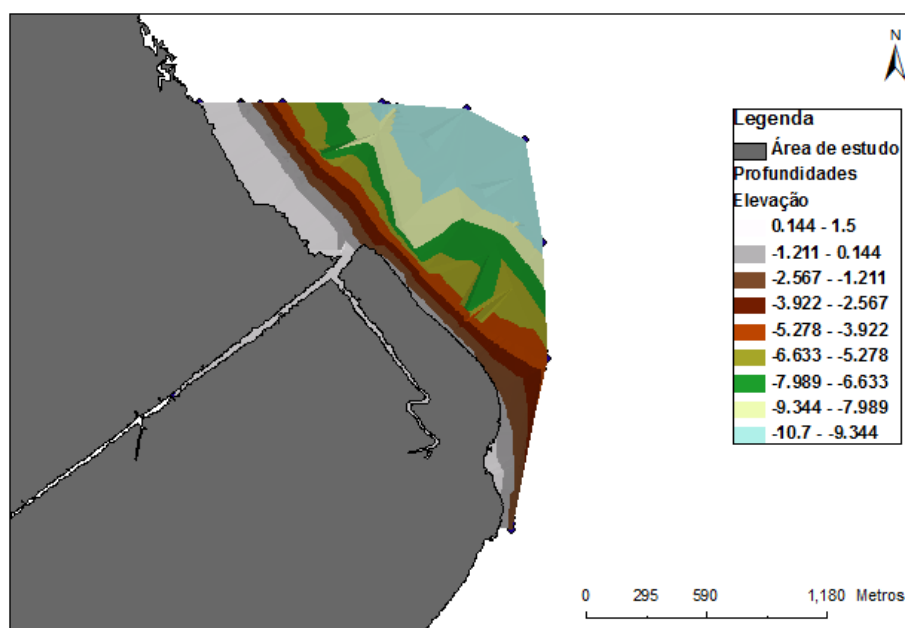


FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA PROFUNDIDADE DAS REGIÕES PRÓXIMAS A DESEMBOCADURA DO CANAL DO DNOS.

5.1.2. Campanha de Outubro de 2008

5.1.2.1. Salinidade

A campanha de outubro apresentou as maiores diferenças na salinidade em relação a todas as amostragens, com valores entre 13 e 30 (figura 4). Observou-se um gradiente acentuado nos pontos próximos à desembocadura e da região costeira adjacente ao canal, com aumento uniformes dos valores à medida que se afasta dessas áreas. Com relação às profundidades, há um aumento da salinidade de acordo com a profundidade, mais evidenciado nos resultados de meia - água (C) e fundo (D). A variação da salinidade atingiu uma área com extensão de 600 m e com 80 m de largura.

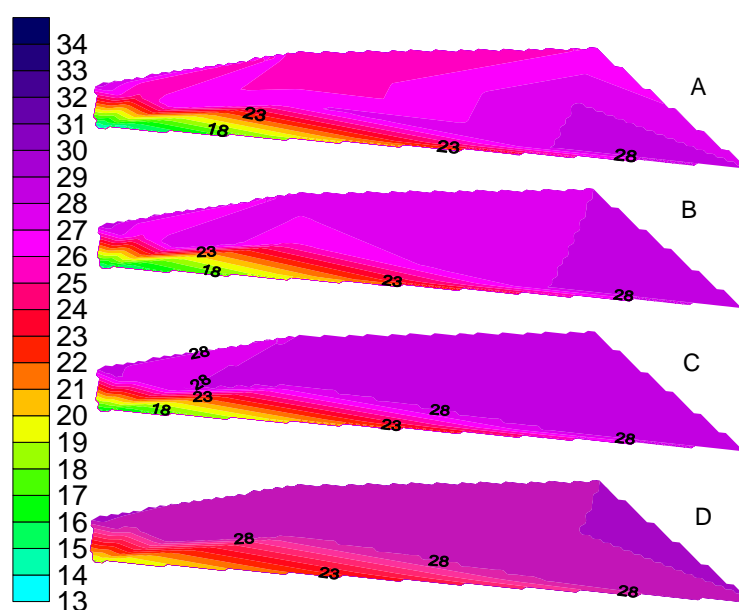


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO MÊS DE OUTUBRO/08. SUPERFÍCIE (A), SUB-SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE.

5.1.2.2. Altura da maré.

A altura máxima da maré foi 2,4 m (figura 5) sendo registrada na estufa da enchente no período anterior a amostragem. As coletas começaram quando a altura da maré atingiu 1,5 m, algumas horas após o início da vazante no período da manhã e, a finalização coincidiu com o início da enchente.

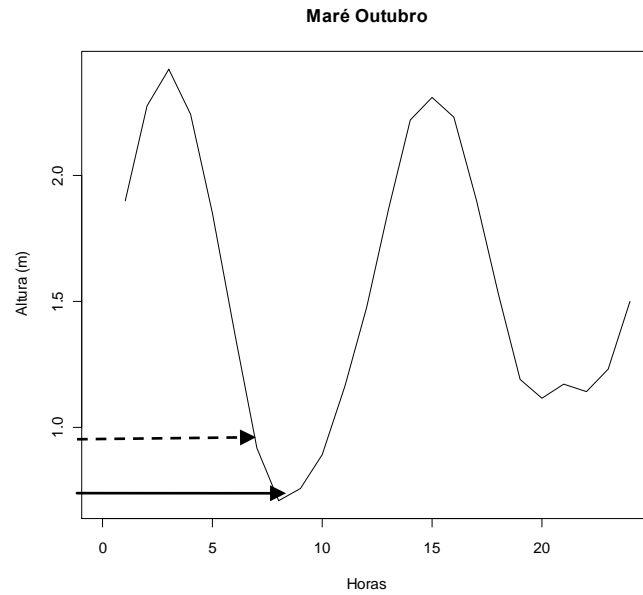


FIGURA 5 - VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE OUTUBRO/08. SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.

5.1.2.3. Precipitação mensal

As precipitações máximas em outubro foram de 66 mm na primeira semana do mês (figura 6). Nota-se que na semana de realização da campanha, os valores medidos foram baixos em relação aos registrados no mês, com valores inferiores a 12 mm.

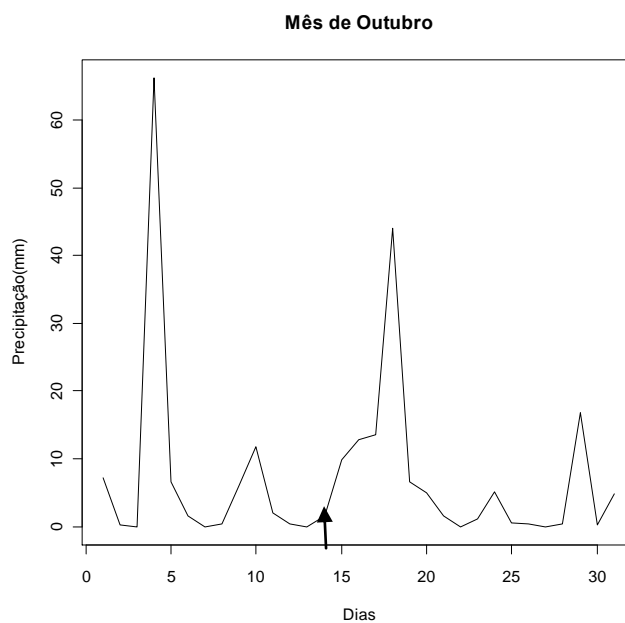


FIGURA 6 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE OUTUBRO/08. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM.

5.1.2.4. Intensidade dos ventos

De maneira geral, a intensidade dos ventos foi baixa com valores médios entre $3,5$ a $0,37 \text{ m.s}^{-1}$ (figura 7) e direção predominante de sudeste e sudoeste. Poucas horas antes da amostragem, nota-se que o sentido do vento muda pra nordeste e permanece com intensidades entre $1,27$ e $1,87 \text{ m.s}^{-1}$ durante toda a coleta.

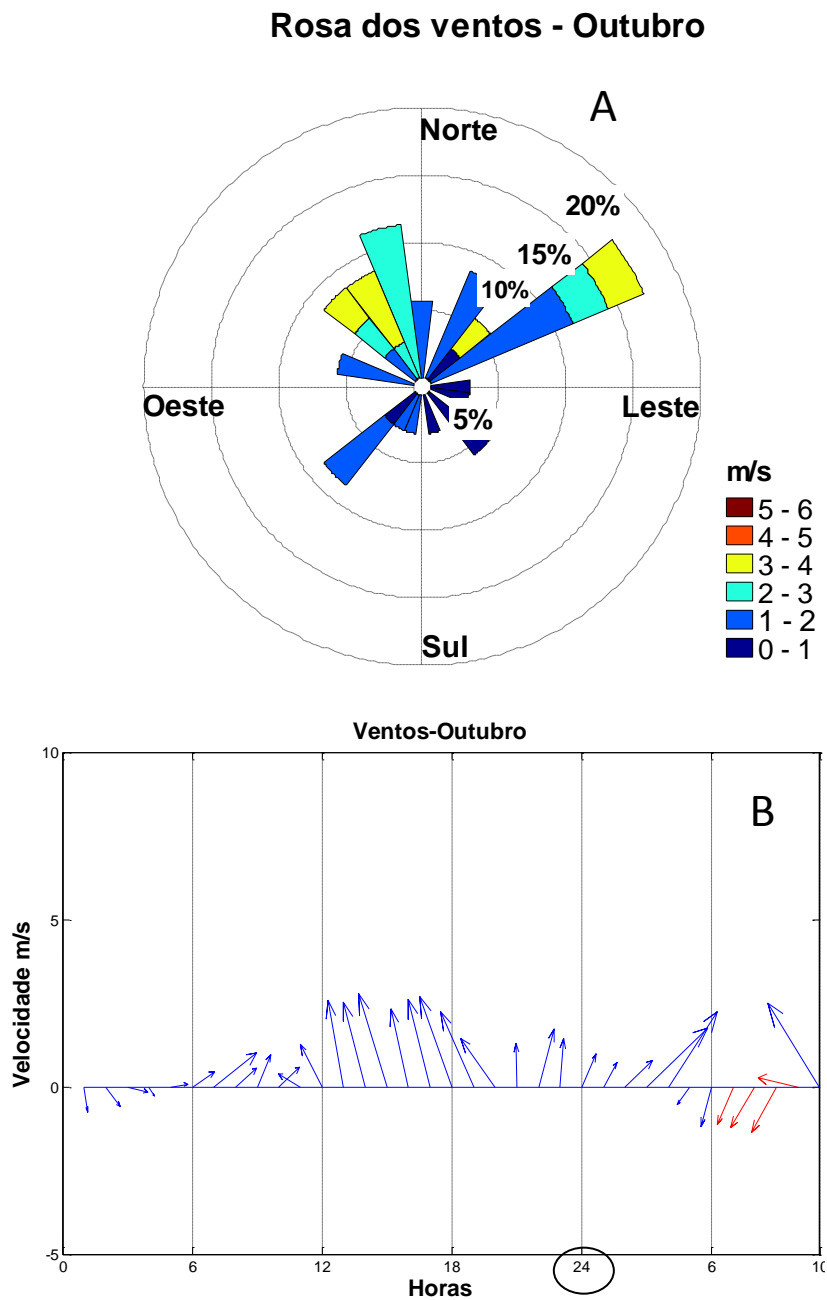


FIGURA 7- A - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em m.s^{-1}) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM OUTUBRO/08.

5.1.2.5. Incidência solar

A coleta foi efetuada no período da manhã (figura 8), com níveis de radiação solar variando de 2,52 a 253 W.m^{-2} no início e final da amostragem, respectivamente. De maneira geral, observa-se que há um decréscimo de incidência solar a partir das 15 horas

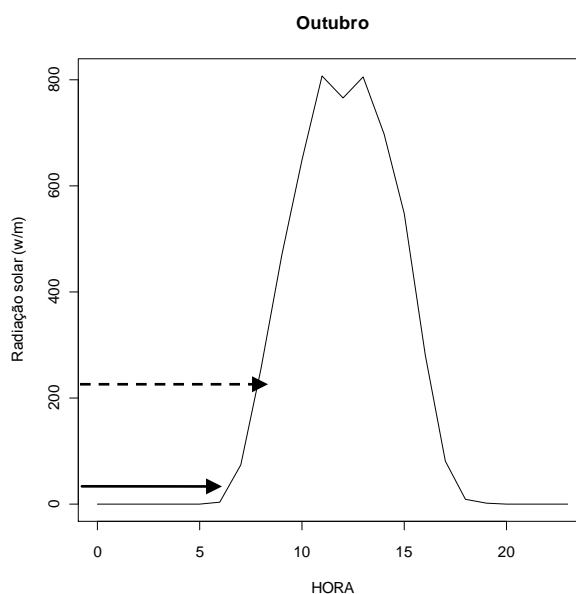


FIGURA 8 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR (em W.m^{-2}) DO DIA DA AMOSTRAGEM DE OUTUBRO/08. A SETA PREENCHIDA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PONTILHADA, O FINAL.

5.1.3. Campanha de Março de 2009

5.1.3.1. Salinidade

Na amostragem de março, as variações na salinidade limitaram-se à camada superficial (figura 9), com valores entre 17 e 32. Verifica-se, de acordo com o aumento da distância em relação à desembocadura um aumento gradual da salinidade. O mapa B mostra apenas uma baixa variação nos primeiros pontos próximos a desembocadura. As demais camadas mantiveram salinidade de 31, e, portanto não foram representadas abaixo. A extensão e largura de 675 e 120 metros respectivamente, foram superiores aos apresentados no mês de outubro.

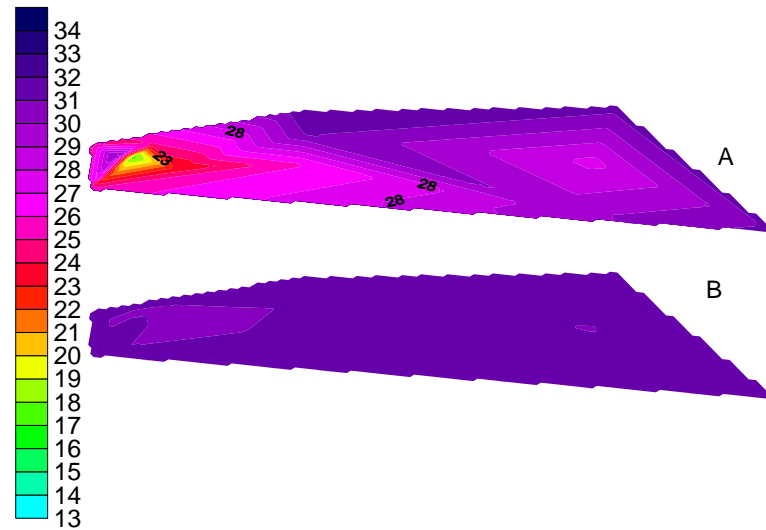


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS COLETADOS NO MÊS DE MARÇO/09. SUPERFÍCIE (A) E SUB-SUPERFÍCIE (B).

5.1.3.2. Altura da maré

Observa-se que a amplitude máxima da maré enchente foi de 2,46 e 0,74 m na estufa da vazante (figura10). A amostragem neste mês foi realizada no período da tarde e iniciou às 16 horas, com alturas de maré variando entre 2,30 e 1,49 m no término da coleta.

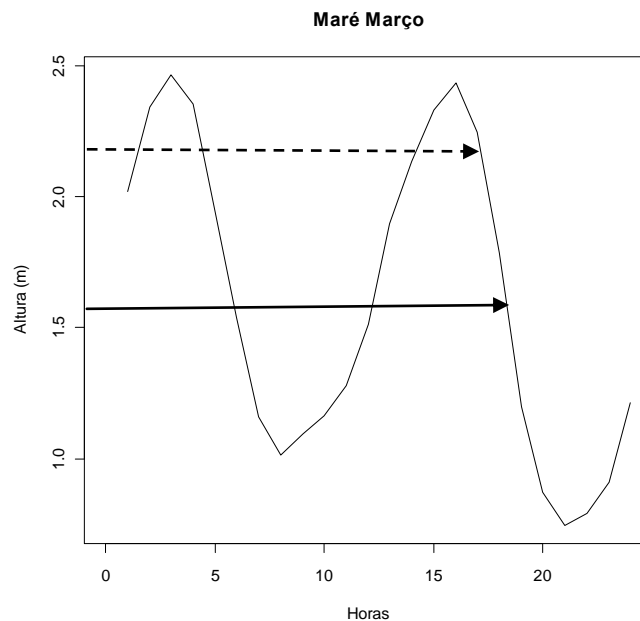


FIGURA 10 – VARIACÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE MARÇO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.

5.1.3.3. Precipitação mensal

De acordo com a figura 11, os períodos de maiores precipitações foram registrados durante o sexto e sétimo dia anteriores a coleta. Após esse máximo, os valores permaneceram baixos até o dia da amostragem. Em comparação com as outras coletas, a pluviosidade máxima registrada de 73,2mm foi a mais elevada.

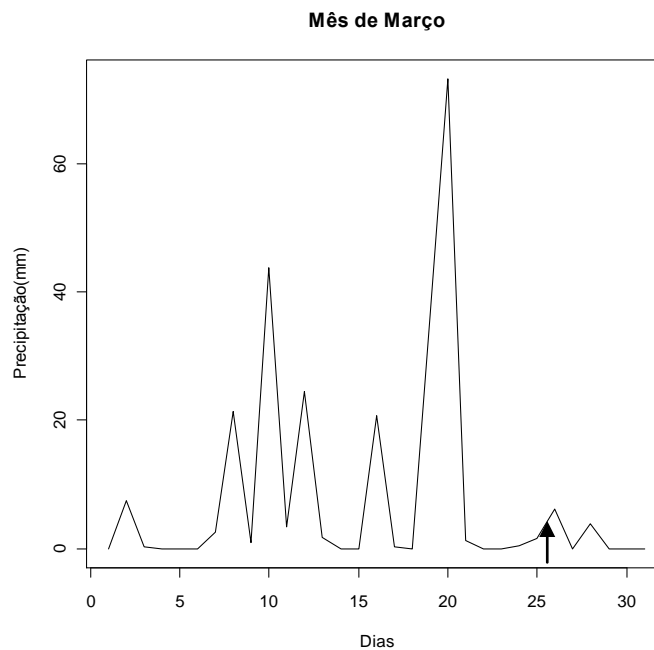


FIGURA 11 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE MARÇO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM.

5.1.3.4. Intensidade dos ventos

De maneira geral, os ventos apresentaram direções dominantes de noroeste e do quadrante sul (figura 12) com velocidades máximas de $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ e mínimas de $1,05$. É possível visualizar que durante o período da coleta predominaram ventos sul com intensidades médias de $3,55$ a $3,88 \text{ m.s}^{-1}$.

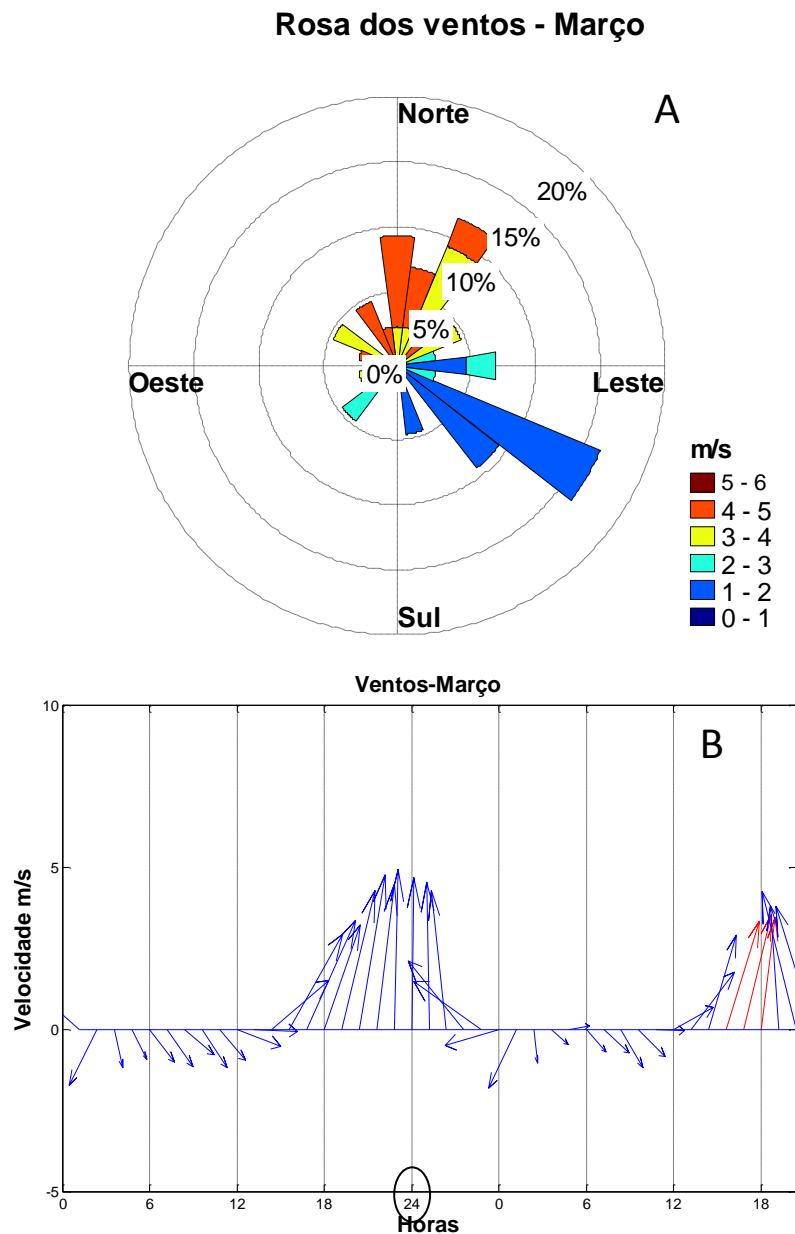


FIGURA 12 - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B - INTENSIDADE (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM MARÇO/09.

5.1.3.5. Incidência solar

Dentre todas as campanhas, a de março registrou os maiores índices de radiação solar (figura 13), com valores atingindo $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ no período da tarde. Destacam-se no período da amostragem valores de $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ com diminuição para $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ no final.

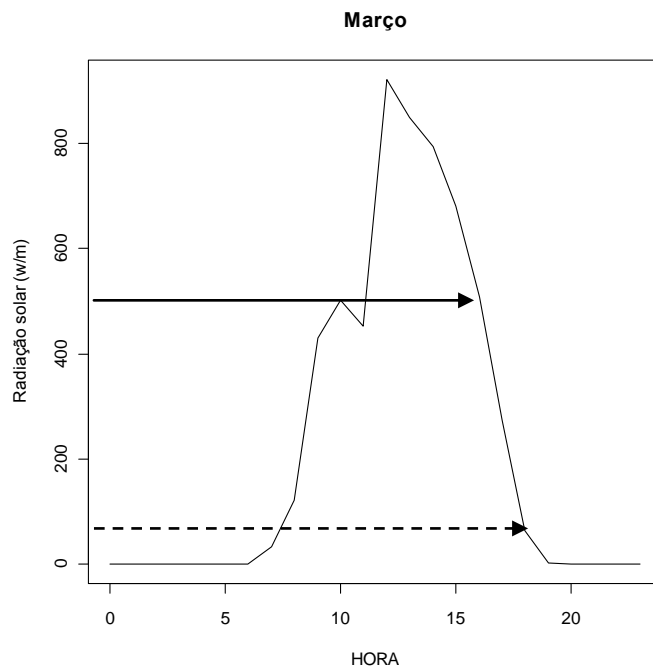


FIGURA 13 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM DE JULHO/09 (em $W.m^{-2}$). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL.

5.1.4. Campanha de Julho de 2009

5.1.4.1. Salinidade

No mês de julho, a salinidade máxima foi 34, valor superior aos registrados em todas as campanhas. Verificou-se na camada mais superficial da coluna d'água (A) (figura 14) um leve gradiente halino, seguindo um padrão similar ao campo de outubro/2008. A profundidade B manteve valores constantes de salinidade e nos mapas C e D percebe-se uma distinção entre duas águas com salinidade diferentes. A variação na salinidade atingiu aproximadamente 450 m de extensão e 82 m de largura.

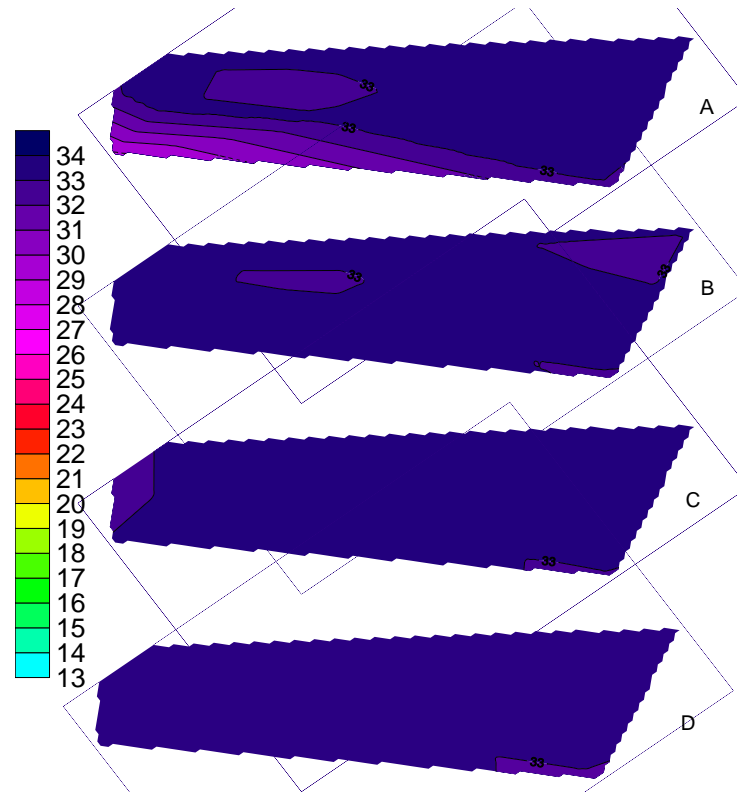


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS COLETADOS NO MÊS DE JULHO/09. SUPERFÍCIE (A), SUB - SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE.

5.1.4.2. Altura da maré

A partir da figura 15 pode-se observar que a maior altura de maré foi obtida na estufa da enchente no período da tarde, com valor de 1,9 m, e a menor média de 0,33 m na baixa-mar da manhã. O trabalho de campo foi realizado após o começo da vazante com altura inicial e final de 1,87 e 1,35 m, respectivamente.

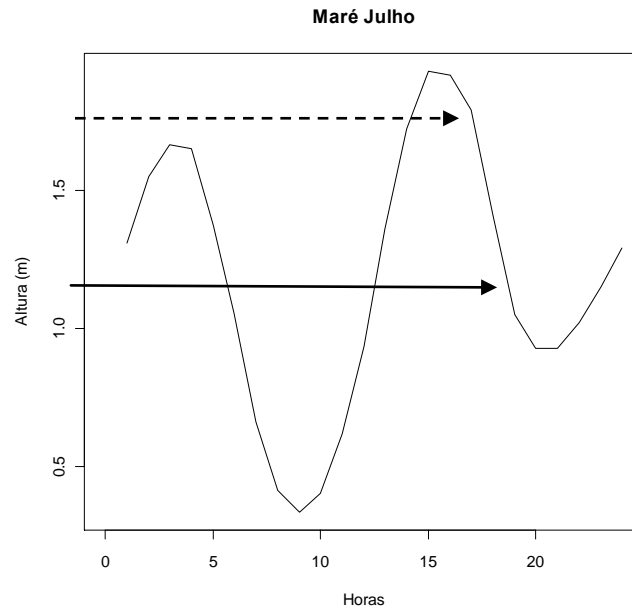


FIGURA 15 - VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA AMOSTRAL DE JULHO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL.

5.1.4.3 Precipitação mensal

De acordo com os dados médios de pluviosidade apresentados na figura 16, observa-se que o período de maior precipitação foi referente ao final do mês de julho/2009 com valores inferiores a 40 mm. Ressalta-se o pico medido de 16 mm no dia anterior à realização do trabalho de campo e ausência de precipitação no dia da amostragem.

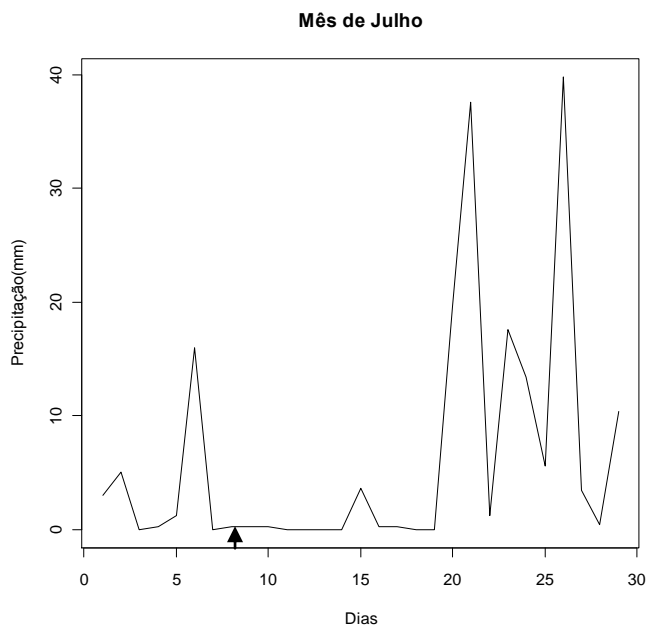


FIGURA 16 - PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE JULHO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM.

5.1.4.4. Intensidade dos ventos

De maneira geral, no dia anterior à coleta de julho/2009, houve a predominância de ventos do quadrante norte (figura 17) e, durante a campanha, o quadrante sul foi dominante com intensidades máximas de $4,12 \text{ m.s}^{-1}$.

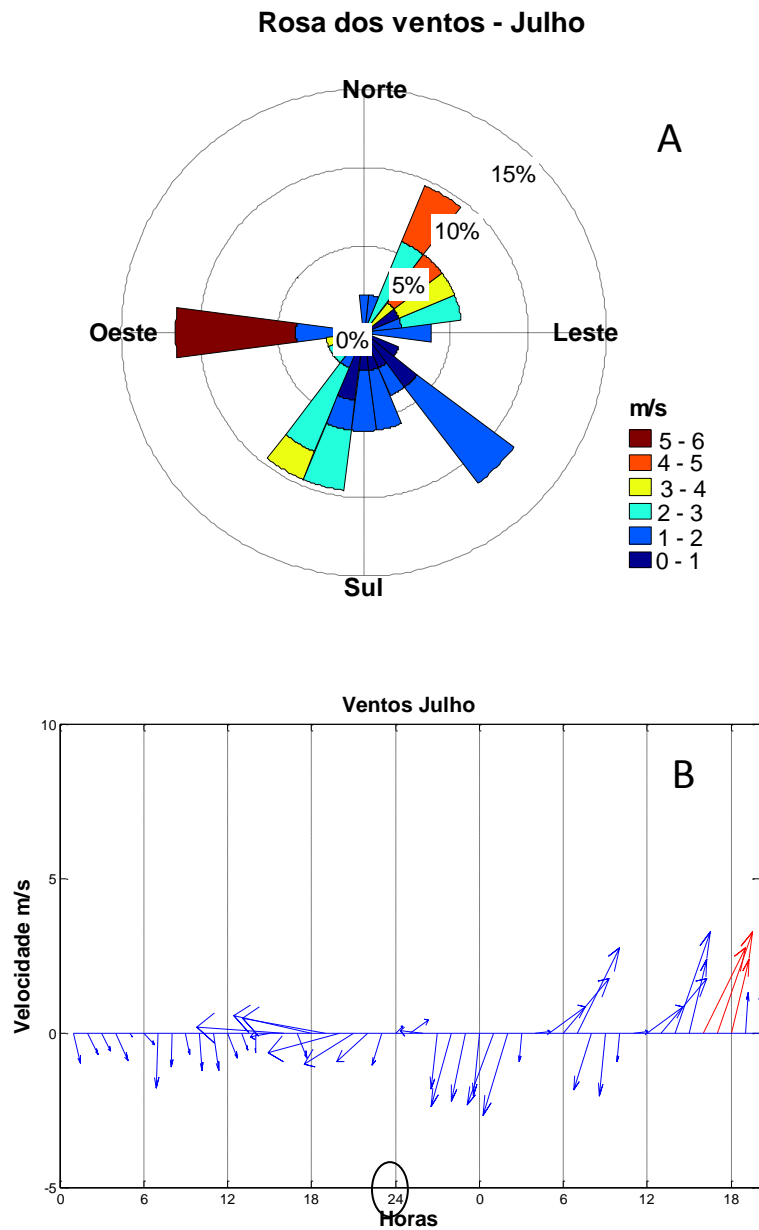


FIGURA 17 - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM JULHO/09.

5.1.4.5. Incidência solar

Em geral, a amostragem de julho apresentou valores menores que $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, com um aumento na intensidade após as 12:00 horas (figura 18). Durante o período da campanha, observou-se uma queda de mais de $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ em relação ao início dos trabalhos de campo.

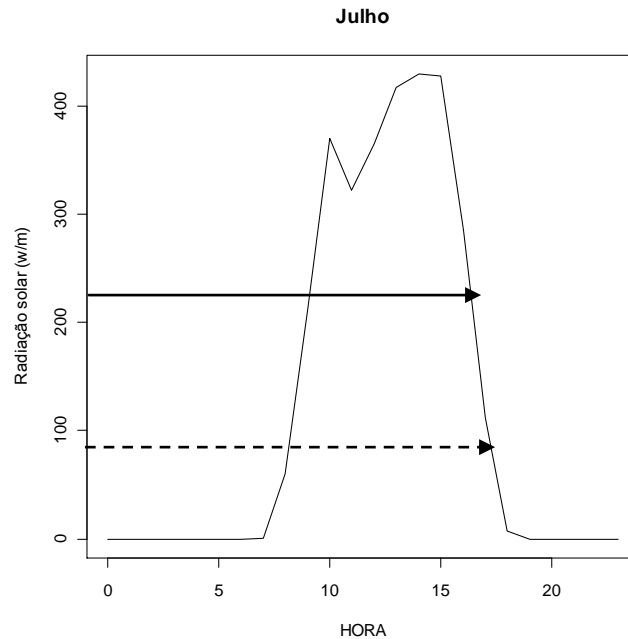


FIGURA 18 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM EM JULHO/09 (EM $W.m^{-2}$). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA O FINAL.

5.1.5. Campanha de agosto de 2009

5.1.5.1. Salinidade

Embora a variação da salinidade, de 27 a 32, seja menor em relação a todas as campanhas (figura 19), observa-se um gradiente em toda a malha amostral, com aumento proporcional dos valores de acordo com a profundidade e a distância desde o canal. Neste período, foram registradas as maiores medidas em termos de área do gradiente salino, com aproximadamente 950 m de extensão e 250 m de largura. .

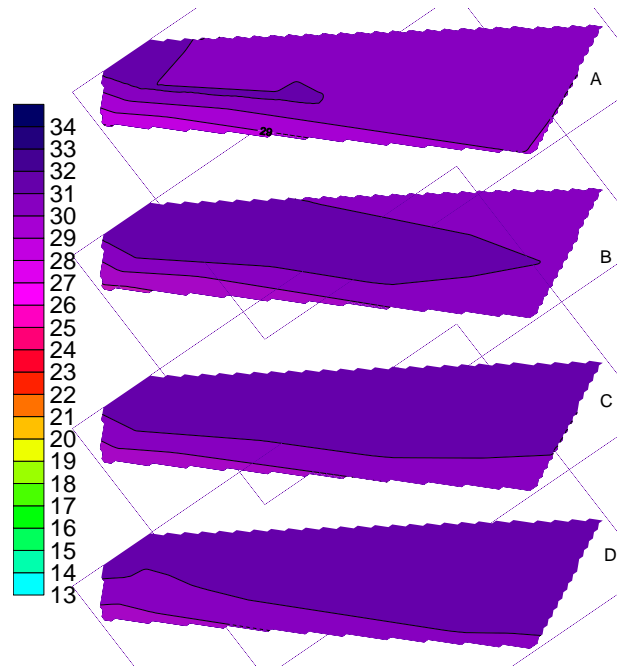


FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SALINIDADE AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO MÊS DE AGOSTO/09. SUPERFÍCIE (A), SUB-SUPERFÍCIE (B), MEIA ÁGUA(C) E FUNDO (D), RESPECTIVAMENTE.

5.1.5.2. Altura da maré

A amplitude máxima da maré enchente foi de 2,11 m e mínima de 0,49 m no período da manhã (figura 20). No início dos trabalhos de campo, a maré havia vazado 0,10 m, com altura final de 1,47 m no término da campanha.

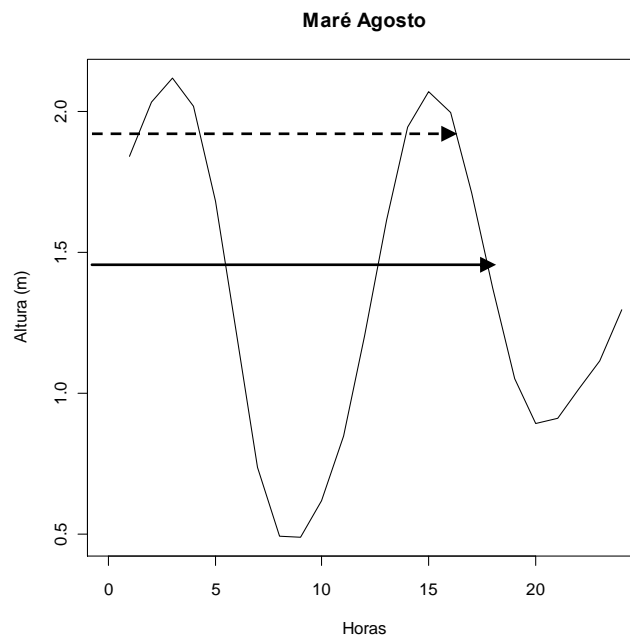


FIGURA 20 – VARIAÇÃO DA MARÉ (em m) NO DIA DA CAMPANHA DE AGOSTO/09. A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.

5.1.5.3. Precipitação mensal

Durante a construção do gráfico de precipitação de agosto/2009, considerou-se como zero os dois primeiros dias e o terceiro dia tem valores referentes a apenas doze horas, devido a falta de medidas dos dados provenientes da estação.

No mês de agosto, nota-se que não foi registrada pluviosidade nos cinco dias posteriores a campanha (figura 21), porém, ressalta-se no final do mês de julho/2009 duas semanas de precipitação acumulada (figura 16) de aproximadamente 120 mm.

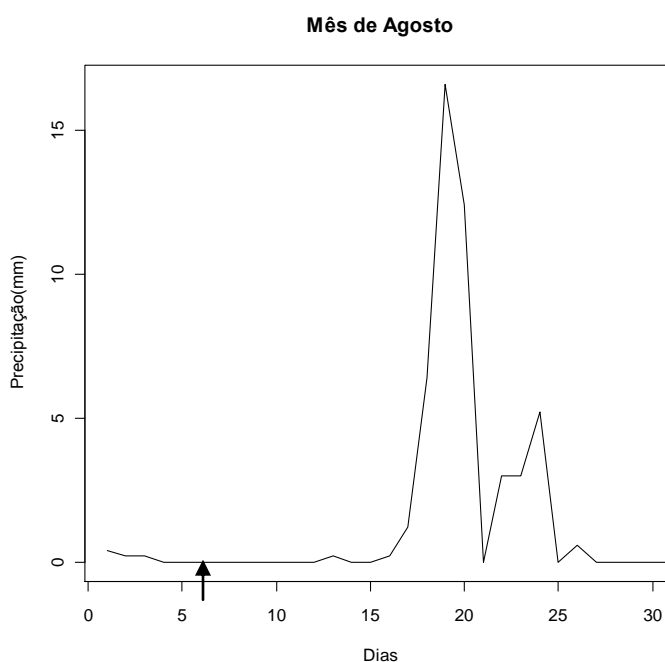


FIGURA 21 – PRECIPITAÇÃO DIÁRIA ACUMULADA (em mm) NO MÊS DE AGOSTO/09. A SETA INDICA O DIA DA AMOSTRAGEM.

5.1.5.4. Intensidade dos ventos

Observa-se que o sentido predominante dos ventos foi de quadrantes sul e norte, com velocidades médias superiores a 5 m.s^{-1} (figura 22). Destaca-se que durante os trabalhos de campo os ventos apresentaram velocidades médias inferiores a $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ e direção nordeste.

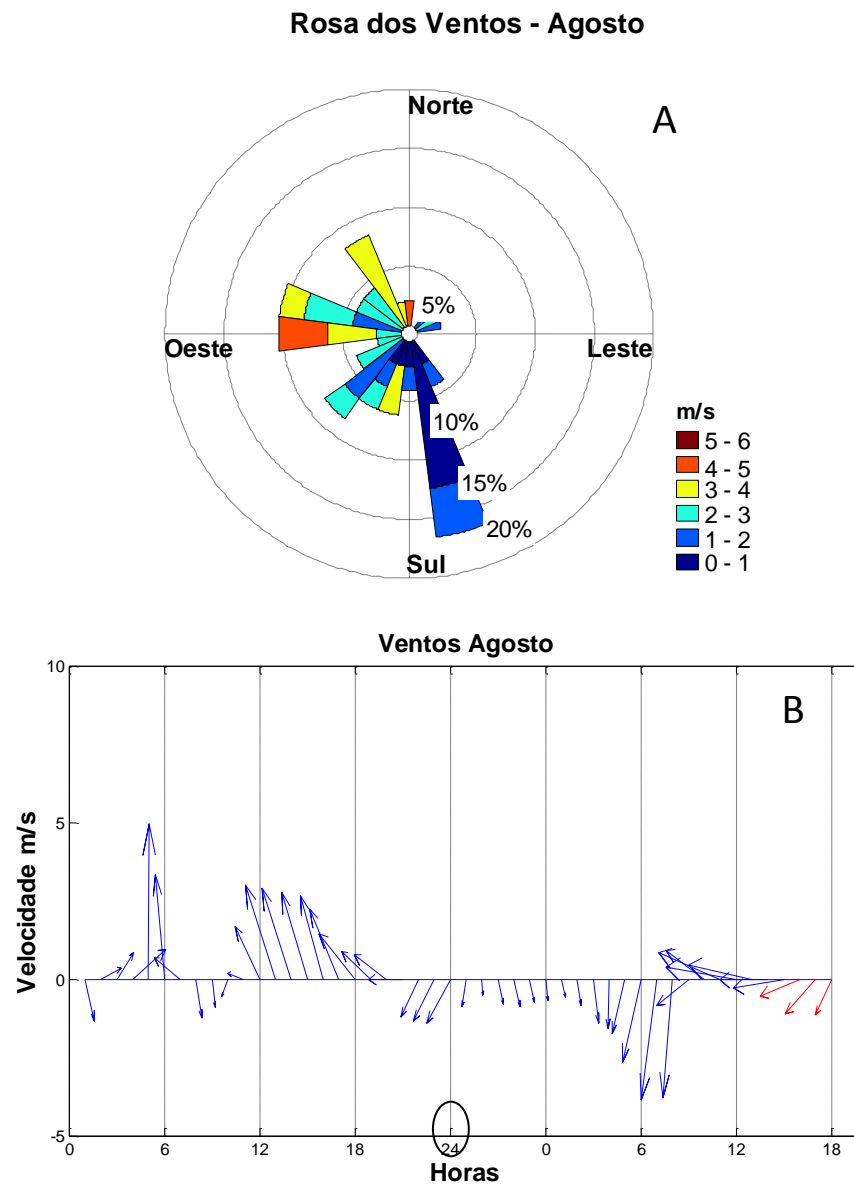


FIGURA 22 - ROSA DOS VENTOS NO SENTIDO OCEANOGRÁFICO; B- INTENSIDADE (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) E DIREÇÃO DOS VENTOS POR HORA. ANTES DO CÍRCULO, DIA ANTERIOR A COLETA E EM VERMELHO, O PERÍODO DE AMOSTRAGEM EM AGOSTO/09.

5.1.5.5. Incidência solar

Na campanha de agosto/2009, as máximas registradas foram de $650 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ no início da tarde (figura 23), sendo o período de amostragem iniciado com incidência de $350 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ e no final, foram verificados valores próximos a $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

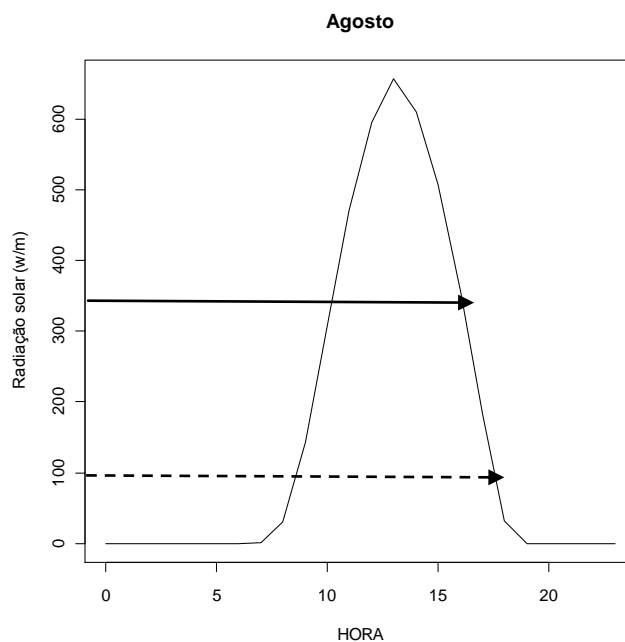


FIGURA 23 - CURVA DA RADIAÇÃO SOLAR NO DIA DA AMOSTRAGEM EM AGOSTO/09 (em $W.m^{-2}$). A SETA PONTILHADA INDICA O INÍCIO DA AMOSTRAGEM E A PREENCHIDA, O FINAL.

5.2 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DA PLUMA

Abaixo são apresentados os resultados das variáveis físico-químicas, em relação a todas as campanhas amostradas e, em seguida, as análises de componentes principais, correlação linear e estimativa de fertilização da área adjacente ao canal do DNOS.

Devido à pequena amplitude das variações no pH em todas as coletas, optou-se por apresentar estes dados na forma de tabela com os valores das médias de todos os pontos amostrais por profundidade (camada de água) investigada (tabela 2).

Com relação à temperatura, exceto em março/2009, todas as coletas apresentaram valores inferiores a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a temperatura mínima igual a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. O pH mostrou oscilações baixas entre as campanhas, com valores mínimos e máximos de 8,06 e 8,26, obtidos na campanha de março/2009.

TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DA TEMPERATURA (°C) E pH AO LONGO DAS ETAPAS DE AMOSTRAGEM.

VARIÁVEIS	OUTUBRO		MARÇO		JULHO		AGOSTO	
	T°C	pH	T°C	pH	T°C	pH	T°C	pH
SUPERFÍCIE	21,0	8,13	27,0	8,06	19,3	8,13	18,1	8,25
MEIO	21,0	8,21	27,0	8,26	20,0	8,14	19,0	8,23
FUNDO	21,0	8,16	27,0	8,1	19,2	8,14	18,0	8,25

5.2.1. Parâmetro indicador de substâncias húmicas

As estimativas de SH (Abs 320 nm) mostram que há um predomínio de valores mais elevados nos pontos de superfície e meio, em relação aos registrados no fundo, com exceção apenas da campanha de julho/2009. Em contraste com os demais meses que apresentaram medidas inferiores a 0,15, destaca-se a coleta de outubro/2008 com um valor de 1,80 no ponto P01 (figura 24).

Destaca-se que os gráficos das estimativas de substâncias húmicas (Abs 320 nm) apresentam escala variando de 0 a 0,20, com exceção da campanha de outubro que possui escala máxima de 2,0. Esta sistematização foi adotada devido à grande variação deste campo em relação aos demais e com o intuito de melhorar a visualização dos resultados

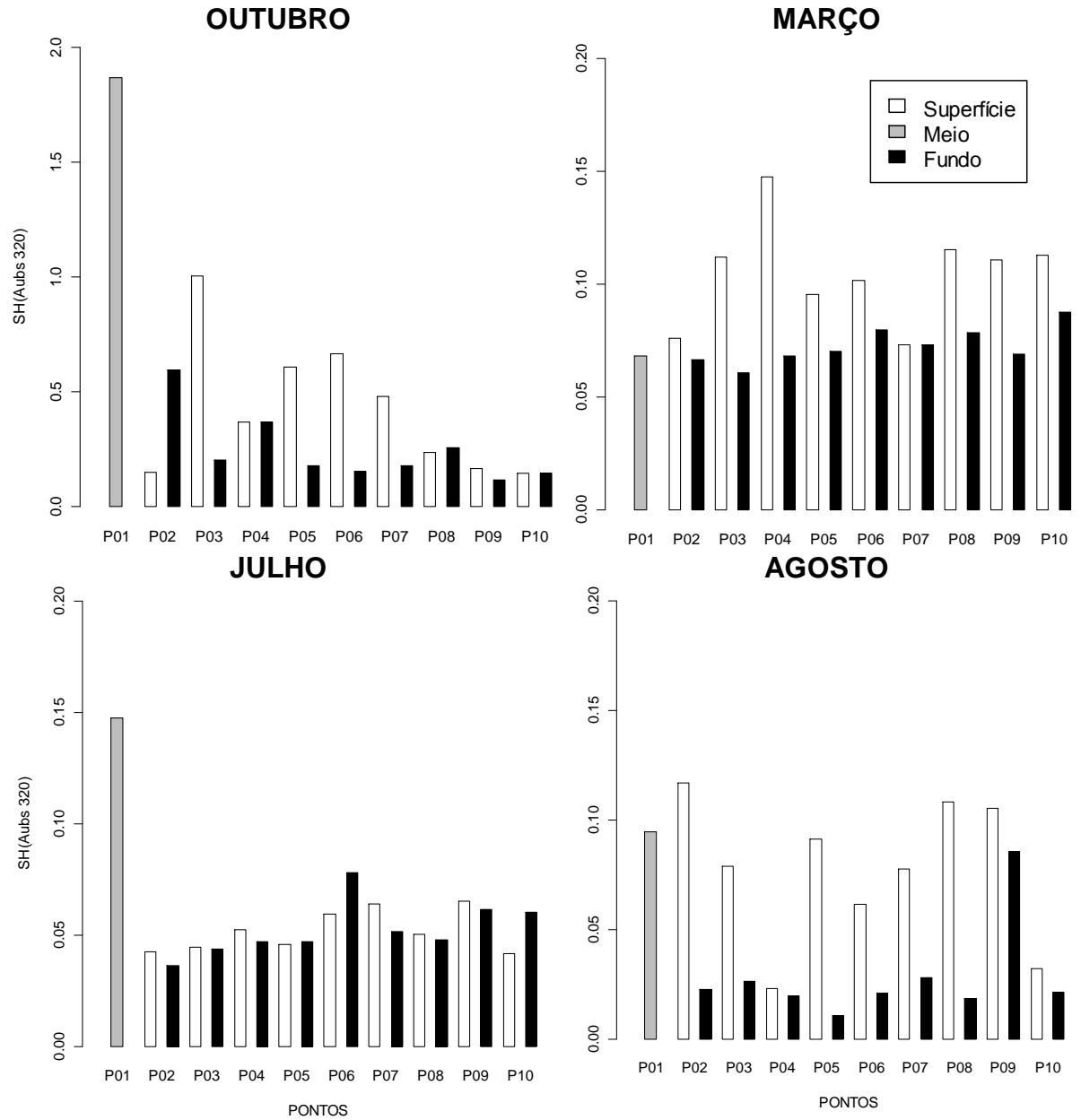


FIGURA 24- PARAMETRO INDICADOR DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS (SH). ESTIMADAS A PARTIR DA LEITURA EM ABSORBÂNCIA 320 nm, AO LONGO DOS PONTOS AMOSTRADOS

5.2.2 Oxigênio dissolvido (OD)

Os gráficos de saturação do oxigênio dissolvido (figura 25) evidenciam um predomínio de maiores níveis de OD nas campanhas de outubro e março, com concentrações levemente superiores nas profundidades de fundo em contrapartida ao teor inferior a 80 (%sat) no ponto 01 mais interno amostrado. Nas demais amostragens os valores foram inferiores a 120 (%Sat) com variações mais acentuadas entre as profundidades. Destaca-se em agosto um agrupamento de teores mais baixos nos pontos próximos a desembocadura do canal.

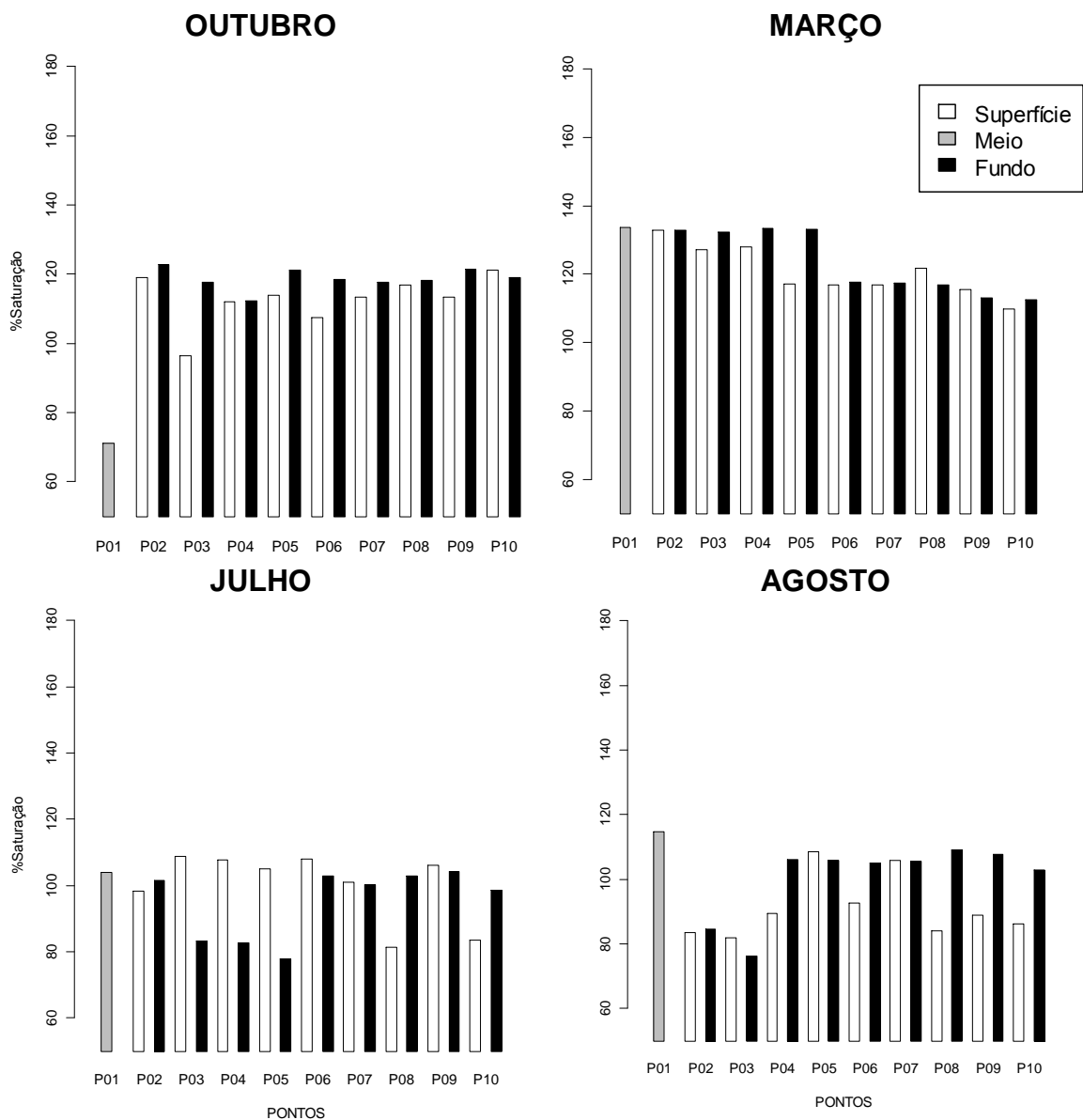


FIGURA 25 - DISTRIBUIÇÃO OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS. ÍNICIO DA ESCALA EM 50.

5.2.3 Material particulado em Suspensão (MPS)

O Material em suspensão não apresentou um padrão claro de distribuição espacial nas campanhas efetuadas (figura 26), exceto em agosto, em que se observa a concentração de teores mais elevados na água de fundo. Verifica-se ainda, um padrão de valores inferiores na meia-água em todas as campanhas, menos evidente na campanha de julho.

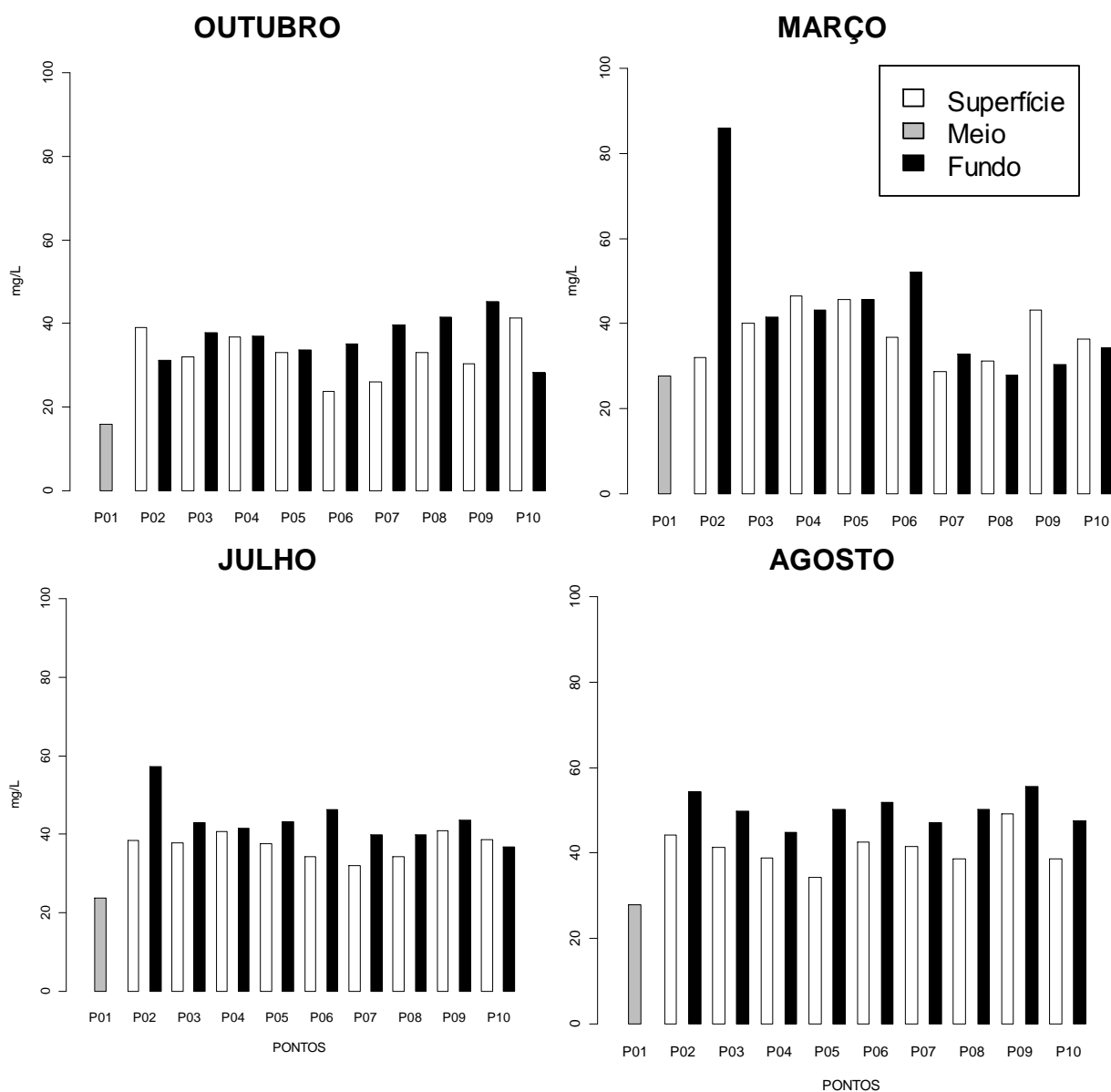


FIGURA 26 - DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (mg/L) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.4 Clorofila-a

Os teores de clorofila apresentaram as seguintes distribuições (figura 27) de outubro para março, verificou-se um leve aumento, mas as concentrações de clorofila.-a foram inferiores a 5 (mg/L) e menores do que as verificadas nas campanhas de julho e agosto. Por outro lado, agosto mostra um padrão de diminuição das concentrações de acordo com o aumento da distância do canal e, em contraposição, julho apresentou um comportamento inverso a este.

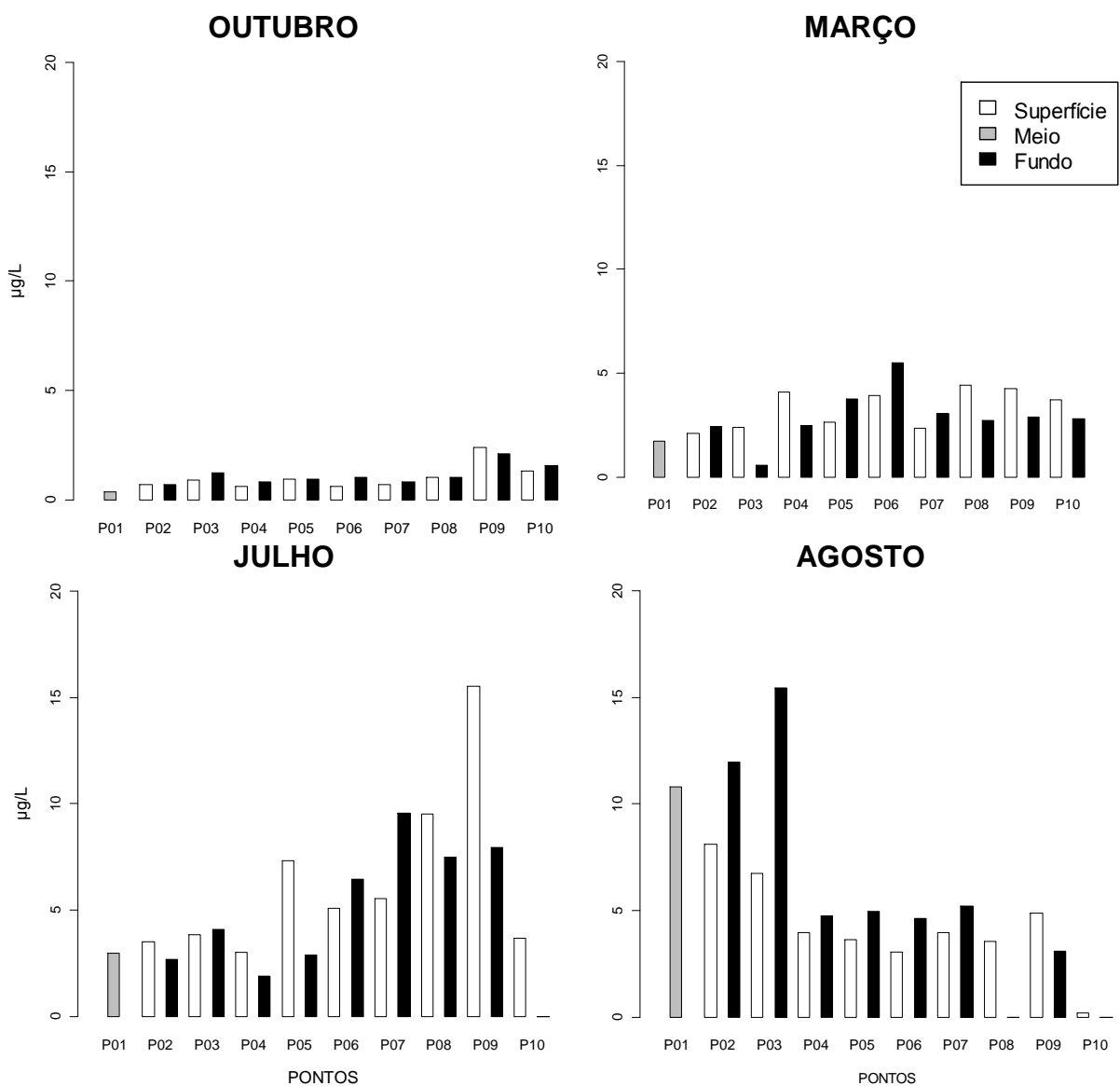


FIGURA 27- DISTRIBUIÇÃO DE CLOROFILA-a (µg/L) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.5 Feofitina

Em contraste com as demais amostragens, a coleta de outubro (figura 28) apresentou concentrações inferiores a 34 $\mu\text{g/L}$ de feofitina. Já nas coletas de julho e agosto, foram registrados teores superiores a 150 $\mu\text{g/L}$. Vale ressaltar que o padrão de distribuição da feofitina foi similar ao descrito anteriormente para a clorofila-a (figura 27)

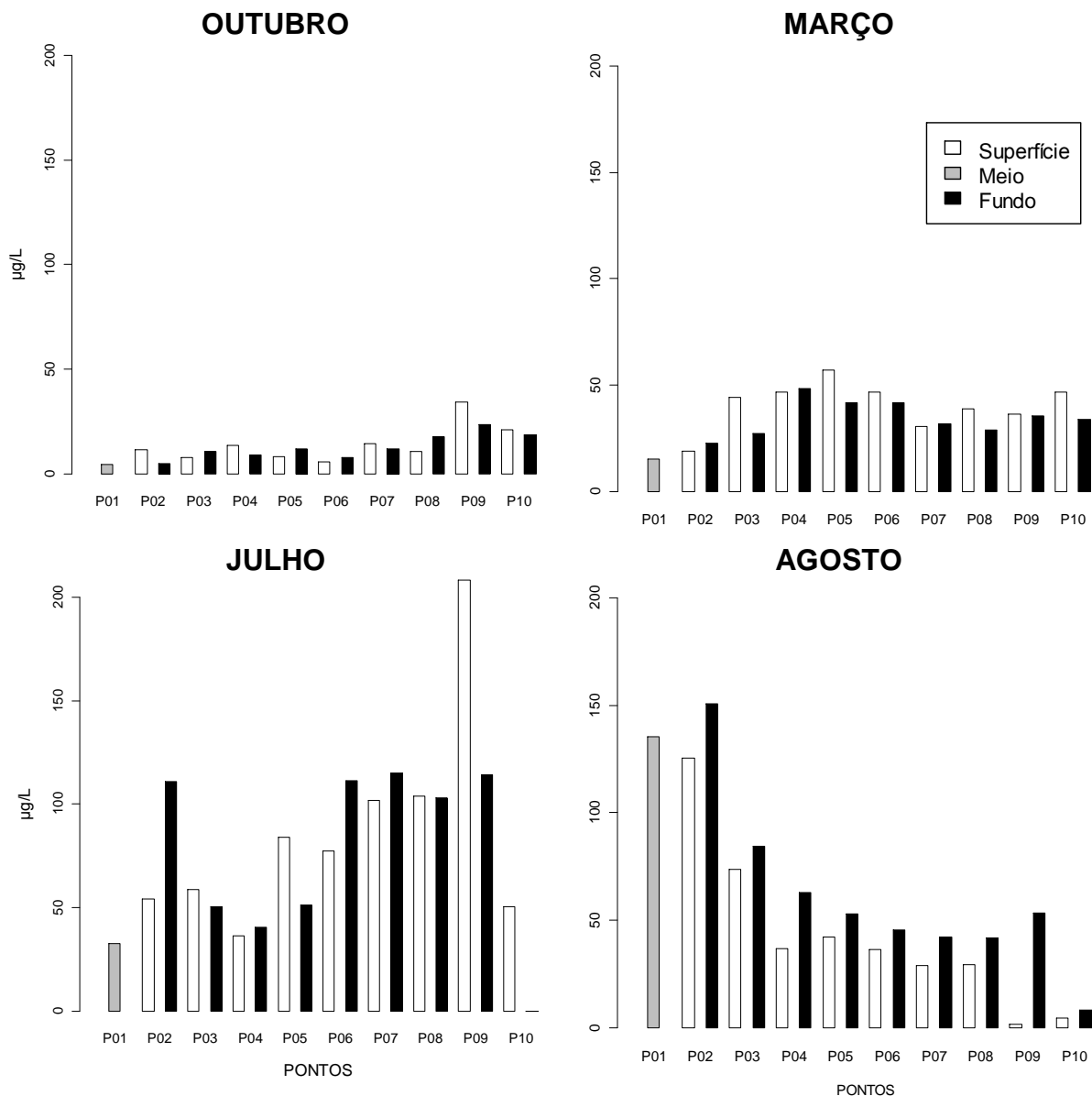


FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DE FEOFITINA ($\mu\text{g/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.6 Fosfato

As concentrações de fosfato foram inferiores a 1 $\mu\text{mol/L}$ (figura 29) em todas as campanhas, exceto no mês de agosto, no qual foram registrados concentrações duas vezes superiores as demais coletas, restritas aos primeiros pontos amostrados.

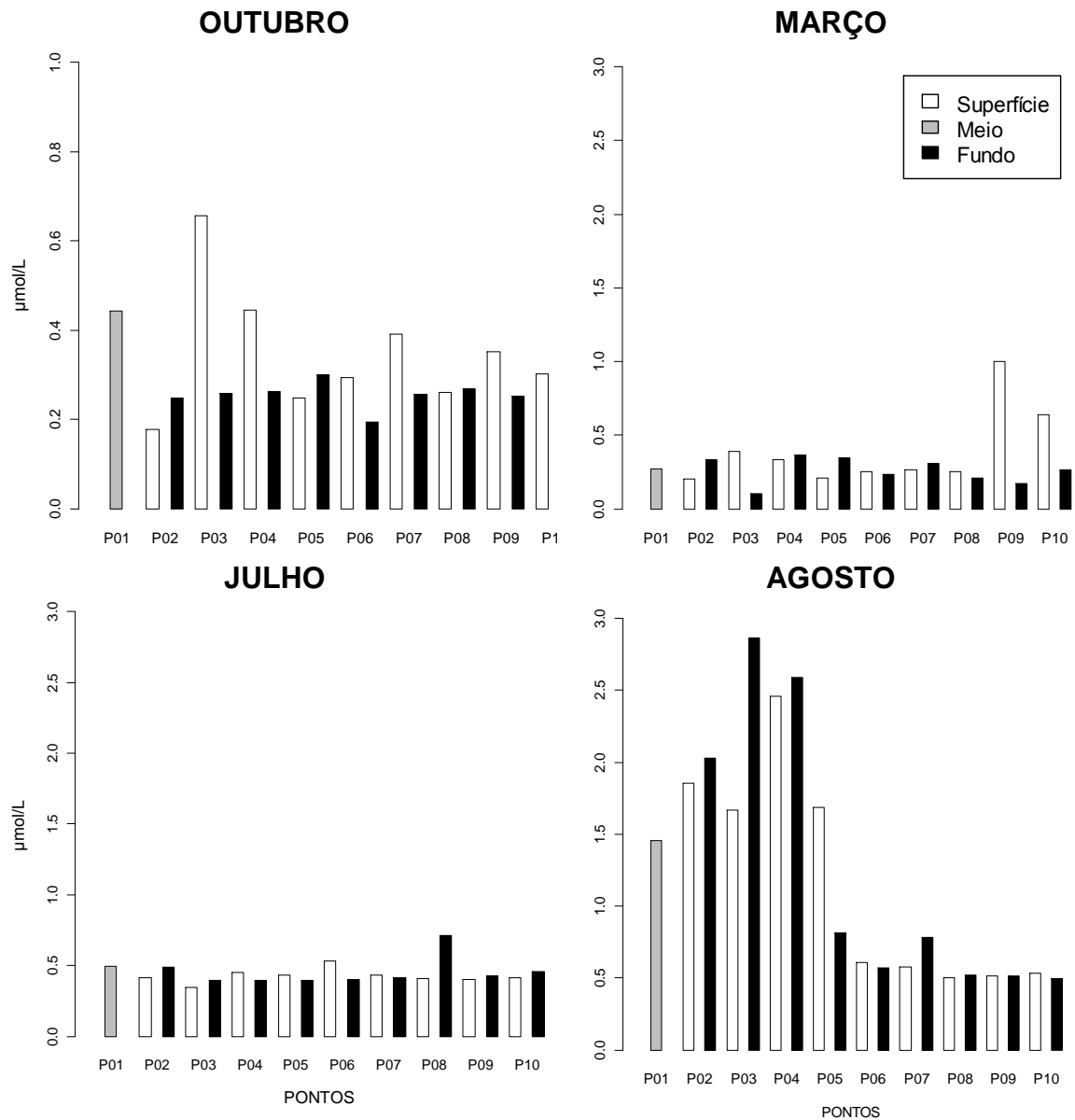


FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO DO FOSFATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.7 Nitrato

A concentração de nitrato (figura 30) foi baixa nos dois primeiros campos com níveis inferiores a $1,0 \mu\text{mol/L}$, destacando-se em outubro valores próximos ao limite de detecção do método (ponto 01 e 10).

Por outro lado, em agosto os valores atingiram a $2,0 \mu\text{mol/L}$ com variações mais acentuadas nos pontos de superfície e meio. Além disso, observa-se em julho uma diminuição gradual das concentrações conforme o aumento na distância da desembocadura do canal.

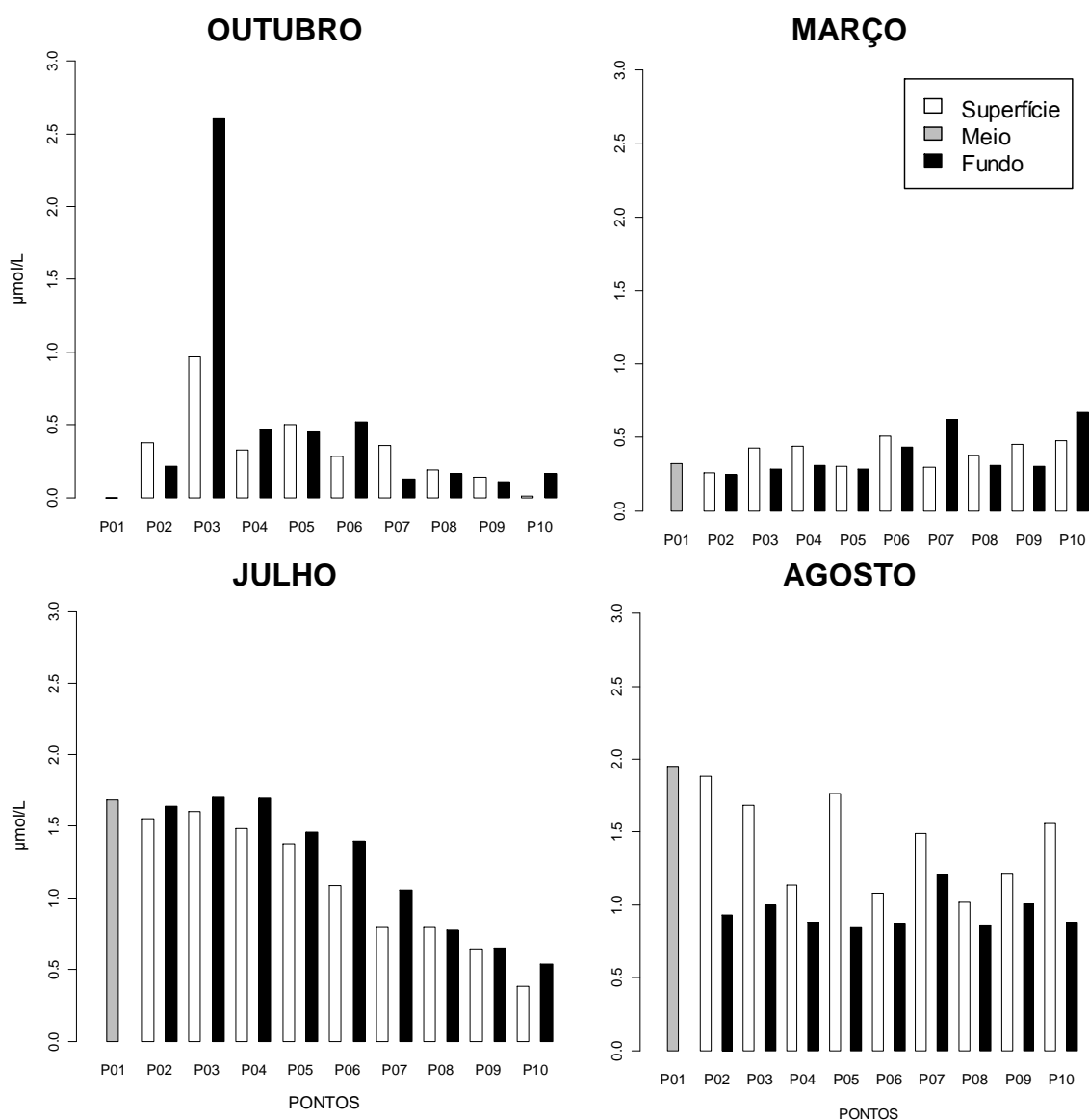


FIGURA 30- DISTRIBUIÇÃO DE NITRATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.8 Nitrito

As coletas de outubro e agosto além de apresentarem as maiores concentrações de nitrito (figura 31), mostraram uma variação bem marcada das concentrações entre as profundidades, com incremento nas camadas de superfície e na meia-água. Nas demais coletas as concentrações deste constituinte não foram superiores a 0,2 $\mu\text{mol/L}$.

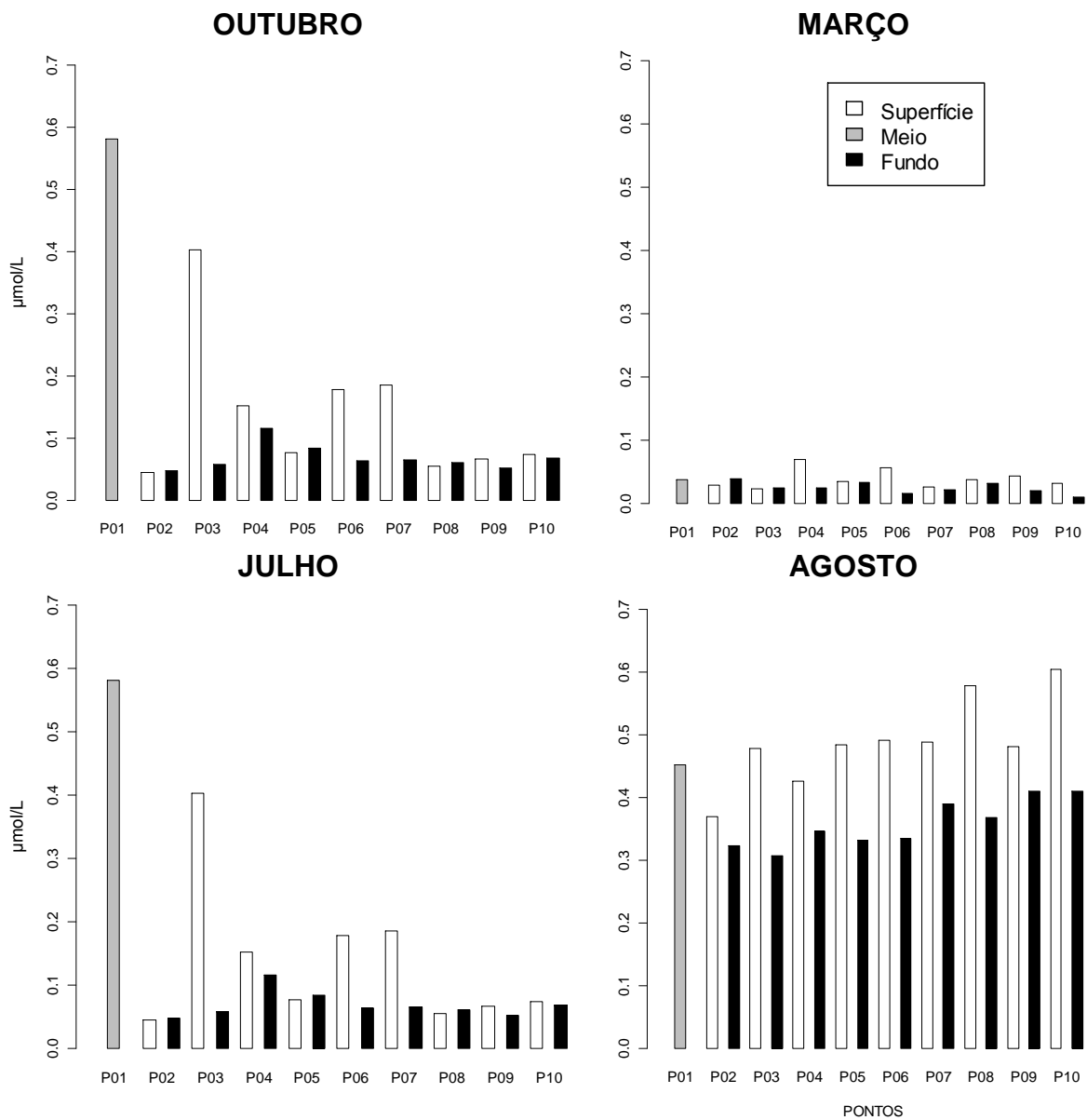


FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DO NITRITO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.9 Amônio

As concentrações de NH_4 foram inferiores a $7 \mu\text{mol/L}$ em todas as campanhas (figura 32) e, em março as medidas não excederam a $1 \mu\text{mol/L}$ em toda a malha amostral. Verificou-se ainda nos meses de outubro e agosto um padrão de variação nas concentrações entre as profundidades similares ao do nitrito (figura 31).

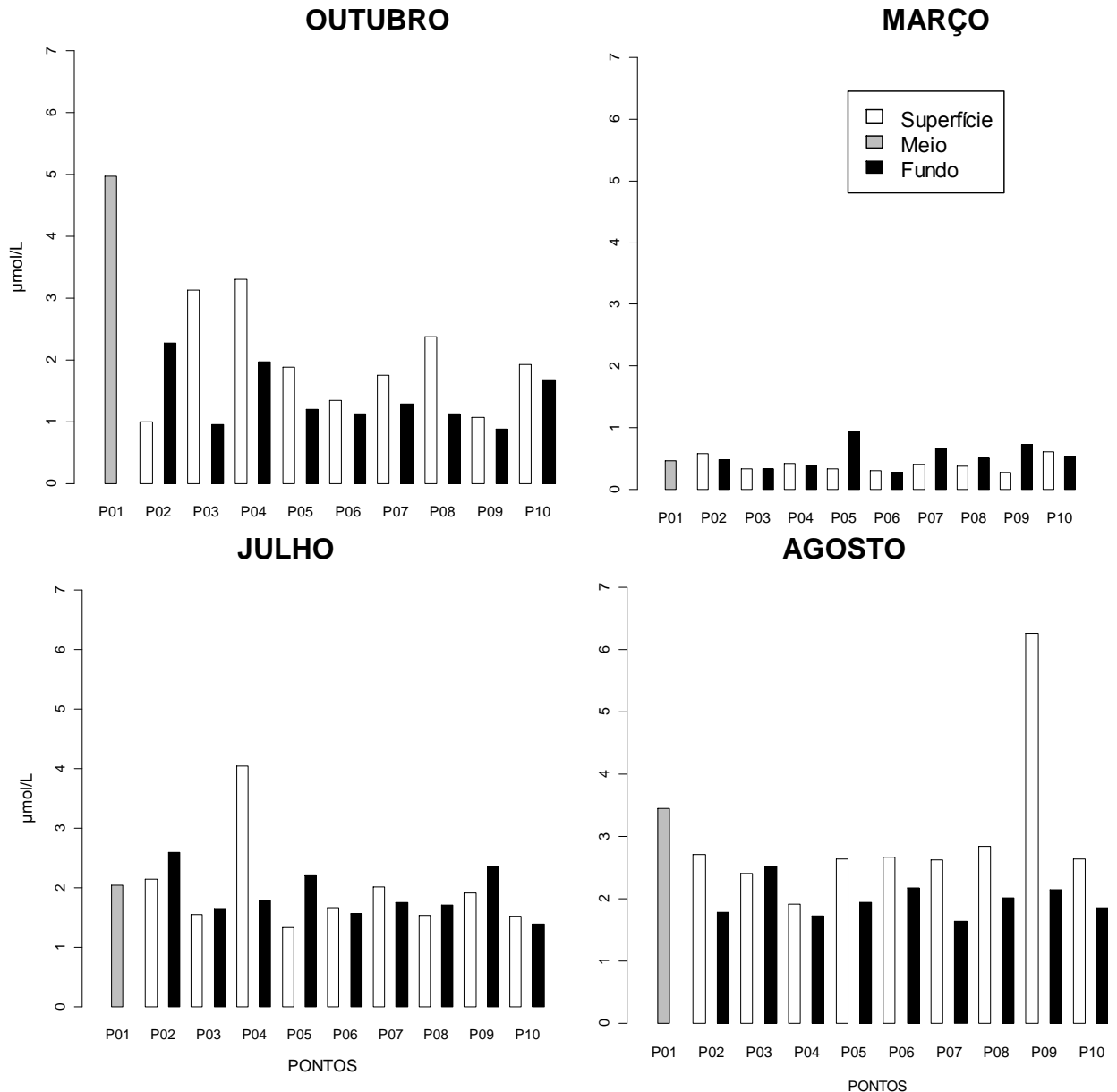


FIGURA 32- DISTRIBUIÇÃO DO AMÔNIO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.10 Razão NID:PID (molar)

Com relação às razões NID:PID (figura 33) , os valores mais elevados, de 5 a 15, ocorreram nos meses de outubro e julho. Em contraste, verificou-se um predomínio de valores baixos na amostragem de agosto até o ponto 05 seguido por um aumento acentuado nos demais pontos de amostragem. De maneira geral, a razão foi inferior à razão de Redfield de 16:1 e não apresentou um padrão de distribuição definido entre as profundidades.

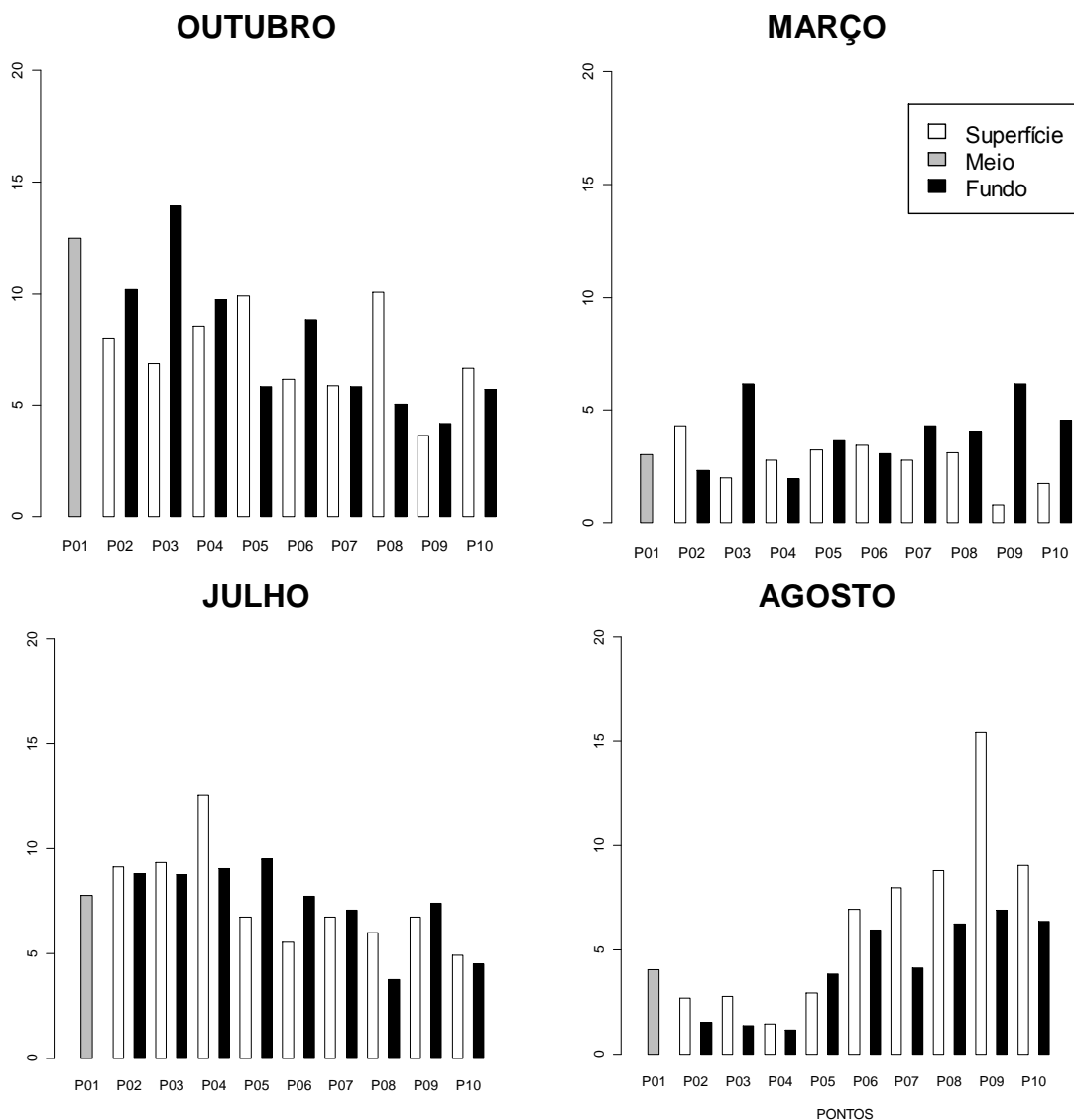


FIGURA 33 - RAZÃO MOLAR DE NID: PID AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.11 Razão Si: NID

As maiores razões Si: NID (figura 34) foram verificadas nas duas primeiras coletas, especialmente em março os valores foram maiores do que 10. De maneira geral, nas demais amostragens, os valores foram inferiores a 5 e não mostraram padrões de distribuição entre as profundidades.

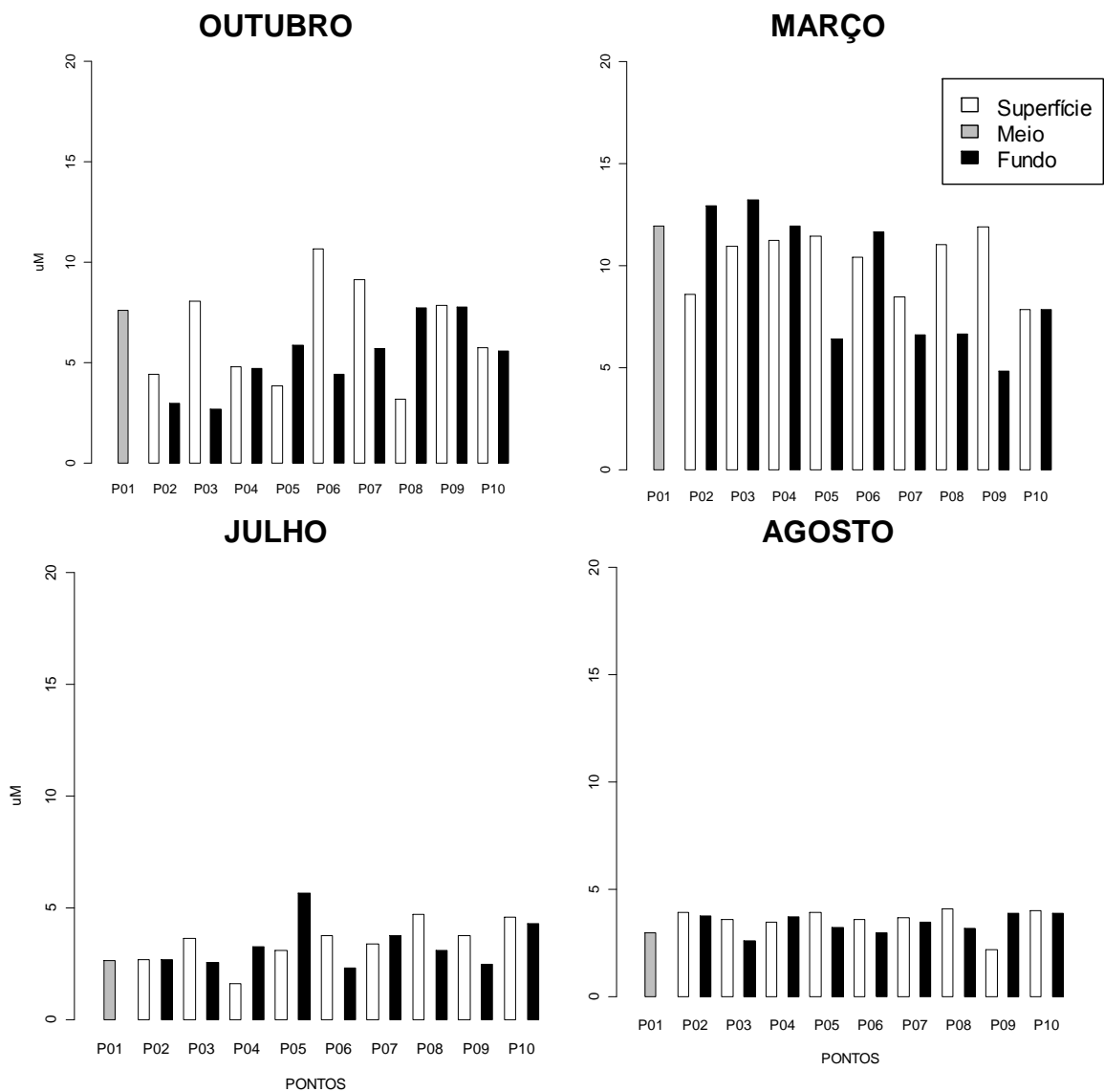


FIGURA 34 - DISTRIBUIÇÃO DA RAZÃO MOLAR DE SI:NID AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.2.12 Silicato

De maneira geral as concentrações de silicato foram superiores a 10 $\mu\text{mol/L}$ em todas as campanhas (figura 35). Os valores mais elevados foram registrados nos meses de outubro e agosto, nos quais foi identificado um padrão de variação bem marcado entre as profundidades investigadas, com maiores concentrações nas camadas superficiais e de meio.

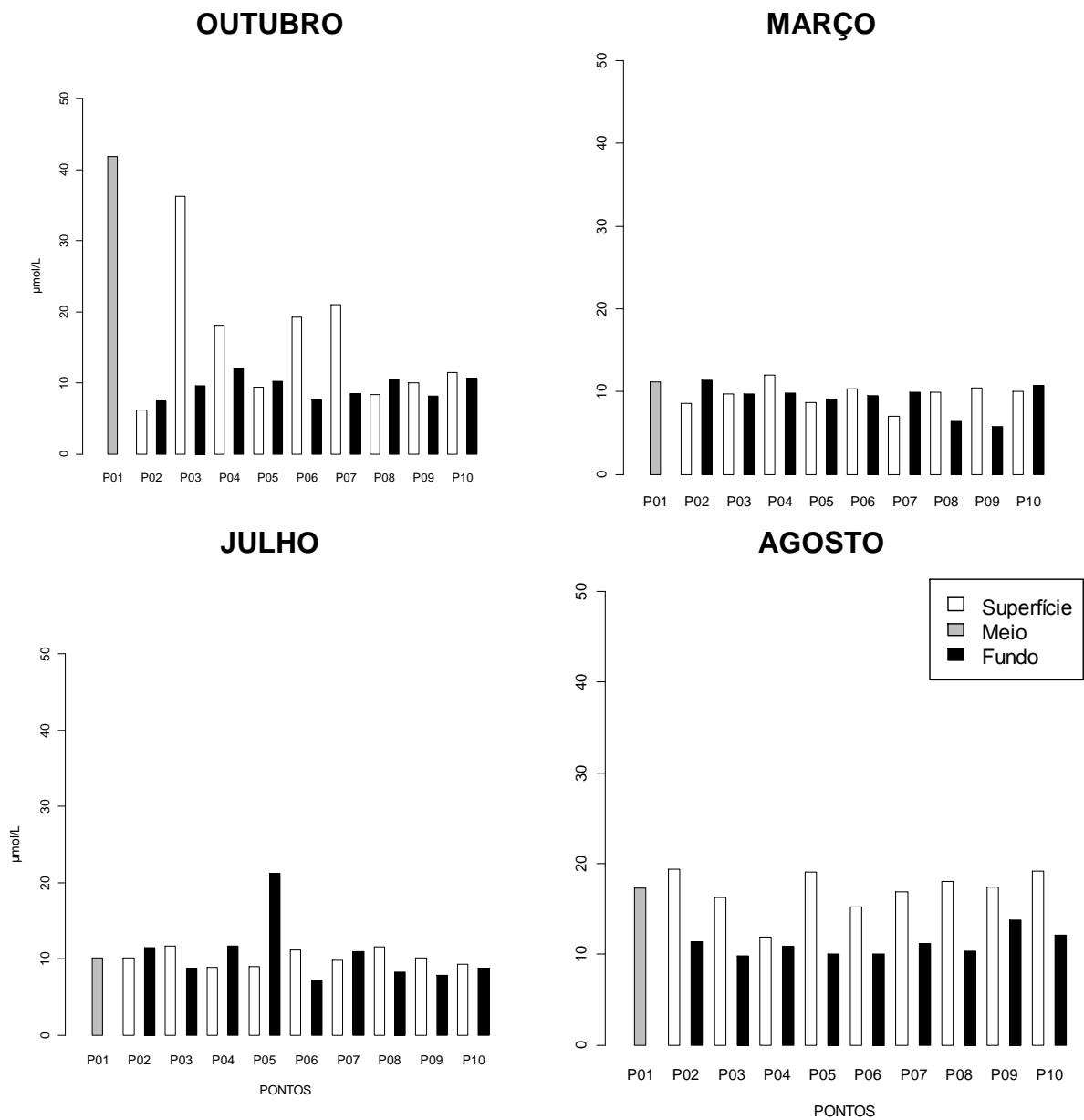


FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO ($\mu\text{mol/L}$) AO LONGO DOS PONTOS E MESES AMOSTRADOS.

5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

A PCA confeccionada com os resultados de todas as campanhas (figura 36) mostrou explicação total de 60,7 %. Há uma tendência de separação clara entre as campanhas amostrais de outubro e março em relação aos demais. Na amostragem de março as variáveis correlacionadas foram o oxigênio dissolvido e a razão Si:NID, enquanto que, em outubro as substâncias húmicas mostram-se mais relacionadas. Nota-se que a clorofila-a, feofitina e o PO₄ apresentaram relação mais evidente com o mês de agosto.

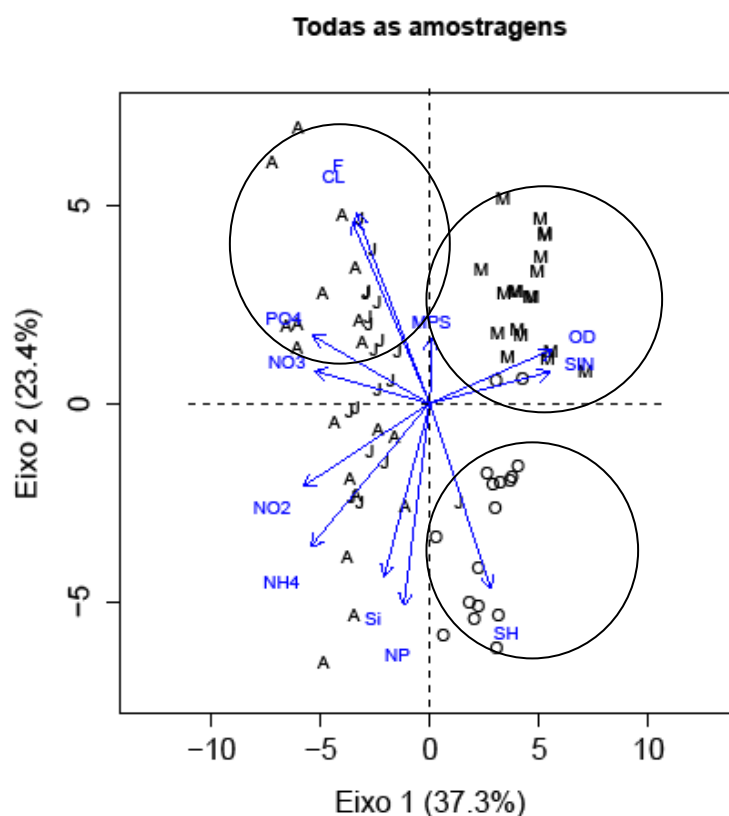


FIGURA 36 - PCA DE TODAS AS COLETAS EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DA CAMPANHA DE AGOSTO.

5.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON

As variáveis que mostraram correlações significativas com a salinidade são as descritas na tabela 3. Assumiu-se um como significativo p valor < 0,05. As únicas variáveis que não apresentaram correlação negativa com a salinidade foram o MPS e o OD. Verificaram-se em outubro correlações acima de 0,7 em todas as variáveis listadas, exceto para o PO₄ que apresentou valores próximos ao limite de significância.

TABELA 3 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE AS VARIÁVEIS E A SALINIDADE NAS CAMPANHAS.

COLETAS	PO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	Si(OH) ₄ ⁻	SH	OD	MPS
OUTUBRO	-0,51	-0,91	-0,86	-0,9	0,95	0,70
JULHO	-	-	-	-0,91	-	-
AGOSTO	-	-0,54	-0,62	-0,58	-	0,67

A campanha de março não apresentou correlação significativa da salinidade com nenhuma das variáveis analisadas.

Na campanha de agosto, apenas o oxigênio dissolvido e o fosfato não mostraram correlação com a salinidade, e os demais constituintes apresentaram valores próximos a 0,60. Em contrapartida a julho em que apenas as substâncias húmicas se mostraram fortemente correlacionadas com a salinidade.

5.5 DIAGRAMAS DE MISTURA

Com o intuito de melhor verificar a distribuição das variáveis em relação à salinidade foram construídos diagramas de misturas utilizando apenas os meses de outubro e agosto, devido ao maior número de variáveis correlacionadas com estas campanhas. Abaixo apresenta-se os diagramas com duas linhas teóricas de diluição, uma representando a água de fundo e outra a de superfície. A referência

usada foi a extremidade de menor salinidade, o primeiro ponto amostrado nas coletas, ou seja, o mais próximo da desembocadura do canal.

Nos diagramas abaixo (figura 37 e 38), em outubro a maioria das concentrações na água de superfície localizou-se acima da linha teórica de diluição. Já na água de fundo apresentaram distribuição mais conservativa. Por outro lado, no diagrama de agosto, as concentrações dos constituintes investigados estão localizadas acima das linhas teóricas de diluição tanto para as águas de fundo quanto para a de superfície.

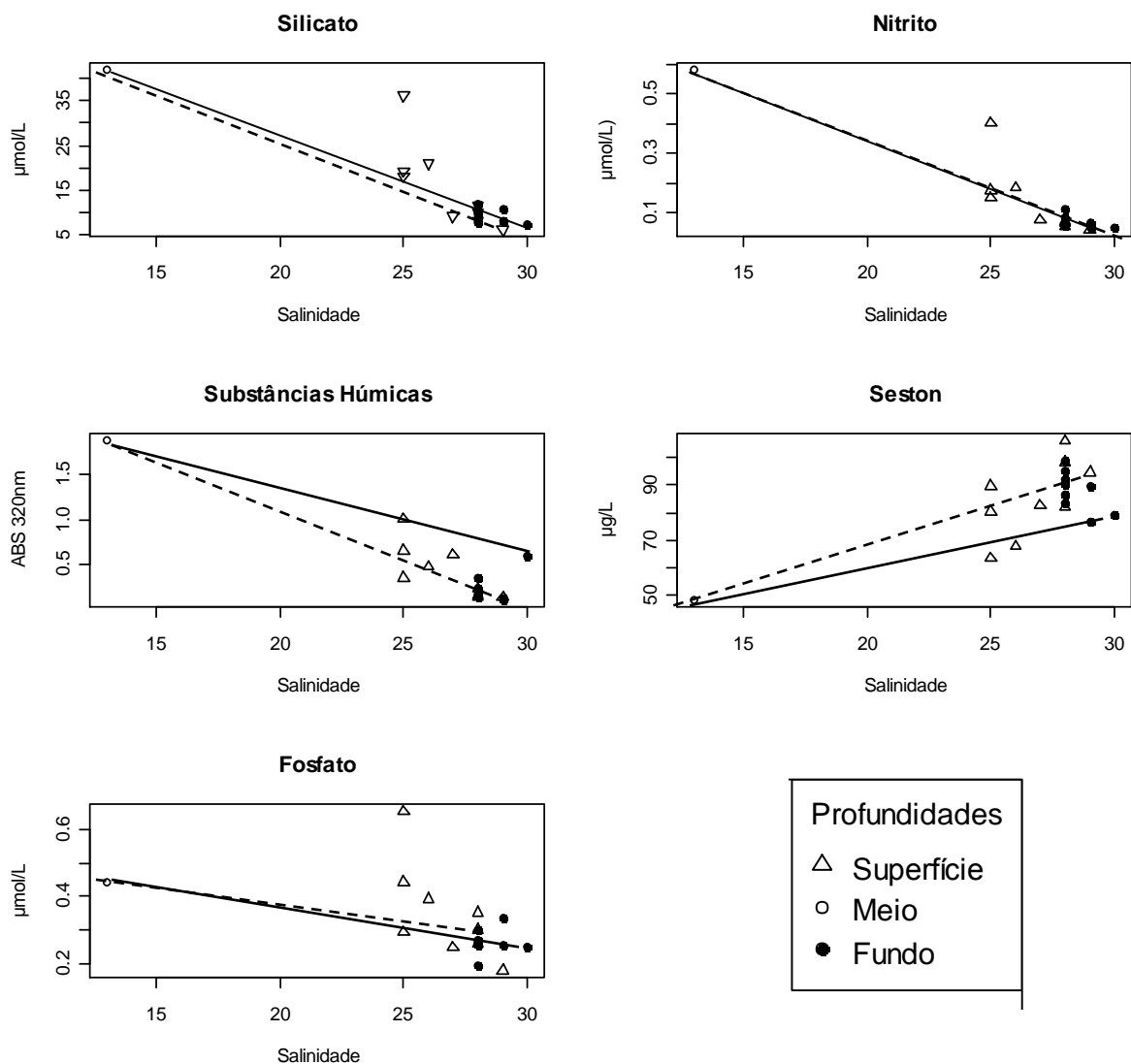


FIGURA 37 - DIAGRAMAS DE MISTURA DAS VARIÁVEIS (SH , PO_4^{-3} , Si(OH)_4 , NO_2^- E MPS) NA COLETA DE OUTUBRO. LINHA PREENCHIDA INDICA ÁGUA DE FUNDO E PONTILHADA DE SUPERFÍCIE.

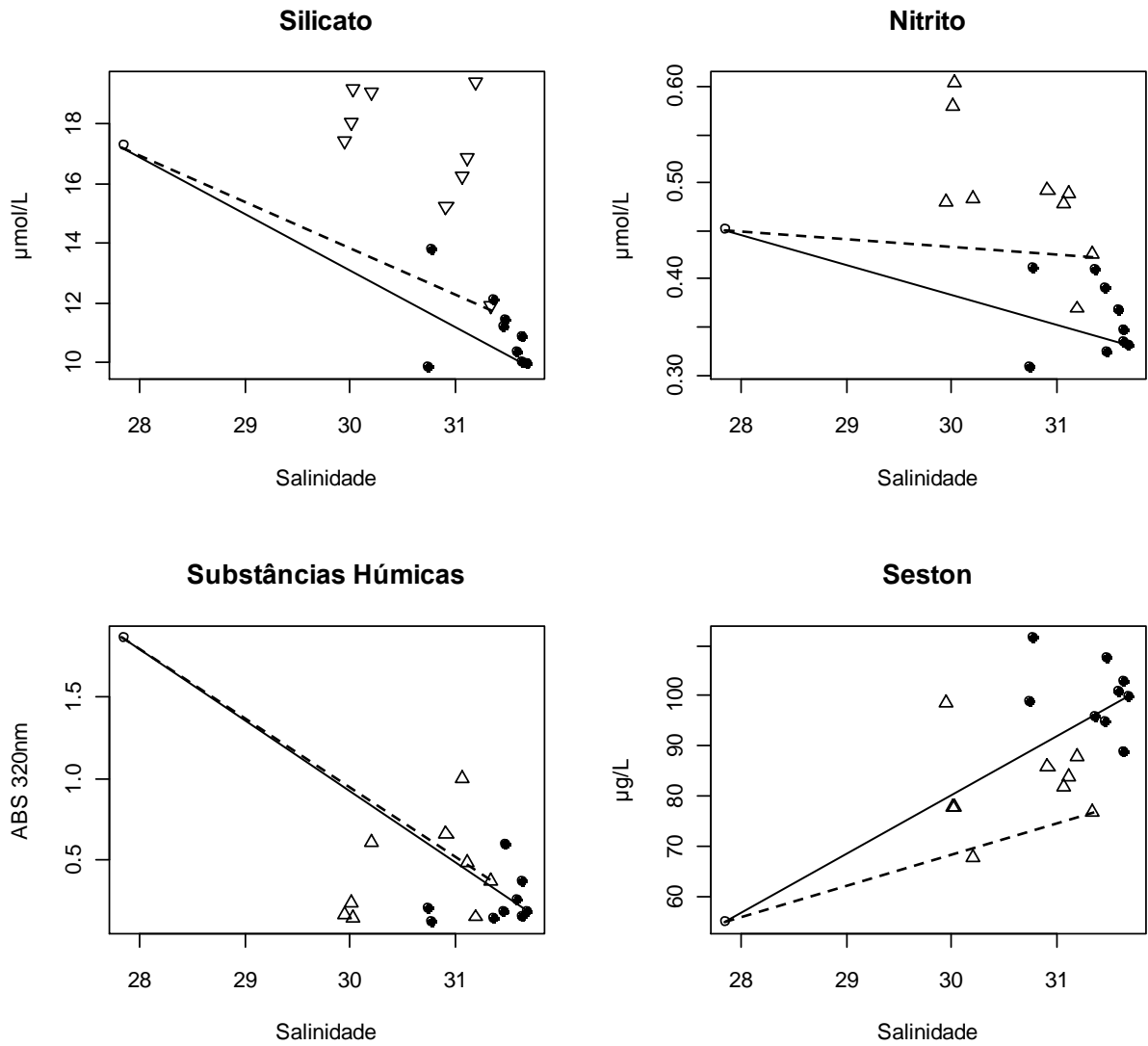


FIGURA 38 - DIAGRAMAS DE MISTURA DAS VARIÁVEIS (SH , Si(OH)_4 , NO_2^- E MPS) NA COLETA DE OUTUBRO. LINHA PREENCHIDA INDICA ÁGUA DE FUNDO E PONTILHADA DE SUPERFÍCIE.

5.6 ESTIMATIVAS DE EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E SH

As estimativas de fertilização, efetuadas pelas razões entre os valores máximos e mínimos dos constituintes investigados são apresentadas na tabela 4. De maneira geral, nota-se valores mais elevados na campanha de outubro em relação às demais, para todas as variáveis. O campo de março foi o que apresentou às menores razões em comparação as outras coletas.

TABELA 4 – ESTIMATIVAS DE EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E SH DA ÁREA INVESTIGADA.

MESES	SILICATO	NID	FOSFATO	SH
OUTUBRO	6.7	5,2	3.7	16.4
MARÇO	2.0	2,07	9.5	2.4
JULHO	2.9	2,9	2.0	4.0
AGOSTO	1.9	1,97	5.8	11.2

6. DISCUSSÃO

6.1 DINÂMICA ESPACIAL DA PLUMA

A partir das observações visuais, verificou-se na área estudada a formação de uma pluma com coloração mais escura do que as águas da baía em todas as campanhas (figura 39), seguindo um fluxo paralelo à região costeira adjacente. De uma forma geral, foi nítida a ocorrência de regiões de frentes associadas a linhas de detritos. Nas bordas dos limites da pluma notaram-se regiões de fluxos convergentes responsáveis pela formação dos detritos com a separação clara entre as massas de água do canal e do estuário.

As características das águas da pluma descritas neste trabalho estão de acordo com estudo feito na região da desembocadura do rio Santa Clara na Califórnia-EUA, onde Warrick *et al* (2005) descreveram uma pluma densa logo após a saída do canal e fina à medida que se afastou deste e limitada aos primeiros 8 metros de profundidade, com fortes gradientes de salinidade entre as profundidades de 2 e 8 metros.

Os ventos segundo a classificação na escala de Belfort, foram fracos com força 3, e para as velocidades mais altas, caracterizadas como estado de mar com ondulações e alguns carneiros

No campo de outubro a pluma esteve presente em toda a coluna d'água seguindo o sentido de vazante na baía. Horizontalmente a feição mostrou-se como uma camada fina e confinada às regiões de menores profundidades na área costeira adjacente. Nas regiões fora do limite da pluma a salinidade se manteve estável.

Os dados da estação meteorológica sugerem que apesar de terem sido predominantes os ventos de sentido nordeste durante esta coleta e registrados períodos de pluviosidade, a baixa intensidade e o pequeno pulso de precipitação, conferem pequena relevância a esses fatores na dinâmica da pluma na zona costeira nesta ocasião.



FIGURA 39 - FOTO DA COLETA DE AGOSTO/09, EXEMPLIFICANDO A COLORAÇÃO BEM MARCADA DAS ÁGUAS APRESENTADAS NAS AMOSTRAGENS.

A grande variação da salinidade nesta campanha pode ser interpretada como uma resposta da descarga pronunciada de água doce proveniente do canal. Ressalta-se que as coletas foram efetuadas quando a maré havia baixado quase 2 metros, assim a descarga proveniente de várias horas de vazante pode ter representado um fluxo significativo de água doce do canal do DNOS na região costeira.

Quando as águas provenientes das descargas de rios ou estuários entram em uma região aonde já existem movimentos de correntes, a posição da pluma formada será resultado da interação entre os fluxos anteriores e o novo, e, portanto, a dinâmica do ambiente costeiro será superior à da pluma (MANN & LAZIER, 1996). Dessa maneira, a disposição da pluma na costa seria influenciada diretamente pelas águas da baía.

A partir destas informações, supõe-se que ao entrar na região costeira, as águas do canal seriam misturadas as do estuário e desviadas em direção ao sentido da vazante. Porém, a mistura vertical seria maior e mais representativa nas regiões de menor profundidade, pois nestas áreas as correntes de marés são fortes e o processo de mistura gerado é freqüentemente maior para superar qualquer

tendência de estabilidade da coluna d'água (LEWIS, 1997), gerando uma confinção da pluma nessas áreas e formando um gradiente halino mais acentuado.

Similar ao campo de outubro, a coleta de agosto apresentou uma variação bem marcada da salinidade em toda a coluna d'água e exibiu um gradiente halino vertical nas regiões de menores profundidades. Embora as variações apresentadas sejam as menores de todas as campanhas, nota-se águas de salinidade mais baixa na superfície até os últimos pontos da malha amostral.

Ao analisar-se a curva de variação da altura da maré verifica-se que essa coleta foi iniciada pouco depois do início da vazante, ou seja, com um tempo pequeno de descarga do canal. No entanto, a influência de águas menos salinas do canal poderiam ser decorrentes da alta precipitação registrada nas semanas anteriores a campanha. Na Baía de Hong Kong, Dai *et al* (2008) verificaram variações na salinidade superficial de 33-34 para 25-26 , durante a formação da pluma na superfície, sendo estas atribuídas a altas precipitações acumuladas nas semanas anteriores ao campo.

A coleta de julho apresentou um leve gradiente de mistura em zonas similares as de outubro e agosto. Porém, abaixo da superfície a coluna d'água manteve valores estáveis de salinidade, possivelmente consequência da maior amplitude da maré enchente em conjunto com as menores precipitações acumuladas nos dias anteriores ao campo.

Em contraste com as feições bem marcadas apresentadas nas campanhas descritas acima, a pluma apresentou-se espalhada na coleta de março e restringiu-se apenas à camada superficial da coluna d'água. Ao analisar a precipitação acumulada, percebe-se que os maiores valores foram registrados nesta coleta e provavelmente a significativa variação na salinidade seja uma resposta a este fator. Por outro lado, Noernberg (2001) em estudo no CEP encontrou uma maior correlação da salinidade média com a situação da maré no momento da campanha em comparação a precipitação total nos dias anteriores.

Dentro das características citadas acima, a localização da pluma restrita as águas superficiais, observada nesta amostragem, demonstra que o período da descarga de água doce do canal (menos densa) teria sido pequeno para permitir a penetração de água mais salina (mais densa) na área. Independente da alta pluviosidade registrada anteriormente, estes resultados reforçam a importância da fase da maré na área de estudo.

No Brasil, destaca-se o trabalho realizado por Marques *et al* (2009), no qual o comportamento da pluma da Lagoa dos Patos-RS é representado utilizando a modelagem numérica. Os autores concluíram, utilizando diversas forçantes oceanográficas e meteorológicas da região, que apesar da pequena influência da maré, esta desempenha grande importância nos processos de mistura da região costeira. Tanto na diminuição dos gradientes de salinidade e na penetração da pluma em direção a costa quanto na determinação do sentido da corrente em marés vazantes de sizígia.

Devido a dificuldade em encontrar estudos relacionados a plumas de pequena extensão, destaca-se o trabalho de Gaston *et al* (2006) realizado em um pequeno estuário de Mooloolah na Austrália, no qual os autores identificaram uma pluma com extensão de 2,4Km confinada próxima à costa pela ação de ventos nordeste, com um gradiente de salinidade nos primeiros dois metros de profundidades de 22 e nos demais locais dentro dos limites de extensão da pluma variando entre 34-36.

6.2 DINÂMICA FÍSICO-QUÍMICA DA PLUMA

As medidas significativamente maiores de substâncias húmicas (SH) na campanha de outubro indicam uma forte influência da pluma neste período, demonstrada pelos elevados valores nos pontos mais próximos a desembocadura do canal do DNOS. A diminuição gradual à medida que se distancia do canal é, provavelmente, devido ao decréscimo da turbulência que reduz a capacidade da pluma em transportar esse material em conjunto com os processos de mistura com as águas mais salinas (Dagg *et al* 2004).

Na campanha de março, em contrapartida, o ponto mais interno amostrado apresentou baixas medidas de SH (<0,08 ABS 320 nm), porém, os demais localizados na área adjacente mantiveram um padrão de valores maiores na superfície e meia água, sugerindo uma contribuição de outras fontes nesta coleta. Neste sentido, Noernberg (2001) em estudo no CEP, realizou várias campanhas no eixo leste-oeste e norte-sul da baía, verificou a altas medidas no ponto da Ponta do Poço (\pm 0,500 ABS 320 nm), situado a montante na mesma margem do canal

DNOS. Segundo o autor, a principal fonte desse material orgânico dissolvido para a área em questão seria o Rio Guaraguaçu, situado próximo ao local de amostragem do presente estudo.

A hipótese levantada acima foi corroborada na amostragem de julho: apesar da medida de SH ter sido elevada no ponto mais interno, em relação aos demais, esta foi a única campanha que não apresentou valores acentuados nas camadas de superfície, possivelmente em função da maior amplitude de maré enchente que gerou a influência das águas mais salinas na área amostrada em relação as demais amostragens. Tais características permitem inferir que neste período houve menor influência da bacia de drenagem e do estágio da maré, gerando menor aporte de SH. Como sugerido por Noernberg (2001) que verificou maiores aportes no estuário associados aos períodos mais quentes, às marés baixas e, aos locais de maior influência da bacia de drenagem.

O pH e a temperatura não apresentaram grandes alterações ao longo das campanhas. Os valores de pH sugerem que o ambiente estava dentro da faixa de neutralidade com relação a esta variável, possivelmente em função do constante aporte de águas salinas. Para a segunda variável observou-se como esperado um padrão sazonal com valores menores no inverno e maiores nas demais campanhas. Os valores de pH mais altos nas regiões de desembocadura com média de 8,3 foram encontrados no trabalho de Brandini (2008) na Baía de Guaratuba.

Com relação ao canal do DNOS, Castro (2008) e a empresa PARANÁSAN (2002) reportaram, através de algumas medidas ao longo do canal, valores mais acentuados na desembocadura, com máximo e mínimo de 8,0 e 6,7 inferiores às médias encontradas no presente trabalho. Em contrapartida, as variações na temperatura estão dentro da média máxima estabelecida por Lana *et al* (2001) (tabela 4) e dentro dos valores reportados por Noernberg (2001).

O Fosfato apresentou concentrações superiores aos encontrados por Diaz *et al* (2008) no rio Ródano no Mar Mediterrâneo ($<0,25 \mu\text{mol/L}$). Porém destacam-se os valores elevados registrados na água de fundo no mês de agosto, localizados apenas nos primeiros pontos concomitantes com um aumento na clorofila-a. Este fator, aliado ao incremento de MPS nas profundidades de fundo, pode indicar a ocorrência de um processo natural de remobilização do fósforo estocado no sedimento, elevando a concentração deste na coluna d'água.

Essa justificativa é corroborada no trabalho de Jiang *et al* (2008) no qual foram estudados os efeitos da atividade biológica, luz, temperatura e oxigênio na liberação de fósforo pelo sedimento e na interface de um lago raso. Os autores verificaram que em condições aeróbicas a liberação de fósforo do sedimento é pequena, porém, se a concentração de organismos no sedimento for alta apenas o fósforo dissolvido pode ser liberado dos sedimentos para a água. Neste sentido, destaca-se ainda o trabalho de Morris *et al* (1995) no estuário Humber, localizado no Reino Unido: os autores sugerem que as altas concentrações de fosfato ($<1,5\mu\text{mol/L}$) estariam sendo disponibilizadas para a coluna d'água através do processo de dessorção de partículas em suspensão e o fluxo do sedimento seria um contribuinte potencial

Os teores de oxigênio dissolvido não apresentaram grandes variações entre as campanhas, com níveis de saturação menores nos meses mais frios. Destaca-se o baixo teor em outubro no primeiro ponto, aliado aos maiores teores de substâncias húmicas e menores de Chl-*a*, confirmando a influência da pluma nesta coleta. Tal padrão é confirmado por Brandini (2008) a autora encontrou teores inferiores a 75 (%sat) nas regiões próximas a fontes de água doce na Baía de Guaratuba.

TABELA 5 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA COLUNA D'ÁGUA EM ALGUNS SISTEMAS ESTUARINOS.

Variáveis	Este estudo	Itajaí-Açu (SC) ¹	CEP (PR)	Baía de Guaratuba (PR) ³	Rio das Pérolas (Hong kong) ⁴	Unidades
Si(OH) ₄	41 - 5,7	45,3 - 8,9	178- 1,5	223 - 5,02	83,5 - 5,38	µmo/L
NH ₄ ⁺	6,7 - 0,26	29,9 - 1,5	10- 0,4 -	17,37 - 0,15	5,49 - 0,12	µmo/L
NO ₃ ⁻	2,6 - 0	4,9 - 0,9	13- 0,1	15,4 - 0,03	58,7- 1,74	µmo/L
PO ₄ ⁻³	2,8 - 0,1	1 - 0,27	3 - 0,2	1,45 - 0,02	1,39 - 0,29	µmo/L
NO ₂ ⁻	0,6 - 0	0,53 - 0,07	0,90 - 0	0,18 - 0,02	-	µmo/L
OD	133 - 71	171 - 123	110 - 70	118,23 - 43,3	-	%(sat)
CL	15,5 - 0	9,0 - 2,0	49 - 0,4	35,2 - 0,28	-	µg/L
N:P	15,3 - 0,7	-	24,2- 0,6	187 - 1,08	46,2 - 6,41	molar
MPS	86 - 15	11,9 - 7,3	120 -10	57 - 2,4		mg/L
pH	8,26 - 8		-	8,44 - 6,45		
SAL	34-13	34 - 31	30 -0	37 - 0	25-0	
T	27 -18	26 -18	30- 25	32 - 18		°C

1. SCHETTINI *et al* (2005), 2. LANA *et al* (2001) 3. BRANDINI (2008) 4. YIN *et al* (2004).

Além disso, os teores um pouco mais elevados observados na coleta de março no presente estudo podem ser decorrentes da saída das águas mais salinas provenientes da maré enchente (anterior), que ao serem misturadas com as da baía diminuem os teores de OD. Este padrão foi acentuado nos campos de março e julho (especialmente nos pontos de superfície), campanhas que apresentaram pequeno gradiente halino.

Destaca-se uma acentuada diminuição dos teores de OD na coleta de agosto em regiões próximas à desembocadura, associada a altos níveis de clorofila e fosfato como descrito anteriormente. Comparando com outros estudos (tabela), os teores de oxigênio aqui observados encontram-se na faixa de valores reportados na literatura, como na Baía de Paranaguá (Lana *et al*; 2001), Rio Itajaí-Açu (Schettini *et al.*, 2005) tabela (5) e no estuário do Rio da Pérolas na China (Yin *et al.*, 2004).

Por outro lado, Castro (2008) em estudo realizado em fevereiro e julho de 2008, durante a baixa mar de sizígia, constatou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido no inverno no ponto mais externo localizado próximo a desembocadura do canal com valores máximos de 37 (% sat.) de oxigênio dissolvido. Em contraste,

porém, PARANÁSAN (2002) reportou teores próximos a 125(% sat.) no ponto a 1km da desembocadura do canal do DNOS.

O silicato apresentou altas concentrações associadas à descarga de água doce, como observado nas campanhas de outubro e agosto quando a pluma estuarina apresentou maior estratificação e um incremento na superfície e meia-água. Esta distribuição foi confirmada pela alta correlação negativa apresentada deste constituinte com a salinidade nestas campanhas. Já nas campanhas com menor estratificação, os valores permaneceram uniformes em toda a área amostrada, e não foram verificadas correlações significantes, esse padrão está de acordo com os reportados por Gaston *et al* (2006) na Austrália e por Morris *et al* (1995) no estuário Humber no Reino Unido, onde os autores identificaram alta correlação entre os fluxos de água doce da pluma e as concentrações de silicato.

A razão N:P abaixo de 16:1 em todas as coletas permitem inferir que o ambiente esteve limitado potencialmente por nitrogênio. A influência da maior disponibilidade do fósforo fica mais evidente em agosto, quando foram registradas as menores razões devido ao aumento significativo deste constituinte. Além disso, na amostragem de março, as menores concentrações dos nutrientes nitrogenados, em contraste com os valores estáveis de fósforo, sugerem sua utilização pela demanda fitoplanctônica.

Vários estudos indicam que a remoção do nitrogênio ocorre durante a reciclagem dos nutrientes, e é provável que o mecanismo responsável pelas baixas razões N:P esteja envolvido com o processo de denitrificação durante a remineralização bentônica da matéria orgânica, em ambientes de baixas profundidades (CARMOUZE, 1994), similares ao do presente estudo. Já em regiões de plumas a limitação por nitrogênio é geralmente restrita a águas com altas salinidades em locais de menor drenagem e baixa disponibilidade de nutrientes, sugerindo uma correlação positiva entre a descarga de água doce e as razões N: P (DAGG *et al.*, 2004)

Neste sentido, a limitação por nitrogênio no presente trabalho é similar a encontrada por Brandini (2000) na região de desembocadura e áreas adjacentes na Baía de Laranjeiras, e por Machado *et al.* (1997), no eixo leste-oeste do Complexo estuarino de Paranaguá, indicando que o nitrogênio é potencialmente um fator limitante no sistema em questão. Segundo Lana *et al.* (2001), tal limitação é provavelmente

decorrente da denitrificação nos sedimentos superficiais e águas de fundo. Por outro lado, no estudo de Yin *et al* (2004) (tabela 5), foram registradas razões elevadas devido a um excesso de nitrogênio no ambiente.

Com relação à razão Si:N, Brzenzinski(1985) estabeleceu que as diatomáceas utilizam silicato e nitrato em uma razão molar de 1:1 em seu estado vegetativo. Dessa maneira, razões molares de Si:NID>1 indicam que o nitrato será exaurido primeiro e Si:N<1 demonstram elevada remoção do silicato do ambiente.

No presente estudo, razões Si: N acima de 1 foram observadas em todas as coletas, indicando que neste ambiente o nitrogênio inorgânico dissolvido pode ser o elemento limitante no crescimento das diatomáceas, estando este padrão de acordo com os encontrados para as razões N:P descritas acima. Contudo, vale ressaltar que para inferir melhor sobre essas características seria necessário investigar a composição fitoplancônica na área em questão.

No contexto acima, as maiores razões Si:N observadas em março, em relação as demais campanhas, permitem inferir que as condições nesta ocasião estavam favoráveis ao desenvolvimento de diatomáceas. Esse fator associado às baixas quantidades de nitrogenados, clorofila-a e altos teores de feofitina, podem indicar uma sucessão de processos com uma defasagem temporal entre eles. Neste cenário poderia ter ocorrido uma incorporação anterior de nutrientes, associada a uma floração de diatomáceas, e posterior senescência dos organismos, sugerindo que o transporte de silicato pela pluma poderia ser grande importância para a demanda do fitoplâncton silicoso. Seguindo este raciocínio, Warrick *et al* (2005) descrevem que a baixa biomassa algal (estimada através dos teores de clorofila-a) mensurada na região da desembocadura do rio Santa Clara na Califórnia, pode ser decorrente de um incremento anterior de nutrientes.

Neste sentido, Brandini (2000) reporta que em ambientes estuarinos, tais como o CEP, o fitoplâncton é dominado por diatomáceas. Por outro lado, o processo de dissolução das carapaças nos sedimentos pode favorecer a disponibilidade da sílica dissolvida para o meio pelágico, e este processo, em conjunto com a drenagem continental, constituem fontes deste constituinte, justificando as altas concentrações de silicato no ambiente no campo de março.

No presente estudo, levando em consideração a micro-escala e a constante circulação na desembocadura do canal, provavelmente uma floração poderia ter ocorrido como resultado da alta disponibilidade de nutrientes associada à elevada incidência solar registrada no dia da campanha. Contudo, essa suposição deve ser examinada com cautela, pois na área investigada foram avaliadas apenas as formas inorgânicas dissolvidas de nitrogênio. Desta maneira, para comprovar ou refutar as hipóteses levantadas acima, seria necessária a mensuração das formas orgânicas particuladas e dissolvidas no sistema.

A clorofila-*a* apresentou padrão inverso ao oxigênio dissolvido, com maiores concentrações em agosto associadas ao incremento do fosfato e, em julho, nos últimos pontos, sugerindo que estes teores seriam provenientes de águas mais enriquecidas da área adjacente. As menores concentrações registradas em outubro provavelmente estão associadas à influência da pluma no local, aliada às altas medidas de substâncias húmicas que podem ter diminuído os níveis de incidência solar gerando condições menos favoráveis para o desenvolvimento do fitoplâncton (DAGG *et al* ; 2004). Esta postulação é corroborada pelo aumento gradativo dos teores da clorofila e concomitante diminuição das SH nesta campanha à medida que a amostragem se distanciava da desembocadura do canal.

Esse padrão foi similar ao reportado por Warrick *et al* (2005) para o Rio Santa Clara (Califórnia), no qual apenas na região de desembocadura (durante eventos de pluma) os teores de clorofila-*a* foram menores que 1 μ g/L e nos locais fora dessa região estiveram entre 1,5 e 4,5 μ g/L. Em contrapartida, Davis (2004) em estudo na pluma do Golfo do Papua (Nova Guiné) verificou altas concentrações nas camadas superficiais nas regiões próximas a desembocadura do rio.

Por outro lado, em contraste com o presente estudo, Noernberg (2001) registrou maiores teores de clorofila-*a* no verão. No entanto, as concentrações reportadas por este autor, de 10,5 μ g/L no eixo L-O e 8,9 μ g/L no eixo S-N, estão dentro da faixa de valores registrada nos meses de julho e agosto e foram superiores aos verificados nas campanhas de março e outubro.

Os feopigmentos apresentaram distribuições similares a de clorofila-*a*. Destaca-se que a correção do valor de clorofila através da determinação da feofitina deve ser

realizada para que não ocorra superestimativa do índice do estado trófico de um ambiente, além de auxiliar na interpretação do estado fisiológico do fitoplâncton (LAMPARELLI; 2001). Assim, as razões entre clorofila e feofitina descritas na literatura são utilizadas como indicativo de saúde das algas, com razões de aproximadamente 1,7:1 indicando condições fisiológicas saudáveis, enquanto que razões de 1:1 a 1:1,5, denunciariam o predomínio de material em degradação.

Neste sentido, a partir das baixas razões encontradas, sugere-se que a região investigada recebe grande quantidade de matéria orgânica em depuração. Dentro da bibliografia consultada, Lamparelli (2001) verificou razões de 1:1 em rios no estado de São Paulo e, segundo a autora, estas razões refletiram uma fonte alóctone de pigmentos de material algal já em processo de decomposição.

Com relação aos constituintes nitrogenados, destacam-se na campanha de outubro as elevadas concentrações de nitrito e amônio nos pontos de maior influência da pluma, em contraste com o nitrato que atingiu nível inferior ao limite de detecção do método. Levando-se em consideração que o nitrito está presente no ambiente em baixas concentrações, pois é uma forma instável e intermediária formada durante processos de nitrificação (ZEHR & WARD 2002) pode-se inferir que tais concentrações são decorrentes de elevados aportes de matéria orgânica, naturais e antrópicos. Estes aportes seriam oriundos dos manguezais que circundam o canal e dos esgotos, marinas e casas localizadas nas margens do canal do DNOS.

Neste contexto, Castro (2008), em estudo do bacterioplâncton, descreve que a desembocadura do canal é uma região que recebe todos os dejetos dos cursos da água devido aos altos índices de *E. coli* encontrados. No entanto, essa informação é subjetiva, pois para confirmar esse padrão seriam necessárias investigações utilizando marcadores orgânicos geoquímicos como os esteróis, que podem indicar aporte e material fecal na área de estudo (GRIMALTI, 1990).

O material particulado em suspensão não apresentou grandes variações entre as coletas, com valores médios acima de 40 mg/L, exceto no mês de outubro quando foram registrados altos teores de material orgânico dissolvido (1,8 ABS 320 nm). Os maiores teores de MPS em agosto podem ser em decorrência da ressuspensão pela corrente de fundo. Os níveis de MPS relativamente elevados nesta área podem ser

explicados pelo fato de que a área estudada encontra-se próxima à linha de costa, região influenciada por correntes e circulação costeira, que podem fornecer grande quantidade de material particulado. Além disso, essa é uma área de baixa profundidade que está sob maior influência dos processos de mistura do sedimento para a coluna d'água pela ação da maré. Os teores encontrados neste trabalho estiveram dentro da faixa de valores reportados por Lana *et al.* (2001) e por Schettini *et al.* (2005) como pode ser observado na tabela 5.

A identificação da reatividade estuarina dos constituintes da coluna d'água pode ser efetuada pela técnica do diagrama de mistura. Ressalta-se que um dos principais processos que modifica o sinal do transporte fluvial dentro do estuário é a mistura física de águas doces e salinas de composição acentuadamente diferentes ao longo dos gradientes de salinidade (CHESTER, 2000).

Segundo este autor, na ausência de qualquer processo biogeoquímico, ou reatividade que resulte na adição ou remoção dos constituintes da coluna d'água, a mistura física (água doce e salina) da água produz então uma relação linear entre as concentrações do componente em questão e as proporções nas quais as duas massas de água se misturam. Por outro lado, quando o composto "reage" no estuário, resultando em adição ou remoção, neste caso seu comportamento é denominado não conservativo: e este irá se localizar acima e abaixo da linha de diluição, respectivamente.

Dentro do contexto descrito acima, os diagramas de mistura ao longo do gradiente de salinidade deste trabalho, evidenciam um comportamento não conservativo de aporte dos constituintes investigados nas camadas superficiais, mais acentuadamente em outubro, em relação a agosto. De uma forma geral, em contraste, as concentrações nas águas de fundo abaixo da linha teórica de diluição indicam que estes constituintes estão sendo removidos deste ambiente, sugerindo a ocorrência de processos abióticos nestas camadas, tais como precipitação, adsorção e floculação (LARGIER, 1993)

Além disso, em outubro nota-se que os constituintes estiveram associados a salinidades entre 25 e 28, indicando que esta pode ser a faixa onde a reatividade é mais intensa (CHESTER, 2000). Por outro lado, a distribuição das variáveis em agosto

ocorreu entre salinidades de 30 a 32, o que possivelmente conferiu uma menor reatividade neste período.

Em comparação, Morris *et al* (1995) investigando a distribuição dos nutrientes nitrato, fosfato e silicato em relação a salinidade no inverno, primavera e verão. Os autores reportaram comportamento conservativo apenas para o nitrato em todas as estações e para o silicato no inverno. Já Davis (2004), no Golfo do Papua (nova Guiné) verificou uma remoção de nitrato e fosfato, e apenas o silicato apresentou comportamento conservativo.

7. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PLUMA SOBRE A ÁREA COSTEIRA ADJACENTE E A ESTRATÉGIA AMOSTRAL

De uma forma geral, os resultados obtidos no presente estudo indicam a ausência de relação aparente entre a formação da pluma do canal do DNOS e a intensidade do vento. Embora não se possa descartar a influência das outras variáveis, a altura da maré foi determinante na quantidade de água doce que deságua a partir da desembocadura do canal na área costeira adjacente e conseqüentemente na formação da pluma. Além disso, elevadas precipitações alteram a salinidade das águas do canal, como evidenciado em março, em que apesar de restrito a camada superficial o gradiente de salinidade foi expressivo.

De acordo com os resultados aqui reportados, a pluma do canal do DNOS influencia a estrutura físico-química da coluna d'água em uma área de , em média com extensão de 600 m e com 80 m de largura em condições de vazantes de sizígia.

Todos estes fatores permitem recomendar que o planejamento amostral de estudos futuros cubra um maior intervalo de tempo de vazante, para que seja representado um gradiente em toda coluna d'água, e conseqüentemente a verificação da real influência da pluma do canal do DNOS na região adjacente.

Seguindo esta linha de raciocínio, é importante destacar que a realização das amostragens de março, julho e agosto sempre após o início e até aproximadamente metade da vazante, pode ter gerado uma subestimativa do papel antagônico da pluma de exportador aliviando a escassez de nutrientes e de redutor da luz, para a produção fitoplânctonica na área adjacente ao canal.

No entanto, utilizando a campanha de outubro como uma representação mais realística, se pode concluir que apesar da micro-escala e da feição ser restrita às áreas de pequenas profundidades, a pluma do canal do DNOS exerce uma influência significativa na distribuição dos constituintes investigados, especialmente, como fonte de substâncias húmicas, nitrito e silicato. O aporte de substâncias húmicas gera indiretamente menores teores de clorofila na área costeira adjacente. Estas características demonstram que a presença da pluma na região poderia implicar em condições menos propícias para o desenvolvimento fitoplanctônico. Por outro lado, o

aporte de silicato constitui um estímulo para o desenvolvimento do fitoplâncton silicoso, como verificado pelas razões Si:NID.

Uma estimativa aproximada da magnitude de exportação na área investigada foi efetuada utilizando-se como ferramenta a razão entre os valores máximos e mínimos encontrados para o silicato, NID, fosfato e substâncias húmicas. Em outubro, seguindo este raciocínio, os teores de nitrogênio inorgânico dissolvido, as substâncias húmicas e o silicato mostraram um aumento de 2 a 16 vezes na área de influência da pluma. Já em março, julho e agosto de 2009 os incrementos ficaram na faixa de 2 a 3 vezes, com exceção do fosfato, cujos fatores de enriquecimento foram de 9 em março e 5 em agosto. A partir deste exercício simples, pode-se concluir que a pluma do canal do DNOS atua como um mecanismo fertilizador importante para a área adjacente ao mesmo.

Uma avaliação da qualidade da água na área de influência da pluma do DNOS pode ser feita comparando algumas variáveis investigadas neste estudo com os limites críticos estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05. Com base nas variações da salinidade encontrada neste trabalho, as águas da área investigadas são classificadas como salinas e salobras, e dentro dessas classificações o canal enquadra-se nas classes, I, II e III e englobam respectivamente: ambientes destinados à recreação de contato primário pesca amadora e recreação de contatos secundários e finalmente, locais para a navegação e harmonia paisagística.

Segundo a resolução, as águas salobras e salinas das categorias de classe I e II devem apresentar valores máximos de nitrato, nitrito e pH de $28,5\mu\text{mol}$ e $5\mu\text{mol}$ e 8,5, respectivamente, com mudanças apenas para o oxigênio dissolvido de 6 e 4 mg/L e para a classe III, não há limite para as variáveis, com teores de OD superiores a 3mg/L. Seguindo esta resolução, os resultados verificados no presente estudo, com concentrações de nutrientes inferiores aos limites máximos e maiores (entre 5,8 e 8 mg/L) que os mínimos de OD estabelecidos na legislação ambiental vigente, permitem concluir que a pluma do canal do DNOS não causa danos ao sistema adjacente, no que tange à variáveis investigadas. No entanto, esta é uma conclusão preliminar, pois seriam necessários maiores estudos sobre a qualidade de água da pluma do canal na

região costeira adjacente, para embasar com maior precisão as suposições levantadas acima.

Como conclusão final, o presente estudo mostrou que a pluma do canal do DNOS na área adjacente funciona como uma exportadora de material em decomposição e de nutrientes inorgânicos dissolvidos para a área adjacente. Tais materiais, orgânico dissolvido e detritos (como verificado visualmente em todas as campanhas) e nutrientes, seriam provenientes da gamboa do Perequê e do próprio canal. Porém, ressalta-se que devido à falta de dados pretéritos e em virtude da defasagem na estratégia amostral deste trabalho, essa inferência deve ser interpretada com cautela.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros, contemplem a realização de um maior esforço amostral englobando uma área mais abrangente, a região da pluma e locais dentro do canal do DNOS e da gamboa do Perequê, possibilitando uma comparação entre essas áreas, e a avaliação mais precisa da influência da pluma.

REFERÊNCIAS

ALLIOT E., YOUNESA W.A.N., ROMANO J.-C., REBOUILLON P., MASSE H. (2003) Biogeochemical impact of a dilution plume (Rhône River) on coastal sediments: comparison between a surface water survey (1996–2000) and sediment composition. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 57, p. 357-367.

ANGELOTTI, R. (2008). **Variabilidade da pluma e da estratificação termo-halina na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá e plataforma adjacente**. 157 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.

ARAÚJO, T.G. (2008). **Deposição atmosférica total de nutrientes inorgânicos na Baía de Paranaguá – Paraná, Brasil**. 72f. Monografia (Graduação em oceanografia) Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.

ANGULO, R. J. (1993). Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio a ocupação da orla litorânea. In: **Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, 5, , Curitiba. Boletim de resumos e programa, Curitiba. p. 69- 70.

BALLABIO, T (2008) **Distribuição e utilização de abrigos da *Lontra longicaudis* no canal do DNOS, litoral do Paraná – Brasil**, 64f. Monografia (Graduação em oceanografia) Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.

BRANDINI, N. (2000). **Variação espacial e sazonal da produção primária do fitoplâncton em relação às propriedades físicas e químicas na Baía das Laranjeiras e áreas adjacentes do complexo estuarino da Baía de Paranaguá (Paraná - Brasil)**. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Paraná.

BRZEZINSKI, M. A. (1985). The Si : C :N ratio of marine diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. **Journal .of Phycology**, vol. 21,p/ 347-357.

BRANDINI,N. (2008) **Biogeoquímica da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil:Origem, metabolismo, balanço de massa e destino da matéria biogênica**. 277f. Tese (Doutorado em geoquímica ambiental) Universidade Federal Fluminense,Niterói- Rio de Janeiro.

CARMOUZE, J.P. (1994). **O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos: Fundamentos teóricos, Métodos de Estudo e Análises Químicas**. Editora Edgard Blücher: FAPESP.

CASTRO, J.J (2008). **Bacterioplâncton do canal do DNOS e Gamboas adjacentes (Pontal do Paraná) e sua inter-relação com fatores físico-químicos**, 40 f. Monografia (Graduação em oceanografia) Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná.

CHESTER, R (2000). **Marine Geochemistry, Department of Earth Sciences**, University of Liverpool, editora Chapman & Hall, second edition, cap.3.2, p.42-45.

CHAO, S.Y (1987) River - forced estuarine plumes. **Journal of Physical Oceanography**. vol.18, p. 72 – 88.

CONAMA (2005). Resolução n 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005. p. 58-63.

DAGG M ; BENNER B R; LOHRENZ C S; LAWRENCE D. (2004) Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. **Continental Shelf Research**.; vol.24 p. 833-858.

DAI M.; ZHAI W; CAI W.-J (2008) Effects of an estuarine plume-associated bloom on the carbonate system in the lower reaches of the Pearl River estuary and the coastal zone of the northern South China Sea. **Continental Shelf Research**, vol.28, p. 1416–1423.

DAVIES, P. (2004) Nutrient processes and chlorophyll in the estuaries and plume of the Gulf of Papua. **Continental Shelf Research** , vol. 24 p. 2317–2341

DIAZ .F; NAUDIN .J.J, COURTIES; C., RIMMELIN. P; ORIOL L. (2008). Biogeochemical and ecological functioning of the low-salinity water lenses in the region of the Rhone River freshwater influence, NW Mediterranean Sea. **Continental Shelf Research**, p 1511– 1526.

FUNPAR- Fundação para o desenvolvimento científico e tecnológico da Universidade Federal do Paraná. (1997) Estudo de impacto ambiental (EIA) de uma usina termelétrica na Baía de Paranaguá e do Porto de desembarque, subestação e linha de transmissão associados. **Companhia Paranaense de Eletricidade**, technical report.

GARVINE, R. W (1987) Estuarine plume and fronts and shelf waters: a layer model. **Journal of Physical Oceanography**, vol.17, p.1887 – 1896.

GARVINE, R.W. (1974) Physical features of the Connecticut River outflow during high discharge. **Journal of Geophysical Research**. n.79,p. 831-846.

_____, and J.D. Monk, (1974): Frontal structure of a river plume. **Journal of Geophysical Research**. n.79, p. 2251 – 2259.

GASTON, T.F., SCHLACHERA, T.A., CONNOLLYB, R.M., (2006). Flood discharges of a small river into open coastal waters: Plume traits and material fate. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 69, p. 4–9.

GEYER, W. R., BEARDSLEY, R. C., LENTZ, J. S, LIMEBURNER R., STEVEN J (1996) Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, vol.16, p. 575-616.

GRIMALTI, J.O.; FERNANDEZ, P., BAYONA, J. M. & ALBAIGES, J. (1990). Assessment of fecal sterols and ketones as indicator of urban sewage inputs to coastal waters. **Environmental Science & Technology**. vol. 24, p. 357-363.

GOBBI, E.F. **Estudo de concepção, alternativas e viabilidade técnica do canal Matinhos-Pontal**, (lagoa amarela). Relatório – UFPR, Setor de Tecnologia, (1995).

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. & KREMLING (Eds.), (1999). **Methods of Seawater Analysis**. 3rd edição . Weinheim: Verlag Chemie, 419f , cap. 10.

HORNER-DEVINE, R . JAY D. A, ORTON P. M, E.Y Spahn. (2009) **Journal of Marine Systems**. Article in press. 16f.

IPARDES. (1989). **Zoneamento do litoral paranaense**. Curitiba. Convênio IPARDES e SEPL.

JIANG, X., JIN X., YAO, Y. (2008) Effects of biological activity, light, temperature and oxygen on phosphorus release processes at the sediment and water interface of Taihu Lake, China. **Water research**, vol. 42, p. 2251 – 2259.

Knoppers, B. A.; Brandini, F. P.; & Thamm, C. A. (1987). Ecological studies in the Bay of Paranaguá.II.Some physical and chemical characteristics. **Nerítica** vol.2,p 1-36.

LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA FÍSICA COSTEIRA E GEOPROCESSAMENTO. (2008). **Imagem do CEP**. Pontal do Paraná: CEM/UFPR

LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA FÍSICA COSTEIRA E GEOPROCESSAMENTO. (2009). **Imagem do Canal do DNOS**. Pontal do Paraná: CEM/UFPR

LANA, P. C. (1989) Estrutura espacial de associações macrobênticas da Gamboa Perequê (Pontal do Sul, Paraná). **Nerítica**, v. 4, n. ½, p. 119-136,

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. (2001). The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: SEELIGER, U.; LACERDA, L. D.; KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**, p. 131-145.

LAMPARELLI, M.C.(2001) **Grau de trófia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 238f. Tese (Doutorado em ciências na área de ecossistemas aquáticos) Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

LARGIER, J. L. (1993) Estuarine fronts: how important are they? **Estuaries**, vol.16,n.1, p.1-11.

LENTZ S.J.; LIMEBURNER R. (1995). The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. **Journal of Geophysical Research** 100, p- 2355-2375.

LEWIS, R (1997) **Dispersion in estuaries and coastal waters**, editora John Wiley & Sons, cap. 9.4 p 269-277

MARONE E.; GUIMARÃES, M.R.F.; CAMARGO, R.; PRATA, JR., V.P. & KLINGENFUSS, M.S. (1995). Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. *In: Resumos do VI Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Mar del Plata*, Argentina, p: 129.

MARONE, E.; JAMIYANAA, (1997) D. Tidal characteristics and a numerical model for the M2 tide at the Estuarine Complex of the Bay of Paranaguá, Paraná, Brazil. **Nerítica**. Curitiba, n. 11, p. 95-107,

MARQUES W.C.; FERNANDES E.H.; MONTEIRO I. O; O.O. MÖLLER. (2009) Numerical modeling of the Patos Lagoon coastal plume, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 29, p. 556-571.

MACHADO, E.C.; DANIEL, C.B.; BRANDINI, N. & QUEIROZ, R.L. V. (1997) Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranaguá Bay, PR, Brazil. **Nerítica**, vol.11, p. 15-34.

MANN, K. H.; LAZIER, J. R. N. (1996) **Dynamics of marine ecosystems**. Editora: Blackwell Science, cap. 4, p.122.

MANTOVANELLI, A. (1999). **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá em sua bacia de drenagem**. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba..

MARTINS, G. J *et al.* 2001. **Parâmetros Físicos da água em um canal artificial**. VII Congresso da Abequa. Mudanças Globais e o Quaternário. Imbé – RS,p 563.

MIRANDA, J. **Impactos urbanos causados sobre o canal – departamento nacional de obras e saneamento (DNOS), no balneário Praia de Leste, Município de Pontal do Paraná**. (2006) 43f. Monografia (licenciatura em geografia) - Instituto Superior do Litoral do Paraná, ISULPAR, Paranaguá.

MIRANDA, L.B. de.; CASTRO, B.M. de; KJERVE, B. (2002) **Princípios de oceanografia física de estuários**. 414f, editora: Universidade de São Paulo.

MORRIS, A. W.; ALLEN, J. I.; HOWLAND, R. J. M.; WOOD, R. G. (1995). The Estuary Plume Zone: source or sink for land-derived nutrient discharges?. **Continental Shelf Research**, n. 40, p. 387- 402.

NARAYANAN C, GARVINE R.W (2002). Large scale buoyancy driven circulation on the **Continental Shelf. Science**.n 36, p. 125-152.

NOENBERG, M. A. (2001) 142f. **Processos morfodinâmicos no complexo estuarino de Paranaguá – Paraná - Brasil: Um estudo a partir de dados *in situ* e Landsat-TM** . 250 f. Tese (Doutorado em Geologia ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

O'DONNELL, J. (1988). A numerical technique to incorporate frontal boundaries in two-dimensional layer models of oceanic dynamics. **Journal of Oceanography**, vol-17, p. 1564-1600.

O'DONNELL, J. (1993) Surface Fronts : A review. **Estuaries**, vol.16, n.1, p.1- 19.

PARANÁSAN (2002) Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Sistema de Esgotamento Sanitário: Faixa Litorânea - Projeto de Saneamento Ambiental do Paraná – - SANEPAR. p428-432.

PIOLA, A. R.; MÖLLER JR, O. O.; PALMA, E. D. (2005) O impacto do Rio da Prata no Oceano Atlântico. **Revista Ciência Hoje**. vol. 36, n. 216, p. 30-37.

PRITCHARD M & HUNTLEY D. A. (2002) Instability and Mixing in a Small Estuarine Plume Front. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 55,p. 275–285.

SÁNCHEZ-GIL P; YÁÑEZ-ARANCIBIA ALEJANDRO; TAPIA M. (2008) Ecological and biological strategies of *Etropus crossotus* and *Citharichthys spilopterus* (*Pleuronectiformes:Paralichthyidae*) related to the estuarine plume, Southern Gulf of Mexico. **Journal of Sea Research**, vol. 59, p. 173 - 185.

SCHETTINI C. A. F; RESGALLA JR., PEREIRA FILHO, C.; SILVA J.; TRUCCOLO M.A.C.; (2005) .Variabilidade temporal das características oceanográficas e ecológicas da região de influência fluvial do rio Itajaí-açu. **Brazilian Journal of Aquatic Science. and Technology**, vol.9, p. 93- 102.

SEELIGER U; ODEBRETCH C; CASTELLO J.P. (1998). Interações entre os ambientes estuarino e marinho. Em: **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**. Editora Ecocientia, cap.8 p.200

SOARES, C. R.; BORZONE, C. A. & SOUZA, J. R. B. (1997). Variações morfológicas e sedimentológicas ao longo de um ciclo anual numa praia arenosa no sul do Brasil. **Oecologia Brasiliensis. V. III: Ecologia de Praias Arenosas do Litoral Brasileiro**. ABSALÃO, R. S. & ESTEVES, A. M. (editores). UFRJ. 245 – 248.

STRICKLAND J.L.H.; PARSONS T.R.(1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. **Fish Res.** Board Can.,167 p.

WESTON, K.; GREENWOOD, N.; FERNAND, L.; PEARCE D.J; SIVYER D.B. (2008) Environmental controls on phytoplankton community composition in the Thames plume, U.K. **Journal of Sea Research**, vol. 60, p. 246-254

YIN K; SONG X; SUN J.; WU M. C.S. (2004) Pontential P limitation leads to excess N in the Pearl river estuarine coastal plume. **Continental Shelf Research**, n.24, p.1895-1907.

YANKOVISKY, A.E; CHAPMAN D.C. (1997) A Simple Theory for the Fate of Buoyant Coastal Discharges. **Journal of Physical Oceanography**, n.27 vol.27. p.1386-1401.
WARRICK J. A., WASHBURN L., BRZEZINSKIC M. A., SIEGEL, D. A. (2005) Nutrient contributions to the Santa Barbara Channel, California, from the ephemeral Santa Clara River. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**,vol. 62,p. 559–574.

ZEHR, J. P; WARD, B. B (2002) Nitrogen cycling in the ocean: new perspectives on processes and paradigms. **Applied and environmental microbiology**, vol.68 n.3, p. 1015–1024.

ANEXOS

TABELA 1- DADOS BRUTOS DA COLETA DE OUTUBRO E RAZÕES CALCULADAS NESTE TRABALHO. PROF- PROFUNDIDADE. S- SUPERFÍCIE; M-MEIO; F-FUNDO. NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS EM $\mu\text{mol/L}$, SH(ABS 320 nm), RAZÕES EM MOLAR E, MPS E CLOROFILA-A EM $\mu\text{g/L}$.

PROF	SI(OH) ₄	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻	OD	CL	F	SH	MPS	SI:NID	NID:PID	CL/FEO
M	41.87	4.97	0.00	0.44	0.58	71.02	0.37	4.35	1.868	48.03	7.58	12.47	0.08
F	7.47	2.27	0.22	0.25	0.05	122.79	0.67	4.76	0.594	78.83	2.95	10.21	0.14
S	6.20	0.99	0.38	0.18	0.04	119.10	0.69	11.63	0.147	94.53	4.40	7.98	0.06
F	9.62	0.95	2.60	0.26	0.06	117.73	1.24	10.43	0.201	91.93	2.67	13.95	0.12
S	36.28	3.13	0.97	0.66	0.40	96.38	0.89	7.59	1.002	80.43	8.05	6.86	0.12
F	12.09	1.97	0.47	0.26	0.12	112.37	0.82	9.14	0.368	90.13	4.72	9.73	0.09
S	18.12	3.30	0.33	0.44	0.15	111.94	0.62	13.68	0.365	89.83	4.79	8.50	0.05
F	10.17	1.21	0.45	0.30	0.08	121.10	0.95	11.86	0.177	83.53	5.85	5.80	0.08
S	9.35	1.88	0.50	0.25	0.08	114.02	0.93	8.19	0.608	82.53	3.81	9.93	0.11
F	7.58	1.13	0.52	0.19	0.06	118.37	1.01	7.77	0.150	86.43	4.42	8.81	0.13
S	19.24	1.34	0.28	0.29	0.18	107.53	0.59	5.61	0.663	63.33	10.66	6.14	0.10
F	8.45	1.29	0.13	0.26	0.06	117.76	0.79	11.68	0.176	95.03	5.70	5.80	0.07
S	20.99	1.75	0.36	0.39	0.19	113.39	0.70	14.44	0.479	67.73	9.14	5.86	0.05
F	10.43	1.12	0.17	0.27	0.06	118.28	1.03	17.63	0.253	98.73	7.73	5.03	0.06
S	8.36	2.38	0.19	0.26	0.05	116.77	1.00	10.52	0.235	81.83	3.19	10.07	0.10
F	8.13	0.88	0.11	0.25	0.05	121.43	2.09	23.61	0.114	89.43	7.78	4.15	0.09
S	10.01	1.07	0.14	0.35	0.07	113.46	2.41	34.39	0.165	98.33	7.85	3.63	0.07
F	10.63	1.68	0.16	0.33	0.07	118.93	1.54	18.42	0.141	76.53	5.57	5.70	0.08
S	11.45	1.92	0.01	0.30	0.07	121.10	1.30	20.86	0.145	106.23	5.72	6.65	0.06

TABELA 2- DADOS BRUTOS DA COLETA DE MARÇO E RAZÕES CALCULADAS NESTE TRABALHO. PROF- PROFUNDIDADE. S- SUPERFÍCIE; M- MEIO; F-FUNDO. NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS EM $\mu\text{mol/L}$, SH(ABS 320 nm), RAZÕES EM MOLAR E, MPS E CLOROFILA-A EM $\mu\text{g/L}$.

F	SI(OH) ₄	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻	OD	CL	F	SH	MPS	SI:NID	NID:PID	CL/FEO
M	11.19	0.46	0.32	0.27	0.04	133.75	1.72	15.24	0.068	56.33	11.95	2.99	0.11
F	11.35	0.48	0.25	0.33	0.04	132.85	2.45	22.53	0.067	173.33	12.93	2.30	0.11
S	8.60	0.58	0.26	0.20	0.03	132.79	2.11	18.80	0.076	65.33	8.59	4.30	0.11
F	9.72	0.33	0.29	0.10	0.02	132.31	0.57	27.38	0.061	84.33	13.21	6.15	0.02
S	9.69	0.32	0.42	0.39	0.02	127.23	2.38	44.00	0.112	81.33	10.97	1.97	0.05
F	9.81	0.38	0.31	0.37	0.02	133.38	2.48	48.46	0.068	87.33	11.94	1.95	0.05
S	11.96	0.42	0.44	0.34	0.07	127.99	4.09	46.85	0.148	94.33	11.23	2.76	0.09
F	9.09	0.93	0.28	0.34	0.03	133.11	3.75	41.86	0.070	92.33	6.38	3.60	0.09
S	8.72	0.33	0.30	0.21	0.03	117.17	2.64	57.04	0.095	92.33	11.43	3.19	0.05
F	9.52	0.26	0.43	0.23	0.02	117.63	5.48	41.66	0.080	105.33	11.66	3.06	0.13
S	10.38	0.31	0.51	0.25	0.06	116.76	3.93	46.63	0.102	77.33	10.40	3.42	0.08
F	9.89	0.67	0.62	0.31	0.02	117.28	3.05	31.78	0.073	69.33	6.58	4.27	0.10
S	7.00	0.40	0.30	0.26	0.03	116.97	2.35	30.57	0.073	61.33	8.46	2.74	0.08
F	6.42	0.50	0.31	0.21	0.03	116.75	2.72	28.91	0.078	59.33	6.64	4.03	0.09
S	9.90	0.37	0.38	0.25	0.04	121.80	4.41	38.93	0.115	66.33	11.04	3.09	0.11
F	5.75	0.72	0.30	0.17	0.02	113.12	2.88	35.52	0.069	64.33	4.82	6.14	0.08
S	10.42	0.27	0.45	1.00	0.04	115.55	4.25	36.43	0.111	90.33	11.92	0.76	0.12
F	10.78	0.52	0.67	0.26	0.01	112.55	2.81	33.79	0.088	72.33	7.83	4.55	0.08
S	9.99	0.60	0.48	0.64	0.03	109.76	3.69	46.87	0.113	76.33	7.86	1.73	0.08

TABELA 3- DADOS BRUTOS DA COLETA DE JULHO E RAZÕES CALCULADAS NESTE TRABALHO. PROF- PROFUNDIDADE. S- SUPERFÍCIE; M- MEIO; F-FUNDO. NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS EM $\mu\text{mol/L}$, SH(ABS 320 nm), RAZÕES EM MOLAR E, MPS E CLOROFILA-A EM $\mu\text{g/L}$.

PROF	SI(OH) ₄	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻	OD	CL	F	SH	MPS	SI:NID	NID:PID	CL/FEO
M	10.07	2.04	1.68	0.49	0.11	103.84	2.98	32.46	0.1475	78.43	2.63	7.75	0.09
F	11.41	2.60	1.64	0.49	0.13	101.48	2.68	110.99	0.0364	36.73	2.66	8.78	0.02
S	10.11	2.14	1.55	0.42	0.05	98.30	3.50	54.29	0.0424	95.43	2.66	9.13	0.06
F	8.77	1.65	1.70	0.40	0.11	83.29	4.07	50.29	0.0438	67.63	2.53	8.75	0.08
S	11.70	1.54	1.60	0.35	0.12	108.85	3.85	58.87	0.0446	104.83	3.61	9.35	0.07
F	11.64	1.78	1.70	0.40	0.09	82.60	1.91	40.29	0.0468	87.63	3.23	9.04	0.05
S	8.92	4.04	1.48	0.45	0.14	107.82	3.02	36.52	0.0522	73.53	1.58	12.56	0.08
F	21.21	2.20	1.46	0.40	0.13	77.97	2.90	51.08	0.047	82.13	5.64	9.48	0.06
S	9.00	1.33	1.38	0.43	0.11	104.89	7.33	83.91	0.0457	78.03	3.08	6.72	0.09
F	7.19	1.56	1.40	0.40	0.10	102.77	6.44	111.41	0.0781	74.73	2.32	7.70	0.06
S	11.10	1.66	1.09	0.53	0.21	107.91	5.08	77.41	0.0596	85.73	3.77	5.54	0.07
F	10.98	1.75	1.05	0.41	0.14	100.14	9.55	115.14	0.0516	94.33	3.76	7.05	0.08
S	9.82	2.01	0.79	0.43	0.20	100.97	5.52	101.68	0.0638	85.73	3.37	6.74	0.05
F	8.29	1.71	0.78	0.72	0.11	102.75	7.49	103.14	0.048	84.23	3.10	3.74	0.07
S	11.60	1.53	0.79	0.41	0.12	81.34	9.51	103.77	0.0503	100.43	4.71	6.00	0.09
F	7.81	2.35	0.65	0.43	0.15	104.32	7.94	114.47	0.0615	88.53	2.48	7.38	0.07
S	10.16	1.91	0.64	0.40	0.16	106.22	15.51	208.40	0.0654	88.43	3.75	6.73	0.07
F	8.80	1.39	0.54	0.46	0.13	98.64	0.00	0.00	0.0604	116.03	4.29	4.50	0.00
S	9.31	1.51	0.38	0.41	0.19	83.48	3.67	50.31	0.0417	109.93	4.60	4.91	0.07

TABELA 4- DADOS BRUTOS DA COLETA DE AGOSTO E RAZÕES CALCULADAS NESTE TRABALHO. PROF- PROFUNDIDADE. S- SUPERFÍCIE; M- MEIO; F-FUNDO. NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS EM $\mu\text{mol/L}$, SH(ABS 320 nm), RAZÕES EM MOLAR E, MPS E CLOROFILA-A EM g/L.

PROF	Si(OH) ₄	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	NO ₂ ⁻	OD	CL	F	SH	MPS	SI:NID	NID:PID	CL/FEO
M	17.27	3.44	1.95	1.45	0.45	114.71	10.80	135.56	0.0946	54.67	2.95	4.02	0.08
F	11.41	1.78	0.93	2.03	0.32	84.46	11.96	150.75	0.0227	107.67	3.75	1.50	0.08
S	19.37	2.71	1.88	1.86	0.37	83.39	8.12	125.31	0.1168	87.67	3.91	2.67	0.06
F	9.83	2.52	1.00	2.87	0.31	76.13	15.43	84.55	0.0265	98.67	2.57	1.33	0.18
S	16.26	2.40	1.68	1.67	0.48	81.85	6.73	73.48	0.0789	81.67	3.57	2.74	0.09
F	10.88	1.72	0.88	2.59	0.35	105.99	4.77	62.90	0.0198	88.67	3.70	1.14	0.08
S	11.93	1.90	1.14	2.46	0.43	89.50	3.97	36.70	0.0229	76.67	3.44	1.41	0.11
F	9.99	1.94	0.84	0.81	0.33	105.87	4.95	52.84	0.0104	99.67	3.21	3.83	0.09
S	19.03	2.64	1.77	1.68	0.48	108.47	3.63	41.98	0.0912	67.67	3.90	2.90	0.09
F	10.02	2.17	0.87	0.57	0.34	105.02	4.63	45.55	0.0208	102.67	2.96	5.93	0.10
S	15.24	2.66	1.08	0.61	0.49	92.73	3.04	36.50	0.0614	85.67	3.60	6.94	0.08
F	11.19	1.64	1.20	0.79	0.39	105.43	5.22	41.92	0.0281	94.67	3.46	4.12	0.12
S	16.84	2.62	1.49	0.58	0.49	105.83	3.98	29.02	0.0776	83.67	3.67	7.98	0.14
F	10.34	2.01	0.86	0.52	0.37	109.12	0.00	41.86	0.0186	100.67	3.19	6.23	0.00
S	18.04	2.84	1.02	0.50	0.58	83.99	3.54	29.12	0.1082	77.67	4.06	8.80	0.12
F	13.77	2.14	1.01	0.52	0.41	107.62	3.10	53.16	0.0853	111.67	3.87	6.89	0.06
S	17.40	6.27	1.21	0.52	0.48	89.01	4.89	1.46	0.1053	98.67	2.18	15.40	3.36
F	12.08	1.84	0.88	0.49	0.41	102.83	0.00	8.01	0.0214	95.67	3.85	6.36	0.00
S	19.14	2.64	1.56	0.53	0.60	86.19	0.21	4.58	0.032	77.67	3.99	9.04	0.05