



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE GEOLOGIA COSTEIRA E SEDIMENTAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA DA
BAÍA DE CAMAMU E ADJACÊNCIAS E
MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO À
DERRAMES DE ÓLEO**

FABIOLA NEGREIROS DE AMORIM

SALVADOR – BAHIA
DEZEMBRO – 2005

Caracterização Oceanográfica da Baía de Camamu e Adjacências e Mapeamento das Áreas de Risco à Derrames de Óleo

por

FABIOLA NEGREIROS DE AMORIM

Eng. Civil (Universidade Federal do Espírito Santo – 1996)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

GEOLOGIA

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa

da

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora

_____ Dr. Mauro Cirano - Orientador

_____ Dr. Ivan Dias Soares

_____ Dr. Guilherme Camargo Lessa

Aprovada em 20 de dezembro de 2005

A presente pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA, com recursos da CAPES e do CNPq.

Amorim, Fabiola Negreiros de,

Caracterização Oceanográfica da Baía de Camamu e Adjacências e Mapeamento das Áreas de Risco à Derrames de Óleo / Fabiola Negreiros de Amorim. — Salvador, 2005.

170pp

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2005.

Palavras-chave: Baía Camamu, Caracterização Oceanográfica, Derrame de óleo.

“Para ser grande, sê inteiro: nada teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és no mínimo que fazes.
Assim como em cada lago a lua toda brilha, porque alta vive.”

Fernando Pessoa.

*Dedico esta obra a minha amada
Izabella, o meu maior mestre.*

Agradecimentos

À Deus, por ter-me concedido a força necessária para alcançar mais esta conquista.

À minha querida avó, D. Tarcy, fonte inesgotável de bondade e garra, por ter-me ensinado a sempre lutar pelos meus objetivos.

À minha querida irmã Fabiana, ser iluminado, por ter-me mostrado que por trás de nuvens cinzentas sempre existem raios de luz.

À minha família, em especial, ao meu pai, Luiz Carlos, por carregar no olhar a certeza do meu sucesso, à minha mãe, Rosa Herminia, e aos meus irmãos Leticia, Marcelo, Lyudimilla Yelena e André Luiz, e meu sobrinho Johhan, pela alegria de tê-los ao meu lado.

Ao meu querido orientador Mauro Cirano. Como até mesmo o célebre Isaac Newton reconheceu certa vez: “Se pude ver mais longe, foi por ter-me apoiado em ombros de gigantes”. Obrigado por ter sido gigante na maneira como conduziu a realização deste trabalho, sabendo ser duro nos momentos necessários e doce na maior parte deles, e pela imensa paciência e dedicação, que me possibilitaram ir mais longe do que eu poderia, a princípio, supor.

Ao meu amigo Ike, pela sua imensa bondade. A sua preciosa ajuda foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao querido Guilherme Lessa, por se ter feito presente nos momentos necessários, e por ter acreditado em mim ao me convidar para integrar o seu grupo de trabalho.

Aos amigos Rajendra, Saulo Spanó e Carlos “Horácio” Teixeira, por tudo o que me ensinaram. Que saudades terei dos papos agradáveis no cafézinho após o almoço !

Ao querido amigo Amilcar Rocha, por ter-me ajudado a aliviar as saudades de casa ao permitir o meu convívio com sua família, em especial com os seus pais, meus queridos D. Diva e Sr. Oscar.

Às queridas amigas Ana Carla Simas e Salambô Gomes, pela constante presença.

À Lilian Cirano, por ter compreendido e respeitado os momentos em que fez-se necessário Mauro estar ausente.

Aos meus amigos Célio Bartole, Mônica Castro, Edmilson Teixeira e Antônio Sérgio Mendonça, por sempre terem um “cantinho” disponível no GEARH/UFES para que eu pudesse trabalhar, e pelas constantes palavras de incentivo.

Ao Prof. Clemente Tanajura, por ter disponibilizado o CATO/LNCC para fornecer os resultados do modelo atmosférico utilizados neste trabalho, e por sempre reservar um tempo para solucionar minhas dúvidas.

Ao Ricardo Branco, do CATO/LNCC, por ter produzido as figuras dos campos de precipitação fornecidos pelo MR Eta e utilizados neste trabalho.

Ao Prof. Daniel Rigo, da UFES. Não fosse sua insistência, eu não teria descoberto o prazer de trabalhar com o mar.

Ao querido Prof. Luiz Bruner de Miranda, pela forma gentil como me passou os seus conhecimentos, não só solucionando minhas dúvidas, mas me presenteando com o meu primeiro livro de Oceanografia Física.

Ao Prof. Ilson Carlos da Siveira, pelo carinho com que sempre me recebeu em seu laboratório no IO-USP.

À todos os amigos da USP, em especial à Adriana Brasil, Thiago, Ana Cláudia de Paula, Fabricio Branco e Marcos Longo, por terem me acolhido com carinho nas minhas idas à São Paulo.

À Prof. Zelinda Leão, por ter-me passado um pouco de sua experiência de vida nos momentos em que fraquejei.

Ao Prof. Hédison Sato, por ter sempre um espaço para solucionar dúvidas sobre o LaTeX, e pelas preciosas dicas de gramática.

Aos queridos Cid e Rafa, pelas preciosas aulas de ArcGIS.

Ao Técnico Joaquim Lago, por ter sempre recebido com bom humor minhas interrupções ao seu trabalho, quaisquer que fossem os motivos.

Aos profissionais da FUNDIPESCA, em especial ao Pantaleão, pelas aulas informais de navegação e pesca.

Ao José Raimundo, pescador da ilha do Âmbar, que, além de ter sido nossa bússola quando dos trabalhos na Baía de Camamu, recebeu-nos com carinho em seu lar.

Ao Prof. Ivan Dias Soares, por ter aceitado compor a minha banca. Desde já agradeço as sugestões que irão contribuir para tornar este trabalho mais consistente.

À Úrsula e Ana, da Camamu Adventure, por terem possibilitado os translados até a ilha Grande.

À Companhia Baroid, pela concessão do píer para instalação de nosso marégrafo.

À Companhia El Paso Óleo e Gás do Brasil, por ter disponibilizado parte dos dados usados para a caracterização oceanográfica da Baía de Camamu.

À CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado durante o tempo necessário para a realização deste trabalho.

À rede de pesquisas PETRORISCO (Rede 05/01 CT-PETRO/FINEP/CNPq), por ter possibilitado a compra de parte dos aparelhos utilizados nas coletas dos dados oceanográficos.

Ao CNPq, pelo financiamento dos projetos PETROBAHIA (processo CT-PETRO n. 500189/2002-1) e MARDOBA (processo CT-PETRO n. 502356/2003-0), aos quais este trabalho esteve vinculado.

Enfim, agradeço a mim mesma, por ter sempre visto nos obstáculos um incentivo para o passo seguinte.

Resumo

A Baía de Camamu (BC), localizada na porção central do litoral bahiano, tem sido alvo frequente das atividades de exploração de petróleo e gás natural, que podem vir a pôr em risco o seu ecossistema, no caso de um derrame de óleo no mar. O sucesso de um plano de contingência seria bastante incerto, pois pouco se conhece à respeito da sua circulação marinha e atmosférica, dificultando a identificação das áreas sobre risco. Em virtude desta deficiência, o presente trabalho visa, a partir de dados coletados em campo, promover a caracterização oceanográfica da BC e de suas adjacências. Com base nestes dados, e com o uso de modelos de circulação atmosférica e de trajetória de óleo, serão mapeadas as áreas de risco. Os resultados obtidos mostram que a região apresenta uma marcada variação sazonal, caracterizada por um período seco (agosto a fevereiro) e um chuvoso (março a julho), e que a hidrodinâmica é claramente dividida em dois sistemas, um compreendendo a própria baía e o outro a plataforma continental adjacente. No interior da baía a circulação é principalmente governada por forçantes supra-inerciais, sendo a maré a mais importante. Para a região localizada na plataforma interna, existe uma maior atuação das forçantes sub-inerciais nas correntes paralelas à costa e das forçantes supra-inerciais nas correntes perpendiculares à costa, sendo que as correntes de maré atuam preferencialmente perpendiculares à costa. Esta região apresenta total reversão do fluxo preferencial entre os dois períodos, com correntes fluindo para SW (ventos de NE) durante o período seco e para N (ventos de SW) durante o período chuvoso. O mesmo padrão sazonal é observado na plataforma média, com correntes fluindo preferencialmente para S (N) durante o período seco (chuvoso). No entanto, a contribuição das forçantes supra e sub-inerciais para a geração destas correntes é diferenciada. Para um período seco, as forçantes nas duas bandas, bem como as correntes de maré, possuem uma atuação similar para ambos componentes. Para um período chuvoso, as forçantes sub-inerciais são as mais importantes para a geração das correntes paralelas à costa. As correntes de maré continuam apresentando contribuição similar para ambos componentes. Em função dos padrões de circulação identificados, as áreas sobre risco no período seco compreenderiam principalmente a região central e sul da BC, enquanto no período chuvoso seriam atingidas as regiões central e ao norte da BC.

Abstract

The Bay of Camamu (BC), located at the central part of the Bahian coastline, has been a constant target for oil and gas activities, which could put in jeopardy the whole ecosystem in the case of an oil spillage. Considering the fact that there is a lack of knowledge about its oceanic and atmospheric circulation, the success of a given contingency plan would be highly uncertain, as well as the identification of the areas at risk. In order to reduce this uncertainty, this work aims, based on in situ data, to promote an oceanographic characterization of the bay and its adjacent areas. Based on these results and with the use of both atmospheric numerical modeling and oil trajectory modeling, the areas at risk will be identified. The analysis of the results show a clearly seasonal pattern, defining a dry season (August to February) and a wet season (March to July). The hydrodynamics is also divided in two parts, one which includes the bay itself and the other which covers the adjacent continental shelf. The circulation inside the bay is supra-inertially forced, and clearly tidally driven. At the inner shelf, the alongshore currents are mostly driven by sub-inertial forcings, while the cross-shore currents are mainly driven by supra-inertial forcings. The tidal currents are more important along the cross-shore axis. The preferential flow at this region shows a complete reversion between the two seasons, with a southwestward current (NE winds) during the dry season and a northward current (SW winds) during the wet season. The same seasonal pattern is observed at the middle-shelf, with southward (northward) flowing currents during the dry (wet) season. The contribution of the supra and sub-inertial forcings in the generation of these currents varies according to the seasons. For the dry season, both frequencies act similarly to drive the currents, and tidally driven currents are important in both the alongshore and the cross-shore components. For the wet season the sub-inertial forcings are more important in the alongshore currents, but the tidally driven currents still remains important in both directions. According to the circulation patterns described above, the areas at risk in the dry season would include mostly the central and southern parts of the bay, while during the wet season the central and northern part of the bay would be affected.

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice de Figuras	xii
Índice de Tabelas	xvi
Índice de Abreviações	xviii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	5
1.1.1 Objetivos Principais	5
1.1.2 Objetivos Específicos	5
2 Caracterização da Área de Estudo	6
2.1 Localização	6
2.2 Características Batimétricas	9
2.3 Características Pluviométricas	11
2.4 Características Fluviométricas	14
2.5 Campo de Ventos	16
3 Derrames de Óleo em Ambiente Marinho	21
3.1 Propriedades dos óleos	21
3.2 Processos físico-químicos envolvidos no comportamento do óleo em ambiente marinho	22
3.2.1 Evaporação	22
3.2.2 Emulsificação	23
3.2.3 Dispersão na coluna d'água	23
3.2.4 Dissolução	23

3.2.5	Sedimentação	24
3.2.6	Biodegradação	24
3.2.7	Advecção	25
3.2.8	Difusão (espalhamento)	25
3.2.9	Interação óleo-costa	26
3.3	Planos de Contingência e Ações Emergenciais	26
4	Considerações acerca da implementação de modelos numéricos	29
4.1	Aplicação de modelos numéricos	29
4.1.1	Modelagem da trajetória de óleo	30
4.1.2	Modelagem da circulação atmosférica	31
4.2	Critérios para implantação de modelos numéricos	32
4.2.1	Topografia e malha computacional	32
4.2.2	Condições de contorno	32
4.2.3	Calibração e validação	33
5	Materiais e métodos	34
5.1	Metodologia para aquisição e tratamento dos dados coletados <i>in situ</i>	34
5.1.1	Dados coletados na plataforma continental adjacente à BC	34
5.1.2	Dados coletados na região estuarina da BC	39
5.2	Modelo de trajetória de óleo GNOME	42
5.3	Modelo de circulação atmosférica Eta	43
6	Resultados e Discussão	45
6.1	Caracterização oceanográfica com base nos dados coletados <i>in situ</i>	45
6.1.1	Campo de ventos	45
6.1.2	Marés	50
6.1.3	Plataforma Continental adjacente à BC	58
6.1.3.1	Campo de correntes	58
6.1.3.2	Estrutura Termohalina	79
6.1.4	Região estuarina da Baía de Camamu	90
6.2	Modelagem regional da circulação atmosférica	122
6.3	Modelagem numérica da trajetória de óleo	130
6.3.1	Configuração do cenário para a simulação	130
6.3.2	Forçantes	132
6.4	Mapeamento das áreas de risco a derrames de óleo	134
6.4.1	Cenário período seco (verão)	135
6.4.2	Cenário período chuvoso (inverno)	139

7	Conclusões e Recomendações	143
	Referências Bibliográficas	152
A	Metodologia para caracterização fluviométrica	160
B	Cálculo dos prismas de maré para os rios Maraú e Serinhaém	169

Índice de Figuras

1.1	Demanda energética no Brasil	1
1.2	Blocos exploratórios oferecidos pela ANP	2
2.1	Mapa da bacia de Camamu	7
2.2	Mapa da região da BC	8
2.3	Mapa batimétrico da BC e plataforma continental adjacente	10
2.4	Características pluviométricas da BC	12
2.5	Campo de ventos na costa do Brasil durante o verão e o inverno	18
2.6	Campo de ventos na plataforma adjacente à BC durante os períodos seco e chuvoso	19
2.7	Variabilidade do campo de ventos na plataforma adjacente à BC durante os períodos seco e chuvoso	19
2.8	Análise espectral da série de ventos em Salvador e Ilhéus	20
5.1	Mapa de localização dos pontos de coletas de dados na BC	35
5.2	Curva de calibração dos sensores de turbidez dos CTD's	41
6.1	Série temporal de ventos observados em Barra Grande - período seco	46
6.2	Série temporal da tensão do vento observado em Barra Grande - período seco	47
6.3	Série temporal de ventos observados em Barra Grande - período chuvoso	48
6.4	Série temporal da tensão do vento observado em Barra Grande - período chuvoso	49
6.5	Série temporal da elevação do nível do mar durante o período seco	51
6.6	Série temporal da elevação do nível do mar durante o período chuvoso	52
6.7	Série temporal da elevação do nível do mar entre dezembro/04 - julho/05	52
6.8	Assimetria de maré para o estuário do rio Marau	55
6.9	Série temporal sub-inercial do stress do vento observado em Salvador para o período entre dezembro/04 - junho/05	57
6.10	Série temporal de correntes observadas no ponto ACM1 durante o período seco	59
6.11	Série temporal de correntes de maré previstas para o ponto ACM1 durante o período seco	59

6.12	Elipses de maré para o período seco	62
6.13	Correntes residuais para o período seco.	63
6.14	Série temporal de correntes observadas no ponto ACM2 durante o período seco	63
6.15	Série temporal de correntes de maré previstas para o ponto ACM2 durante o período seco	64
6.16	Série temporal das correntes observadas no ponto ADP durante o período seco	65
6.17	Série temporal das correntes sub-inerciais paralelas à costa observadas no ponto ADP durante o período seco	66
6.18	Série temporal das correntes sub-inerciais perpendiculares à costa observadas no ponto ADP durante o período seco	67
6.19	Série temporal de correntes previstas para o ponto ADP durante a estação seca	68
6.20	Série temporal de correntes observadas no ponto ACM1 durante o período chuvoso	69
6.21	Série temporal de correntes previstas para o ponto ACM1 durante o período chuvoso	71
6.22	Elipses de maré para o período chuvoso	72
6.23	Velocidades residuais para o períodos chuvoso	73
6.24	Série temporal de correntes observadas no ponto ACM2 durante o período chuvoso	74
6.25	Série temporal de correntes previstas para o ponto ponto ACM2 durante o período chuvoso	75
6.26	Série temporal das correntes observadas no ponto ADP durante o período chuvoso	76
6.27	Série temporal das correntes sub-inerciais paralelas à costa observadas em ADP durante o período chuvoso	77
6.28	Série temporal das correntes sub-inerciais perpendiculares à costa observadas em ADP durante o período chuvoso	78
6.29	Série temporal de correntes previstas no ponto ADP durante o período chuvoso	78
6.30	Variação vertical horária de temperatura e salinidade no ponto ACM1 durante o período seco	80
6.31	Variação vertical horária de temperatura no ponto ACM2 durante o período seco	82
6.32	Variação vertical horária de temperatura no ponto ADP durante o período seco	83
6.33	Comportamento pluviométrico durante o período chuvoso	84
6.34	Variação vertical horária de temperatura e salinidade no ponto ACM1 durante o período chuvoso	85

6.35	Variação vertical horária de temperatura e salinidade no ponto ACM2 durante o período chuvoso	87
6.36	Variação vertical horária de temperatura e salinidade no ponto ADP durante o período chuvoso	89
6.37	Variação horária da velocidade no rio Maraú - quadratura	91
6.38	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD no rio Maraú - quadratura	93
6.39	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD no rio Maraú - quadratura	94
6.40	Diagramas de Estratificação-circulação para as estações de CTD no rio Maraú	95
6.41	Perfis longitudinais de temperatura, salinidade e CSS no rio Maraú durante a preamar - quadratura	96
6.42	Perfis longitudinais de temperatura, salinidade e CSS no rio Maraú durante a baixamar - quadratura	97
6.43	Variação horária da velocidade na Barra do Mutá - quadratura	98
6.44	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD na Barra do Mutá - quadratura	100
6.45	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD na Barra do Mutá - quadratura	101
6.46	Diagramas de Estratificação circulação para as estações de CTD na Barra do Mutá	102
6.47	Variação horária da velocidade no rio Serinhaém - quadratura	103
6.48	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD no rio Serinhaém - quadratura	104
6.49	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD no rio Serinhaém - quadratura	105
6.50	Diagramas de estratificação circulação para as estações de CTD no rio Serinhaém	106
6.51	Perfis longitudinais de temperatura, salinidade e CSS no rio Serinhaém durante a preamar - quadratura	107
6.52	Variação horária da velocidade no rio Maraú - sizígia	108
6.53	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD no rio Maraú - sizígia	110
6.54	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD no rio Maraú - sizígia	111
6.55	Perfis longitudinais de temperatura, salinidade e CSS no rio Maraú durante a baixamar - sizígia	112
6.56	Variação horária da velocidade na Barra do Mutá - sizígia	113

6.57	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD na Barra do Mutá - sizígia	115
6.58	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD na Barra do Mutá - sizígia	116
6.59	Variação horária da velocidade no rio Serinhaém - sizígia	117
6.60	Perfil médio temporal de velocidade, temperatura e salinidade nas estações CTD no rio Serinhaém - sizígia	119
6.61	Variação temporal de velocidade e salinidade nas estações CTD no rio Serinhaém - sizígia	120
6.62	Perfis longitudinais de temperatura, salinidade e CSS no rio Serinhaém durante a baixamar - sizígia	121
6.63	Precipitação observada pelo INMET e INPE e prevista pelo MR Eta para os meses de janeiro e junho de 2003	123
6.64	Séries temporais de vento obtidas dos MR e MCG e pelas PCD's do CP-TEC/INPE para o mês de janeiro 2003	125
6.65	Séries temporais de vento obtidas dos MR e MCG e pelas PCD's do CP-TEC/INPE para o mês de janeiro 2003	128
6.66	Cenário para modelagem do derrame de óleo	131
6.67	Representação do campo de correntes idealizado para a modelagem do derrame de óleo	133
6.68	Cenário para um derrame do óleo cru durante o período seco (verão)	136
6.69	Cenário para um derrame do óleo diesel durante o período seco (verão) . . .	138
6.70	Cenário para um derrame do óleo cru durante o período chuvoso (inverno) .	141
6.71	Cenário para um derrame do óleo diesel durante o período chuvoso (inverno)	142
A.1	Áreas de drenagem afluentes à Baía de Camamu	161
A.2	Curva de permanência no tempo das vazões do posto fluviométrico de Ituberá	162
A.3	Setorização por tipo de solo das áreas de drenagem afluentes à Baía de Camamu	164
A.4	Fluviograma médio anual para o posto fluviométrico de Ituberá	165
A.5	Vazão específica do solo tipo latossolo em função da área de drenagem	167

Índice de Tabelas

2.1	Vazão média dos principais rios afluentes à BC	15
3.1	Grupos de óleo em função do grau API	22
3.2	Índices de Sensibilidade Ambiental definidos pela NOAA	28
5.1	Descrição do monitoramento na campanha do período seco	36
5.2	Descrição do monitoramento na campanha do período chuvoso	37
5.3	Descrição do monitoramento na campanha de setembro/2004	40
5.4	Pares de sinal de turbidez e CSS para calibração dos CTD's	41
6.1	Estatística dos ventos observados durante o período seco	46
6.2	Estatística dos ventos observados durante o período chuvoso	49
6.3	Período dos principais componentes harmônicos de maré	50
6.4	Explicação da variabilidade das elevações do nível do mar	51
6.5	Principais componentes harmônicos para a BC	53
6.6	Prismas de maré para os estuários da Baía de Camamu	55
6.7	Estatística das correntes observadas durante o período seco	60
6.8	Estatística das correntes supra-inerciais e sub-inerciais durante o período seco	60
6.9	Explicação da variabilidade das correntes observadas durante o período seco	61
6.10	Principais componentes harmônicos para as correntes de maré durante o período seco	61
6.11	Estatística das correntes observadas durante o período chuvoso	70
6.12	Estatística das correntes supra-inerciais e sub-inerciais durante o período chu- voso	70
6.13	Explicação da variabilidade das correntes observadas durante o período chuvoso	71
6.14	Principais componentes harmônicas para as correntes de maré durante o período chuvoso	72
6.15	Comportamento da estrutura termohalina para os pontos ACM1, ACM2 e ADP durante o período seco	79

6.16	Comportamento da estrutura termohalina para os pontos ACM1, ACM2 e ADP durante o período chuvoso	84
6.17	Comportamento da velocidade para as seções transversais de monitoramento na BC durante a quadratura	91
6.18	Comportamento da velocidade para as seções transversais de monitoramento na BC durante a sizígia	109
6.19	PCD's para validação do MR Eta	124
6.20	Estatística entre os MCR e MR Eta do NCEP para janeiro de 2003	124
6.21	Estatística entre os MCR e MR Eta do NCEP e as PCD's do CPTEC/INPE, para janeiro de 2003	126
6.22	Estatística entre os MCR e MR Eta do NCEP para junho de 2003	127
6.23	Estatística entre os MCR e MR Eta do NCEP e as PCD's do CPTEC/INPE, para junho de 2003	129
6.24	Correção dos resultados do MR Eta	130
6.25	Resultados das simulações de derrames de óleo para o período seco	137
6.26	Resultados das simulações de derrames de óleo para o período seco	140
A.1	Vazões pontuais medidas nos afluentes da Baía de Camamu	165
A.2	Vazões específicas das áreas de drenagem afluentes à Baía de Camamu	166
A.3	Vazões médias na Baía de Camamu nas estações seca e chuvosa	168
B.1	Prismas de maré para o rio Maraú	169
B.2	Prismas de maré para o rio Serinhaém	170

Índice de Abreviações

ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler

ANP: Agência Nacional de Petróleo

APA: Área de Proteção Ambiental

BTS: Baía de Todos os Santos

BC: Baía de Camamu

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSS: Concentração de Sedimentos em Suspensão

CTD: Conductivity, Temperature and Depth

EL: Elemento Lagrangeano

GNOME: General NOAA Oil Model Environment

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LNCC: Laboratório Nacional de Computação Científica

MCG: Modelo de Circulação Global

MR: Modelo Regional

NCEP: National Center of Environmental Prediction

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

PCD: Plataforma de Coleta de Dados

RMSE: Root Mean Square Error

UNICAMP: Universidade de Campinas

ZICT: Zona de Convergência Intertropical

1 – Introdução

“... Cada um de nós compõe a sua história,
e cada ser em si carrega o dom de ser capaz, e ser feliz.”

Almir Sater.

A demanda de fontes energéticas sempre apresentou solicitação expressiva no mundo moderno e o petróleo e seus derivados possuem uma participação significativa neste quadro, respondendo por 40% do consumo mundial de energia primária (Suslick, 2002). Neste contexto, o Brasil vem apresentando crescimento expressivo. Nos últimos 30 anos, o consumo de energia primária não renovável aumentou em 30%, representando atualmente 52% da demanda energética nacional, sendo o petróleo responsável por 40% desta demanda (Figura 1.1a).

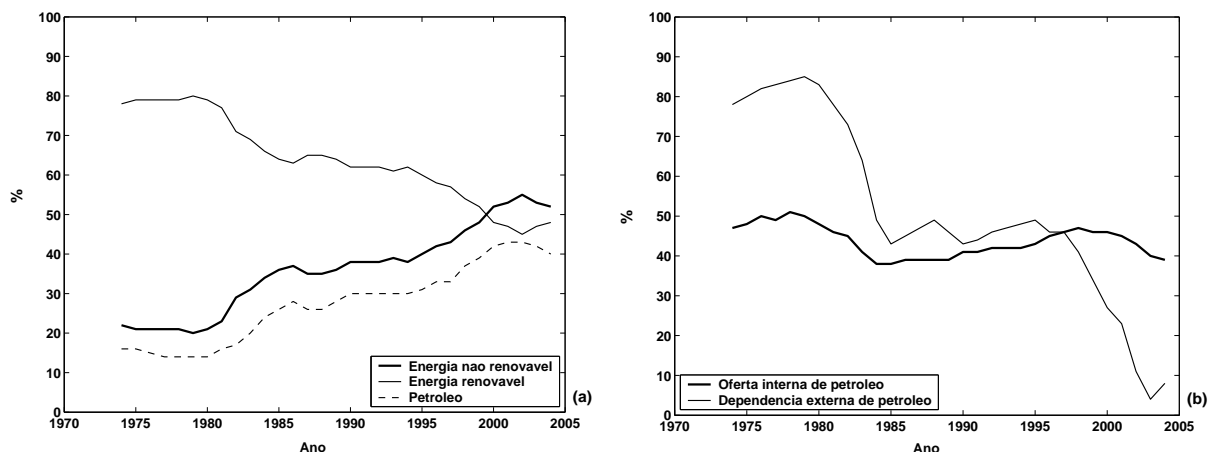


Figura 1.1: Evolução da demanda energética no Brasil (MME, 2005).

Apesar da demanda interna de petróleo no Brasil ter se mantido em torno de 45% nos últimos 30 anos, a dependência externa de petróleo diminuiu consideravelmente. Atualmente o Brasil necessita importar somente 8% do consumo nacional de petróleo (Figura 1.1b). Em função deste quadro, nos últimos sete anos houve um aumento crescente da oferta de blocos

de exploração de petróleo e gás natural, sendo oferecidos desde então 3112 blocos (Figura 1.2). Deste total, 588 foram concedidos para exploração, sendo 292 localizados no mar (ANP, 2005).

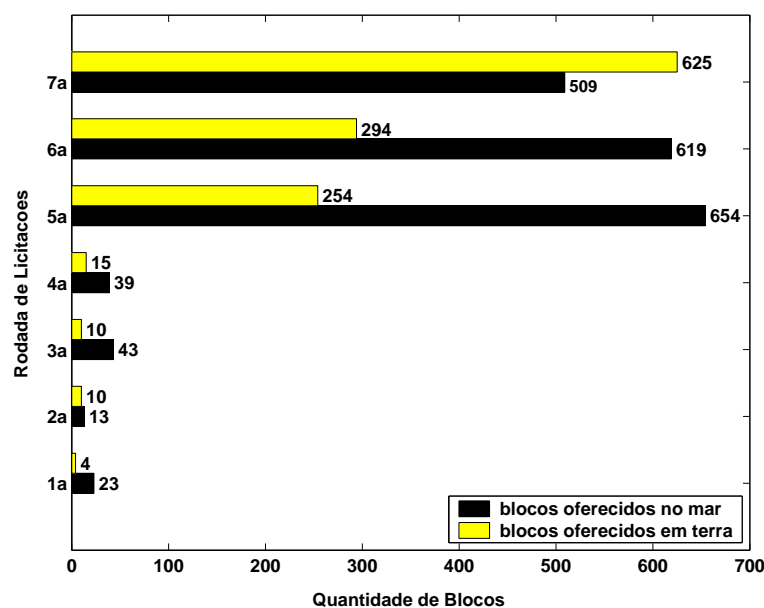


Figura 1.2: Blocos exploratórios oferecidos em leilões pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2005).

Devido ao aumento da oferta de blocos de exploração de petróleo, vários poços encontram-se espalhados próximos à região costeira do Brasil, muitos em operação (ANP, 2005), aumentando o risco de impactos ambientais causados por possíveis derrames de óleo. Em âmbito regional, cabe destacar que o estado da Bahia possui a maior linha de costa do país, com uma extensão de 1120 km. Ao longo de seu litoral existe uma grande ocorrência de recifes de corais, entre eles o Banco dos Abrolhos, considerado o complexo recifal mais extenso do Oceano Atlântico Sul (Leão et al., 2003), ecossistemas como manguezais e estuários e duas importantes reentrâncias costeiras: a Baía de Todos os Santos (BTS) e a Baía de Camamu (BC), localizada na Costa do Dendê, porção central do litoral Bahiano.

A região da BC, objeto de estudo deste trabalho, engloba em seu interior um rico ecossistema estuarino e, apesar dos recifes de corais existentes no seu entorno terem sido os primeiros a serem citados na literatura sobre estruturas coralíneas brasileiras (e.g. Spix e Martius, 1828), esta é a região menos conhecida em toda a costa do estado da Bahia (Leão et al., 2003). Nos últimos anos, a BC tem sido alvo frequente das indústrias do turismo e de petróleo e gás natural, aumentando o risco de impactos antrópicos ao seu ecossistema, principalmente àqueles advindos das atividades de exploração de petróleo, uma vez que 18 blocos foram concedidos para exploração na plataforma continental adjacente à BC, sendo 6 localizados em águas rasas (ANP, 2005).

Apesar dos vazamentos naturais, a partir de falhas oceânicas por exemplo, serem responsáveis pela maior parte do volume de óleo que atinge o oceano todos os anos (NRC, 1985), essas emissões ocorrem espalhadas ao longo do globo, não possuindo o poder de impactar o ambiente marinho como aquelas ocorridas em consequência de atividades humanas, como limpeza de navios, emissões de refinarias e derrames acidentais, que ocorrem geralmente de maneira pontual (Sebastião e Soares, 1995). Estes derrames são extremamente impactantes, sendo os acidentes com petroleiros os que necessitam de maior atenção, porque podem resultar na descarga de grandes quantidades de óleo e ocorrem geralmente próximo a ambientes costeiros sensíveis (Sebastião e Soares, 1995), merecendo destaque aqueles que ocorrem próximos a regiões estuarinas.

Em média, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas do que as do rio e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimulam a produtividade destes corpos de água (Miranda et al., 2002). Devemos ressaltar também o impacto econômico que possíveis derrames de óleo podem vir causar à região costeira, como danos à indústria pesqueira, ou qualquer indústria que utilize os recursos marinhos como matéria-prima, e a inutilização de regiões turísticas.

Como exemplo destes impactos, podemos citar o acidente envolvendo o petroleiro Exxon Valdez, considerado mundialmente como o maior derrame de óleo em termos de danos ao meio ambiente, quando 40.000 toneladas de óleo cru foram derramados, impactando a costa sudoeste do estreito Prince William no Alasca. No âmbito nacional, podemos citar o acidente ocorrido recentemente na Baía de Guanabara, quando, devido a ruptura de uma tubulação, aproximadamente 1290 toneladas de óleo vazaram por quatro horas, afetando severamente comunidades pesqueiras, bem como áreas de preservação dentro da baía (Cantão et al., 2000; Michel, 2000).

De maneira a evitar que danos maiores sejam causados em consequência de derrames de óleo no ambiente marinho, é importante que ações rápidas de limpeza e remoção sejam adotadas imediatamente após o acidente (Sugioka et al., 1999). Para tanto, planos de ação emergencial e de contingência devem ser elaborados, visando a adoção de estratégias que venham a impedir que o produto derramado alcance a costa.

Um dos fatores cruciais para que um plano de contingência seja bem sucedido, é o conhecimento detalhado dos campos de circulação marinha e atmosférica, bem como suas variações espaço-temporais. Com base nestes dados, e através do uso de modelos de transporte de óleo no mar, podemos estimar a abrangência espacial do derrame e identificar as regiões costeiras vulneráveis, subsidiando a elaboração de mapas representativos das áreas de risco à derrames de óleo. Esta estratégia tem sido adotada com sucesso em planos de contingência, dentre

os quais podemos citar a adotada pela NOAA durante o acidente com o petroleiro Exxon Valdez, quando áreas de desova de salmão foram protegidas (ASCE, 1996).

Como mencionado anteriormente, a BC encontra-se inserida atualmente em um cenário passivo à impactos advindos das atividades petrolíferas e, associado a isso, pouco se conhece a respeito da circulação na plataforma continental adjacente à BC, bem como de sua região estuarina. Esta realidade torna a BC ainda mais vulnerável, pois, no caso de um derrame acidental ocorrer em seu entorno, o sucesso de um plano de contingência seria bastante incerto.

Com o intuito de suprir esta necessidade, alguns projetos foram desenvolvidos visando, entre outros aspectos, fornecer subsídios técnicos e científicos para o gerenciamento ambiental da BC. Estes projetos envolveram importantes centros de pesquisa, entre eles a UFBA, a UNICAMP e o LNCC, e estiveram vinculados à Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, que, em conjunto, apoiaram a rede de pesquisa intitulada “Monitoramento Ambiental das Áreas de Risco a Derrames de Óleo e seus Derivados - PETRORISCO” (Rede 05/01 CT-PETRO/FINEP/CNPq). O CNPq também apoiou os projetos intitulados “Monitoramento Oceanográfico das Áreas de Risco a Derramamentos de Óleo - Costa Central da Bahia - MARDOBA” (processo CNPq/CT-PETRO n. 502356/2003-0) e “Impacto de Derramamentos de Petróleo na Costa Central da Bahia - PETROBAHIA” (processo CNPq/CT-PETRO n. 500189/2002-1).

Dentro da iniciativa privada, uma vital contribuição para este trabalho deu-se através de uma parceria entre a UFBA e a EL Paso Óleo e Gás do Brasil Ltda. Todos os dados oceanográficos e meteorológicos obtidos pela empresa dentro dos seus Estudos de Impactos Ambientais para os blocos exploratórios da região, foram cedidos para análise e avaliação (Cirano e Amorim, 2005), e compõem uma parte substancial deste trabalho.

1.1 Objetivos

O presente trabalho, encontra-se vinculado ao conjunto de iniciativas supra-citadas, e possui os objetivos a seguir:

1.1.1 Objetivos Principais

A caracterização oceanográfica da BC, visando o conhecimento da circulação da plataforma continental adjacente e de sua região estuarina, bem como do comportamento hidrográfico destas regiões.

1.1.2 Objetivos Específicos

Mapear as áreas de risco a derrames de óleo da BC e adjacências, criando, a partir dos resultados iniciais, cenários característicos de estações seca e chuvosa. Para tanto, além dos dados oceanográficos descritos anteriormente, será utilizado para a região de estudo um modelo regional de circulação atmosférica, um modelo idealizado de correntes superficiais e um modelo de trajetória de óleo.

O conteúdo do trabalho a seguir, apresenta-se organizado da seguinte forma. Os aspectos gerais da área de estudo são descritos no Capítulo 2. No Capítulo 3 são apresentadas as principais características dos derrames de óleo no mar. Os Capítulos 4 e 5 descrevem os principais aspectos dos modelos numéricos e a metodologia utilizada na análise dos dados. Os resultados provenientes deste trabalho, bem como a discussão destes com base na literatura científica disponível, são apresentados no Capítulo 6. As conclusões deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros, são apresentadas no Capítulo 7.

2 – Caracterização da Área de Estudo

Este capítulo tem como objetivo descrever, em linhas gerais, os principais aspectos que caracterizam a região de estudo, em termos geográficos (seção 2.1), morfológicos (seção 2.2) e climatológicos (seções 2.3, 2.4 e 2.5).

Com base na análise dos padrões climáticos, pretende-se classificar os principais cenários que ocorrem na região. Para tal enquadramento, será utilizada uma combinação de dados meteorológicos (ventos e chuvas) e fluviométricos, que, agrupados em conjuntos de meses, irão definir os cenários mais característicos da região.

2.1 Localização

Na porção central do litoral do estado da Bahia, ocupando uma área total de 15.000 km² até o limite da cota batimétrica de 2.000 m, estendendo-se por aproximadamente 130 km ao longo da margem continental leste brasileira e abrangendo parte da planície costeira, encontra-se a bacia de Camamu (Figura 2.1), uma bacia marginal cretácea, limitada ao norte pela bacia do Jacuípe e ao sul pela bacia de Almada (Souza-Lima et al., 2003).

Na porção central da bacia de Camamu, em uma região conhecida como costa do dendê, entre as coordenadas 13° 40,2'S; 38° 55,8'W e 14° 12,6'S; 39° 9,6'W, encontra-se a Baía de Camamu (BC), que, com uma área superficial de aproximadamente 384 km², abriga em seu interior um rico ecossistema estuarino, com manguezais de grande potencial pesqueiro, restingas na borda litorânea, remanescente da Mata Atlântica e inúmeras ilhas, dentre as quais as mais importantes são as ilhas Grande, Pequena e Âmbar.

Os principais rios, cujas descargas fluviais tornam a BC um sistema estuarino, são o Serinhaém, Igrapiúna, Sorojó e Maraú, com suas bacias de drenagem localizadas na porção norte, central e sul da baía, respectivamente (Figura 2.2). Esse sistema é bastante raso e as maiores profundidades com cerca de 15 m são encontradas no canal principal de navegação a leste da sua entrada, próximo à Ponta do Mutá (Figura 2.2).

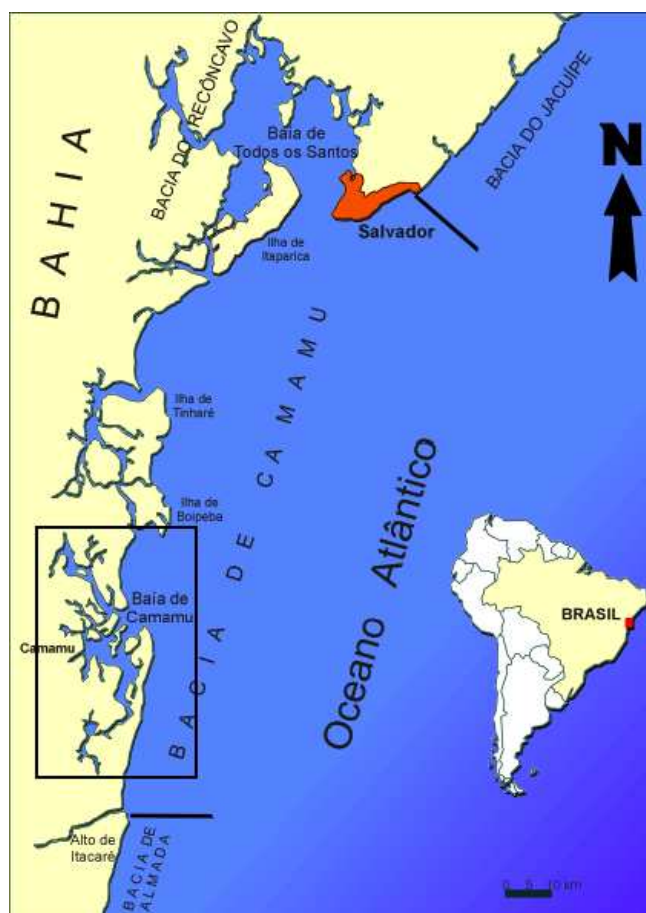


Figura 2.1: Mapa de localização da bacia de Camamu com o detalhe da BC, região de estudo deste trabalho.

A principal comunicação da BC com a região costeira é através da abertura entre a Ponta do Mutá e a Ponta do Apaga-fogo, com cerca de 6,4 km de largura, orientada na direção SO-NE. A topografia de fundo nesta região é bastante irregular, com rochas e bancos arenosos submersos a menos de três metros da superfície, constituindo grande obstáculo para a navegação (Figura 2.2).

Em direção ao interior do sistema, a largura do canal de entrada é reduzida para aproximadamente 800 m em direção ao estuário do rio Serinhaém e em dois canais separados a esquerda e a direita da Ilha Grande, com largura de 2200 m e 1300 m, respectivamente, em direção ao rio Maraú (Figura 2.2).

Nesta região da BC predominam os depósitos de sedimentos descritos como lamas siliciclásticas atuais de origem continental, com teores variáveis de matéria orgânica. Ao largo da Península de Maraú, imediatamente à frente da linha de costa, ocorrem areias quartzosas, com compartimentos de areias e/ou cascalho de algas coralíneas ramificadas, sendo que, na extremidade norte da Península, ocorrem lamas arenosas siliciclásticas atuais de origem continental (ElPaso, 2005).

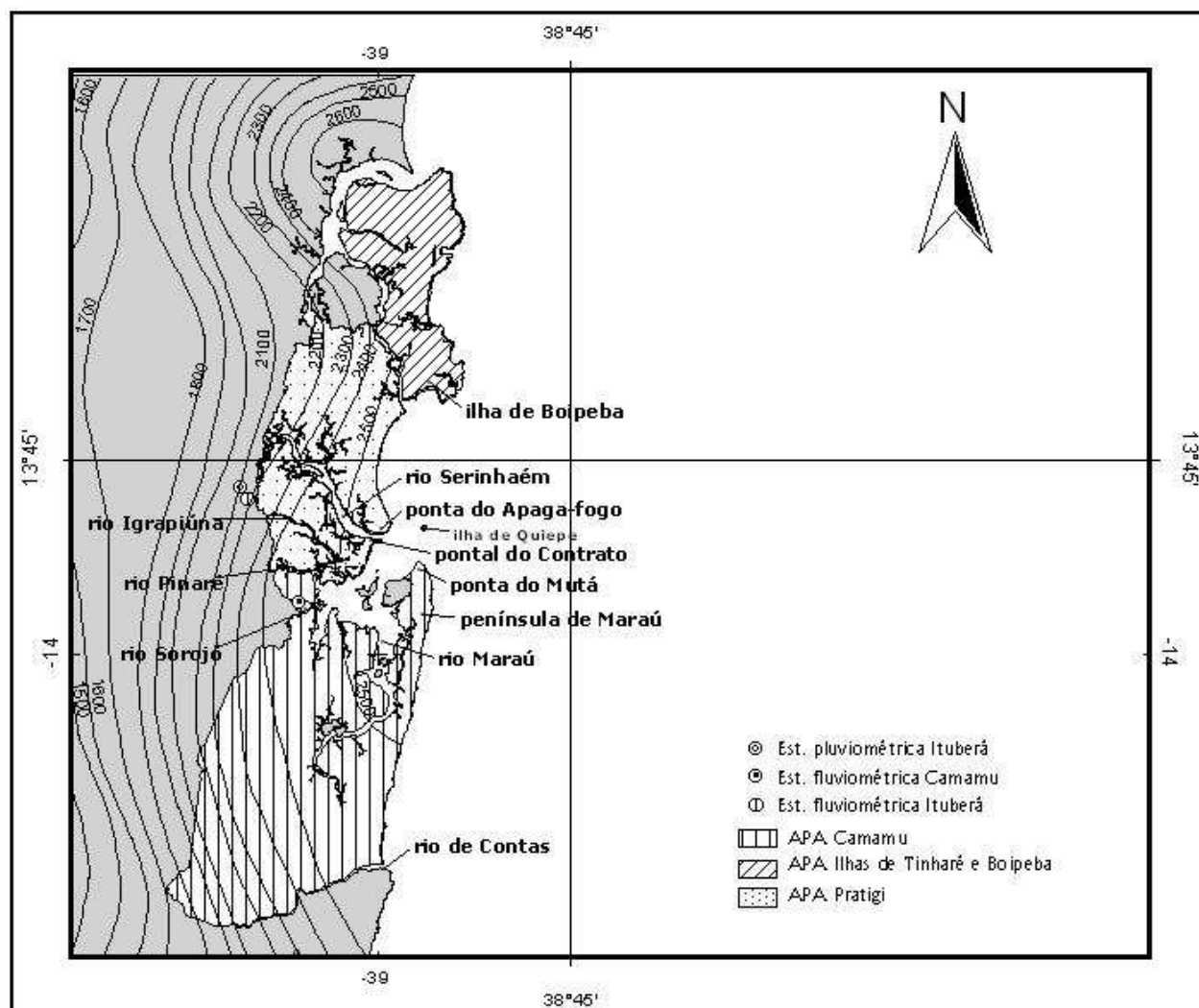


Figura 2.2: Mapa da BC, com a localização das principais ilhas, rios, postos pluviométricos de Camamu e Ituberá e posto fluviométrico de Ituberá. As isoietas (mm/ano) e o limite das APA's foram obtidos a partir do sistema de informações georeferenciadas da SRH (2003)

O entorno da BC é considerado privilegiado por apresentar, além de estuários e manguezais, pradarias de algas e recifes coralinos, que proporcionam enriquecimento do ambiente marinho a partir do aporte de material orgânico detrítico ou dissolvido (ElPaso, 2005). Esses ambientes encontram-se protegidos por unidades de conservação denominadas Áreas de Proteção Ambiental - APA (Figura 2.2), sendo as principais:

- APA das Ilhas de Tinharé e Boipeba. Localizada no município de Cairú, possui 43.300 ha de área protegida. As formações vegetais encontradas na área de influência direta e indireta da APA incluem manguezais, restinga, mata ombrófila densa e ecossistemas marinhos costeiros.

- APA de Pratigi. Localizada nos municípios de Ituberá, Nilo Peçanha e Igrapiúna. Possui 32.000 ha de terras protegidas, englobando grande extensão de praias, restingas, manguezais e remanescentes de Mata Atlântica;
- APA da BC. Localizada nos municípios de Camamu, Maraú e Itacaré. Possui 118.000 ha de terras protegidas, englobando grande extensão de manguezal, Floresta Ombrófila densa e restinga.

2.2 Características Batimétricas

A plataforma continental brasileira estende-se por mais de 6.400 km de costa e possui largura máxima de 300 km na região do Amazonas e mínima de 10 km na latitude de 13°S. A quebra da plataforma se dá em profundidades mínima de 40 m e máxima de 180 m. A região da BC está inserida na plataforma leste Brasileira, que se estende entre as latitudes de 8°S e 15°S e é a que possui a menor largura (Castro e Miranda, 1998)

As características batimétricas da BC e da plataforma continental adjacente, foram obtidas a partir das cartas náuticas número 1100 e 1131 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil e dos levantamentos batimétricos realizados pela El Paso Óleo e Gás do Brasil Ltda (ElPaso, 2005) no ano de 2001, nas regiões não contempladas pelas cartas náuticas.

A localização dos pontos batimétricos estão em coordenadas geográficas, referenciadas ao Datum de Córrego Alegre, projeção Mercator. As profundidades são apresentadas em metros, reduzidas ao nível médio das mínimas baixamares de sizígia.

Os dados de batimetria utilizados foram inicialmente filtrados com o programa “Digital Optimization of Grid Systems” (DOGS, 2004), disponibilizado pela National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. Desta forma pontos duplicados e discrepantes foram eliminados, viabilizando a interpolação dos dados batimétricos em ambiente MATLAB.

A grade batimétrica gerada para a BC é uma grade retangular com 898 pontos em longitude e 617 pontos em latitude, com resolução espacial de 200 m, englobando as regiões interiores à baía e da plataforma continental adjacente, compreendidas entre as coordenadas 39° 8,4'W - 37° 20,6'W; 13° 06'S - 14° 20'S. A batimetria obtida das cartas náuticas e da Companhia ElPaso foi interpolada para os pontos de grade pelo método de triangulação linear de Delaunay em ambiente MATLAB, possibilitando gerar a superfície batimétrica da região estudada, apresentada na Figura 2.3 e discutida a seguir.

A plataforma continental adjacente à BC possui largura média de 16 km em frente à entrada da baía e 12 km em frente à Península de Maraú. A quebra da plataforma nestas regiões se dá em profundidade média de 70 m. A maior largura da plataforma é encontrada ao norte da entrada da baía, onde se observa um grande embaçamento com profundidade média de 10 m. A quebra da plataforma nesta região se dá a 27 km da costa em profundidade média de 70 m (Figura 2.3).

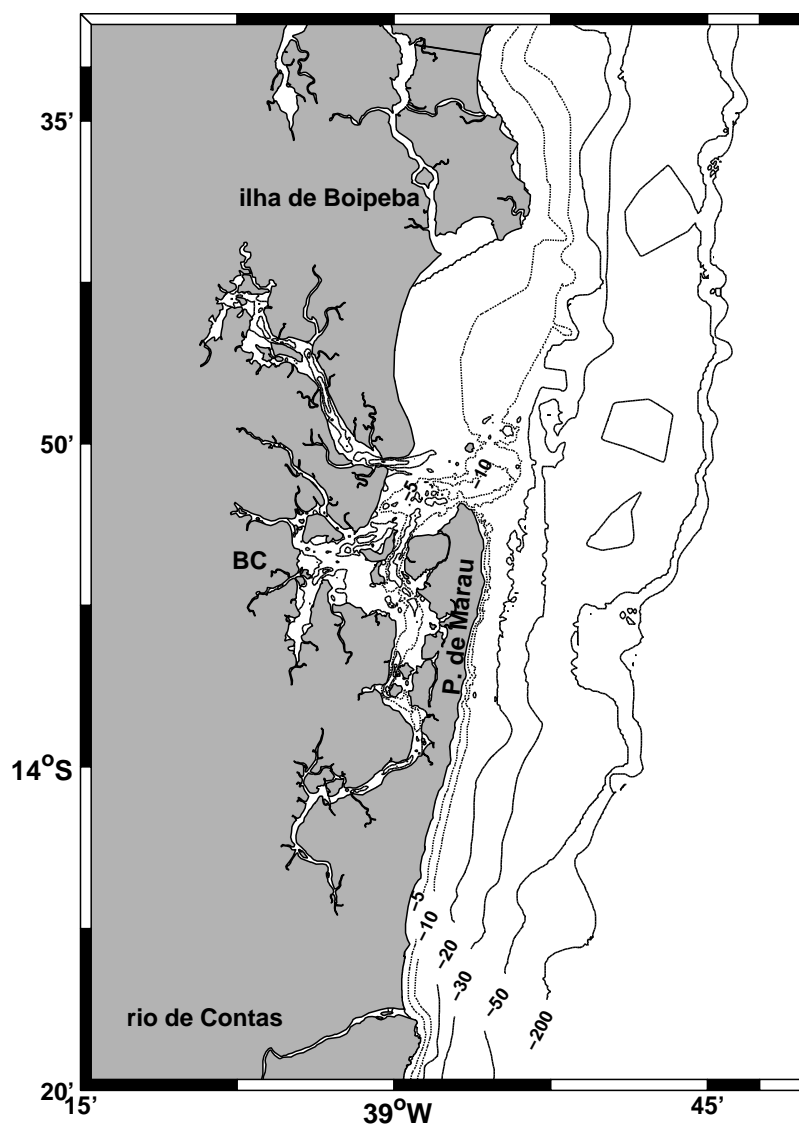


Figura 2.3: Mapa batimétrico da BC e plataforma continental adjacente. As coordenadas estão referenciadas ao Datum de Córrego Alegre, projeção Mercator. As profundidades estão em metros, reduzidas ao nível médio das mínimas baixamares de sizígia.

A BC possui profundidade média de 5 m e uma área inundável de 383,67 km², sendo 44% de manguezal, distribuídos em três sistemas: i) estuário do rio Serinhaém, localizado na porção norte da baía; ii) estuário dos rios Igrapiúna, Pinaré e Sorojó, localizados na porção central da baía e iii) estuário do rio Maraú, localizado na porção sul da baía (Figura 2.2).

A topografia da BC é bastante irregular. Em sua entrada pode ser observado um canal principal com profundidade média de 15 m que se estende em direção ao rio Maraú. O estuário do rio Maraú possui uma área inundável de 119,39 km², dos quais 43% são áreas de manguezal. A profundidade média deste sistema é de 6,2 m, com profundidade máxima de 37 m no canal principal.

Na margem esquerda da entrada da baía existem vários altos fundos com profundidades inferiores a três metros, que se estendem em direção a porção central, onde se observa um canal com profundidade máxima de 20 m alinhado à ilha Grande. A porção central da BC possui uma área de 158,26 km², sendo 39% de manguezal. A profundidade média nesta região é de 3,3 m, sendo que os rios Igrapiúna, Pinaré e Sorojó não possuem profundidades superiores a 7 m.

O estuário do rio Serinhaém, localizado na porção norte da baía, possui uma área de 106 km², com 48% deste total constituído de manguezal. A profundidade média nesta região é de 7,3 m e na margem direita do rio pode ser observado um pronunciado canal, com profundidade máxima de 25,2 m, que se estende em praticamente toda a sua extensão.

Na porção da plataforma continental entre a entrada da BC e a ilha de Boipeba, encontra-se o bloco de exploração de óleo e gás BM-CAL-4, localizado em lâmina d'água com profundidade média de 45 m. Neste bloco encontram-se três poços de exploração: i) BM-CAL-004-1, situado a 6 km da costa em lâmina d'água de 25 m; ii) BM-CAL-004-2, situado a 9 km da costa em lâmina d'água de 35 m e iii) 7-BAS-64-001, situado a 12 km da costa em lâmina d'água de 20 m (EIPaso, 2005).

Na porção sul da plataforma continental, em frente à Península de Maraú, encontra-se o bloco de exploração de óleo e gás BCAM-40, com profundidade média de 45 m (ANP, 2005).

2.3 Características Pluviométricas

O litoral do estado da Bahia está localizado na região da Zona da Mata, onde o clima é classificado como tropical úmido, com chuvas mais frequentes na época do outono e inverno, exceto no sul do estado, onde as chuvas se distribuem uniformemente por todo o ano (Araújo e Rodrigues, 2000).

De acordo com o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Pratigi (CRA, 1995), a região da BC apresenta pluviometria elevada, localizada entre as isoietas de 2400 mm ano⁻¹ e 2500 mm ano⁻¹ (Figura 2.2). As frentes frias que penetram pelo litoral durante todo o ano, bem como os mecanismos de brisas marítimas e terrestres, associados aos ventos alísios

de sudeste, são os responsáveis pela alta pluviosidade da costa e pela regular distribuição mensal.

Nas cabeceiras das maiores bacias hidrográficas afluentes à BC, como a do rio Cachoeira Grande (ou da Mariana) que corta o município de Ituberá e deságua no rio Serinhaém, o índice pluviométrico chega a ser reduzido para 600 mm anuais, fazendo com que o regime de escoamentos superficiais nos cursos de água afluentes à baía sejam variados ao longo do ano e não necessariamente coincidam com as períodos seco e chuvoso determinados pelo regime pluviométrico do litoral (CRA, 1995).

A caracterização do regime pluviométrico da região foi baseada no conjunto de dados da estação pluviométrica de Camamu, número 1339001 operada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (ANA, 2005), localizada no ponto de coordenadas $13^{\circ} 55,8'S$; $39^{\circ} 06'W$ (Figura 2.2). Esta estação possui dados disponíveis entre os anos de 1964 e 1988, englobando 24 anos de dados brutos, coletados diariamente.

O regime pluviométrico para a região da BC, de acordo com os dados da SUDENE, apresenta precipitação média anual de 2570 mm, com duas estações marcadas caracterizando um período seco e um período chuvoso (Figura 2.4a).

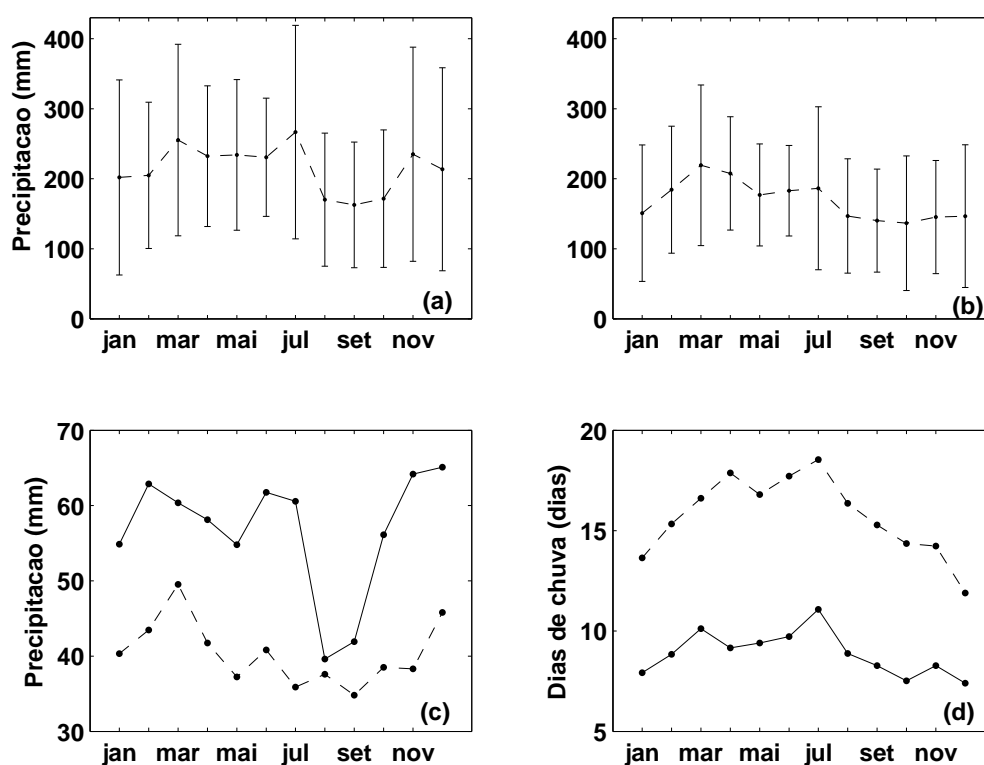


Figura 2.4: Pluviograma médio anual (linha tracejada) e respectivos desvios-padrão (linhas verticais) para os municípios de (a) Camamu e (b) Ituberá. (c) Máximas precipitações médias diárias para Camamu (linha cheia) e Ituberá (linha tracejada) e (d) Número médio de dias de chuva a cada mês para os municípios de Camamu (linha cheia) e Ituberá (linha tracejada).

O período chuvoso, com maiores precipitações médias mensais, é compreendido entre os meses de março e julho, com valores extremos de 266 mm em julho e 232 mm em abril e desvio em torno da média em torno de 115 mm. Em média chove de 9 a 11 dias nos meses chuvosos, sendo que a média da máxima precipitação diária atinge valores entre 55 mm e 62 mm (Figuras 2.4a, 2.4c e 2.4d).

O período seco, com menores precipitações médias mensais, engloba os meses de agosto a fevereiro. Os valores médios encontrados neste período são cerca de 30% menores do que aqueles encontrados durante a estação chuvosa e apresentam valores extremos de 163 mm em setembro e 235 mm em novembro. A variabilidade na distribuição das chuvas apresenta um desvio-padrão em torno de 94 mm, sendo que neste período chove em média 8 dias a cada mês, com a média da máxima precipitação diária entre 40 mm e 65 mm (Figuras 2.4a, 2.4c e 2.4d).

Para corroborar o comportamento pluviométrico observado para Camamu, também foram usados os dados disponíveis para o posto pluviométrico de Ituberá, número 1339012 operada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), distante cerca de 20 km da BC, e localizado no ponto de coordenadas $13^{\circ} 48'S$; $39^{\circ} 10,2'W$ (Figura 2.2). Esta estação contempla os registros pluviométricos de Ituberá entre os anos de 1964 e 2004, englobando 40 anos de dados consistidos, coletados diariamente.

A estação chuvosa, compreendida entre os meses de março a julho, apresenta precipitações mensais médias entre 184 mm e 219 mm, cerca de 15% menores do que as registradas pela estação de Camamu, no entanto, as chuvas são distribuídas em média durante 17 dias, com a média das máximas precipitações diárias em torno de 41 mm (Figuras 2.4b, 2.4c e 2.4d).

A estação seca compreende o mesmo período que o observado em Camamu, com precipitação mensal média entre 136 mm e 146 mm, cerca de 15% menores do que as registradas em Camamu, e ocorrem em média durante 14 dias com máxima precipitação diária em torno de 40 mm. A variabilidade das chuvas nesta estação é cerca de 12% menor do que na estação chuvosa, como observado em Camamu (Figuras 2.4b, 2.4c e 2.4d).

Apesar dos postos de Camamu e Ituberá estarem em regiões com precipitações médias anuais distintas (Figura 2.2), com a precipitação média em Ituberá cerca de 24% menor do que a de Camamu, o regime pluviométrico apresentado por ambas é similar. Desta forma, podemos caracterizar duas estações distintas para ambas regiões, sendo uma estação seca, compreendida entre os meses de agosto a fevereiro, e uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de março a julho.

2.4 Características Fluviométricas

A fluviometria busca caracterizar o regime de vazões no curso de água de forma espacial e temporal. Esta caracterização é possível através do monitoramento dos níveis médios diários dos rios e, a partir de sistemáticas campanhas de medição de vazão, chega-se a relação cota-vazão (curva-chave) para reconstituição de uma série maior de cotas em vazões diárias (CRA, 1995).

O aporte fluvial na BC corresponde à drenagem de uma área de aproximadamente 1.451,44 km², sendo que a descarga ocorre principalmente a partir dos rios Serinhaém, localizado na porção norte da baía, Igrapiúna, Sorojó e Pinaré, localizados na porção central, e Maraú, localizado na porção sul (Figura 2.2).

Em toda a região das bacias de drenagem da BC, existe somente um posto fluviométrico operado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (ANA, 2005), código 51940000, localizado no município de Ituberá no ponto de coordenadas 13° 47,1'S; 39° 10,58'W (Figura 2.2). O posto é responsável pelo registro de vazões diárias de uma área de drenagem de 310 km² do rio Cachoeira Grande (ou da Mariana), um dos afluentes do rio Serinhaém, sendo que se encontram disponíveis os registros fluviométricos entre os anos 1969 e 2002, totalizando 33 anos de dados consistidos.

Para caracterização do regime fluviométrico da BC, foi usado o mesmo critério proposto pela Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia quando da execução do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Pratigi (CRA, 1995), que adotou o posto fluviométrico de Ituberá como representativo do comportamento fluviométrico da região inserida na APA, tendo em vista que os rios Cachoeira Grande e Igrapiúna, inseridos na APA, são importantes contribuintes para a descarga afluente à BC, e que se encontram inseridos em uma mesma região climática com regime pluviométrico similar ao da baía (Figura A.1).

Desta forma o comportamento hidrológico da BC foi discutido em função dos registros obtidos a partir do posto fluviométrico de Ituberá, e a vazão afluente à baía foi obtida por correlação com este, conforme metodologia exposta no Apêndice A. De acordo com o comportamento pluviométrico apresentado na seção 2.3, o padrão hidrológico da BC foi dividido em duas estações, uma seca, compreendida entre os meses de agosto e fevereiro, e uma chuvosa, compreendida entre os meses de março e julho.

A descarga média anual obtida pelo posto de Ituberá foi de $5,80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O período chuvoso, compreendido entre os meses de março e julho possui vazão média de $6,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com pequena variabilidade, em torno de $3,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O período seco, compreendido entre os meses de agosto e fevereiro, possui vazão média de $5,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e variabilidade média em torno de $3,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura A.4).

As descargas médias mensais (Figura A.4) variaram entre um mínimo de $5,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em janeiro e um máximo de $6,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em julho. As vazões se apresentaram bem distribuídas ao longo de cada mês, com variabilidade em torno de 50% do valor médio, com exceção do mês de dezembro que apresentou variabilidade de $4,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e mais próxima a média de $5,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e que também apresentou a maior descarga máxima diária de $12,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O mês de novembro é o que apresenta distribuição mais uniforme da vazão média mensal, com desvio-padrão de $1,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ cerca de três vezes menor que a média, sendo a máxima vazão diária de $9,33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O rio Serinhaém, localizado na porção norte da BC, recebe descarga das bacias dos rios Macacua e Cachoeira Grande e de outras bacias menores, totalizando uma área de drenagem contribuinte de aproximadamente $473,58 \text{ km}^2$ (Figura A.1). De acordo com a metodologia exposta no Apêndice A, a descarga média no rio Serinhaém durante a estação úmida é de $18,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, cerca de 9% maior que a descarga média de $16,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante os meses secos (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Descargas médias dos principais rios afluentes à BC nas estações seca, compreendida entre os meses de agosto e fevereiro, e chuvosa, compreendida entre os meses de março e julho, de acordo com a metodologia exposta no Apêndice A.

Porção	Rio	Q est. seca (m^3s^{-1})	Q est. chuvosa (m^3s^{-1})
Norte	rio Serinhaém	16,52	18,08
Central	rio Igrapiúna	7,24	8,01
	rio Pinaré	3,49	3,84
	rio Sorojó	12,59	13,66
Sul	rio Maraú	11,20	12,13
Descarga total na BC		51,04	55,72

Apesar do rio Cachoeira Grande possuir a maior área de drenagem afluente ao rio Serinhaém, cerca de 310 km^2 , as descargas médias provenientes deste durante as estações seca ($5,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e chuvosa ($6,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), são menores que as descargas médias provenientes do rio Macacua, de $5,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $6,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante as estações seca e chuvosa, respectivamente, cuja área de drenagem é cerca de 80% menor (Tabela A.3).

O principal motivo deste comportamento se deve ao fato de que 84% da bacia de drenagem do rio Macacua possui solo do tipo argissolo e se encontra entre as isoietas de 2000 - 2400 mm ano⁻¹, sendo que a cabeceira se encontra entre as isoietas de 2000 - 2100 mm ano⁻¹. No rio Cachoeira Grande, 98,5% da bacia de drenagem possui solo do tipo latossolo e encontra-se inserido entre as isoietas de 1500 - 2100 mm ano⁻¹, com a cabeceira da bacia entre as isoietas de 1500 - 1600 mm ano⁻¹ (Figura A.1 e Tabela A.3).

De acordo com a metodologia exposta no Apêndice A, se compararmos duas bacias de drenagem com áreas similares, sendo uma composta por solo tipo argissolo e outra por solo tipo latossolo, a vazão específica para a área de argissolo chega a ser 50% maior do que a área de latossolo, e, além disso, a precipitação na cabeceira de um rio influe diretamente na vazão em sua foz.

Os rios Igrapiúna, Pinaré e Sorojó, drenam uma área de 573,01 km² e são responsáveis pelo aporte fluvial na porção central da BC (Figura A.1). A descarga média nesta porção da baía durante a estação seca é de 23,32 m³ s⁻¹ e na estação chuvosa é de 25,51 m³ s⁻¹ (Tabela 2.1), conforme metodologia exposta no Apêndice A. A maior descarga nesta região ocorre a partir do rio Sorojó, que drena uma área de aproximadamente 392,30 km² dos quais 84% possui solo do tipo latossolo, com vazões médias de 12,59 m³ s⁻¹ e 13,66 m³ s⁻¹ nas estações seca e chuvosa, respectivamente (Tabela A.3).

A porção sul da baía recebe o aporte fluvial do rio Maraú (Figura A.1) a partir da drenagem de uma região de aproximadamente 404,85 km², apresentando descargas médias de 11,20 m³ s⁻¹ durante a estação seca e de 12,13 m³ s⁻¹ durante a estação chuvosa (Tabela 2.1). Seguindo o mesmo padrão observado no rio Serinhaém, as áreas de drenagem de solo tipo argissolo, representando 14% da área de drenagem total do rio Maraú, são responsáveis por 49% da vazão afluyente nesta porção da baía, com uma vazão média de 5,46 m³ s⁻¹ na estação seca e 6,06 m³ s⁻¹ na estação chuvosa (Tabela A.3).

2.5 Campo de Ventos

O clima (vento e precipitação) e os processos oceanográficos (ondas e correntes costeiras) que afetam a região costeira do Brasil são controlados por três principais componentes (Dominguez, 2004):

- As frentes frias, resultantes da deriva em direção ao norte das massas polares, que são frequentes ao longo de todo o ano. Durante o inverno, as frentes frias atingem latitudes de 10°S ou menores e no verão são mais fracas, com direção predominante

SW-NE sobre o oceano, raramente cruzando o trópico;

- Os ventos alísios, também presentes em todo o ano, originários da célula de alta pressão do Atlântico Sul. Durante o inverno, nas latitudes ao sul de 20°S, estes ventos sopram de preferência de nordeste e, ao norte de 20°S sopram predominantemente de leste-sudeste. Esta zona de convergência dos ventos alísios migra para norte durante o verão, atingindo uma posição no entorno de 12°S;
- A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que varia de posição sazonalmente, aproximando-se da zona costeira nordeste do Brasil durante o verão e outono e afastando-se para norte da costa durante o inverno e primavera. Altas precipitações e redução da intensidade dos ventos estão associados com a ZCIT.

A interação dos padrões climáticos apresentados acima impõem uma sazonalidade na costa brasileira, sendo o giro subtropical do Atlântico Sul e os ventos alísios na zona equatorial os principais fatores presentes nesta região (Castro e Miranda, 1998). A posição e largura da alta subtropical apresenta oscilações sazonais, afetando a magnitude e direção da tensão do vento na plataforma brasileira. Durante o verão, os ventos predominantes na plataforma entre 15°S e 35°S são preferencialmente de leste-nordeste, no entanto, durante o inverno, este padrão fica confinado entre as latitudes de 20°S e 25°S e ao sul de 25°S os ventos de oeste-sudoeste são predominantes (Castro e Miranda, 1998).

O maior sinal encontrado nas interações oceano-atmosfera no Atlântico Sul é o ciclo sazonal. Como resposta, as correntes superficiais refletem a sazonalidade da variação do campo de ventos e da migração da ZCIT (Stramma e Schott, 1999)

O resultado obtido de uma média de 32 anos (1972-2004), proveniente das reanálises do modelo de circulação global do National Center of Environmental Prediction (NCEP, 2005), apresentado na Figura 2.5, reflete a sazonalidade do campo de ventos abordada acima. As reanálises do NCEP (2005) representam o campo de ventos a dez metros da superfície a cada seis horas e possuem uma cobertura espacial de 192 pontos em longitude (0°E - 358,12°E) e 94 pontos em latitude (88,542°N - 88,542°S).

De acordo com o Levantamento do Estado da Arte de Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil - Programa REVIZEE (MMA, 2000), na costa nordeste brasileira, até a longitude de 30°W, durante os meses de verão há predominância de ventos vindos de leste, com 47% de ocorrência, e de nordeste, com 23% de ocorrência. Para os meses de inverno, há predominância de ventos de sudeste e leste, com 43% e 36% de ocorrência e intensidades entre 4 m s⁻¹ e 9 m s⁻¹, respectivamente.

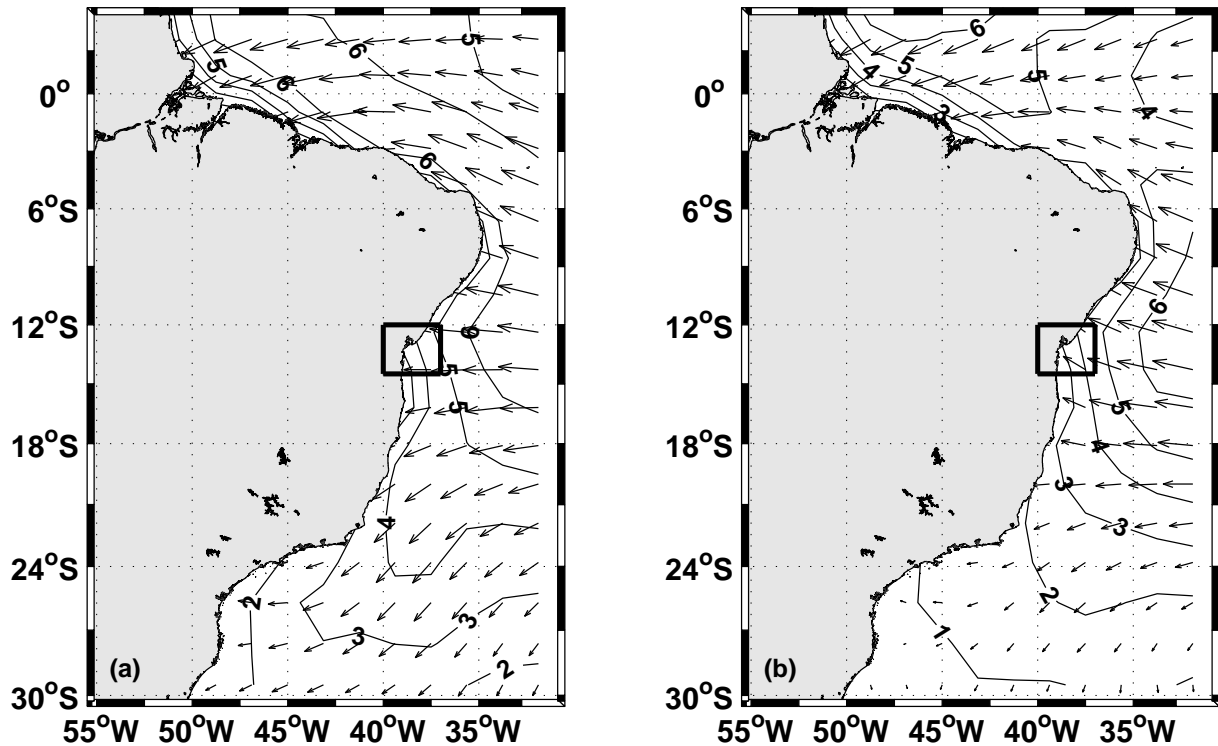


Figura 2.5: Distribuição do campo de ventos (m s^{-1}) na costa brasileira durante o (a) verão e (b) inverno, de acordo com a média de 32 anos das reanálises do modelo global do NCEP (2005). Em destaque a região de estudo.

O comportamento climatológico da BC e adjacências foi dividido em dois cenários distintos, de acordo com os resultados obtidos na seção 2.3, sendo uma estação seca, compreendida entre os meses de agosto e fevereiro, e uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de março e julho. O comportamento do campo de ventos na plataforma adjacente à BC para estes dois cenários será discutido a seguir a partir de uma análise regionalizada, entre a costa e a longitude de 38°W , dos resultados de 32 anos das reanálises do NCEP (2005).

Os ventos na plataforma adjacente à BC durante a estação seca são preferencialmente de leste, com intensidade média próximo a costa de $2,7 \text{ m s}^{-1}$, e crescentes em direção ao oceano e ao norte, atingindo intensidade média de $4,0 \text{ m s}^{-1}$ em 38°W (Figura 2.6a). A componente zonal, que é a mais relevante neste caso, apresenta baixa variabilidade, com desvio padrão de $0,7 \text{ m s}^{-1}$ próximo a costa cerca de metade do observado para a componente meridional. Ambas componentes possuem a variabilidade intensificada em direção ao oceano, sendo que em direção à BTS, ocorre uma intensificação da variabilidade do componente zonal e uma diminuição da variabilidade do componente meridional, se comparado com a variabilidade ao largo da BC (Figuras 2.7a e 2.7b).

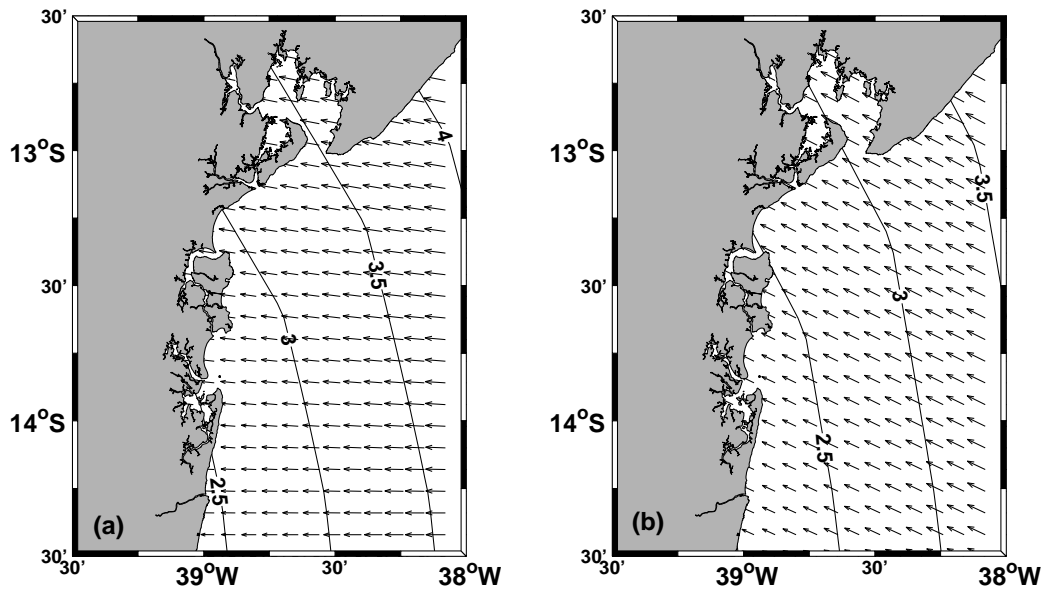


Figura 2.6: Distribuição espacial do campo de ventos (m s^{-1}) na plataforma adjacente à BC durante (a) a estação seca, compreendida entre os meses de agosto a fevereiro, e (b) a estação chuvosa, compreendida entre os meses de março a julho, de acordo com a média de 32 anos das reanálises do modelo global do NCEP (2005).

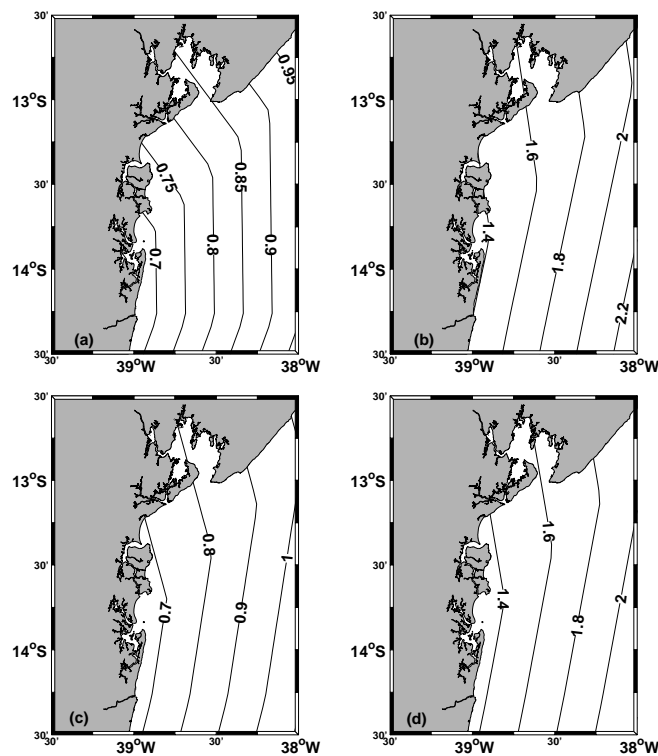


Figura 2.7: Distribuição espacial da variabilidade do vento durante a estação seca nas suas componentes (a) zonal e (b) meridional, e durante as estação chuvosa nas suas componentes (c) zonal e (d) meridional, de acordo com os resultados de 32 anos das reanálises do modelo global do NCEP (2005).

Durante a estação chuvosa os ventos na plataforma adjacente à BC são preferencialmente de sudeste e, apesar de apresentarem o mesmo comportamento que na estação seca, com intensificação em direção ao oceano e ao norte, possuem intensidades médias cerca de 14% menores, com valores de $2,3 \text{ m s}^{-1}$ próximo a costa e $3,5 \text{ m s}^{-1}$ em 38°W (Figura 2.6b). Nesta estação a variabilidade das componentes zonal e meridional é similar ao observado para o período seco (Figuras 2.7c e 2.7d).

Além dos efeitos de larga escala, o campo de ventos também é influenciado por efeitos regionais associados a feições topográficas e do sistema de brisas marinha/terrestre. A influência do vento nestas escalas será analisada com mais detalhes na seção 6.1.1 deste trabalho.

Em pequena escala, a circulação gerada pelo vento sobre a plataforma está fortemente influenciada pelos efeitos da brisa marinha e pela intensificação da componente meridional do vento. Este fato é explicado pelo efeito da barreira orográfica mudando localmente o padrão do vento imposto pela larga escala através dos alísios de sudeste durante o inverno e de leste e nordeste durante no verão (Araújo e Rodrigues, 2000).

Este comportamento pode ser observado pela análise espectral das séries de ventos de um período de seis anos (1999-2004), com frequência de coleta de dados de três horas, obtidas a partir das Plataformas de Coletas de Dados (PCD) do Centro de Previsão de Tempo e Clima - CPTEC (INPE, 2005), para os municípios de Salvador e Ilhéus, ambas próximas da região de estudo. Os valores máximos de energia em 12 horas e 24 horas (Figura 2.8), correspondem a entrada das brisas marinhas em direção a terra durante o dia e em direção ao mar durante a noite.

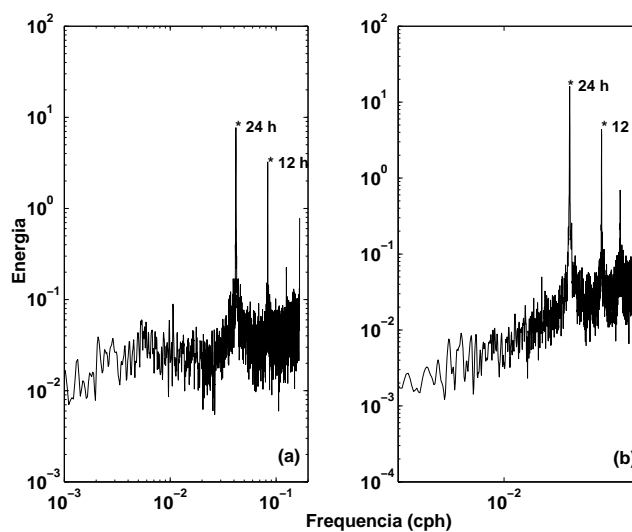


Figura 2.8: Análise espectral das séries de ventos para um período de seis anos, disponíveis para Salvador (a) e Ilhéus (b) a partir das PCD's do CPTEC (INPE, 2005).

3 – Derrames de Óleo em Ambiente Marinho

Existem diversos tipos de óleo passíveis de serem derramados no ambiente marinho, que diferem entre si em sua composição. As características inerentes a cada óleo em particular irão influenciar as propriedades a que este está sujeito imediatamente após um derrame.

Este capítulo apresenta uma descrição das principais propriedades dos óleos, avaliando os processos físicos a que o óleo está sujeito quando em contato com o ambiente marinho. Ao final deste capítulo são apresentados ainda algumas estratégias para os planos de contingência, bem como os casos emergenciais.

3.1 Propriedades dos óleos

Na ocorrência de um derrame de óleo no mar, as principais características que devem ser analisadas são: o grau API, a viscosidade e o “*Pour point*”.

O grau API - The American Petroleum Institute Gravity Scale, descreve o peso específico de um óleo e seus derivados, representando a densidade destes em relação a água pura (ITOPF, 2004). O grau API pode nos dar uma noção das características inerentes ao óleo em questão. Um óleo com alto grau API possui um baixo peso específico, contendo uma maior proporção de produtos voláteis e conseqüentemente baixa viscosidade. Um óleo com estas características estará mais sujeito a evaporação, permanecendo por um menor tempo no mar em comparação com um óleo de baixo grau API. A Tabela 3.1 apresenta os diferentes grupos de óleo em função do grau API.

Tabela 3.1: Grupos de óleo em função do grau API (modificado do manual “Automated Data Inquiry for Oil Spills” (ADIOS, 2002)).

Grupo	°API	Densidade (kg/m ³)	Exemplo
I	> 45	< 0,80	gasolina/querosene
II	34,9 - 45,0	0,85 - 0,80	gasolina/querosene/óleo diesel
III	17,4 - 34,9	0,85 - 0,90	óleo combustível #4
IV	10 - 17,4	0,95 - 1,00	óleo combustível #6
V	<10	> 1,00	piche

A viscosidade de um óleo determina a sua resistência ao escoamento. Óleos muito viscosos possuem uma tensão maior na interface óleo/água, dificultando sua difusão ou espalhamento (Reed et al., 1999). A viscosidade é influenciada pelas condições ambientais locais e conseqüentemente afeta os processos aos quais o óleo está sujeito. Os óleos tendem a se tornar mais viscosos à medida que a temperatura decresce, causando uma maior resistência a serem evaporados e uma tendência a formação de emulsões, aumentando o seu tempo de permanência no ambiente marinho.

Uma outra propriedade associada à temperatura é o “*Pour point*”, que representa a temperatura abaixo da qual o óleo não conseguirá escoar (ITOPF, 2004). A medida que o óleo esfria ele tende a atingir uma temperatura na qual os componentes graxos adquirem uma estrutura cristalina. Este processo impede o fluxo do óleo de forma crescente até que este passe da forma líquida para a semi-sólida, atingindo o chamado “*Pour point*”.

3.2 Processos físico-químicos envolvidos no comportamento do óleo em ambiente marinho

Os processos de intemperismo influenciam diretamente o comportamento do óleo no ambiente marinho, podendo contribuir tanto para a sua permanência como para a sua remoção. Estes processos interagem entre si e, apesar de ocorrerem quase que simultaneamente, estendem-se ao longo do tempo de maneira diferenciada.

3.2.1 Evaporação

A evaporação é responsável por uma grande parcela da perda de massa de vários tipos de óleos nas primeiras semanas após um derrame, afetando consideravelmente a densidade e a viscosidade (Korotenko et al., 2000). A taxa de evaporação depende em sua maior

parte da composição do óleo, da temperatura da superfície do mar e da velocidade do vento (Korotenko et al., 2000).

A maioria dos óleos leves tendem a evaporar quase que completamente logo nas primeiras horas, porém a parcela evaporada costuma ser a mais tóxica. Derrames de óleos crus perdem por evaporação cerca de 40 a 50% de seu volume inicial na primeira semana, podendo chegar a mais de 60% em derrames de óleos crus leves (Sugioka et al., 1999; Elliott e Jones, 2000).

3.2.2 Emulsificação

Alguns óleos possuem a capacidade de criar emulsões chamadas “mousse”, principalmente óleos com grande percentual de compostos graxos. As emulsões podem conter de 70 a 90% de água, aumentando consideravelmente o volume inicial e a viscosidade do óleo derramado, dificultando o seu transporte e evaporação e, conseqüentemente, aumentando a sua permanência no ambiente marinho.

As emulsões estáveis podem ainda favorecer o processo de dispersão do óleo derramado, pois possuem densidade que se aproxima a da água do mar, facilitando a quebra do óleo e a sua posterior penetração na coluna de água (Korotenko et al., 2000).

3.2.3 Dispersão na coluna d'água

Sujeito a ação de ventos e ondas, o óleo na superfície do mar é disperso na coluna de água, favorecendo o seu transporte pelas correntes sub-superficiais (Sugioka et al., 1999; Korotenko et al., 2000). No entanto, estudos comprovaram que, mesmo em condições de mar agitado, com ventos de até 10 m s^{-1} , menos de 10% do óleo derramado se dispersa na coluna de água (Sugioka et al., 1999; Elliott e Jones, 2000). Em condições extremas, como a ocorrida com o petroleiro Braer na passagem de um furacão, o volume de óleo disperso chegou a 55% e manteve-se preso na coluna de água, sendo transportado pelas correntes sub-superficiais que não seguiram preferencialmente a direção do vento (Spaulding et al., 1994).

3.2.4 Dissolução

A dissolução é um processo longo, tendo início quase que imediatamente após o derrame e se estendendo durante todos os outros processos de intemperismo (NOAA, 2002b). No entanto, este processo não é significativo para o balanço final de perda de massa do óleo

derramado. Geralmente, menos de 1% do óleo na superfície do mar sofre este processo, pois a quantidade de compostos solúveis presentes nos óleos é pequena e tendem a ser mais susceptíveis à evaporação (Sugioka et al., 1999; Korotenko et al., 2000; James, 2002). De acordo com estudos realizados por McAuliffe (1993), as concentrações de compostos tóxicos presentes na coluna de água em função da dissolução do óleo, são geralmente menores que 0,1mg/l.

3.2.5 Sedimentação

A interação do óleo com os sedimentos em suspensão, favorece os processos físicos de transporte do óleo da superfície para o fundo do mar (Muschenheim e Lee, 2002). Estas interações incluem a adsorção de hidrocarbonetos e a associação dos pedaços de óleo dispersos com o material particulado, sendo esses orgânicos ou inorgânicos (Korotenko et al., 2000; Lee, 2002).

Weise et al. (1999) concluíram que o óleo disperso, em associação com sedimentos em suspensão, é mais rapidamente biodegradado e removido do meio ambiente. Além disso, a formação de agregados óleo-mineral, promovendo a dissolução e biodegradação do óleo disperso, diminui as concentrações dos componentes tóxicos aos quais a biota está exposta (Lee, 2002). Uma outra vantagem da formação de agregados óleo-mineral também foi descoberta durante as operações de limpeza após o acidente com o Petroleiro Exxon Valdez. Neste caso, a interação natural de partículas de argila e óleo formaram flocos estáveis, diminuindo a adesão do óleo com os sedimentos presentes na costa e favorecendo a sua remoção em ambientes de baixa energia (Jahns et al., 1991; Bragg e Owens, 1994; Bragg et al., 1994).

3.2.6 Biodegradação

A biodegradação é um processo extremamente lento e somente se torna importante para as atividades de remoção do óleo no mar cerca de meses após o derrame (Korotenko et al., 2000)

Parte do óleo derramado no mar, após sofrer os processos de dispersão ou sedimentação, pode vir a ser removido naturalmente pela ação biológica, desde que em contato com microorganismos capazes de metabolizar seus componentes, usando-os como fonte de energia. A taxa de biodegradação do óleo depende principalmente de sua composição, da quantidade de nutrientes (nitrogênio e fósforo) disponíveis e da temperatura ambiente, sendo limitada pela deficiência de oxigênio (ITOPF, 2004). O óleo que atinge a costa e se mantém fora da água,

possue uma interação menor com os microorganismos sintetizantes, estando menos sujeito à biodegradação.

De maneira similar, o óleo incorporado aos sedimentos presentes na costa poderá ter uma degradação muito lenta ou até mesmo inexistente, devido à carência de oxigênio.

3.2.7 Advecção

Este é o processo físico que envolve a deriva da mancha de óleo tanto na superfície quanto na coluna de água, sendo o principal mecanismo na determinação da trajetória e da localização do óleo após o derrame (ASCE, 1996). O campo de correntes, responsável pela advecção do óleo na superfície do mar, é geralmente calculado como a soma vetorial das correntes induzidas pelo vento, marés e gradientes de pressão, sendo a deriva induzida pelo vento o fator mais importante na determinação da trajetória da mancha de óleo (Sebastião e Soares, 1995; Elliott e Jones, 2000). Geralmente adota-se uma intensidade de deriva correspondente a 3% da velocidade do vento (Elliott e Jones, 2000; Price et al., 2003).

O vento também gera uma circulação secundária transversal a sua direção, conhecida como “Langmuir”. Esta tipo de circulação é vista com mais frequência quando o vento atinge intensidades maiores que 1,5 m/s, gerando células de recirculação (vórtices) com zonas de convergência e divergência alinhadas na direção do vento. Esta circulação tende a quebrar o óleo em pedaços alongados nas zonas de convergência, chamados de “windrows”, estendendo a mancha por centenas de quilômetros (Sebastião e Soares, 1995; NOAA, 2002b). As correntes superficiais nos “windrows” podem chegar a 5,5% da velocidade do vento, acelerando a advecção do óleo (NOAA, 2002b). Apesar da importância deste tipo de circulação para o transporte do óleo ser reconhecida, a maioria dos modelos de óleo não a leva em consideração (Reed et al., 1999; Lehr e Beatty, 2000).

3.2.8 Difusão (espalhamento)

O óleo possui a tendência de escoar sobre si, controlado pelas forças de gravidade e tensão superficial e efeitos posteriores de inércia e viscosidade, que determinam a extensão e espessura da mancha de óleo (Korotenko et al., 2000). Estes processos causam o espalhamento horizontal da mancha de óleo e ocorrem rapidamente após o derrame, na maioria deles durante as primeiras horas (NOAA, 2002b). Os óleos mais viscosos, apresentam tensões na interface óleo/água maiores do que as encontradas nos óleos leves, tendendo a espalharem-se com mais dificuldade.

3.2.9 Interação óleo-costa

As interações entre o óleo derramado no oceano e o ambiente costeiro, são complexas e ainda não foram completamente entendidas. Ao atingir a costa, o óleo fica sujeito a uma série de processos, incluindo deposição, agregação aos sedimentos em suspensão, penetração nos sedimentos costeiros e ressuspensão.

Além disso, os mecanismos forçantes (ondas, correntes e ventos) tornam-se mais intensos e variáveis próximo à costa, agravando ainda mais este quadro. Devido a essas complicações, a maioria dos modelos de derrame de óleo limitam-se a acompanhar a mancha somente até o seu contato com a costa (ASCE, 1996).

3.3 Planos de Contingência e Ações Emergenciais

Imediatamente após a ocorrência de um acidente envolvendo um derrame de óleo no mar, um plano de contingência deve ser adotado, de forma a impedir que a mancha de óleo venha a atingir a costa, afetando áreas de importância ambiental e econômica. Estes planos, além de identificar as áreas de sensibilidade ambiental sobre risco, devem descrever quais os métodos e procedimentos a serem adotados para combater o avanço do produto derramado (ASCE, 1996).

Os planos de resposta a derrames de óleo dependem, ou são embasados, por observações ou modelos que permitam estimar a trajetória do óleo. A escassez e a qualidade dos dados de circulação oceânica e atmosférica, bem como a sofisticação dos modelos empregados, limitam a adoção de ações eficazes (Mooers, 1997). Este problema esteve presente durante o acidente com o Petroleiro *Braer* (Proctor et al., 1994).

Como exposto na seção 3.2, os principais mecanismos responsáveis pelo transporte e destino do óleo na superfície do mar são a advecção e a difusão, influenciados principalmente pelos campos de correntes e ventos superficiais. Desta forma, para que se possa prever corretamente o destino do óleo derramado, subsidiando a adoção de um plano de contingência eficaz, é necessário que se tenham informações dos campos de circulação marinha e atmosférica o mais próximo possível do real.

Como alternativa, vários modelos de óleo são configurados para assimilar dados de correntes fornecidos por sistemas de sensoriamento remoto da superfície do mar (Hodgins et al., 1993a; Hodgins et al., 1993b; Howlett et al., 1993). Esta metodologia fornece uma boa previsão do campo de correntes superficiais, incluindo frentes e zonas de con-

vergência/divergência, porém costuma ser limitada pelo intervalo dos dados amostrados e por estes serem geralmente restritos a regiões próximas a costa (Spaulding et al., 1996).

O lançamento de bóias oceanográficas constitui uma das mais extensivas fontes de dados sinóticos de correntes de larga e meso escalas (Herring et al., 1999). Contudo, estas e outras metodologias que envolvam trabalhos em campo e uso de equipamentos, são dispendiosas e exigem logística complicada, inviabilizando sua adoção em planos de resposta, quando medidas rápidas devem ser adotadas.

Devido a essas e outras limitações, o interesse ambiental a respeito de derrames de óleo tem se voltado nos últimos anos para o desenvolvimento de modelos numéricos que simulem o transporte e destino das manchas de óleo (ASCE, 1996). A integração entre modelos de circulação atmosférica e oceânica e de trajetória de óleo tem sido comum ultimamente (Mooers, 1997; Sugioka et al., 1999; Wang, 2001). Esta metodologia foi adotada em alguns modelos, como o OSCAR - Oil Spill Contingency and Response (Reed et al., 1999) e o COASTMAP - Sistema Integrado de Monitoramento e Modelagem de Derrames de Óleo (Spaulding et al., 1996).

Uma estratégia que também tem apresentado bons resultados é a de combinar modelos de trajetória de óleo com áreas de sensibilidade costeira, gerando mapas de áreas de risco a derrames de óleo. Esta estratégia foi adotada com sucesso pela National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, durante o acidente com o petroleiro Exxon Valdez (ASCE, 1996). Para isto, a NOAA (2002c) definiu índices de sensibilidade ambiental para a linha de costa (Tabela 3.2), com base nos fatores que influenciam a sensibilidade da região costeira à derrames de óleo. Estes índices foram adotados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002) no estabelecimento de critérios para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo (cartas SAO).

Para que possamos criar mapas de áreas de risco a derrames de óleo a partir da trajetória seguida pela mancha, é essencial que os modelos utilizados estejam calibrados e validados para a região de interesse e que estes possuam resolução adequada, de forma a representar corretamente as diferentes forçantes encontradas entre a região costeira e o oceano adjacente. Estes detalhes serão discutidos no capítulo 4.

Tabela 3.2: Índices de Sensibilidade Ambiental (“Environmental Sensitivity Index - ESI”) ao Petróleo e seus derivados e características do litoral - NOAA (modificado de MMA (2002)).

ESI	Substrato			Tipo de Litoral
	Tipo	Mobilidade	penetração do óleo	
1	Costão Rochoso	fixo	impermeável	costões rochosos expostos
2	Leito Rochoso	fixo	impermeável	plataformas erodidas pela ação das ondas
3	Areia fina a média (0,06 a 1 mm)	baixa	semipermeável (<10 cm)	praias de areia fina ou média
4	Areia grossa (2 - 4 mm)	alta	permeável (≤ 25 cm)	praias de areia e cascalho
5	Areia e cascalho	muito alta em tempestades	≤ 50 cm	praias de areia e cascalho
6	Cascalho	baixa	altamente permeável (≤ 100 cm)	praias de cascalho e enrocamentos
7	Areia	-	penetração limitada	áreas intermarés planas expostas
8	Leito rochoso (algum sedimento)	-	-	costões rochosos abrigados
9	Lamoso	-	baixa permeabilidade	áreas intermarés planas abrigadas
10	Areia lamosa	baixa	baixa permeabilidade	marismas, manguezais

4 – Considerações acerca da implementação de modelos numéricos

Neste capítulo serão apresentados, em linhas gerais, os critérios mais importantes a serem adotados na implantação de modelos atmosféricos e de trajetória de óleo para uma região em particular, tais como, as forçantes a serem quantificadas, definição da grade a ser adotada e os critérios para calibração e validação do modelo empregado.

4.1 Aplicação de modelos numéricos

Os modelos são representações do comportamento dos sistemas, definidos como qualquer estrutura ou procedimento, que, num dado tempo, interrelaciona-se com uma entrada (causa ou estímulo) e uma saída (efeito ou resposta ao estímulo) (Tucci, 1986). Os mais utilizados são classificados em físicos e numéricos.

Os modelos físicos representam o sistema por um protótipo em escala menor. Estes modelos tem contribuído de forma significativa na solução de problemas complexos, como a visualização de cenários de circulação de água em corpos costeiros, além de fornecerem dados para testes de modelos numéricos.

Os modelos numéricos representam o sistema através da solução das equações matemáticas que descrevem a física do sistema e, como as equações representativas raramente possuem solução analítica, a solução das equações se faz a partir de técnicas numéricas. Por possuírem um custo menor do que os modelos físicos, os modelos numéricos são facilmente adaptáveis a diversas regiões e permitem analisar diversos cenários em um curto espaço de tempo, podendo representar com bons resultados fenômenos físicos, químicos e biológicos, desde que bem calibrados e com condições iniciais e de contorno realísticas.

Desta forma, o uso da modelagem numérica tem sido de grande importância na compreensão dos diversos fenômenos que ocorrem na natureza. Além disso, uma vez validados,

os modelos numéricos podem funcionar como uma importante ferramenta de auxílio no desenvolvimento de estratégias e no exame de respostas do ambiente a mudanças propostas, como processos de recuperação, aumento na descarga de efluentes devido ao aumento da população e medidas de controle para poluição das águas (Rocha, 2000).

4.1.1 Modelagem da trajetória de óleo

Atualmente, encontram-se disponíveis vários modelos de óleo com estrutura tri-dimensional, capazes de simular o transporte da mancha de óleo na superfície e ao longo da coluna de água. No entanto, uma vez que a advecção, principal mecanismo a influenciar a trajetória do óleo no mar, é governada principalmente pelas correntes superficiais, os modelos de transporte de óleo bi-dimensionais são, em grande parte dos casos, boas aproximações para a determinação da trajetória das manchas de óleo (Sebastião e Soares, 1995; ASCE, 1996; Jones, 1999; Reed et al., 1999).

Os modelos de óleo devem ser capazes de responder à forçantes de diferentes escalas, sendo adotado na maioria dos casos a formulação Lagrangeana/Euleriana (ASCE, 1996; Galt, 1998; Sugioka et al., 1999). Nesta formulação, a massa de óleo é dividida em uma série de parcelas, denominadas elementos lagrangeanos (LE), envolvidas por um campo de vetores que representam a dinâmica regional e os efeitos dispersivos, denominado campo euleriano. Desta forma a distribuição do óleo em função do tempo é dada pela distribuição espacial de suas parcelas.

Para que se possa representar as diferentes forçantes (ventos, ondas, marés, descarga fluvial) que irão influenciar o transporte do óleo na superfície do mar, a maioria dos modelos adota a técnica de superposição linear, onde os diferentes processos físicos são tratados como vetores independentes que, somados, representam a taxa de transporte das parcelas do óleo (ASCE, 1996; Sugioka et al., 1999).

4.1.2 Modelagem da circulação atmosférica

O uso de um campo de ventos preciso, seja a partir de observações em tempo real ou modelagem numérica, constitui o parâmetro mais importante para a correta previsão do campo de correntes costeiras e de meso e larga escalas (Elliott e Jones, 2000).

Segundo Elliott e Jones (2000), considerando uma região restrita sem grandes variações topográficas, a direção do campo de ventos pode variar substancialmente com o tempo, no entanto, em cada passo de tempo a distribuição espacial é geralmente uniforme. Neste caso, o uso de dados fornecidos por estações meteorológicas pode fornecer uma boa previsão do campo de ventos para o modelo de trajetória de óleo.

Já em regiões de topografia complexa, como a região costeira, negligenciar as variações espaciais do campo de ventos pode acarretar em erros significativos nas simulações da trajetória do óleo (Jones, 1999). Nestes casos, o uso de modelos atmosféricos permite representar importantes aspectos da circulação atmosférica, sendo comumente usados para a compreensão dos sistemas climatológicos (Tanajura et al., 2003).

Os modelos de circulação atmosférica podem apresentar escalas globais e regionais. Os modelos de circulação global (MCG) tem demonstrado bom comportamento na representação de sistemas de larga escala e de padrões climáticos. Entretanto, devido ao fato da atmosfera possuir um amplo espectro de fenômenos em diversas escalas de tempo e de espaço, os MCGs possuem limitações na representação de alguns fenômenos, principalmente os de meso e micro escalas. Nestas escalas o uso de modelos regionais (MR) tem conseguido melhorar a representação do modelo global nas previsões climáticas. Esta melhoria está fortemente associada a alta resolução dos MRs, que permite uma representação mais realística das condições de contorno, como topografia, linhas costeiras, solo, vegetação, entre outros (Tanajura et al., 2003).

4.2 Critérios para implantação de modelos numéricos

Um estudo que envolva modelagem numérica deve obedecer os seguintes estágios: divisão do domínio a ser modelado em uma grade de pontos discretos, definição da batimetria ou topografia do domínio, calibração e validação do modelo e, por fim, uso do modelo para previsão de cenários (Cawley e Hartnett, 1992).

Todos esses estágios são importantes para a implementação do modelo na região estudada, porém, as fases de calibração e validação são consideradas como as de maior importância para o sucesso do estudo (Cawley e Hartnett, 1992; Odd e Murphy, 1992).

4.2.1 Topografia e malha computacional

Para que a modelagem da circulação atmosférica apresente resultados satisfatórios, a representação de processos de meso-escala, como topografia, geometria da costa e superfície da terra, constitui um dos principais requisitos. O uso de modelos regionais de alta resolução (MR), tem provado ser uma ferramenta poderosa para a representação destes processos, promovendo simulações mais realísticas e melhorando as previsões climáticas (Chou et al., 2002).

No entanto, o uso de alta resolução nem sempre melhora a solução numérica do modelo atmosférico. Se a razão entre as resoluções verticais e horizontais não foram devidamente obedecidas, pode-se gerar dados espúrios que irão afetar os resultados da modelagem, principalmente em regiões montanhosas (Tanajura et al., 2003).

4.2.2 Condições de contorno

A adoção de condições de contorno corretas é de extrema importância na calibração do modelo, sendo necessário avaliar quais forçantes irão ter maior influência nos resultados da modelagem, dependendo da região de interesse (Cawley e Hartnett, 1992; Odd e Murphy, 1992).

No caso do uso de MR, a qualidade das condições de contorno laterais e a maneira como elas são introduzidas no modelo, são cruciais para que se reproduza uma solução realística. As condições de contorno laterais devem fornecer razoáveis padrões de larga-escala, caso contrário o MR não será capaz de refinar os padrões climatológicos. Além disso, os erros advindos das condições de contorno laterais propagam-se no interior do domínio em diferentes

velocidades, podendo promover soluções errôneas maiores do que os erros nas condições iniciais promoveriam (Tanajura et al., 2003). Geralmente, as condições iniciais adotadas nos modelos atmosféricos regionais são os resultados das simulações ou das análises dos modelos globais.

4.2.3 Calibração e validação

A calibração e validação de um modelo são dois processos distintos. A calibração significa o ajuste do modelo forçando-o a representar os fenômenos físicos o mais próximo possível do real. Este processo é geralmente realizado variando-se os parâmetros do modelo até que os resultados sejam comparados satisfatoriamente com dados observados em estações meteorológicas ou de resultados de análises, no caso de modelagem atmosférica.

A validação significa provar que o modelo descreve com precisão devida, os processos físicos resolvidos pelo modelo. A validação dos modelos de circulação atmosférica é geralmente feita a partir do cálculo do erro médio quadrático (RMSE), considerado uma medida padrão da precisão das previsões, sendo capaz de indicar a magnitude do erro (Tanajura et al., 2003). O RMSE pode ser obtido através da verificação entre os resultados do modelo e de dados observacionais ou resultado de análises, sendo definido por:

$$RMSE = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n (P - O)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

onde P é o resultado da previsão, O é o resultado da observação ou da análise e n o número de dados.

5 – Materiais e métodos

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para a aquisição e tratamento dos dados que servirão para a caracterização oceanográfica da BC e adjacências e para a elaboração dos mapas das áreas de risco à derrames de óleo.

A seção 5.1 apresenta a metodologia utilizada para a coleta e tratamento dos dados obtidos em campanhas de monitoramento realizadas na BC e adjacências. Considerando-se que os dados foram coletados em épocas e regiões distintas, esta seção foi sub-dividida da seguinte forma: i) seção 5.1.1, onde será abordada a metodologia adotada para coleta e tratamento dos dados obtidos na plataforma continental adjacente à BC, bem como na sua entrada, e ii) seção 5.1.2, onde será abordada a metodologia adotada para coleta e tratamento dos dados obtidos na região estuarina da BC.

Os critérios adotados para a modelagem numérica da circulação atmosférica e definição dos cenários para a modelagem de derrames de óleo na região da BC, serão apresentados nas seções 5.2 e 5.3, respectivamente.

5.1 Metodologia para aquisição e tratamento dos dados coletados *in situ*

5.1.1 Dados coletados na plataforma continental adjacente à BC

A caracterização oceanográfica da região da plataforma continental adjacente à BC, foi feita em função dos dados coletados durante os meses de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003 (Tabela 5.1) e maio a junho de 2003 (Tabela 5.2), a partir de monitoramentos: i) de correntes e parâmetros hidrográficos nos pontos ACM1, localizado na entrada da BC em profundidade média de 15 m, ACM2, localizado na frente da Península de Marajú sobre a isóbata de 28 m, e ADP, localizado na frente da ilha de Boipeba na isóbata de 42 m; ii) de ventos a 10 m do nível do mar, a partir de uma estação meteorológica localizada na Barra do Mutá; e iii) de elevação do nível do mar, a partir de um sensor de pressão instalado no rio Marajú. A

localização dos equipamentos usados para coleta de dados está apresentada na Figura 5.1.

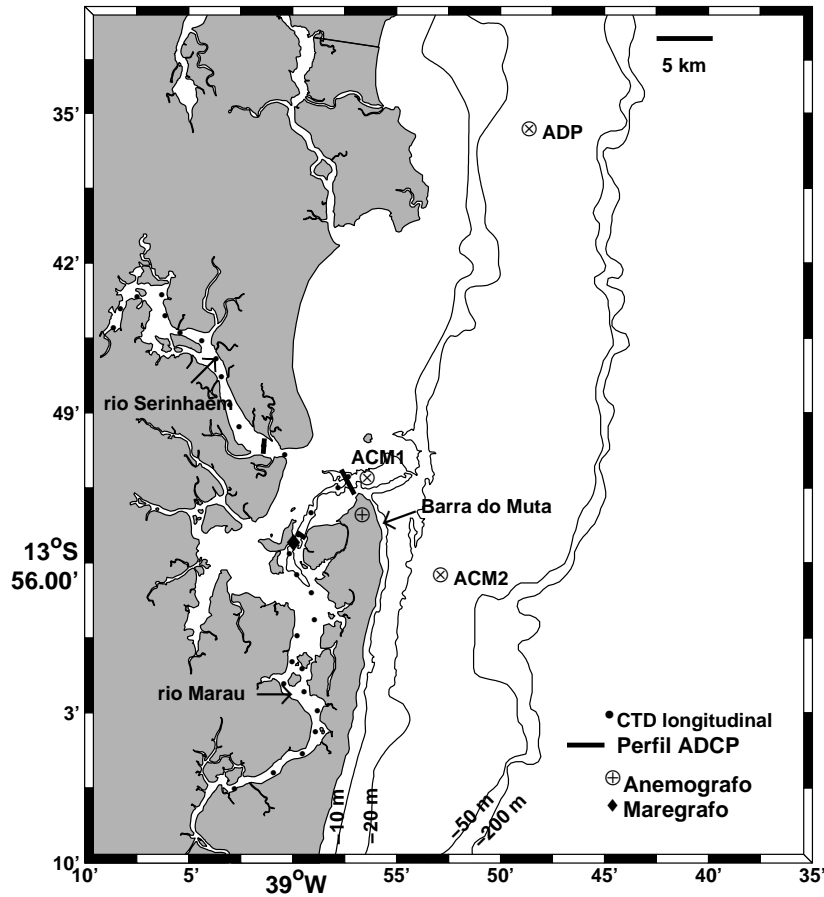


Figura 5.1: Mapa de localização dos equipamentos para coleta de dados oceanográficos e meteorológicos durante as campanhas descritas nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

A variação temporal da intensidade e direção média das correntes foi registrada de duas formas distintas: i) através de correntógrafos acústicos fundeados a 5 m da superfície nos pontos ACM1 (profundidade local de 15 m) e ACM2 (profundidade local de 28 m) e ii) a partir de um perfilador acústico no ponto ADP (profundidade local de 42 m) (Figura 5.1).

O correntógrafo acústico de efeito doppler utilizado foi o modelo *2D-ACM* da *Falmouth Scientific (FSI)*, com precisão de $\pm 1 \text{ cm s}^{-1}$ e $\pm 1^\circ$ e resolução de $0,01 \text{ cm s}^{-1}$ e $0,01^\circ$, para a velocidade e direção, respectivamente. O equipamento foi configurado para coletar dados de intensidade e direção das correntes a cada 30 minutos, com base em uma média de 2,5 minutos.

O perfilador acústico de efeito doppler utilizado foi o modelo *ADP* da marca *Sontek* com precisão de $\pm 0,5 \text{ cm s}^{-1}$ e resolução de $0,1 \text{ cm s}^{-1}$. O equipamento foi configurado para registrar a estrutura vertical das correntes entre as profundidades de 8 m e 41 m, durante a campanha representativa do período seco (verão) e entre as profundidade de 4 m e 40 m, durante a campanha representativa do período chuvoso (inverno). As correntes foram

registradas com base em células de 3 m, com intervalo de 30 minutos e média de 2,5 minutos.

Tabela 5.1: Descrição do monitoramento nos pontos apresentados na Figura 5.1 durante o período seco (14/12/2002 a 03/02/2003), incluindo os parâmetros amostrados, a localização, a data e a duração das coletas.

Campo de Correntes		
Local	Período	Profundidade
ACM1 (38°56,8'W; 13°52,0'S)	15/12/2002 - 02/02/2003	5 m (prof. local 15 m)
ACM2 (38°53,3'W; 13°56,5'S)	15/12/2002 - 02/02/2003	5 m (prof. local 28 m)
ADP (38°49,0'W; 13°35,7'S)	29/12/2002 - 21/01/2003	8 m - 41 m (prof. local 42 m)
Perfilagem vertical das propriedades físicas		
Local	Data	Situação de maré
ACM1(38°56,8'W; 13°52,0'S)	16/12/2002 - 09:40h às 19:25h	quadratura
	27/12/2002 - 08:20h às 14:40h	quadratura
	15/01/2003 - 05:45h às 17:20h	quadratura
ACM2(38°53,3'W; 13°56,5'S)	16/12/2002 - 10:30h às 18:50h	quadratura
	27/12/2002 - 08:57h às 14:00h	quadratura
	15/01/2003 - 08:15h às 16:00h	quadratura
ADP (38°49,0'W; 13°35,7'S)	29/12/2002 - 11:40h às 04:30h	quadratura
	16/01/2003 - 11:10h às 23:20h	quadratura
Elevação do nível do mar		
Local	Período	
Pier da Baróid (39°00,05'W; 13°54,9'S)	16/12/2002 - 03/02/2003	
Campo de ventos		
Local	Período	
Barra do Mutá (38°57,08'W; 13°53,7'S)	14/12/2002 - 03/02/2003	

A série temporal de vento foi coletada a partir de um anemógrafo da marca *R. M. Young*, modelo *Wind Sentry Set*, programado para coletar dados de intensidade e direção dos ventos em intervalos de 15 minutos com média de 10 minutos, com frequência de 10Hz. O aparelho foi instalado a 18 m em relação ao nível do mar, sendo os dados corrigidos posteriormente de forma a representar a intensidade dos ventos a 10 m em relação ao nível do mar.

Os dados de direção das correntes e dos ventos foram posteriormente corrigidos da declinação magnética de 23,15°, conforme carta náutica 1131 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Os dados de temperatura e salinidade foram registradas por meio de um CTD com frequência amostral de 3 Hz. As amostragens foram feitas a partir de perfilagens da coluna d'água nos pontos de monitoramento ACM1, ACM2 e ADP, em situação de maré de quadratura (Tabelas 5.1 e 5.2).

Tabela 5.2: Análogo a Tabela 5.1, mas para o período chuvoso (21/05/2003 a 27/06/2003).

Campo de Correntes		
Local	Período	Profundidade
ACM1 (38°56,8'W; 13°52,0'S)	21/05/2003 - 25/06/2003	5 m (prof. local 15 m)
ACM2 (38°53,3'W; 13°56,5'S)	21/05/2003 - 25/06/2003	5 m (prof. local 28 m)
ADP (38°49,0'W; 13°35,7'S)	22/05/2003 - 27/06/2003	4 m - 40 m (prof. local 42 m)
Perfilagem vertical das propriedades físicas		
Local	Data	Situação de maré
ACM1(38°56,8'W; 13°52,0'S)	26/05/2003 - 07:20h às 18:05h	quadratura
	11/06/2003 - 09:40h às 16:10h	quadratura
	23/06/2003 - 07:20h às 17:10h	quadratura
ACM2(38°53,3'W; 13°56,5'S)	26/05/2003 - 06:30h às 16:55h	quadratura
	11/06/2003 - 08:30h às 15:20h	quadratura
	23/06/2003 - 06:50h às 16:30h	quadratura
ADP (38°49,0'W; 13°35,7'S)	27/05/2003 - 09:00h às 18:30h	quadratura
	12/06/2003 - 09:00h às 20:10h	quadratura
	22/06/2003 - 09:20h às 20:00h	quadratura
Elevação do nível do mar		
Local	Período	
Pier da Baróid (39°00,05'W; 13°54,9'S)	24/05/2003 - 24/06/2003	
Campo de ventos		
Local	Período	
Barra do Mutá (38°57,08'W; 13°53,7'S)	24/05/2003 - 24/06/2003	

A variação temporal do nível do mar foi obtida a partir de um sensor de pressão instalado no cais da Companhia Baroid, localizado no rio Maraú (Figura 5.1). O aparelho foi configurado para coletar dados em intervalos de 15 minutos.

Os dados de correntes e ventos obtidos nos pontos de monitoramento ACM1, ACM2 e ADP foram inicialmente filtrados de forma que valores $|x - X| > 3\sigma$ fossem eliminados, sendo X e σ a média e o desvio-padrão dos valores observados em x , respectivamente. Este procedimento possibilita a remoção de erros acidentais ou “spikes”, resultantes de falhas no equipamento utilizado para a coleta de dados. Considerando-se uma distribuição normal, os dados localizados fora deste limite representam apenas 0,26% da frequência total de ocorrência (Emery e Thompson, 1997).

Em regiões costeiras, as correntes mais intensas tendem a se alinhar com a orientação da linha de costa ou com a batimetria (e.g. Lentz, 1994). No caso de estuários e baías, este alinhamento ocorre ao longo dos canais principais (e.g. Wong, 1999). Desta forma, para facilitar a análise das séries temporais de correntes, bem como para separar os processos

envolvidos na geração destas correntes, cada série foi orientada em relação ao eixo principal obtido para cada ponto de monitoramento. O eixo principal é aquele que apresenta a maior variância das correntes observadas, sendo que a sua orientação é dada em relação ao norte verdadeiro, com ângulo de orientação horária θ .

Considerando-se que para cada ponto de monitoramento existem pelo menos duas séries temporais de correntes, a orientação do eixo principal foi obtida através de uma média dos ângulos de orientação dos eixos principais obtidos para cada série em particular, adotando-se apenas três ângulos de rotação, sendo um para cada um dos pontos ACM1, ACM2 e ADP. Após este procedimento, as correntes foram decompostas em: i) componente paralela à costa/canal e ii) componente perpendicular à costa/canal.

Com o intuito de facilitar a compreensão dos diferentes processos que governam a circulação e que atuam em escalas de tempo distintas, as séries de correntes foram ainda separadas nas bandas supra-inercial e sub-inercial (e.g. Allen et al., 1983; Lentz, 1994), com o uso de um filtro de bandas (Walters e Heston, 1982). O período de corte adotado foi o período inercial local ($T_f \approx 50$ h), definido por:

$$T_f = \frac{2\pi}{f} \quad (5.1)$$

Onde $f=2\Omega \sin\theta$, é o parâmetro de Coriolis, θ é a latitude média da área de estudo e $\Omega=7,292 \times 10^{-5}$ rad s⁻¹ é a velocidade angular da Terra.

A partir das séries de correntes na banda supra-inercial, foram previstas as séries de correntes de maré para cada ponto monitorado, de acordo com análise harmônica proposta por Franco (1988), possibilitando quantificar a influência das marés nas correntes observadas.

O comportamento do campo de ventos foi analisado em função das componentes zonal (u) e meridional (v). Para quantificarmos a influência das forçantes supra-inerciais e sub-inerciais em cada uma das componentes, as séries de ventos foram filtradas em função do período inercial local.

A influência das forçantes supra-inerciais e sub-inerciais na variabilidade das séries de correntes e de ventos, foi quantificada em termos percentuais, em função da relação entre a variância das séries filtradas e a variância das séries observadas.

A influência dos ventos nas oscilações sub-inerciais observadas nas correntes e na elevação do nível do mar, foi quantificada em função da tensão causada pelo vento na superfície do mar, calculada de acordo com Large e Pond (1981). Para que pudessemos obter tanto a correlação máxima entre o campo de correntes e o vento, quanto o tempo de resposta à

esta forçante, as séries de tensão do vento foram rotacionadas em relação ao eixo principal adotado para os pontos ACM1, ACM2 e ADP.

Para padronizar as séries de elevação do nível do mar observadas no interior da BC, adotou-se uma redução para o nível médio de cada série, de forma que as variações entre a preamar e a baixamar ocorressem entre valores positivos e negativos em relação ao nível zero.

Para a análise dos parâmetros físico-químicos, os dados coletados foram inicialmente filtrados com intervalo de confiança de 95%, de forma que valores $|x - X| > 2\sigma$ fossem eliminados, sendo X e σ a média e o desvio-padrão dos valores observados em x , respectivamente.

O ponto de monitoramento ACM1 está localizado em uma região com alta influência da maré, onde o estiramento e a contração da coluna de água nas marés enchente e vazante, causam distorções nas profundidades de amostragem no decorrer de um ciclo completo de maré. Nestas regiões, a representação espaço temporal dos dados termohalinos só é possível quando se usa a profundidade adimensional $Z=z/h(t)$, onde z e $h(t)$ denotam a profundidade de coleta e a espessura da coluna de água no instante das medidas, respectivamente (Miranda et al., 2002).

Em função do exposto acima, os dados termohalinos no ponto ACM1 foram interpolados ao longo da coluna de água, desde a superfície até o fundo, em intervalos $\Delta Z=z/10$, sendo que $Z=0$ e $Z=-1$ indicam a superfície livre e o fundo, respectivamente. Para a representação da distribuição espaço-temporal dos dados termohalinos dos pontos ACM2 e ADP, foram usadas as profundidades reais de aquisição, pois estes estão localizados em regiões onde a influência da maré não causa grandes distorções nas profundidades de amostragem .

5.1.2 Dados coletados na região estuarina da BC

A caracterização oceanográfica da região interior da BC foi feita com base nos dados coletados durante o período compreendido entre os dias 21 a 29 de setembro de 2004 (Tabela 5.3), em estações pré determinadas, representando situações de sizígia e quadratura.

A variação temporal da intensidade e direção média das correntes foi registrada através de perfilagens horárias com um ADCP bottom-track ao longo de três seções pré-determinadas (Figura 5.1), durante um ciclo completo de maré (13 horas) e em situações de maré de quadratura e sizígia.

O perfilador acústico utilizado foi um ADCP da marca *RD Instruments*, modelo *Workhorse 600 kHz*, configurado para registrar a estrutura vertical das correntes com base em células

de 1 m, sendo que a velocidade de cruzeiro do barco adotada para as perfilagens ao longo de cada seção não ultrapassou 2 m s^{-1} .

Os dados de temperatura, salinidade e turbidez, foram registradas a partir de um CTD da marca *Seabird*, modelo *SBE 19plus SEACAT Profiler*, com frequência amostral de 4 Hz (resolução vertical de 0,25 m para uma perfilagem vertical com velocidade de 1 m s^{-1}). As amostragens foram feitas de duas formas distintas: i) através de perfilagens horárias durante um ciclo completo de maré (13 horas) ao longo de duas estações distribuídas em cada uma das três seções transversais de perfilagem com ADCP (Figura 5.1) e para as situações de marés de quadratura e sizígia, e ii) com base em perfilagens longitudinais durante a preamar e/ou baixamar, para os rios Maraú e Serinhaém (Figura 5.1).

Tabela 5.3: Análogo a Tabela 5.1, mas para o período de setembro de 2004 (21/09/2004 a 29/09/2004). A série de elevação do nível do mar foi coletada posteriormente e está apresentada.

Seções transversais de velocidade e de propriedades físicas		
Local	Data	Situação de maré
rio Maraú	21/09/2004 - 06:30h às 18:30h 27/09/2004 - 06:30h às 18:30h	quadratura sizígia
Barra do Mutá	22/09/2004 - 07:00h às 19:00h 28/09/2004 - 06:30h às 18:30h	quadratura sizígia
rio Serinhaém	23/09/2004 - 06:50h às 18:50h 29/09/2004 - 06:00h às 18:00h	quadratura sizígia
Seções longitudinais das propriedades físicas		
Local	Data	Situação de maré
rio Maraú	21/09/2004 - 08:48h às 10:43h 21/09/2004 - 15:05h às 17:05h 27/09/2004 - 09:40h às 11:30h	quadratura (preamar) quadratura (baixamar) sizígia (baixamar)
rio Serinhaém	23/09/2004 - 12:02h às 13:27h 29/09/2004 - 10:20h às 11:35h	quadratura (preamar) sizígia (baixamar)
Coletas de amostras de água para calibração do turbidímetro		
Local	Data	Situação de maré
rio Serinhaém	29/09/2004 - 11:38h às 13:32h	sizígia
Elevação do nível do mar		
Local		Período
Pier da Baróid (39°00,05'W; 13°54,9'S)		24/12/2004 - 30/06/2005

Os sensores de turbidez dos CTD's foram posteriormente calibrados em função da reta de calibração obtida da filtragem de 10 triplicatas de amostras de água (Tabela 5.4). Os dados de turbidez, em FTU, foram convertidos em concentração de sedimentos em suspensão (CSS) através da equação $\text{CSS} = 1,3868 \text{ FTU} - 0,2117$, obtida da reta de calibração, com coeficiente

de regressão $R^2=0,91$, apresentada na Figura 5.2.

Tabela 5.4: Pares de sinal de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão (CSS) utilizados para calibração do turbidímetro dos CTD's

Estação	Data	CSS (mg l ⁻¹)	CTD (FTU)
1	29/09/2003 11:38	2,882	3,093
2	29/09/2003 12:02	2,281	1,268
3	29/09/2003 12:26	17,321	9,414
4	29/09/2003 12:39	5,489	4,508
5	29/09/2003 12:42	21,087	13,270
6	29/09/2003 12:48	32,564	21,010
7	29/09/2003 12:59	22,700	20,874
8	29/09/2003 13:17	20,421	15,113
9	29/09/2003 13:26	6,496	5,907
10	29/09/2003 13:32	5,397	5,595

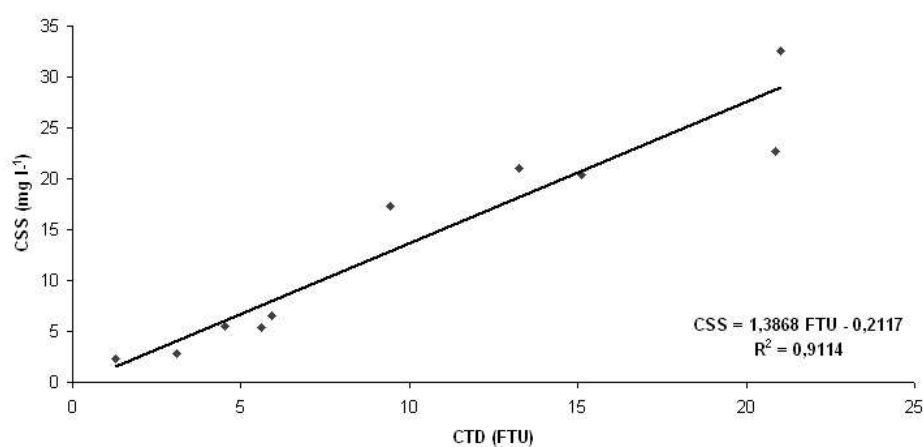


Figura 5.2: Curva de Calibração dos sensores de turbidez dos CTD's, em função da filtragem de 10 triplicatas de amostras de água coletadas no rio Serinhaém no monitoramento do dia 29/09/2004 das 11:38h às 13:32h, em situação de maré de sizígia (Tabela 5.4).

Devido a falta de equipamento, não foi realizada a coleta de dados de elevação do nível do mar durante esta campanha. Posteriormente foi instalado um sensor de pressão no mesmo local das campanhas de 2003, o qual tem registrado continuamente a elevação do nível do mar desde dezembro de 2004. Para esta dissertação só serão incluídos os dados até junho de 2005, período suficiente para possibilitar uma previsão do comportamento das marés na BC durante as campanhas de setembro de 2004.

Os dados de correntes obtidos a partir das seções transversais de monitoramento nos rios Serinhaém e Maraú e na Barra do Mutá (Figura 5.1), foram processados com o uso de uma rotina de processamento de dados de ADCP idealizada em ambiente Matlab (Genz et al., 2005). Este programa permite uma visualização espacial, em uma grade fixa, do campo de correntes ao longo de cada seção monitorada.

Os dados hidrográficos coletados nas estações fixas, distribuídas nas seções transversais dos rios Maraú e Serinhaém e na Barra do Mutá, foram analisados em função da profundidade adimensional, conforme metodologia adotada para a análise hidrográfica dos dados obtidos para o ponto ACM1, descrita anteriormente. Estes dados foram processados com o uso de uma rotina de processamento de dados hidrográficos em estuários idealizada em ambiente Matlab, modificada de Bérghamo et al. (2002), que usa como entrada dados hidrográficos coletados a partir de seções verticais de monitoramento e dados de correntes fornecidos pela rotina de processamento de dados de ADCP, citada acima.

5.2 Modelo de trajetória de óleo GNOME

O GNOME (NOAA, 2002a) é o mais recente modelo de trajetória de óleo desenvolvido pela Hazardous Material Response Division (HAZMAT/NOAA). O GNOME vem sendo usado operacionalmente na previsão de cenários para os planos de resposta a derrames de óleo desenvolvidos pela NOAA.

Para a previsão da trajetória do óleo, o GNOME usa a aproximação Lagrangeana/Euleriana padrão, onde os processos físicos regionais são simulados como campos eulerianos (contínuos) onde cada elemento lagrangeano (EL) de óleo se move.

O GNOME foi escrito na linguagem de programação C++, onde os diferentes componentes da simulação e dos processos físicos são tratados como independentes. A resolução numérica das equações usa um esquema de diferenças finitas de primeira ordem. Os processos físicos na simulação da trajetória do óleo, são quebrados em “mover objects”, assumindo-se uma superposição linear dos mecanismos que movem os EL (Krause, 2003).

Os processos advectivos não são simulados pelo GNOME. A equação de Navier-Stokes deve ser resolvida pelo modelo hidrodinâmico adotado para fornecer os dados de correntes superficiais. O efeito do vento na superfície das partículas de óleo (EL) são simulados como porcentagem da velocidade. No caso de usar o vento como forçante para as correntes, pode-se optar pelo uso da velocidade ou do stress do vento (Krause, 2003).

Os processos que contribuem para o espalhamento do óleo na horizontal, são simulados pelo “random walk” (Csanady, 1973). O coeficiente de difusão deve ser fornecido, e, a partir deste, os deslocamentos de cada EL nas direções x,y são calculados de forma randômica a partir de distribuição uniforme. A distribuição uniforme foi adotada por ser mais conservativa do que a distribuição normal ao estimar a extensão do espalhamento do óleo (Krause, 2003).

Para simular a evaporação e a dispersão do óleo, o GNOME leva em consideração apenas as características inerentes ao óleo em questão, não associando estes processos à intensidade das correntes e dos ventos. Os processos de intemperismo são melhores simulados pelo “Automated Data Inquiry for Oil Spill” - ADIOS (2002), os algoritmos de intemperismo presentes no GNOME são somente para representação gráfica destes processos (Krause, 2003).

5.3 Modelo de circulação atmosférica Eta

O modelo regional Eta do NCEP, é usado operacionalmente para a previsão numérica de tempo sobre a América do Sul e do Norte (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). Além do NCEP o Eta é usado operacionalmente no CPTEC/INPE (Chou e Justi, 1999) e no LNCC (Tanajura et al., 2003). O modelo Eta tem produzido previsões e simulações de precipitação e de outras variáveis meteorológicas com alta qualidade, não só na escala de tempo como também na de clima (Chou et al., 2002; Tanajura e Shukla, 2005).

O modelo utiliza um conjunto de equações primitivas em coordenada vertical eta propostas por Mesinger em 1984. A grande vantagem do uso desta coordenada é que as superfícies de coordenada Eta são aproximadamente horizontais e os erros nos cálculos do gradiente de pressão em relação à coordenada sigma são menores. O modelo utiliza 50 camadas verticais, sendo a resolução maior nos baixos níveis. Um máximo ocorre próximo à tropopausa, para melhor descrever as frentes em altos níveis. O modelo usa um esquema de diferenças finitas para a resolução do sistema de equações no espaço e no tempo. A discretização do domínio é feita na grade E de Arakawa na horizontal e na grade de Lorenz na vertical (Tanajura et al., 2003).

A física do modelo contém: (a) parametrização de cúmulus de Betts-Miller modificada por Janjić (Betts e Miller, 1986; Janjić, 1994); (b) parametrização de turbulência de Mellor-Yamada nível 2.5 entre as camadas do modelo no interior da camada limite e na atmosfera livre; (c) parametrização de turbulência Mellor-Yamada nível 2.0 entre a superfície terrestre e a camada mais baixa do modelo. Os fluxos de superfície são determinados a partir da teoria de Monin-Obukhov. Para a radiação de ondas curta e longa, são utilizados os esquemas de Lacis

e Hansen (1974) e de Fels e Schwarzkopf (1975), respectivamente. Nuvens estratiformes e cumuliformes interativas são diagnosticadas (Slingo, 1987) com base na umidade relativa do modelo e na taxa de precipitação convectiva. O modelo Eta está acoplado não linearmente ao modelo de superfície NOAH (lis.gsfc.nasa.gov) que representa 13 diferentes biomas, entre eles, floresta tropical, pastagem e savana. O modelo possui temperatura e umidade de solo prognóstico em 4 níveis do solo, com profundidade variando de 2 a 10 m.

Para este estudo, o modelo Eta foi aninhado nas análises objetivas operacionais do MCG do NCEP, com resolução T126L28. As análises são produtos de métodos de assimilação de dados que combinam dados observados com dados de modelos de forma ótima ou subótima. O uso das análises do MCG como condições de contorno laterais para o Eta produz melhores resultados do que as previsões do MCG (Tanajura et al., 2003), visto que os erros das previsões são maiores do que os das análises..

O domínio utilizado no modelo compreendeu a região entre 19°S e 10°S, e 42°W e 35°W. A resolução espacial horizontal utilizada foi de 10 km com 50 níveis verticais, até o nível de pressão de 25 hPa. O passo de tempo da integração foi de 45 s. Duas integrações estendidas foram realizadas, uma para o mês de janeiro de 2003 e a outra para o mês de junho de 2003. Na primeira integração, a condição inicial foi tomada em 00 UTC 01 janeiro 2003. Na segunda, a condição inicial foi tomada em 00 UTC 01 junho 2003. As análises do MCG T126L28 do NCEP foram usadas como condição inicial e interpoladas para a grade do Eta. As condições de contorno do Eta, também provenientes das análises do NCEP, foram tomadas a cada 6 h e interpoladas linearmente para o instante de cada passo de tempo durante a integração do MR.

6 – Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para o campo de ventos, elevação do nível do mar, correntes e propriedades físicas, para os monitoramentos apresentados nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3. Também serão apresentados os resultados obtidos para a modelagem atmosférica e de trajetória de óleo, bem como o mapeamento das áreas sobre risco a derrames de óleo.

6.1 Caracterização oceanográfica com base nos dados coletados *in situ*

Esta seção apresenta inicialmente a caracterização do campo de ventos, sendo seguida pela descrição do comportamento do nível do mar. A variação das correntes e dos parâmetros hidrográficos é então apresentada para a região adjacente à BC e para o seu interior. Tal divisão foi feita não apenas para diferenciar os dois ambientes, mas devido as diferentes técnicas de coleta, análise e processamento dos dados.

6.1.1 Campo de ventos

A intensidade e a direção dos ventos observados na região da BC incluem observações realizadas em um único ponto durante os períodos de coletas de dados oceanográficos, representando um período seco e um período chuvoso (Tabelas 5.1 e 5.2). Os dados foram coletados a partir de uma estação anemográfica instalada em Barra Grande (Figura 5.1).

Os ventos observados durante o período seco, foram predominantemente de NE, apresentando uma intensidade média de $1,25 \text{ m s}^{-1}$. Uma exceção a este padrão são os ventos de SE, que ocorrem no final de janeiro e início de fevereiro (Figura 6.1). A decomposição dos ventos nos componentes zonal (u) e meridional (v), mostra que, durante este período, o componente zonal apresentou intensidade média de $-1,03 \text{ m s}^{-1}$, cerca de 40% maior que o

componente meridional. No entanto, ambos apresentaram grande variabilidade (Tabela 6.1).

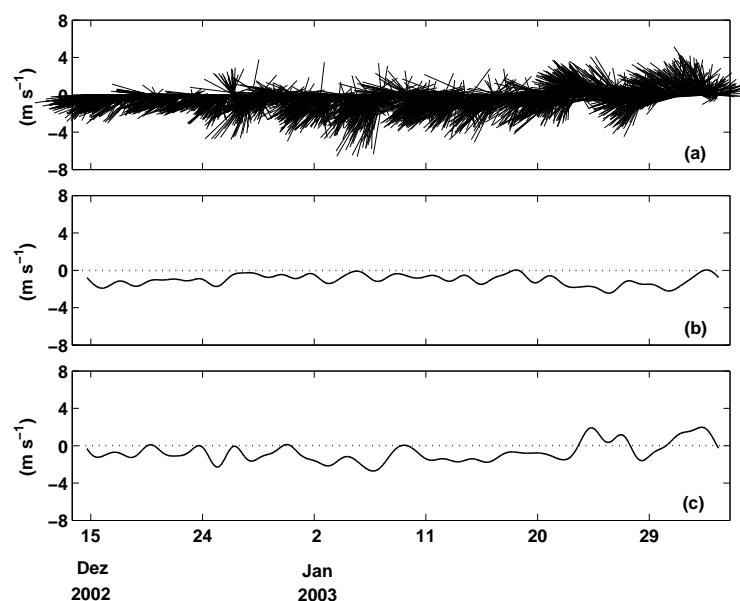


Figura 6.1: Série temporal de ventos observados na estação anemográfica de Barra Grande (Figura 5.1), durante o período seco (Tabela 5.1). (a) Os vetores estão orientados em relação ao norte verdadeiro, sendo apresentados os componentes (b) zonal sub-inercial e (c) meridional sub-inercial. Valores positivos são em direção ao norte e ao oceano.

Tabela 6.1: Estatística dos ventos observados durante o período seco, em termos de seus componentes zonal e meridional e da tensão sub-inercial exercida na superfície do mar. σ representa o valor de um desvio-padrão.

Vento Observado			
Componentes	Média $\pm \sigma$ (m s⁻¹)	Explicação da Variabilidade	
		supra-inercial (%)	sub-inercial (%)
Zonal	-1,03 \pm 1,51	86,3	13,7
Meridional	-0,72 \pm 1,48	52,2	47,8
Tensão do Vento (banda sub-inercial)			
Componentes	Média $\pm \sigma$ ($\times 10^{-2}$ Pa)		
Zonal	-0,47 \pm 0,27		
Meridional	-0,29 \pm 0,46		

O componente principal do vento esteve orientado em $48,9^\circ$ em relação ao norte verdadeiro, não apresentando um alinhamento definido com a costa. No entanto, as forçantes supra-inerciais foram mais efetivas no componente zonal (u), explicando 86% de sua variabilidade (Tabela 6.1). Nesta banda, o componente zonal do vento (perpendicular à costa)

responde principalmente ao mecanismo de brisas marinhas, responsável pela alteração da intensidade do vento no sentido oceano-continente

As forçantes sub-inerciais são responsáveis principalmente pelas oscilações do nível do mar próximo a costa, geradas pelo transporte de Ekman, resultado do balanço entre a tensão causada pelo componente meridional do vento (τ_y) e a força de Coríolis (f), expresso pela relação:

$$E_k = \frac{\tau_y}{\rho f} \quad (6.1)$$

Apesar da tensão do vento na superfície do mar na banda sub-inercial (Figura 6.2) ter apresentado a intensidade média do componente meridional ($-0,29 \times 10^{-2}$ Pa) menor do que a intensidade média do componente zonal, o desvio-padrão observado para o primeiro foi cerca de 70% maior (Tabela 6.1). Como resultado, o eixo principal da tensão do vento este alinhado preferencialmente com a costa, com um ângulo de orientação de 36° em relação ao norte verdadeiro.

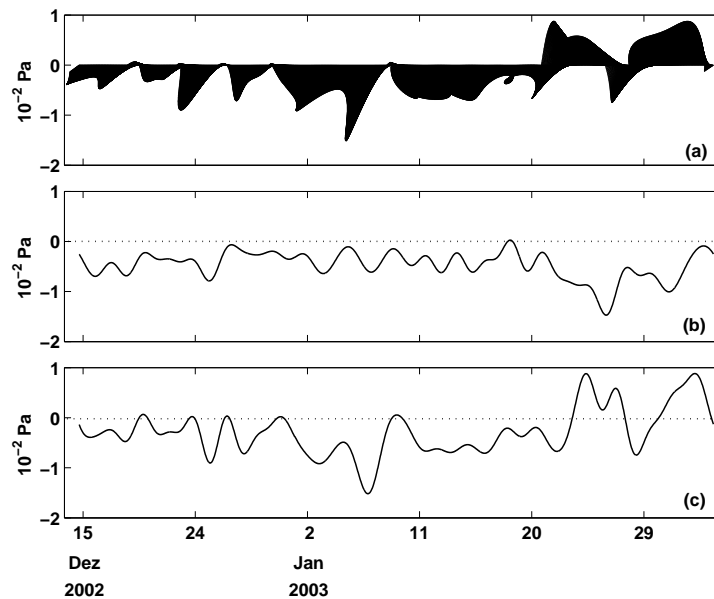


Figura 6.2: Série temporal da tensão do vento sub-inercial observado durante o período seco (Tabela 5.1). (a) Os vetores estão orientados em relação ao norte verdadeiro, sendo apresentados os componentes (b) zonal e (c) meridional. Valores positivos são em direção ao norte e ao oceano.

O alinhamento do eixo principal da tensão do vento na superfície do mar, é importante principalmente para as oscilações sub-inerciais observadas em regiões estuarinas. Esta forçante influencia os efeitos locais do vento, que atuam diretamente na superfície do estuário, e remotos do vento, causados principalmente pelo componente do vento paralelo à costa, ilustrando a necessidade do estudo da variação sazonal desta forçante nestas regiões (Janzen e

Wong, 2002).

Para o período chuvoso, os ventos foram predominantemente de SW (Figura 6.3), e apresentaram intensidade média cerca de 50% maior que a observada durante o período seco. A decomposição do vento nos componentes zonal e meridional mostra que neste período o componente meridional foi mais efetivo, com intensidade média de $1,75 \text{ m s}^{-1}$ e quase duas vezes maior do que a observada para o componente zonal. No entanto, ambos apresentaram grande variabilidade (Tabela 6.2). O eixo principal do vento esteve alinhado preferencialmente com a costa, com um ângulo de orientação de 349° em relação ao norte verdadeiro.

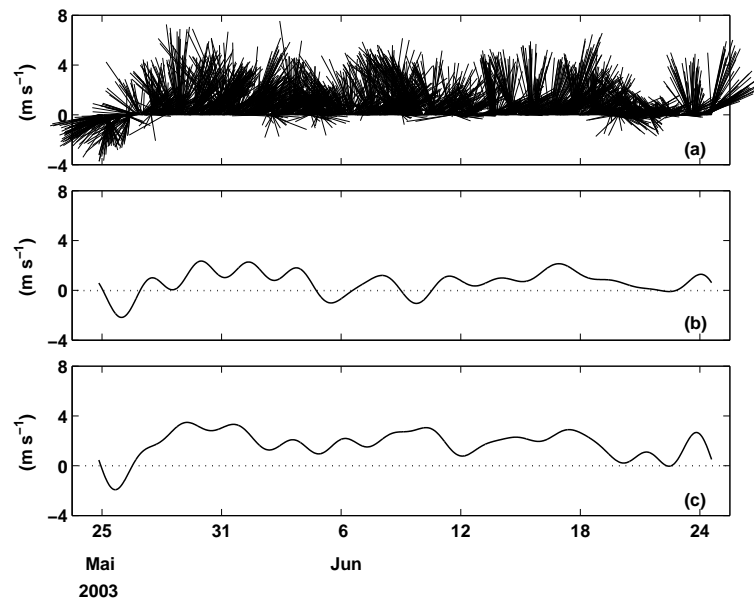


Figura 6.3: Série temporal de ventos observados na estação anemográfica de Barra Grande (Figura 5.1), durante o período chuvoso (Tabela 5.2). (a) Os vetores estão orientados em relação ao norte verdadeiro, sendo apresentados os componentes (b) zonal sub-inercial e (c) meridional sub-inercial. Valores positivos são em direção ao norte e ao oceano.

A decomposição do vento nas bandas sub e supra-inerciais, mostra que durante este período, as forçantes que ocorrem na banda supra-inercial são mais importantes e possuem contribuição similar para os dois componentes, sendo 66% para o componente zonal e 61% para o componente meridional (Tabela 6.2). Este comportamento pode estar relacionado à entrada mais frequente de frentes-frias nesta época do ano, conforme apresentado na seção 2.5.

Na banda sub-inercial, a tensão do vento (Figura 6.4) foi mais efetiva no componente meridional, com intensidade média de $0,92 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ quatro vezes mais intensa que a observada para o componente zonal, e a variabilidade cerca de 30% maior (Tabela 6.2). Em função deste comportamento, o eixo principal da tensão do vento esteve alinhado preferencialmente com a costa, orientado em 357° em relação ao norte verdadeiro.

Tabela 6.2: Estatística dos ventos observados durante o período chuvoso, em termos de seus componentes zonal e meridional e da tensão sub-inercial exercida na superfície do mar. σ representa o valor de um desvio-padrão.

Vento Observado			
Componentes	Média $\pm\sigma$ (m s ⁻¹)	Explicação da Variabilidade	
		supra-inercial (%)	sub-inercial (%)
Zonal	0,65 \pm 1,60	66,5	33,5
Meridional	1,75 \pm 1,74	60,7	39,3

Tensão do Vento Sub-inercial	
Componentes	Média $\pm\sigma$ ($\times 10^{-2}$ Pa)
Zonal	0,22 \pm 0,47
Meridional	0,92 \pm 0,65

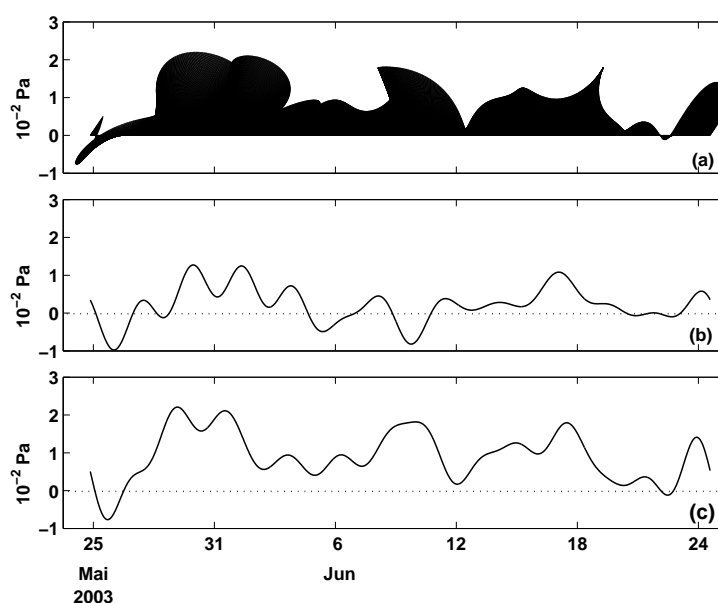


Figura 6.4: Série temporal da tensão do vento sub-inercial observado durante o período chuvoso (Tabela 5.2). (a) Os vetores estão orientados em relação ao norte verdadeiro, sendo apresentados os componentes (b) zonal e (c) meridional. Valores positivos são em direção ao norte e ao oceano.

O comportamento do vento e da tensão exercida por este na superfície do mar, será usado para quantificar a contribuição desta forçante nas oscilações sub-inerciais observadas na elevação do nível do mar, apresentadas na seção 6.1.2, e na geração das correntes, apresentadas na seção 6.1.3.

6.1.2 Marés

O principal objetivo das séries temporais de elevação do nível do mar é o de investigar as forçantes que governam as suas variações. Caso tais forçantes sejam determinísticas, como no caso das marés, pode-se realizar previsões futuras a partir do uso da análise harmônica (Emery e Thompson, 1997). A precisão destas previsões depende: i) da duração da série temporal de dados utilizada na análise e ii) do percentual de contribuição das marés na elevação do nível do mar.

A quantificação da influência das marés nas oscilações do nível do mar observadas na BC foi obtida a partir de uma análise harmônica, de acordo com a metodologia proposta por Franco (1988). Uma lista dos principais componentes harmônicos de maré encontra-se descrita na Tabela 6.3.

As oscilações do nível do mar causadas por forçantes sub-inerciais, incluindo desde o efeito do vento até a propagação de ondas de longo período no interior da baía, também serão apresentadas, para que possamos quantificar o efeito destas forçantes nas oscilações do nível do mar observadas na BC.

Tabela 6.3: Período dos principais componentes harmônicas de maré (Brown et al., 1994).

Constituinte	Símbolo	Período (horas)
Principal lunar	M_2	12,42
Principal solar	S_2	12,00
Luni-solar diurna	K_1	23,93
Principal lunar diurna	O_1	25,82

As oscilações do nível do mar durante o período seco da campanha de 2002/2003 (Figura 6.5a), variaram entre um mínimo de 80 cm e um máximo de 213 cm durante um ciclo completo de maré (13h). O percentual de explicação desta variação em função das marés astronômicas foi de 93% (Tabela 6.4).

Durante o período chuvoso da campanha de 2003, as elevações do nível do mar observadas (Figura 6.6a) foram similares ao período anterior, variando entre um mínimo de 83 cm e um máximo de 216 cm durante um ciclo completo de maré (13h). No entanto, a contribuição das marés astronômicas foi mais efetiva, respondendo por 99% das variações do nível do mar observadas (Tabela 6.4).

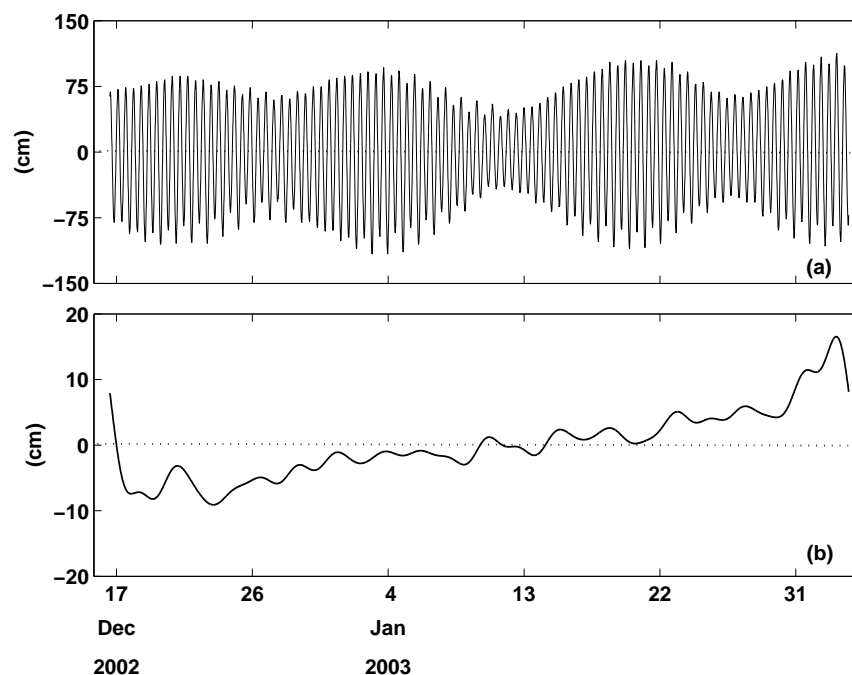


Figura 6.5: Série temporal da elevação do nível do mar obtida durante o período seco da campanha de 2002/2003 (Tabela 5.1). Os gráficos acima representam: (a) as oscilações do nível do mar observadas e (b) as oscilações sub-inerciais das marés meteorológicas. A escala para o eixo das ordenadas está diferenciada.

Tabela 6.4: Explicação da variabilidade entre as elevações do nível do mar observadas e previstas (Figuras 6.5 a 6.7). As máximas alturas do nível do mar observadas em quadratura e sizígia e a mínima altura do nível do mar observada em quadratura são apresentadas.

Período	Variância (%)	H_{min} quadratura (cm)	H_{max} quadratura (cm)	H_{max} sizígia
12/2002 - 02/2003	93	80	188	213
05/2003 - 06/2003	99	83	158	216
12/2004 - 06/2005	98	47	189	266

Um panorama mais representativo das variações sazonais da elevação do nível do mar, pôde ser observado na série temporal compreendida entre o período de 24/12/2004 e 30/06/2005 (Figura 6.7a). As oscilações observadas durante este período variaram entre um mínimo de 47 cm e um máximo de 266 cm, apresentando diferença de 50 cm (33 cm) em relação às maiores (menores) oscilações observadas anteriormente (Tabela 6.4). Tal diferença está associada à maré equinocial, que contribuiu para um aumento de 60% nas oscilações do nível do mar em relação aos períodos anteriores (Tabela 6.4). O percentual de explicação das oscilações do nível do mar em função das marés astronômicas durante este período, foi de 98%, similar ao observado no registro referente à estação chuvosa.

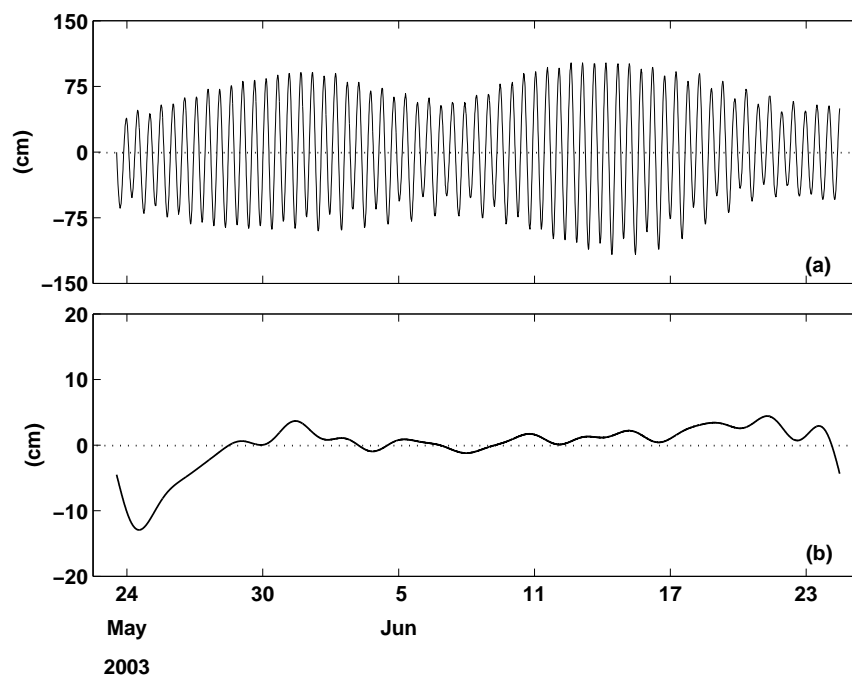


Figura 6.6: Série temporal da elevação do nível do mar obtida durante o período chuvoso da campanha de 2003 (Tabela 5.2). Os gráficos acima representam: (a) as oscilações do nível do mar observadas e (b) as oscilações sub-inerciais das marés meteorológicas. A escala para o eixo das ordenadas está diferenciada.

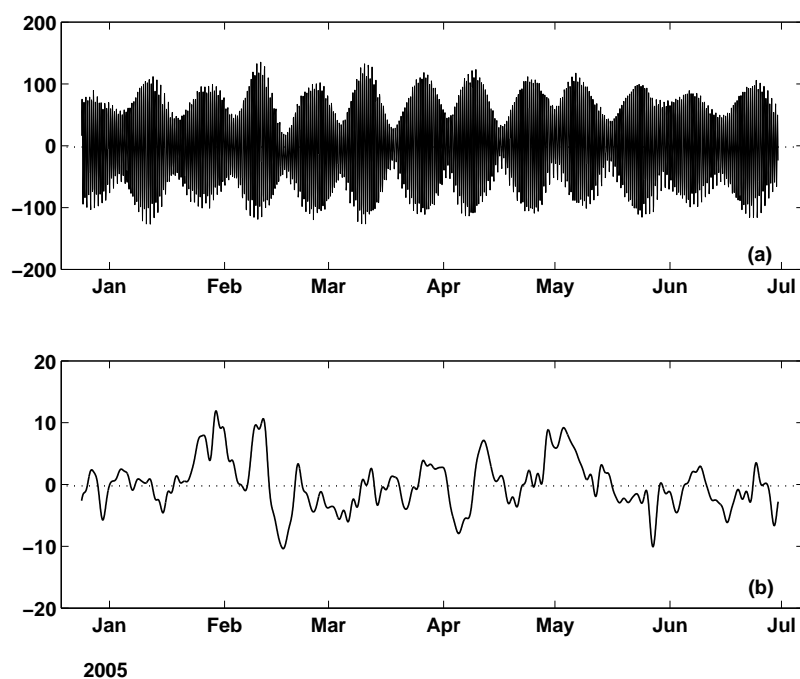


Figura 6.7: Série temporal da elevação do nível do mar obtida durante o período compreendido entre 24/12/2004 e 30/06/2005 (Tabela 5.3). Os gráficos acima representam: (a) as oscilações do nível do mar observadas e (b) as oscilações sub-inerciais das marés meteorológicas. A escala para o eixo das ordenadas está diferenciada.

Os resultados apresentados na Tabela 6.4 e a amplitude das marés meteorológicas (Figuras 6.5b, 6.6b e 6.7b), apontam as marés astronômicas como as maiores forçantes para as oscilações do nível do mar observadas na BC. Para que possamos quantificá-las, parte-se do princípio que as marés são a soma de um número de componentes de marés parciais, cada uma com amplitude e fase específicas para cada região em particular (Brown et al., 1994). Os principais componentes semidiurnos e diurnos (Tabela 6.3) explicam cerca de 83% da amplitude total da maré (Miranda et al., 2002) e, como possuem período de até 25,82 h, são classificadas como forçantes supra-inerciais para a região de estudo.

As características dos principais componentes diurnos e semi-diurnos obtidos para a BC estão apresentadas na Tabela 6.5. Em função da importância relativa entre estes componentes, obtida pelo chamado número de forma ($N_f = K_1 + O_1/M_2 + S_2$), concluímos que as marés na BC possuem amplitudes com modulação semi-diurna ($N_f = 0,10$) (Miranda et al., 2002).

Tabela 6.5: Principais componentes harmônicos calculados de acordo com Franco (1988) para os registros de elevação do nível do mar apresentados nas Figuras 6.5a, 6.6a e 6.7a. A amplitude dos componentes e a fase em relação ao meridiano de Greenwich são expressas por A e G, respectivamente. ϵ representa o intervalo de confiança.

Período de Monitoramento	Componentes	$A \pm \epsilon$ (cm)	$G \pm \epsilon$ (Gr.)
12/2002 - 02/2003 (49 dias de monitoramento)	O_1	$6,28 \pm 0,17$	$164,46 \pm 1,43$
	K_1	$3,86 \pm 0,17$	$250,73 \pm 1,93$
	M_2	$75,11 \pm 0,81$	$188,31 \pm 0,62$
	S_2	$25,53 \pm 0,84$	$216,33 \pm 2,34$
	N° Forma = 0,100		
05/2003 - 06/2003 (32 dias de monitoramento)	O_1	$6,31 \pm 0,55$	$170,48 \pm 4,50$
	K_1	$4,33 \pm 0,57$	$252,47 \pm 5,59$
	M_2	$74,67 \pm 0,90$	$201,06 \pm 0,71$
	S_2	$25,05 \pm 0,95$	$225,34 \pm 2,94$
	N° Forma = 0,107		
12/2004 - 06/2005 (189 dias de monitoramento)	O_1	$6,22 \pm 0,25$	$168,56 \pm 1,94$
	K_1	$3,79 \pm 0,73$	$263,15 \pm 10,05$
	M_2	$74,74 \pm 0,50$	$197,28 \pm 0,39$
	S_2	$27,01 \pm 1,46$	$218,12 \pm 2,96$
	N° Forma = 0,100		

Os valores de fase para os principais componentes (Tabela 6.5), indicam que a onda de maré na região da BC propaga-se de forma distinta ao longo do ano. Apesar do componente M_2 , principal componente de maré semi-diurna, apresentar amplitudes bastante similares para os três monitoramentos, as diferenças de fase observadas para este componente podem

gerar um atraso de até 26,4 minutos. Um comportamento similar foi observado para os demais componentes, sendo o componente K_1 o que apresentou o maior atraso, de 49,6 minutos.

As maiores variações do nível do mar observadas (Tabela 6.4), apontam a BC como um sistema forçado por micromaré em situação de quadratura ($H_{max}=189$ cm) e por mesomaré em situação de sizígia ($H_{max}=266$ cm) (Miranda et al., 2002). A importância da altura de maré relaciona-se ao fato de que as áreas inundáveis são propícias ao desenvolvimento de vegetação tipo mangue e como as áreas localizadas nas maiores elevações são cobertas na maré alta durante intervalos de tempo curtos, elas recebem menos sedimentos e nutrientes do que as áreas mais baixas (Miranda et al., 2002).

Em função da altura de maré (H_0) observada em um determinado estuário com área superficial A_S , durante o período de enchente, podemos quantificar o volume de água do mar que entra neste, definido como prisma de maré ($P=H_0A_S$). Este volume estabelece em primeira ordem a capacidade do estuário em renovar suas águas durante um ciclo completo de maré. Em regiões estuarinas dominadas por micromaré, por exemplo, este volume é relativamente pequeno e a sua capacidade de renovação é inferior aos estuários com macromaré e hipermaré (Miranda et al., 2002).

Para o cálculo dos prismas de maré para a BC, foram usados os dados de correntes registrados a partir de perfilagens horárias em seções transversais nos rios Maraú e Serinhaém (Figura 5.1) durante a campanha de setembro/2004 (Tabela 5.3). Os prismas de maré foram obtidos a partir da integração de vazões instantâneas ao longo de um período de maré enchente para um ciclo de maré semi-diurna (6,5 h), apresentadas no Apêndice B.

Os resultados obtidos (Tabela 6.6), mostram que em situação de maré de quadratura, o prisma de maré do rio Serinhaém de $59,4 \times 10^6$ m³, é cerca de 38% maior que o do rio Maraú. No entanto, em situação de maré de sizígia este padrão se inverte, com o prisma de rio Maraú de 147×10^6 m³ sendo cerca de 34% maior que o do rio Serinhaém. A relação entre os prismas de maré para os rios Serinhaém e Maraú em situações de quadratura e sizígia, mostra que durante a sizígia o prisma de maré é pelo menos uma vez maior do que durante a quadratura (Tabela 6.6). Espera-se então, que durante situações de sizígia, quando são forçados por macro-maré (Tabela 6.4), estes estuários possuam uma maior capacidade de renovação de suas águas do que durante uma situação de quadratura.

Tabela 6.6: Prismas de maré (P), obtidos de acordo com os resultados apresentados no apêndice B, para os rios Serinhaém e Maraú (Figura 5.1). O valor entre parentêses representa a altura de maré para o ciclo monitorado

Local	Prisma maré (P) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	
	quadratura	sizígia
rio Maraú	42,83 (0,87 m)	147,10 (2,08 m)
rio Serinhaém	59,39 (0,95 m)	110,00 (2,10 m)

Um outro aspecto interessante que deve ser analisado nos estuários, é a assimetria de maré, determinada pela razão entre o tempo de enchente e o tempo de vazante. Este fenômeno é importante para o manejo do estuário, particularmente em relação ao transporte de sedimentos. No evento de menor duração, a velocidade será mais intensa, aumentando o transporte de sedimentos em suspensão (Miranda et al., 2002).

Os tempos de maré enchente e vazante na saída do rio Maraú (Figura 6.8), apresentaram uma relativa equivalência, com o tempo médio de enchente de 6,28h, cerca de 2% maior que o tempo médio de vazante. No entanto, a análise da regressão linear dos dados, mostra que o tempo de enchente é máximo para menores alturas de maré e tende a diminuir com o aumento da altura de maré. Este comportamento sugere que a BC pode funcionar como um exportador de sedimentos durante os períodos de quadratura e como um importador de sedimentos durante a sizígia.

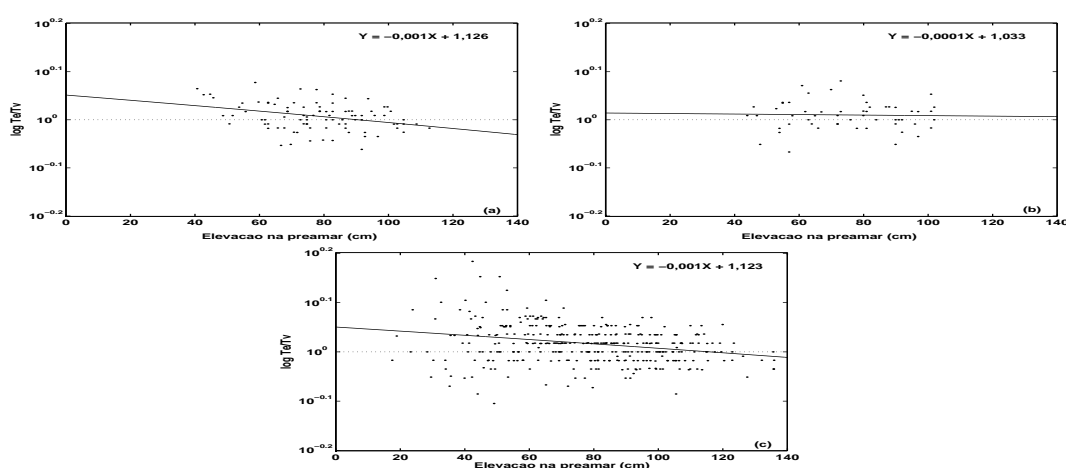


Figura 6.8: Razões entre os tempos de maré enchente (t_e) e os tempos de maré vazante (t_v) obtidos a partir dos registros de elevação do nível do mar apresentados nas Figuras (a) 6.5a, (b) 6.6a e (c) 6.7a. As linhas pontilhada e cheia representam, respectivamente, o limite para $t_e/t_v = 1$ e a regressão linear dos resultados obtidos.

Finalmente serão analisadas as oscilações sub-inerciais do nível do mar, as quais são geralmente associadas ao campo de ventos e às suas variações. Janzen e Wong (2002) estudaram, na Baía de Delaware, a influência das forçantes local e remota do vento nas oscilações do nível do mar no interior do estuário. Para este estudo, estas forçantes apresentaram coeficientes de correlação da ordem de 0,5. Por forçante remota entende-se como o componente paralelo à costa da tensão do vento sub-inercial.

Para quantificarmos a influência da forçante remota do vento nas oscilações sub-inerciais observadas no interior da BC, foram feitas correlações entre esta forçante e as oscilações sub-inerciais das marés meteorológicas (Figuras 6.5b, 6.6b e 6.7b). O resultado obtido foi semelhante ao observado por Janzen e Wong (2002), apresentando um coeficiente de correlação máximo de 0,5 entre as oscilações sub-inerciais do nível do mar e a forçante remota do vento atuante em cada período monitorado. No entanto, foram observados comportamentos sazonais, inerentes a cada situação em particular, os quais serão discutidos a seguir.

Durante o período de monitoramento compreendido entre 16/12/2002 e 03/02/2003 (Figura 6.5b), houve um aumento gradativo do nível do mar no interior do estuário. Este comportamento sugere que o componente zonal do stress do vento, preferencialmente em direção à costa neste período (Figura 6.2b), se opôs à direção da circulação estuarina, propiciando um acúmulo de água fluvial na BC, como observado por Geyer (1997) nos estuários da Baía de Waquoit. Este comportamento também foi observado no registro apresentado na Figura 6.7b, sugerindo ser este um padrão característico da estação seca, podendo ser responsável pelo menor percentual de explicação das marés observado neste período (Tabela 6.4).

As oscilações sub-inerciais observadas no período chuvoso (Figuras 6.6b e 6.7b), não apresentaram este comportamento, sugerindo que o componente zonal do stress do vento, preferencialmente em direção ao oceano (Figuras 6.4b e 6.9a), não propiciou um aumento gradativo do nível do mar no interior da BC como observado no período seco.

As oscilações observadas no interior da BC como resposta à um transporte de Ekman em direção à costa, gerado pela forçante remota do vento, mostram que, uma variação na tensão do vento de 3×10^{-2} Pa causa uma elevação do nível do mar de aproximadamente 11 cm. No entanto, um transporte em direção ao oceano, gerado por uma variação da tensão do vento de mesma magnitude, tem uma atuação mais efetiva, causando um rebaixamento do nível do mar no interior da BC de aproximadamente 19 cm.

Os valores encontrados acima são coerentes com os obtidos por Middleton e Cirano (1999) e Middleton (2000), para estudos idealizados de subsidência e ressurgência gerados por um vento constante soprando ao longo da costa. Nestes estudos, os autores usaram um vento de 0,1 Pa em uma região onde o parâmetro de Coríolis era três vezes o da região da BC. Para o estudo de subsidência, os autores encontraram uma elevação de 12 cm e para o caso de ressurgência, o rebaixamento do nível do mar foi de 14 cm.

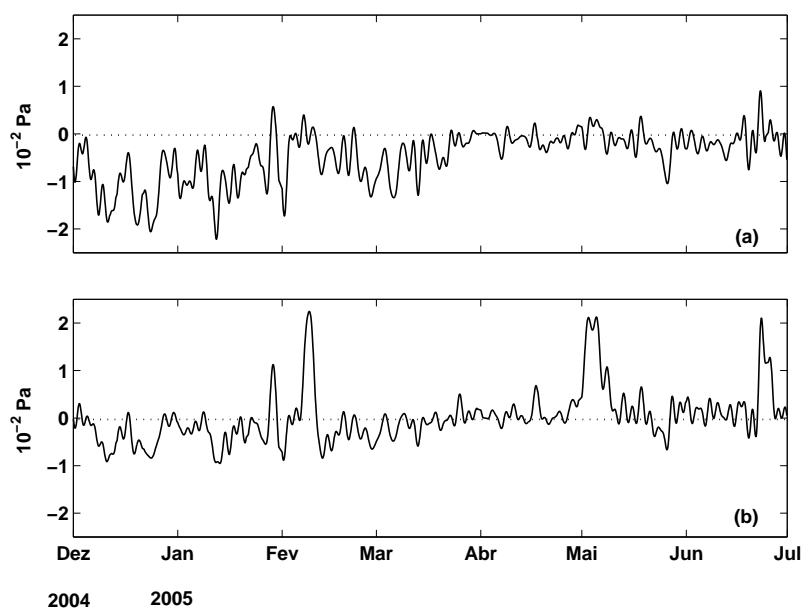


Figura 6.9: Série temporal da tensão do vento sub-inercial, em função da velocidade do vento registrada pela PCD do CPTEC/INPE (2005) de Salvador. São apresentados os componentes (a) zonal e (b) meridional. Valores positivos são em direção ao norte e ao oceano.

6.1.3 Plataforma Continental adjacente à BC

Nesta seção será apresentada a análise das correntes (seção 6.1.3.1) e parâmetros hidrográficos (seção 6.1.3.2) obtidos nos pontos de monitoramento ACM1, localizado na entrada da BC, ACM2 e ADP, localizados na plataforma interna e média adjacente à BC, respectivamente (Figura 5.1). Os dados foram coletados em épocas distintas, representando um período seco e um chuvoso (Tabelas 5.1 e 5.2).

6.1.3.1 Campo de correntes

A metodologia utilizada para o tratamento inicial dos dados de correntes observados nos pontos de monitoramento ACM1, ACM2 e ADP, está sucintamente apresentada na seção 5.1.1 deste trabalho.

Análise dos dados obtidos durante o período seco

O comportamento das correntes no ponto ACM1 (Figura 6.10), localizado na entrada da BC, apresentou, em função dos agentes forçantes, baixos valores médios e uma alta variabilidade. Para o componente paralelo ao canal a média das correntes observadas foi de apenas $4,4 \text{ cm s}^{-1}$, com um desvio-padrão de $36,4 \text{ cm s}^{-1}$. A máxima velocidade observada neste componente foi de $94,0 \text{ cm s}^{-1}$ e em direção ao oceano. Para o componente normal ao canal, observa-se um padrão similar, mas com intensidades cerca de três vezes menores, tanto para a média quanto para o desvio-padrão (Tabela 6.7). Este comportamento mostra claramente que, nesta região, as correntes paralelas ao canal são mais efetivas e preferencialmente de vazante.

A análise do padrão de distribuição das correntes para as bandas supra e sub-inerciais, mostra que as forçantes supra-inerciais são as mais importantes para a geração das correntes nesta região, responsáveis principalmente pela alta variabilidade do componente paralelo ao canal (Tabela 6.8), com 99,6% de explicação de sua variabilidade (Tabela 6.9).

As correntes de maré previstas para este ponto (Figura 6.11), apontam esta forçante como a maior responsável para a geração das correntes supra-inerciais. O percentual de explicação da variabilidade destas correntes em função das marés, foi de 87% e 56% para os componentes paralelos e perpendiculares ao canal, respectivamente (Tabela 6.9). A baixa correlação entre o componente perpendicular e as correntes de maré pode estar relacionada ao fato deste componente ser mais susceptível às variações causadas pelo vento e gradientes de pressão entre as duas extremidades do canal (Mantovanelli et al., 2004).

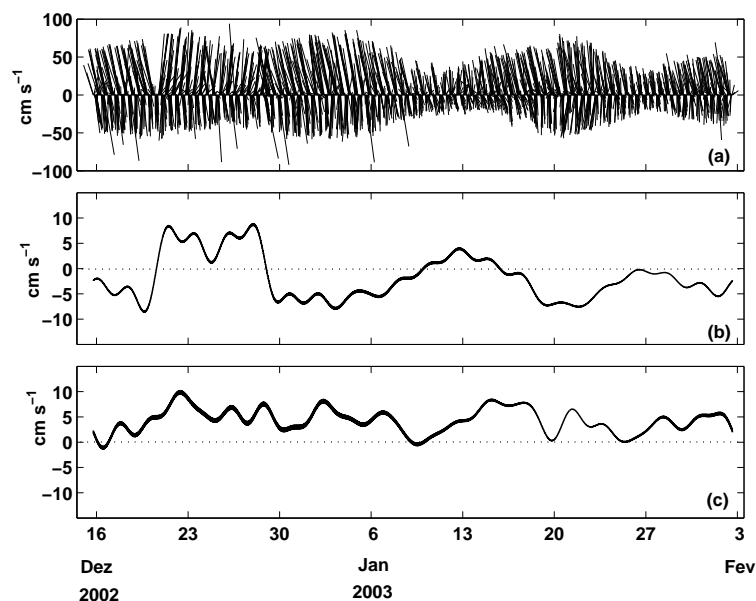


Figura 6.10: Série temporal (a) das correntes observadas a 5 m da superfície no ponto ACM1 (Figura 5.1) durante o período seco. Componentes sub-inerciais (b) perpendicular ao canal e (c) paralelo ao canal. Valores positivos são em direção ao oceano e à Ponta do Mutá. O eixo principal está orientado em 85° em relação ao norte verdadeiro.

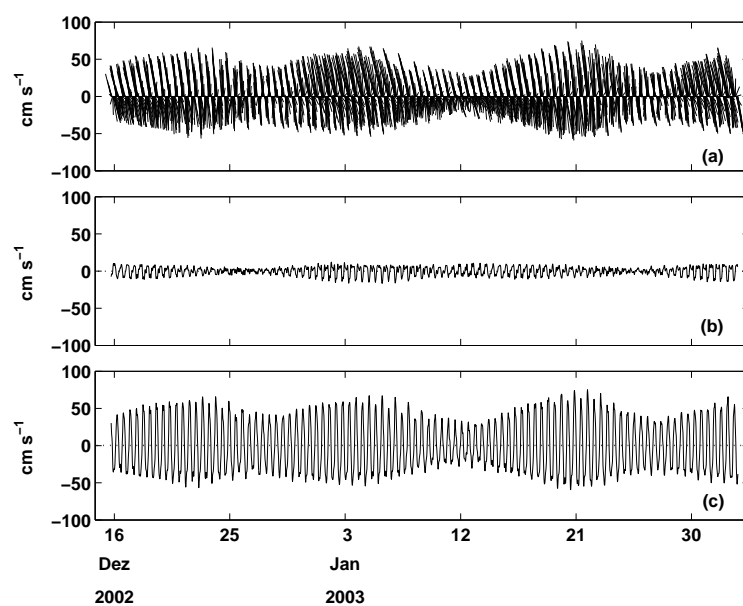


Figura 6.11: Série temporal (a) de correntes de maré previstas a 5 m da superfície para o ponto ACM1 durante o período seco e seus componentes (b) perpendicular ao canal e (c) paralelo ao canal. Valores positivos são em direção ao oceano e à Ponta do Mutá. O eixo principal está orientado em 85° em relação ao norte verdadeiro.

Tabela 6.7: Estatística das correntes observadas durante o período seco (Tabela 5.1), nos seus componentes paralelo à costa/canal e perpendicular à costa/canal. As velocidades estão orientadas em relação ao eixo principal, rotacionado em sentido horário em relação ao norte verdadeiro. As velocidades nos pontos ACM1 e ACM2 foram obtidas a 5 m da superfície e no ponto ADP entre 8 m e 41 m da superfície, sendo apresentadas as intensidades à 5 m (S), 22 m(M), 40 m (F) e integrada ao longo da coluna d'água (I). As velocidades máximas durante o período de monitoramento também são apresentadas. σ representa o valor de um desvio-padrão.

Local		Velocidade observada				Eixo principal
		Componente paralelo		Componente perpendicular		
		Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Máxima (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Máxima (cm s ⁻¹)	
ACM1		4,4 \pm 36,4	94,0	-1,8 \pm 9,5	-37,2	85
ACM2		-20,7 \pm 8,5	-42,8	-4,8 \pm 5,6	-19,8	13
ADP	S	-22,4 \pm 9,9	-48,1	1,6 \pm 4,6	13,2	4
	M	-13,1 \pm 6,7	-32,5	-0,5 \pm 4,0	-11,5	4
	F	-4,7 \pm 6,4	-21,1	-2,3 \pm 3,6	-11,8	4
	I	-13,2 \pm 6,9	-31,0	-0,5 \pm 2,5	-7,8	4

Tabela 6.8: Estatística das correntes supra-inerciais e sub-inerciais durante o período seco, nos seus componentes paralelo e perpendicular à costa/canal e para os pontos apresentados na Tabela 6.7. σ representa o valor de um desvio-padrão. Para o componente supra-inercial só são apresentados os valores de σ .

Local		Corrente supra-inercial		Corrente sub-inercial	
		Paralela	Perpendicular	Paralela	Perpendicular
		$\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	$\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)
ACM1		36,3	8,3	4,3 \pm 2,4	-1,8 \pm 4,4
ACM2		4,5	4,5	-20,7 \pm 7,2	-4,8 \pm 3,3
ADP	S	6,6	3,7	-22,4 \pm 7,3	1,6 \pm 3,0
	M	5,0	3,7	-13,1 \pm 4,5	-0,4 \pm 1,5
	F	4,4	3,0	-4,7 \pm 4,6	-2,3 \pm 2,1
	I	4,6	2,4	-13,2 \pm 5,1	-0,5 \pm 0,6

Tabela 6.9: Explicação do percentual de variabilidade entre as bandas supra-inercial e sub-inercial (Tabela 6.8) e as correntes observadas (Tabela 6.7) durante o período seco, para os componentes paralelo e perpendicular à costa/canal. Em parênteses o percentual de explicação da variabilidade em função das correntes de maré.

Local	Corrente supra-inercial		Corrente sub-inercial		
	Paralela (%)	Perpendicular (%)	Paralela (%)	Perpendicular (%)	
ACM1	99,6 (86,9)	77,7 (55,6)	0,4	22,3	
ACM2	28,5 (31,2)	65,6 (48,7)	72,0	34,0	
ADP	S	44,9 (48,8)	56,1 (44,7)	55,1	44,0
	M	55,2 (64,5)	85,9 (60,6)	44,8	14,1
	F	48,5 (75,1)	66,4 (65,7)	51,5	33,6
	I	44,0 (77,3)	93,6 (88,9)	56,0	7,0

Tabela 6.10: Principais componentes harmônicos de maré para as séries de correntes a 5 m da superfície nos pontos ACM1 e ACM2 e para as séries de correntes à 5 m (S), 22 m(M), 40 m (F) e integrada ao longo da coluna d'água (I) no ponto ADP, durante o período seco. M e m representam, respectivamente, as amplitudes (cm s^{-1}) para os eixos maior e menor das elipses, G é a fase em relação ao meridiano de Greenwich e θ é a orientação do eixo principal em relação ao norte verdadeiro em sentido horário. O número de forma é dado pela relação $N_f = (K_1 + O_1)/(M_2 + S_2)$.

Componente		ACM1	ACM2	ADP			
				S	M	F	I
O_1	M/m	2,1/0,2	0,9/0,4	1,0/0,7	0,5/0,2	0,7/-0,4	0,7/0,3
	$^\circ\text{G}/^\circ\theta$	217/73	219/129	32/45	91/12	38/141	71/5
K_1	M/m	1,8/0,3	1,0/-0,7	3,6/0,6	1,6/0,1	1,3/0,1	0,8/-0,6
	$^\circ\text{G}/^\circ\theta$	328/84	169/155	254/28	35/83	337/71	121/64
M_2	M/m	44,5/0,0	4,8/-0,3	4,9/0,2	5,4/0,4	5,4/0,2	5,5/0,3
	$^\circ\text{G}/^\circ\theta$	217/78	20/129	219/24	213/22	203/21	211/21
S_2	M/m	16,9/-0,1	1,8/-0,4	1,8/0,5	2,6/0,8	2,5/0,7	2,5/0,7
	$^\circ\text{G}/^\circ\theta$	63/77	17/95	194/164	170/147	159/153	177/149
N° Forma		0,06	0,30	0,52	0,26	0,26	0,18

Os componentes harmônicos de maré obtidos para o ponto ACM1 (Tabela 6.10), classificam as correntes de marés nesta região como semi-diurnas ($N_f=0,06$). Os principais componentes semi-diurnos possuem amplitudes de $44,5 \text{ cm s}^{-1}$ (M_2) e $16,9 \text{ cm s}^{-1}$ (S_2), resultando em elipses com pequena excentricidade, orientadas preferencialmente paralelas ao canal principal (Figura 6.12), e em conformidade com o alinhamento do eixo principal das correntes.

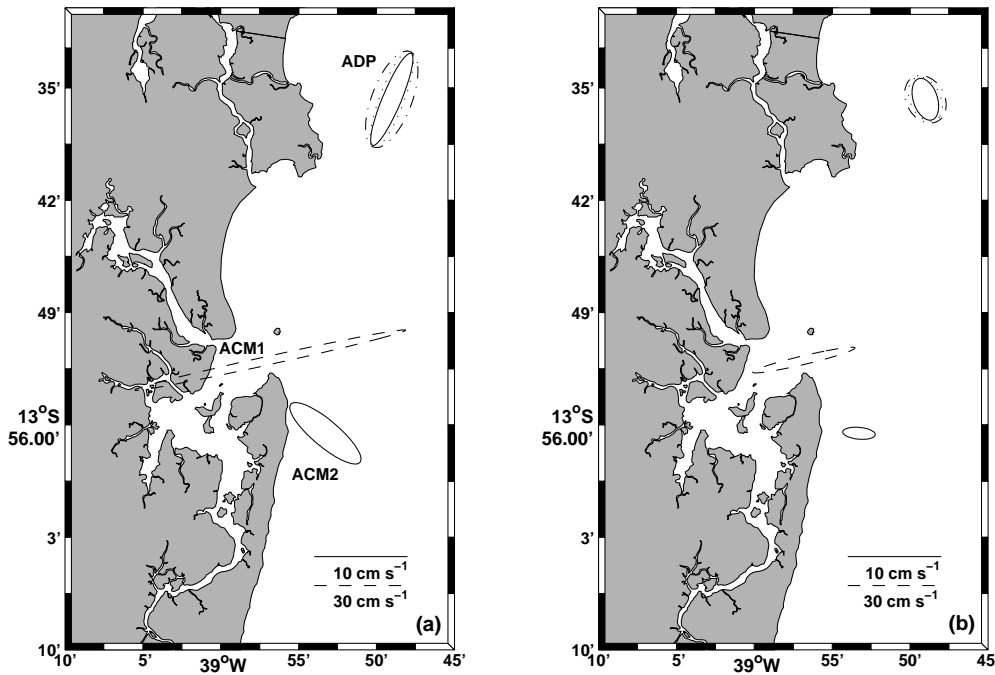


Figura 6.12: Elipses de maré para os componentes (a) M_2 e (b) S_2 , obtidos para o período seco (verão 2002/2003).

A maior contribuição das forças sub-inerciais no ponto ACM1, ocorre na composição da fraca velocidade residual das correntes paralelas ao canal, resultando em correntes residuais de vazante (Figura 6.13) com intensidade de $4,3 \text{ cm s}^{-1}$ (Tabela 6.8). Os coeficientes de correlação entre estas correntes e os componentes zonal e meridional do vento (Figura 6.1b,c), de $-0,78$ e $-0,68$, respectivamente, indicam que, neste período, o efeito local do vento (zonal) é dominante sobre o efeito remoto (meridional). Um comportamento similar foi observado por Wong e Moses-Hall (1998) e Janzen e Wong (2002) na baía de Delaware.

Segundo Wong e Moses-Hall (1998), a correlação em diferença de fase observada entre o componente local do vento e as correntes paralelas ao canal, sugerem que, neste período, as correntes superficiais são forçadas principalmente pelas flutuações do nível do mar impostas pelo vento local.

Para o ponto de monitoramento ACM2, localizado na plataforma interna adjacente à BC, as correntes observadas apresentaram um padrão bem mais definido, com uma corrente bem determinada para SW (Figura 6.14). As correntes paralelas à costa apresentaram intensidade média de $-20,7 \text{ cm s}^{-1}$ (cerca de quatro vezes mais intensa que as correntes normais à costa), com a máxima velocidade observada de $-42,8 \text{ cm s}^{-1}$. As correntes normais à costa foram mais variáveis, com desvio-padrão de $5,6 \text{ cm s}^{-1}$ comparável à média (Tabela 6.7) e intensidade máxima de $-19,8 \text{ cm s}^{-1}$.

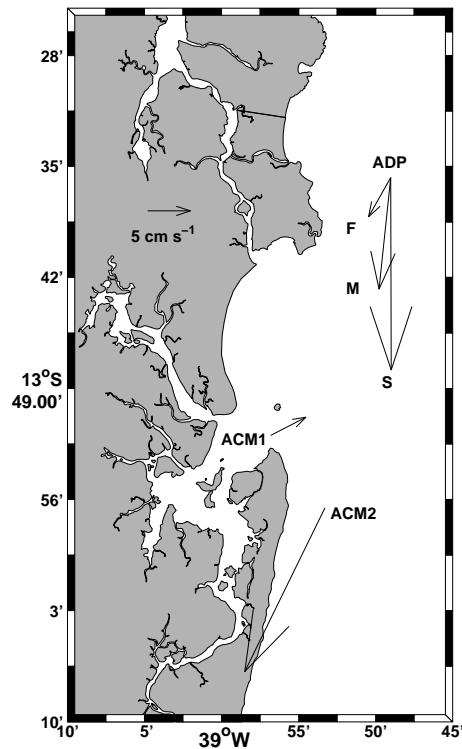


Figura 6.13: Correntes residuais obtidas para o período seco (verão 2002/2003). Os vetores representam as correntes na profundidade de 5 m para os pontos ACM1 e ACM2, e para as profundidades de (S) 5 m, (M) 22 m e (F) 40 m para o ponto ADP.

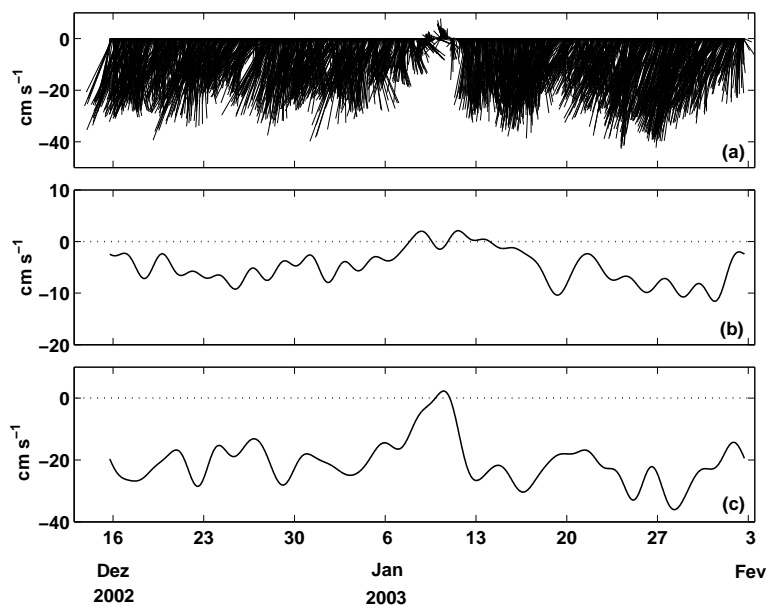


Figura 6.14: Série temporal (a) das correntes observadas a 5 m da superfície no ponto ACM2 (Figura 5.1) durante o período seco. Componentes sub-inerciais (b) perpendicular à costa e (c) paralelo à costa. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 13° em relação ao norte verdadeiro.

O padrão de distribuição para as bandas supra e sub-inerciais, mostra que o comportamento das correntes paralelas e perpendiculares à costa no ponto ACM2 foi bastante diferenciado. Como observado em vários estudos de circulação costeira (e.g. Lee et al., 1984, Lentz, 1994 e Wong, 1999), as correntes paralelas à costa foram geradas principalmente por forçantes sub-inerciais, responsáveis por 72% de sua variabilidade (Tabela 6.9), e seguiram preferencialmente a direção do vento (Figura 6.1). O tempo de resposta médio ao componente do vento paralelo à costa foi de 5 dias com coeficiente de correlação de 0,62. Na banda supra-inercial, as correntes de maré (Figura 6.15), foram responsáveis por somente 31% da variabilidade das correntes paralelas à costa (Tabela 6.9).

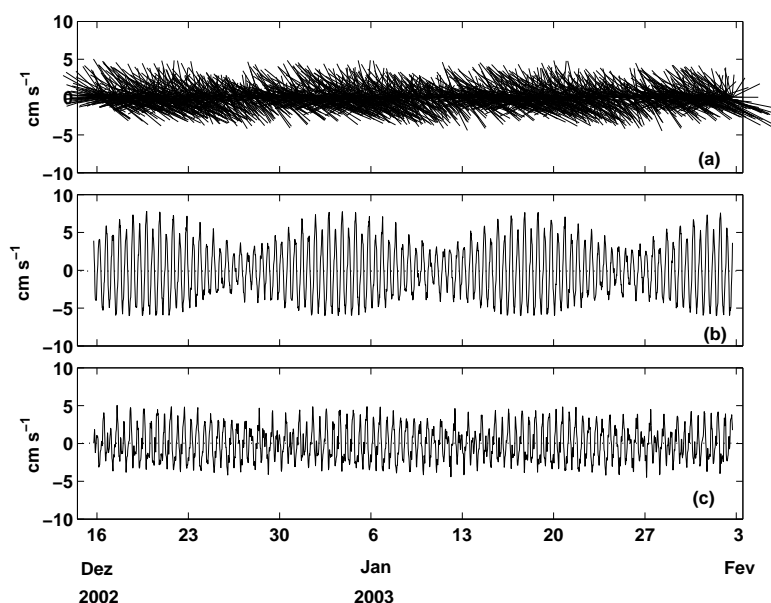


Figura 6.15: Série temporal (a) de correntes de maré previstas a 5 m da superfície para o ponto ACM2 durante o período seco e seus componentes (b) perpendicular à costa e (c) paralelo à costa. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 13° em relação ao norte verdadeiro.

As correntes perpendiculares à costa foram mais susceptíveis às forçantes supra-inerciais, responsáveis por 66% da sua variabilidade (Tabela 6.9), sendo 49% desta variabilidade explicada pelas correntes de maré (Tabela 6.9). Na banda sub-inercial, as oscilações observadas neste componente também tiveram contribuição significativa do componente do vento paralelo à costa, com tempo de resposta a esta forçante de seis dias e coeficiente de correlação de 0,52.

Devido ao comportamento apresentado acima, as correntes residuais no ponto ACM2 durante o período seco apresentaram intensidade de -21 cm s^{-1} (Tabela 6.8) e fluíram para SW (Figura 6.13), enquanto as elipses dos principais componentes de maré (M_2 e S_2) estiveram alinhadas preferencialmente em direção à costa (Figura 6.12) e apresentaram pequena excentricidade (Tabela 6.10). O número de forma obtido pela relação entre os principais

componentes diurnos e semi-diurnos de maré ($N_f=0,30$), classificam as marés na região do ponto ACM2 como mistas com predominância semi-diurna (Miranda et al., 2002).

Para o ponto de monitoramento ADP, localizado na plataforma média adjacente à BC, a análise do comportamento das correntes foi feita em função das correntes integradas ao longo da coluna de água (Figura 6.16a) e para as profundidades de 5 m (Figura 6.16b), 22 m (Figura 6.16c) e 40 m (Figura 6.16d), representando o comportamento das correntes em superfície, meio e fundo, respectivamente.

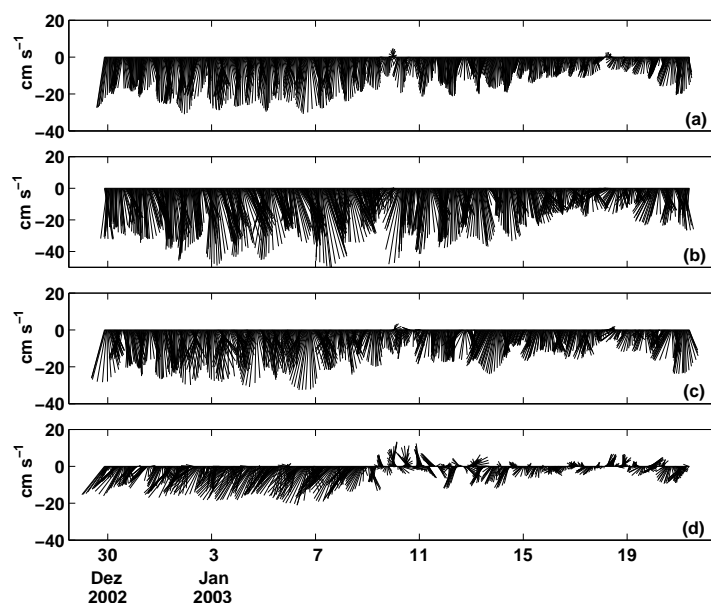


Figura 6.16: Série temporal das correntes observadas no ponto ADP (Figura 5.1) durante o período seco. São apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 4° em relação ao norte verdadeiro.

O comportamento das correntes observado no ponto ADP (Figura 6.16) foi similar ao apresentado para o ponto ACM2, onde as correntes, principalmente nas camadas superficiais, estão orientadas preferencialmente paralelas à costa, fluindo para sul. A Tabela 6.7 mostra correntes médias paralelas à costa variando entre $-22,4 \text{ cm s}^{-1}$ (superfície) até $-4,7 \text{ cm s}^{-1}$ (fundo). Para a corrente integrada ao longo da coluna d'água, este valor é de $-13,2 \text{ cm s}^{-1}$ e similar ao observado para a profundidade média. O intenso cisalhamento vertical observado na corrente média não é tão nítido para as máximas velocidades observadas, que variam de $-48,1 \text{ cm s}^{-1}$ (superfície) até $-21,1 \text{ cm s}^{-1}$ (fundo). Este fato está provavelmente vinculado à variabilidade das correntes em relação à média, que aumenta em direção ao fundo. As correntes perpendiculares à costa são muito mais variáveis e apresentam desvios-padrão que são sempre maiores do que a própria média.

O padrão de distribuição das correntes no ponto ADP para as bandas supra-inercial e sub-inercial, mostra que, neste período, as forçantes nas duas bandas são significativas para a geração das correntes paralelas à costa, e que existe uma relativa equivalência entre o percentual de explicação da variabilidade que, dependendo da profundidade, varia entre 44% e 56% (Tabela 6.9). Para as correntes perpendiculares à costa, no entanto, o maior percentual de explicação está na banda supra-inercial, chegando a 94% para a corrente integrada ao longo da coluna d'água.

Para a banda sub-inercial, as correntes paralela e perpendicular à costa apresentam comportamento diferenciado. As correntes paralelas à costa (Figura 6.17) apresentaram variabilidade pelo menos 2 vezes maior do que à observada para as correntes perpendiculares à costa, e um grande cisalhamento vertical, com intensidades médias que variaram entre $-22,4 \text{ cm s}^{-1}$ na superfície e $-4,7 \text{ cm s}^{-1}$ próximo ao fundo (Tabela 6.8). No entanto, na maioria dos casos, este cisalhamento não foi suficiente para reverter a direção das correntes ao longo da coluna de água. Este comportamento pode estar relacionado ao fato de que em águas rasas, as camadas de Ekman de superfície e fundo podem se sobrepor, e a rotação anti-horária da camada superficial pode vir a cancelar a rotação horária da camada de fundo, no caso do hemisfério sul, resultando em correntes que fluem predominantemente na direção do vento (Wong, 1999).

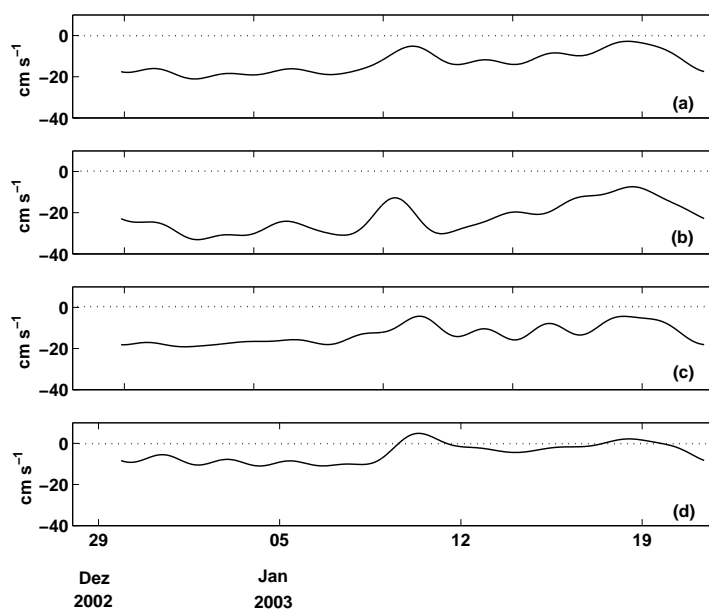


Figura 6.17: Série temporal das correntes sub-inerciais paralelas à costa observadas no ponto ADP (Figura 5.1) durante o período seco. As correntes estão orientadas em relação ao eixo principal, sendo apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao norte.

Durante este período, os coeficientes de correlação entre os componentes paralelos à costa das correntes e do vento, foram de 0,90 para as correntes superficiais e de 0,77 para as correntes próximas ao fundo. Este comportamento sugere que o vento é mais efetivo na geração das correntes na região do ponto ADP, localizado na plataforma média, do que no ponto ACM2, localizado na plataforma interna, comportamento similar ao observado por Wong (1999). Por outro lado, este resultado sugere que as correntes próximas ao fundo não seguem preferencialmente a direção do vento, como resultado da rotação das correntes ao longo da coluna de água, de acordo com a dinâmica de Ekman.

O comportamento das correntes perpendiculares à costa (Figura 6.18), apresenta uma tendência de um transporte na superfície em direção ao oceano, com intensidade média de $1,6 \text{ cm s}^{-1}$, ser balanceado por um transporte em direção à costa nas camadas inferiores, com intensidade média de $-2,3 \text{ cm s}^{-1}$ próximo ao fundo (Tabela 6.8). Este comportamento influencia a corrente integrada na coluna d'água, que apresenta intensidade média próxima a zero e desvio-padrão inferior ao observado ao longo da coluna de água, comportamento similar ao observado por Lentz (1994) na porção norte da plataforma continental da Califórnia.

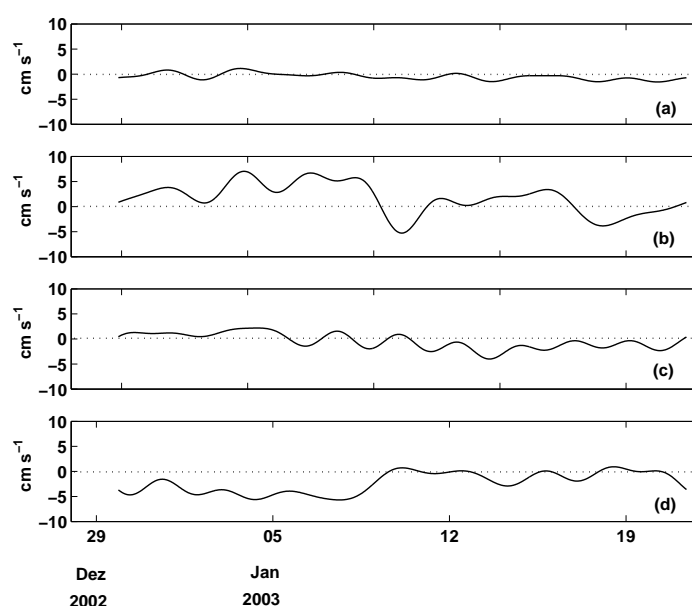


Figura 6.18: Análogo à Figura 6.17, porém para a série temporal das correntes sub-inerciais perpendiculares à costa. Valores positivos são em direção ao oceano.

Na frequência supra-inercial, a influência das correntes de maré previstas para ponto ADP (Figura 6.19), é mais importante do que na região do ponto ACM2. Ao contrário do ponto ACM2, onde o componente perpendicular à costa é o preferencial para atuação da maré, no ponto ADP a contribuição da maré é similar em ambos componentes, com explicação da variabilidade entre superfície e fundo de 45% a 75%, atingindo um valor máximo de 89% para o componente perpendicular à costa da corrente barotrópica (Tabela 6.9).

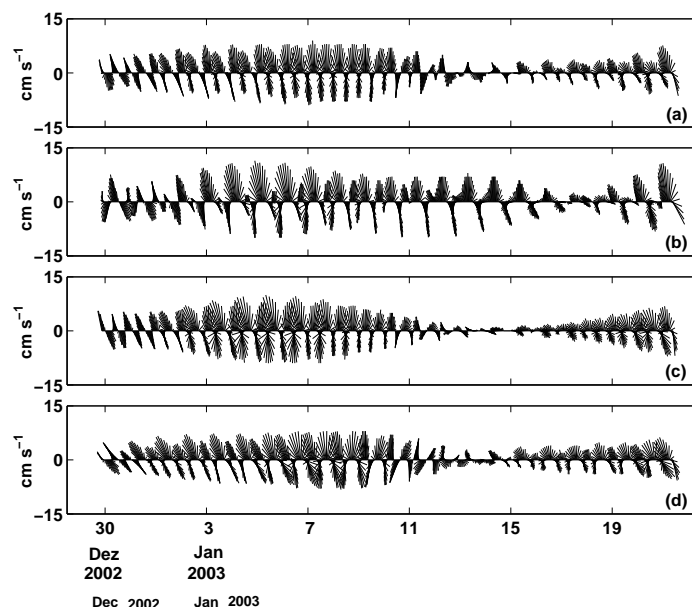


Figura 6.19: Série temporal de correntes de maré previstas para o ponto ADP (Figura 5.1) durante o período seco. São apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 4° em relação ao norte verdadeiro.

Como resultado do comportamento das correntes observado no ponto ADP, as correntes residuais fluíram preferencialmente para S ao longo da coluna de água (Figura 6.13), apesar do intenso cisalhamento vertical, e as elipses dos principais componentes de maré (M_2 e S_2) estiveram alinhadas preferencialmente paralelas à costa (Figura 6.12), com diferença máxima de alinhamento de 17° para o componente S_2 (superfície e meia água). Ambas apresentaram pequena excentricidade (Tabela 6.10).

Os números de forma obtidos em função da relação entre os principais componentes de maré no ponto ADP (Tabela 6.10), classificam as correntes de maré entre superfície ($N_f=0,52$) e fundo ($N_f=0,26$) como mistas com predominância semi-diurna. No entanto, se considerarmos a corrente barotrópica, as correntes de maré apresentam modulação semi-diurna ($N_f=0,18$).

Análise dos dados obtidos durante o período chuvoso

As correntes observadas no ponto ACM1, localizado na entrada da BC, durante este período (Figura 6.20 e Tabela 6.11), apresentaram comportamento similar ao observado durante o período seco (Tabela 6.7). Para as correntes paralelas ao canal, a variabilidade observada foi similar, no entanto, o valor médio de $2,7 \text{ cm s}^{-1}$ foi cerca de 50% menor. A máxima velocidade observada foi em direção ao oceano, atingindo intensidade de $84,0 \text{ cm s}^{-1}$. As correntes normais ao canal também apresentaram intensidade média similar à observada no período seco, no entanto, a variabilidade neste período foi menor. Este comportamento corrobora o observado anteriormente, onde as correntes paralelas ao canal são mais efetivas e preferencialmente de vazante.

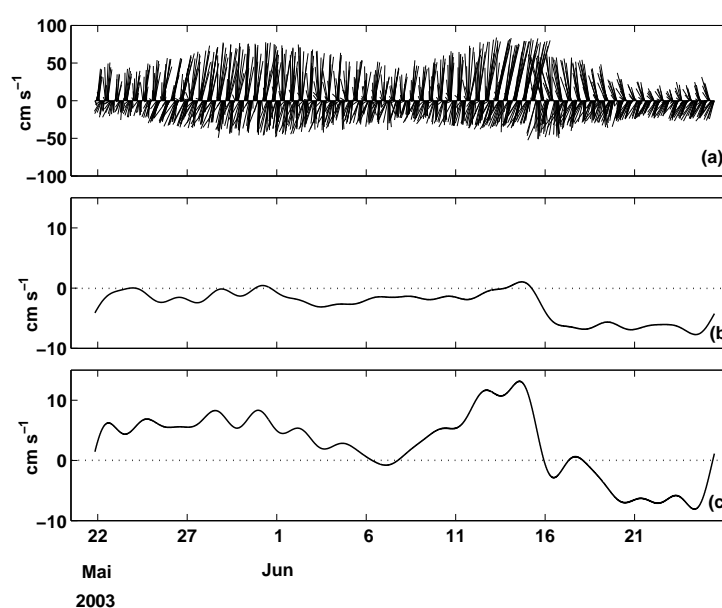


Figura 6.20: Série temporal (a) das correntes observadas a 5 m da superfície no ponto ACM1 (Figura 5.1) durante o período chuvoso. Componentes sub-inerciais (b) perpendicular ao canal e (c) paralelo ao canal. Valores positivos são em direção ao oceano e à Ponta do Mutá. O eixo principal está orientado em 85° em relação ao norte verdadeiro.

O padrão de distribuição para as bandas supra e sub-inerciais no ponto ACM1, apresentou o mesmo comportamento observado no período seco. As forçantes supra-inerciais foram as mais importantes para a geração das correntes nesta região, sendo responsáveis principalmente pela alta variabilidade das correntes paralelas ao canal (Tabela 6.12), explicando 97% desta variabilidade (Tabela 6.13). As correntes de maré para este período (Figura 6.21) foram mais efetivas para a geração das correntes do que o observado no período seco, respondendo por 99% e 57% da variabilidade das correntes paralelas e perpendiculares ao canal (Tabela 6.13), respectivamente.

Tabela 6.11: Estatística das correntes observadas durante o período chuvoso (Tabela 5.2), nos seus componentes paralelo à costa/canal e perpendicular à costa/canal. As velocidades estão orientadas em relação ao eixo principal, rotacionado em sentido horário em relação ao norte verdadeiro. As velocidades nos pontos ACM1 e ACM2 foram obtidas a 5 m da superfície e no ponto ADP entre 4 m e 40 m da superfície, sendo apresentadas as intensidades à 5 m (S), 22 m(M), 40 m (F) e integrada ao longo da coluna d'água (I). As velocidades máximas durante o período de monitoramento também são apresentadas. σ representa o valor de um desvio-padrão.

Local		Velocidade observada				Eixo principal
		Componente paralelo		Componente perpendicular		
		Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Máxima (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Máxima (cm s ⁻¹)	
ACM1		2,7 \pm 33,9	84,0	-2,7 \pm 6,8	-28,1	85
ACM2		13,4 \pm 13,6	46,5	-3,5 \pm 4,7	-17,3	13
ADP	S	15,3 \pm 18,1	59,3	3,3 \pm 7,0	32,3	4
	M	5,4 \pm 14,8	41,2	-0,1 \pm 5,3	17,7	4
	F	1,5 \pm 9,6	27,3	-0,9 \pm 5,3	-15,4	4
	I	6,8 \pm 13,1	37,8	0,3 \pm 3,2	11,0	4

Tabela 6.12: Estatística das correntes supra-inerciais e sub-inerciais durante o período chuvoso, nos seus componentes paralelo e perpendicular à costa/canal e para os pontos apresentados na Tabela 6.11. σ representa o valor de um desvio-padrão. Para o componente supra-inercial só são apresentados os valores de σ .

Local		Corrente supra-inercial		Corrente sub-inercial	
		Paralela	Perpendicular	Paralela	Perpendicular
		$\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	$\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)	Média $\pm\sigma$ (cm s ⁻¹)
ACM1		33,4	6,6	2,7 \pm 5,4	-2,7 \pm 2,4
ACM2		4,9	3,7	13,4 \pm 12,7	-3,5 \pm 3,0
ADP	S	7,9	5,7	15,3 \pm 16,3	3,3 \pm 4,0
	M	4,9	4,1	5,4 \pm 14,0	-0,1 \pm 3,5
	F	4,0	4,3	1,5 \pm 8,7	-0,9 \pm 3,1
	I	3,4	2,6	6,7 \pm 12,7	0,3 \pm 1,8

Tabela 6.13: Explicação do percentual de variabilidade entre as bandas supra-inercial e sub-inercial (Tabela 6.12) e as correntes observadas (Tabela 6.11) durante o período chuvoso, para os componentes paralelo e perpendicular à costa/canal. Em parênteses o percentual de explicação da variabilidade em função das correntes de maré.

Local	Corrente supra-inercial		Corrente sub-inercial		
	Paralela (%)	Perpendicular (%)	Paralela (%)	Perpendicular (%)	
ACM1	97,5 (98,6)	87,5 (57,3)	2,5	12,0	
ACM2	12,9 (16,9)	60,0 (46,2)	87,1	40,1	
ADP	S	19,2 (33,8)	66,9 (41,3)	80,1	33,1
	M	11,1 (18,7)	59,4 (35,3)	88,9	40,6
	F	17,9 (23,8)	64,9 (27,2)	82,1	35,1
	I	6,6 (36,1)	67,6 (69,5)	93,4	34,0

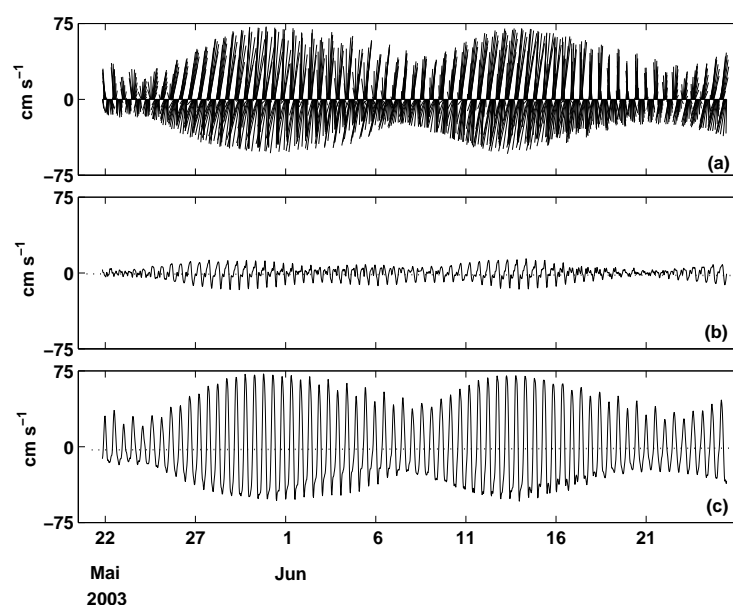


Figura 6.21: Série temporal (a) de correntes de maré previstas a 5 m da superfície para o ponto ACM1 durante o período chuvoso e seus componentes (a) perpendicular ao canal e (c) paralelo ao canal. Valores positivos são em direção ao oceano e à Ponta do Mutá. O eixo principal está orientado em 85° em relação ao norte verdadeiro.

O número de forma obtido em função dos principais componentes harmônicos de maré (Tabela 6.14), aponta novamente esta região como forçada por maré semi-diurna ($N_f=0,06$). As elipses dos principais componentes de maré (M_2 e S_2), ficaram alinhadas na direção do canal principal (Figura 6.22), e apresentaram comportamento similar ao observado no período seco, com exceção da amplitude do componente S_2 que foi cerca de 26% maior (Tabela 6.14).

Tabela 6.14: Principais componentes harmônicos de maré para as séries de correntes a 5 m da superfície nos pontos ACM1 e ACM2 e para as séries de correntes à 5 m (S), 22 m(M), 40 m (F) e integrada ao longo da coluna d'água (I) no ponto ADP, durante o período chuvoso. M e m representam, respectivamente, as amplitudes (cm s^{-1}) para os eixos maior e menor das elipses, G é a fase em relação ao meridiano de Greenwich e θ é a orientação do eixo principal em relação ao norte verdadeiro em sentido horário. O número de forma é dado pela relação $N_f = (K_1 + O_1)/(M_2 + S_2)$.

Componente		ACM1	ACM2	ADP			
				S	M	F	I
O_1	M/m	2,3/0,0	0,8/-0,1	3,6/0,3	1,2/0,4	0,6/-0,2	1,0/0,2
	$^{\circ}\text{G}/^{\circ}\theta$	235/85	103/129	343/23	167/170	291/95	166/180
K_1	M/m	1,4/-0,1	1,3/0,2	2,9/0,6	1,2/0,5	1,3/0,4	0,5/0,3
	$^{\circ}\text{G}/^{\circ}\theta$	130/95	267/156	355/52	223/9	163/81	56/173
M_2	M/m	44,5/0,0	3,1/0,1	2,8/0,4	3,2/-0,1	2,9/-0,3	3,0/-0,1
	$^{\circ}\text{G}/^{\circ}\theta$	208/90	177/118	240/87	38/76	29/72	38/76
S_2	M/m	21,4/0,1	1,9/0,2	3,1/-0,3	2,5/-0,1	2,6/-0,1	2,5/-0,2
	$^{\circ}\text{G}/^{\circ}\theta$	235/93	199/126	49/25	18,3/22	179/174	18/10
Nº Forma		0,06	0,42	1,11	0,41	0,35	0,29

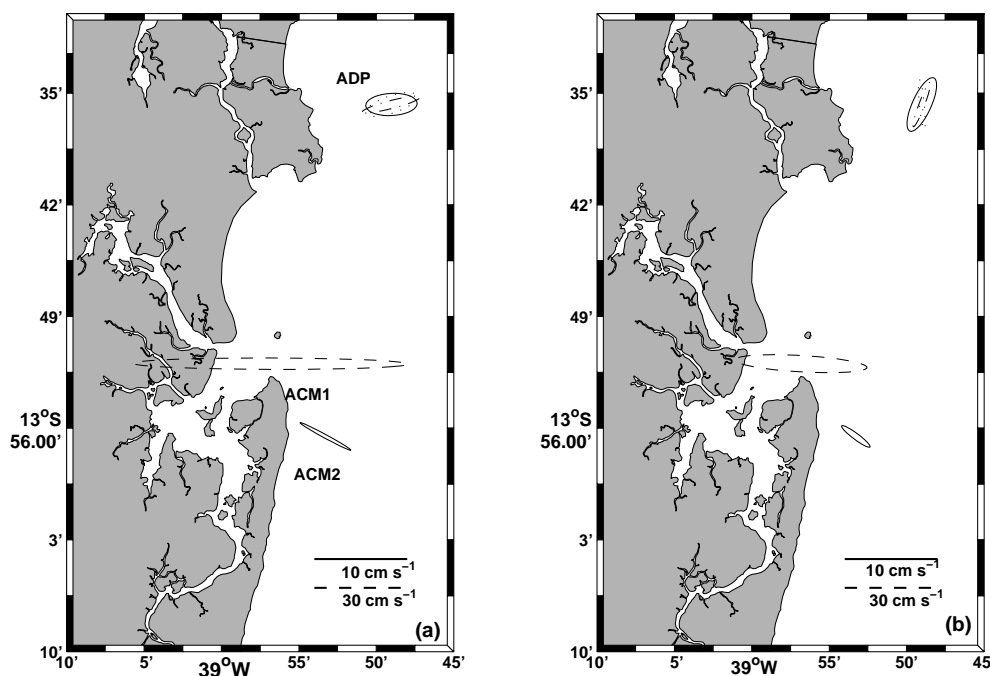


Figura 6.22: Elipses de maré para os componentes (a) M_2 e (b) S_2 , obtidos para o período chuvoso (inverno/2003).

Como observado no período seco, a maior contribuição das forçantes sub-inerciais no ponto ACM1 ocorre na composição da fraca velocidade residual das correntes paralelas ao canal, resultando em correntes residuais de vazante (Figura 6.23) com intensidade de $2,7 \text{ cm s}^{-1}$ (Tabela 6.12). Neste período, as forçantes local e remota do vento tiveram contribuição similar na geração destas correntes, com coeficientes de correlação de 0,8 e tempo de resposta médio de 50 h.

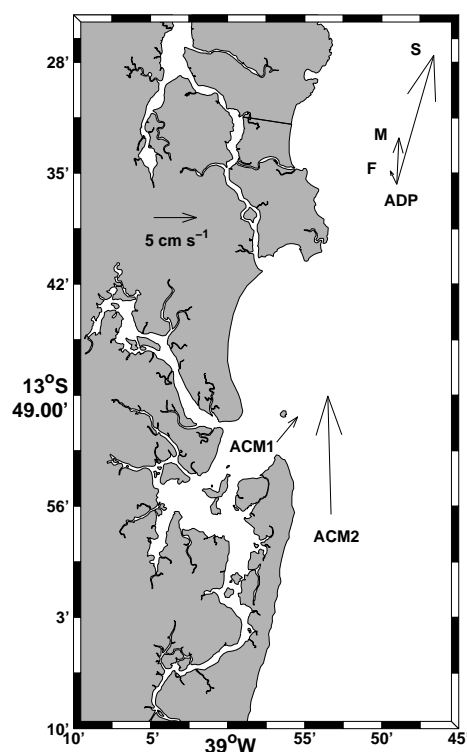


Figura 6.23: Velocidades residuais obtidas para o período chuvoso (inverno/2003). Os vetores representam as velocidades na profundidade de 5 m para os pontos ACM1 e ACM2, e para as profundidades de (S) 5 m, (M) 22 m e (F) 40 m para o ponto ADP.

As correntes observadas no ponto de monitoramento ACM2 (Figura 6.24) durante o período chuvoso, apresentaram um padrão diferente do cenário de um período seco. Neste caso, houve uma reversão das correntes, com uma circulação predominantemente para N, em virtude da maior incidência de frentes-frias durante este período, resultando na rotação dos ventos médios predominantes. Se comparado ao período seco (Tabela 6.7), a intensidade média das correntes paralelas à costa foi menor e de $13,4 \text{ cm s}^{-1}$ (Tabela 6.11). No entanto, a variabilidade das correntes foi quase o dobro da observada durante o período seco. Para as correntes perpendiculares à costa, os valores médios da velocidade, bem como a sua variabilidade, foram similares aos observados durante o período seco.

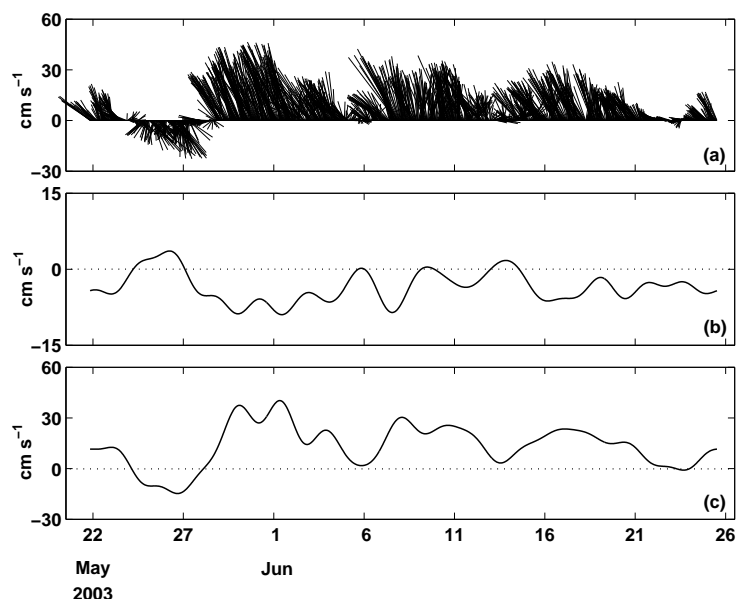


Figura 6.24: Série temporal (a) das correntes observadas a 5 m da superfície no ponto ACM2 (Figura 5.1) durante o período chuvoso. Componentes sub-inerciais (b) perpendicular à costa e (c) paralelo à costa. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 13° em relação ao norte verdadeiro.

O padrão de distribuição para as bandas supra-inercial e sub-inercial foi similar ao observado no período seco. As correntes paralelas à costa seguiram preferencialmente a direção do vento (Figura 6.3) e foram geradas principalmente por forçantes sub-inerciais, responsáveis por 87% de sua variabilidade (Tabela 6.13). Nesta banda, o componente do vento paralelo à costa foi mais efetivo durante este período, apresentando coeficiente de correlação com as correntes paralelas à costa de 0,92, com tempo de resposta médio de 29 h. Na banda supra-inercial, as correntes de maré previstas para esta região (Figura 6.25) foram responsáveis por somente 17% da variabilidade destas correntes (Tabela 6.13).

As correntes perpendiculares à costa foram mais susceptíveis às forçantes supra-inerciais, com 60% da explicação de sua variabilidade nesta banda (Tabela 6.13). No entanto, neste período as correntes de maré apresentaram uma menor contribuição para a geração destas correntes, respondendo por apenas 46% desta variabilidade. Na banda sub-inercial, o componente do vento paralelo à costa foi mais efetivo para as oscilações observadas nas correntes perpendiculares à costa do que no período seco, apresentando um coeficiente de correlação de -0,82, com tempo de resposta médio de 24 h.

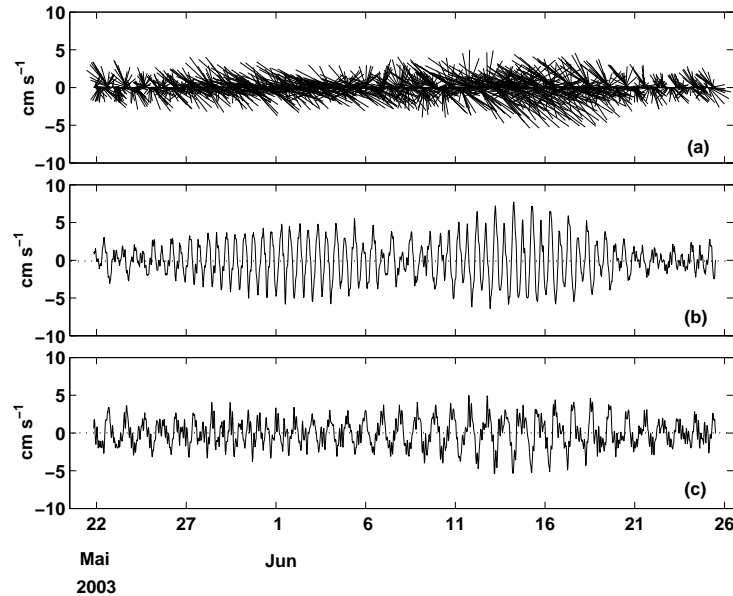


Figura 6.25: Série temporal (a) de correntes de maré previstas a 5 m da superfície para o ponto ACM2 durante o período chuvoso e seus componentes (b) perpendicular à costa e (c) paralelo à costa. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 13° em relação ao norte verdadeiro.

Em função do comportamento das correntes na região do ponto ACM2 para o período chuvoso, as correntes residuais apresentaram uma reversão em relação ao período seco e fluíram para N (Figura 6.23), com intensidade de $13,4 \text{ cm s}^{-1}$. As elipses dos principais componentes de maré (M_2 e S_2) ficaram alinhadas preferencialmente em direção à costa (Figura 6.22) e ambas apresentaram pequena excentricidade, com amplitudes de $3,1 \text{ cm s}^{-1}$ (M_2) e $1,9 \text{ cm s}^{-1}$ (S_2) (Tabela 6.14). As marés durante este período também apresentaram modulação mista com predominância semi-diurna ($N_f=0,42$)

As correntes observadas no ponto de monitoramento ADP (Figura 6.26) durante o período chuvoso, apresentaram um comportamento similar ao observado durante o período seco, com maior variabilidade das correntes paralelas à costa e com as correntes superficiais seguindo preferencialmente a direção do vento (Figura 6.3). No entanto, neste período as correntes paralelas à costa apresentaram intensidade média de $15,3 \text{ cm s}^{-1}$ (para N e cerca de 31% menor), e maior variabilidade, com desvio-padrão comparável à média. As correntes normais à costa também apresentaram grande variabilidade, com desvio-padrão de $7,0 \text{ cm s}^{-1}$ cerca de duas vezes a média (Tabela 6.11). Como observado no ponto ACM2, este comportamento pode estar associado à entrada mais constante de frentes-frias neste período.

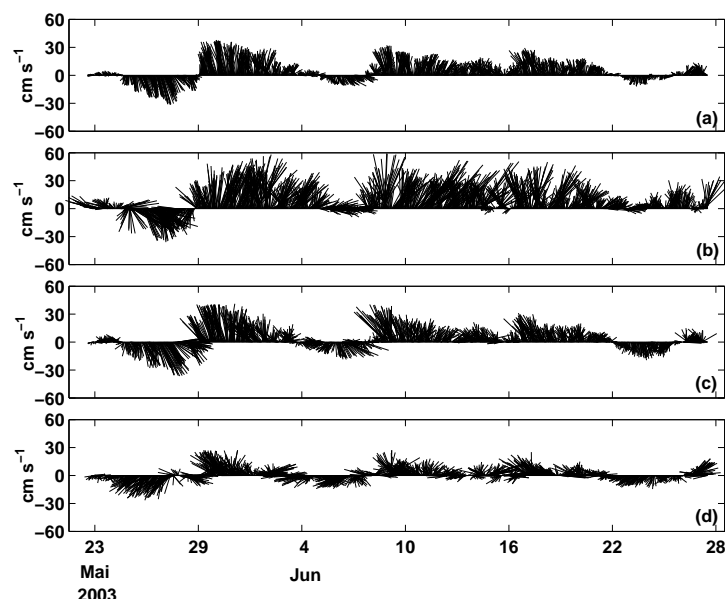


Figura 6.26: Série temporal das correntes observadas no ponto ADP (Figura 5.1) durante o período chuvoso. São apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 4° em relação ao norte verdadeiro.

As correntes paralelas à costa foram geradas principalmente por forçantes sub-inerciais, com relativa equivalência entre os percentuais de explicação da variabilidade (80% a 89% ao longo da coluna d'água), com o maior valor de 93% relacionado à componente integrada na coluna de água (Tabela 6.13). As correntes normais à costa foram mais susceptíveis às forçantes supra-inerciais, com explicação de 68% para a corrente integrada na coluna de água nesta banda.

O comportamento das correntes na banda sub-inercial, foi similar ao observado no período seco. As correntes paralelas à costa (Figura 6.27) apresentaram um intenso cisalhamento vertical. No entanto, este cisalhamento não foi suficiente para reverter as correntes médias ao longo da coluna de água, resultando em correntes que fluíram preferencialmente na direção do vento, com intensidades de $15,3 \text{ cm s}^{-1}$ na superfície e $1,5 \text{ cm s}^{-1}$ próximo ao fundo (Tabela 6.12). O período de monitoramento apresentou entretanto, episódios de reversão das correntes, capazes de inverter toda a circulação ao longo da coluna d'água. Tais reversões são atribuídas à forçantes sub-inerciais como mostra a Figura 6.27, podendo estar relacionadas à variação do campo de ventos (Figura 6.3). Os coeficientes de correlação com o componente do vento paralelo à costa, foram de 0,87 para as correntes superficiais e de 0,67 para as correntes próximas ao fundo, similares ao período seco, indicando que as correntes próximas ao fundo não seguem preferencialmente a direção do vento.

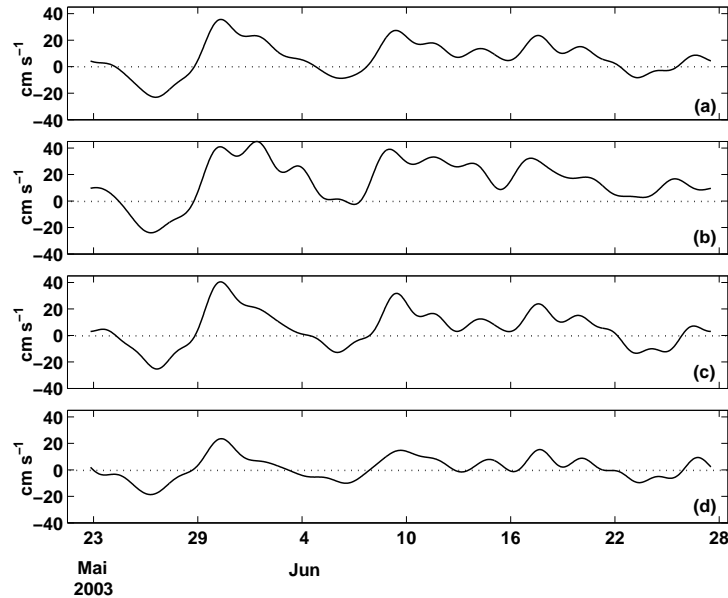


Figura 6.27: Série temporal das correntes sub-inerciais paralelas à costa observadas no ponto ADP (Figura 5.1) durante o período chuvoso. As correntes estão orientadas em relação ao eixo principal, sendo apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao norte.

As correntes perpendiculares à costa também apresentaram um padrão similar ao observado no período seco (Figura 6.28), sugerindo a tendência do transporte na superfície em direção ao oceano (intensidade média de $3,3 \text{ cm s}^{-1}$) ser balanceado por um transporte em direção à costa próximo ao fundo (intensidade média de $-0,9 \text{ cm s}^{-1}$). Este comportamento novamente influenciou a corrente integrada na coluna d'água, que apresentou desvio-padrão inferior ao observado ao longo da coluna d'água (Tabela 6.12).

Na banda supra-inercial, as correntes de maré no ponto ADP (Figura 6.29) apresentaram maior contribuição para a geração das correntes perpendiculares à costa. No entanto, para este período a atuação desta forçante foi menor, com o percentual de explicação da variabilidade entre superfície e fundo variando entre 41% e 27% (Tabela 6.13).

Da mesma forma que observado para o ponto ACM2, as correntes residuais no ponto ADP sofreram uma reversão ao longo da coluna de água e fluíram para N (Figura 6.23). Para este período as elipses dos principais componentes de maré apresentaram atuação diferenciada em relação ao período seco, com o alinhamento do componente M_2 preferencialmente em direção à costa e do S_2 paralelo à costa (Figura 6.12). Ambas apresentaram pequena excentricidade e amplitudes similares ao longo da coluna de água (Tabela 6.14). Os números de forma obtidos pela relação entre os principais componentes de maré obtidos para o ponto ADP, classificam as correntes de maré entre superfície e fundo como mistas com predominância semi-diurna.

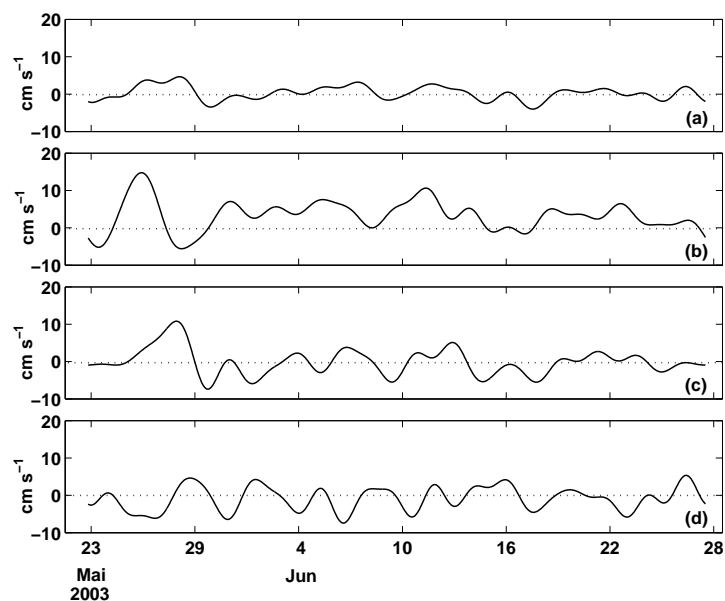


Figura 6.28: Análogo à Figura 6.27, porém para a série temporal das correntes sub-inerciais perpendiculares à costa. Valores positivos são em direção ao oceano.

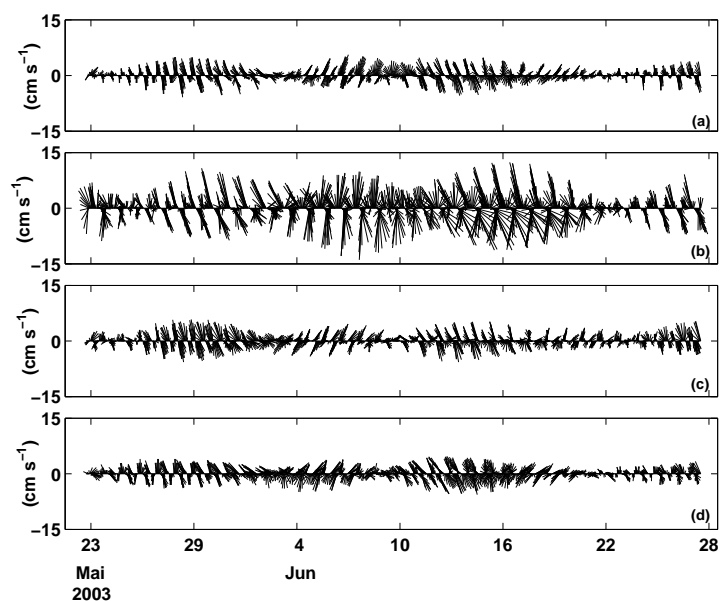


Figura 6.29: Série temporal de correntes de maré previstas para o ponto ADP (Figura 5.1) durante o período chuvoso. São apresentadas as correntes (a) integradas ao longo da coluna d'água e nas profundidades de (b) 5 m, (c) 22 m e (d) 40 m. Valores positivos são em direção ao oceano e ao norte. O eixo principal está orientado em 4° em relação ao norte verdadeiro.

6.1.3.2 Estrutura Termohalina

A metodologia utilizada para o tratamento inicial dos dados termohalinos adquiridos nos pontos de monitoramento ACM1, ACM2 e ADP, está descrita na seção 5.1.1 deste trabalho. A análise destes dados será apresentada a seguir.

Análise dos dados obtidos durante o período seco

Durante os três monitoramentos realizados no ponto ACM1, localizado na entrada da BC, os valores médios de temperatura e salinidade foram similares (Tabela 6.15). A salinidade apresentou valores no entorno de 37 e a estratificação vertical média variou entre 0,1 e 0,2. Apesar da temperatura média ter variado no entorno de 27°C, a estratificação vertical média apresentou uma variação significativa, atingindo valores de 0,7°C e 1,1°C.

Tabela 6.15: Módulo da estratificação vertical média de salinidade (ΔS) e temperatura (ΔT), e valores médios de salinidade (\bar{S}) e temperatura (\bar{T}), ao longo dos monitoramentos realizados no período seco (Tabela 5.1). As profundidades médias locais e as alturas de maré para os períodos de monitoramento são apresentadas.

Local	Data	ΔS	\bar{S}	ΔT (°C)	\bar{T}	Profundidade (m)	Altura de maré (cm)
ACM1	16/12/2002	0,2	37,3	1,1	27,5	17,5	149
	27/12/2002	0,2	37,3	0,7	27,2	19,0	142
	15/01/2003	0,1	37,4	0,7	27,6	18,2	158
ACM2	16/12/2002	0,2	37,7	2,7	25,3	25,2	149
	27/12/2002	0,2	37,6	1,3	26,0	26,1	142
	15/01/2003	0,1	37,7	2,6	25,8	26,0	158
ADP	29/12/2002	0,1	37,6	1,2	25,9	41,9	149
	16/01/2003	0,1	37,6	2,3	25,9	43,3	178

A análise da variação temporal da estrutura termohalina no ponto ACM1 (Figura 6.30), mostra que as maiores temperatura ocorrem em superfície e estão associadas aos períodos de maré vazante, com valores máximos de 29°C ocorrendo em núcleos de sub-superfície cerca de uma hora após a baixa-mar (Figura 6.30e). Os menores valores de temperatura são encontrados próximos ao fundo e atingem um mínimo de 26°C na preamar (Figura 6.30a).

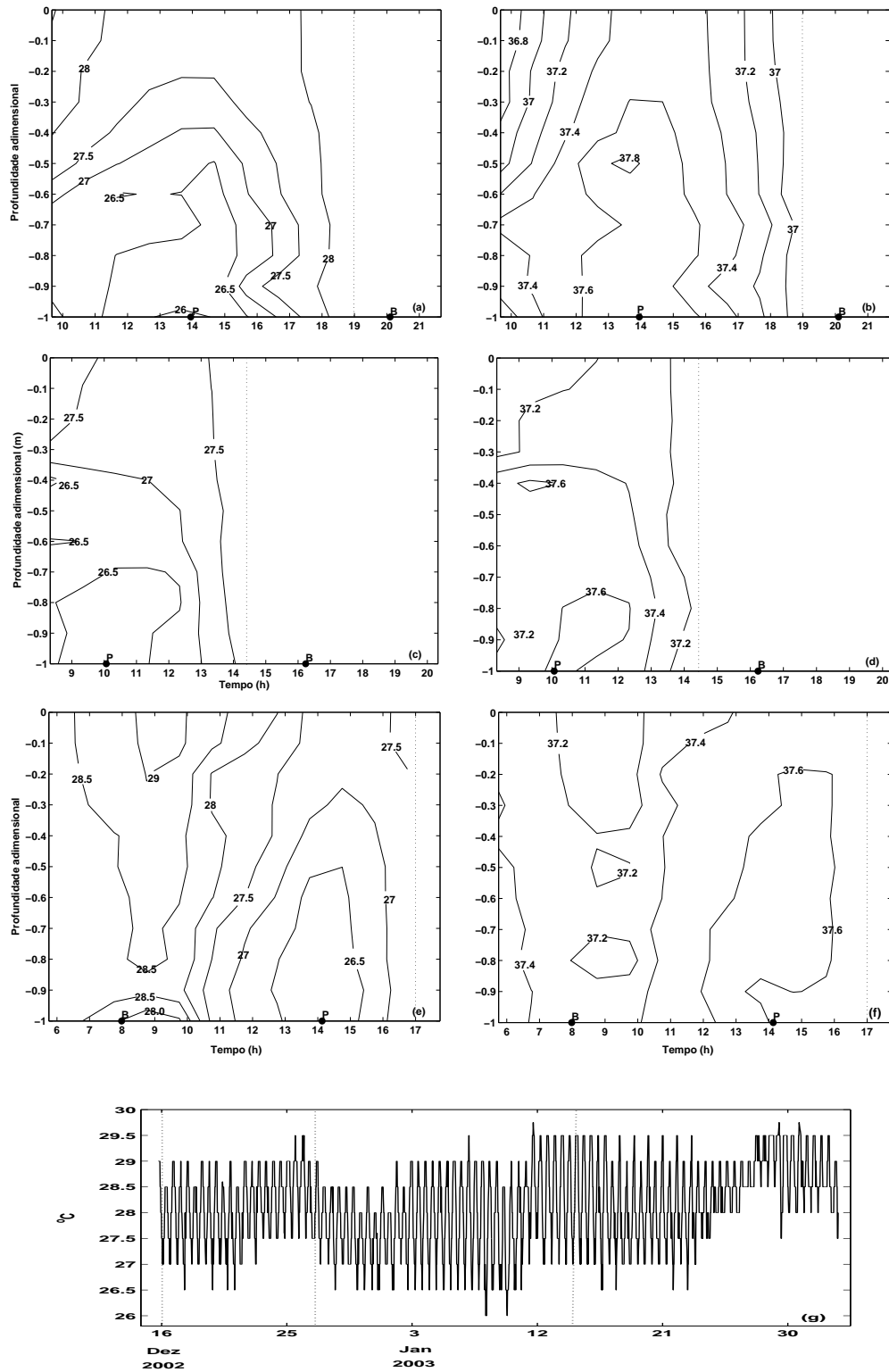


Figura 6.30: Variação vertical horária de temperatura (painéis à esquerda) e salinidade (painéis à direita) no ponto ACM1 durante o período seco, para os dias (a,b) 16/12/2002, (c,d) 27/12/2002 e (e,f) 15/01/2003 (Tabela 5.1). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam o início e/ou fim dos monitoramentos. (g) A variação de temperatura a 5 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

Quando a salinidade é analisada em conjunto com a temperatura no ponto ACM1, observa-se que existe uma correlação negativa entre ambas. Os menores valores de salinidade são observados em superfície, atingindo um mínimo de 36,8 próximo à baixamar. As águas mais salinas ocorrem nos períodos de maré enchente e atingem um máximo de 37,8 durante a preamar, quando tendem a ocupar toda a coluna de água, favorecendo o aumento da salinidade em superfície (Figura 6.30b).

Em todos os perfis analisados para o ponto ACM1, as situações onde houve maior estratificação vertical estiveram associadas às estofas de preamar ou baixa-mar, quando as velocidades são menos intensas. Por outro lado, as situações mais homogêneas foram observadas entre preamar e baixa-mar e durante os máximos de velocidade, que promovem a mistura da coluna de água (Figura 6.30).

A variação temporal da temperatura registrada na profundidade de 5 m (Figura 6.30g) mostra que as oscilações supra-inerciais são similares em magnitude ($\pm 1^\circ\text{C}$) às variações sub-inerciais.

Para o ponto ACM2, localizado na plataforma interna adjacente à BC, a salinidade média foi de 37,7 e apresentou pequena estratificação vertical, com variação máxima entre superfície e fundo de 0,2 (Tabela 6.15). A variação temporal de salinidade ao longo dos monitoramentos apresentou uma grande homogeneidade vertical, razão pela qual as figuras não foram incluídas no trabalho, atingindo valores mínimos de 37,4 na superfície.

Para este ponto, a temperatura foi mais variável do que a salinidade, atingindo valores médios entre $25,3^\circ\text{C}$ e 26°C , com variação vertical média entre $1,3^\circ\text{C}$ e $2,7^\circ\text{C}$ durante os monitoramentos (Tabela 6.15). A variação horária de temperatura apresentou estratificação vertical máxima nos eventos de maré vazante, quando a diferença entre superfície e fundo foi de até 3°C . As menores (maiores) temperaturas ocorreram próximo ao fundo (superfície), atingindo valores mínimos (máximos) de 24°C ($27,5^\circ\text{C}$) (Figura 6.31).

A variação temporal da temperatura registrada no ponto ACM2 a 5 m da superfície (Figura 6.31c), mostra que as oscilações que ocorrem na banda supra-inercial são inferiores às variações sub-inerciais, que podem elevar a temperatura em mais de 2°C durante um intervalo inferior a um mês.

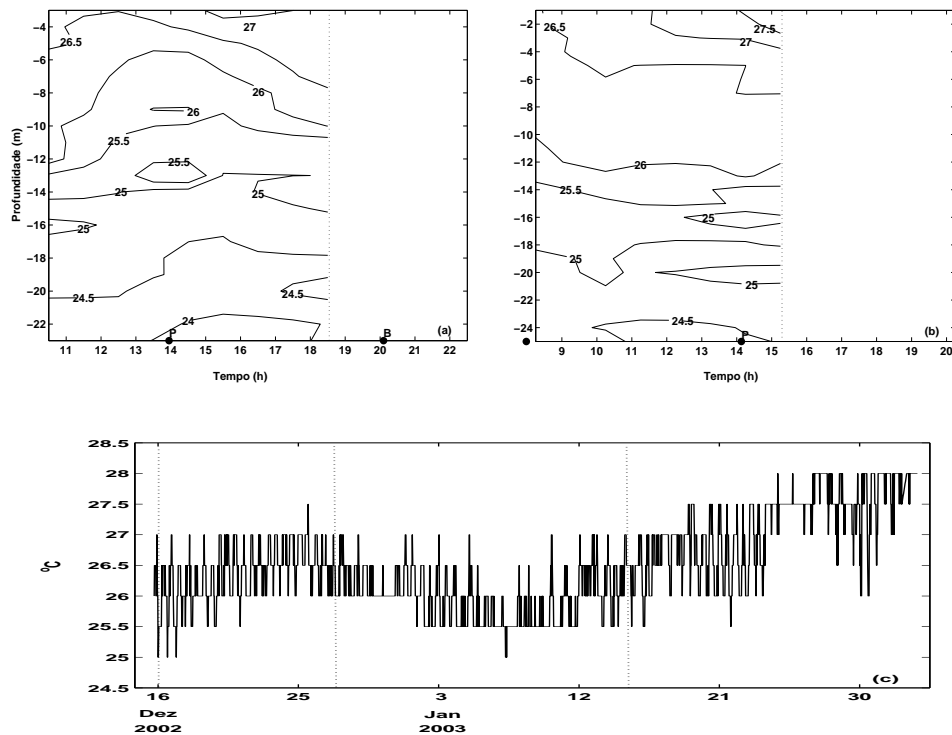


Figura 6.31: Variação vertical horária de temperatura no ponto ACM2 durante o período seco, para os dias (a) 16/12/2002 e (b) 15/01/2003 (Tabela 5.1). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam o início e/ou fim dos monitoramentos. (c) A variação de temperatura a 5 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

O comportamento da estrutura termohalina observado no ponto de monitoramento ADP, localizado na plataforma média adjacente à BC, apresentou algumas similaridades com o comportamento observado no ponto ACM2. A salinidade apresentou valor médio de 37,6 e pequena estratificação vertical, com variação média entre superfície e fundo de 0,1 (Tabela 6.15). A salinidade não apresentou variação horária significativa.

A temperatura média no ponto ADP foi de 25,9°C e apresentou estratificação vertical média entre superfície e fundo de até 2,3°C (Tabela 6.15). A estrutura vertical de temperatura também não apresentou variação horária significativa. As maiores temperaturas ocorreram em superfície, atingindo valor máximo de 27,5°C, quando foi observado a maior estratificação vertical de 2,5°C (Figura 6.32b).

A Figura 6.32c apresenta a variação temporal da temperatura no ponto ADP a 8 m da superfície e mostra que as oscilações com frequência supra-inercial são similares em magnitude ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) às variações mais lentas que ocorrem na frequência sub-inercial.

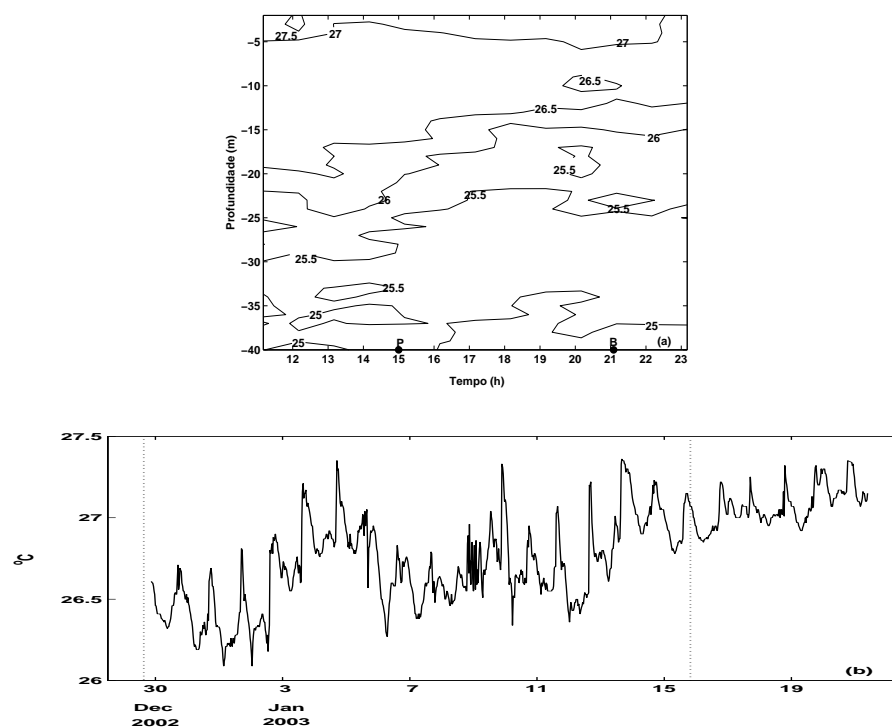


Figura 6.32: Variação vertical horária de temperatura no ponto ADP durante o período seco, para o dia (a) 16/01/2003 (Tabela 5.1). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. (b) A variação de temperatura a 8 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

Análise dos dados obtidos durante o período chuvoso

Durante o período chuvoso, o comportamento da estrutura termohalina observado ao longo de três situações distintas como mostra a Tabela 6.16, sofreu influência dos altos índices pluviométricos observados entre os dias 16 de maio e 12 de junho, que atingiram picos diários de até 47,3 mm, cerca de seis vezes maior que a pluviometria média observada para os dois meses, de 7,1 mm (Figura 6.33).

Para o ponto ACM1, a salinidade média observada variou entre 36,3 e 35,6, apresentando estratificação vertical média entre 0,1 e 0,8 (Tabela 6.16). A temperatura média variou entre 27,4°C e 26,1°C, no entanto as variações verticais médias atingiram valores inferiores a 0,1°C (Tabela 6.16). Os valores máximos de salinidade e temperatura coincidiram com o período anterior à entrada das chuvas mais intensas.

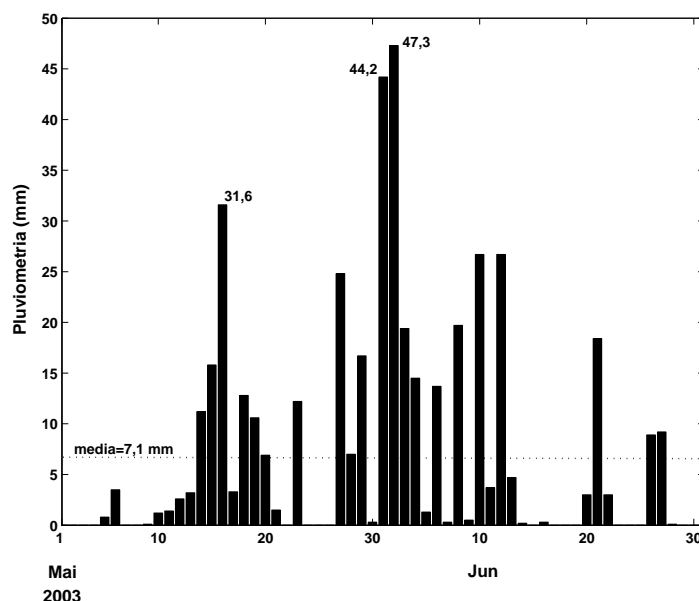


Figura 6.33: Comportamento pluviométrico observado durante o período chuvoso, de acordo com os dados disponíveis pelo posto pluviométrico de Ituberá (ANA, 2005). As barras verticais representam a quantidade de chuva (mm) acumulada em 24h.

Tabela 6.16: Análogo à Tabela 6.15, porém para o período chuvoso

Local	Data	ΔS	\bar{S}	ΔT	\bar{T}	Profundidade (m)	Altura de maré (cm)
				(°C)			
ACM1	26/05/2003	0,5	36,3	0,1	27,4	15,5	144
	11/06/2003	0,1	35,6	0,0	26,1	15,0	196
	23/06/2003	0,8	36,2	0,0	26,5	15,6	108
ACM2	26/05/2003	1,8	37,6	0,1	27,4	27,0	144
	11/06/2003	1,3	36,8	0,6	26,4	27,6	196
	23/06/2003	0,5	36,9	0,0	26,5	29,9	108
ADP	27/05/2003	1,3	37,6	1,2	27,3	42,1	156
	12/06/2003	0,3	37,1	0,2	26,6	42,2	205
	22/06/2003	0,4	37,0	0,1	26,5	43,5	108

A influência das chuvas no ponto ACM1 também pôde ser observada na variação horária da estrutura termohalina (Figura 6.34), ficando mais evidente nas variações observadas para as estruturas verticais de salinidade. A estrutura vertical de temperatura apresentou grande homogeneidade, com variação de $1,4^{\circ}\text{C}$ ($27,5^{\circ}\text{C}$ - $26,1^{\circ}\text{C}$) entre os períodos monitorados. A variação de temperatura entre os monitoramentos está provavelmente associada à ocorrência de chuvas, uma vez que para esta época do ano, as águas continentais são mais frias do que as oceânicas.

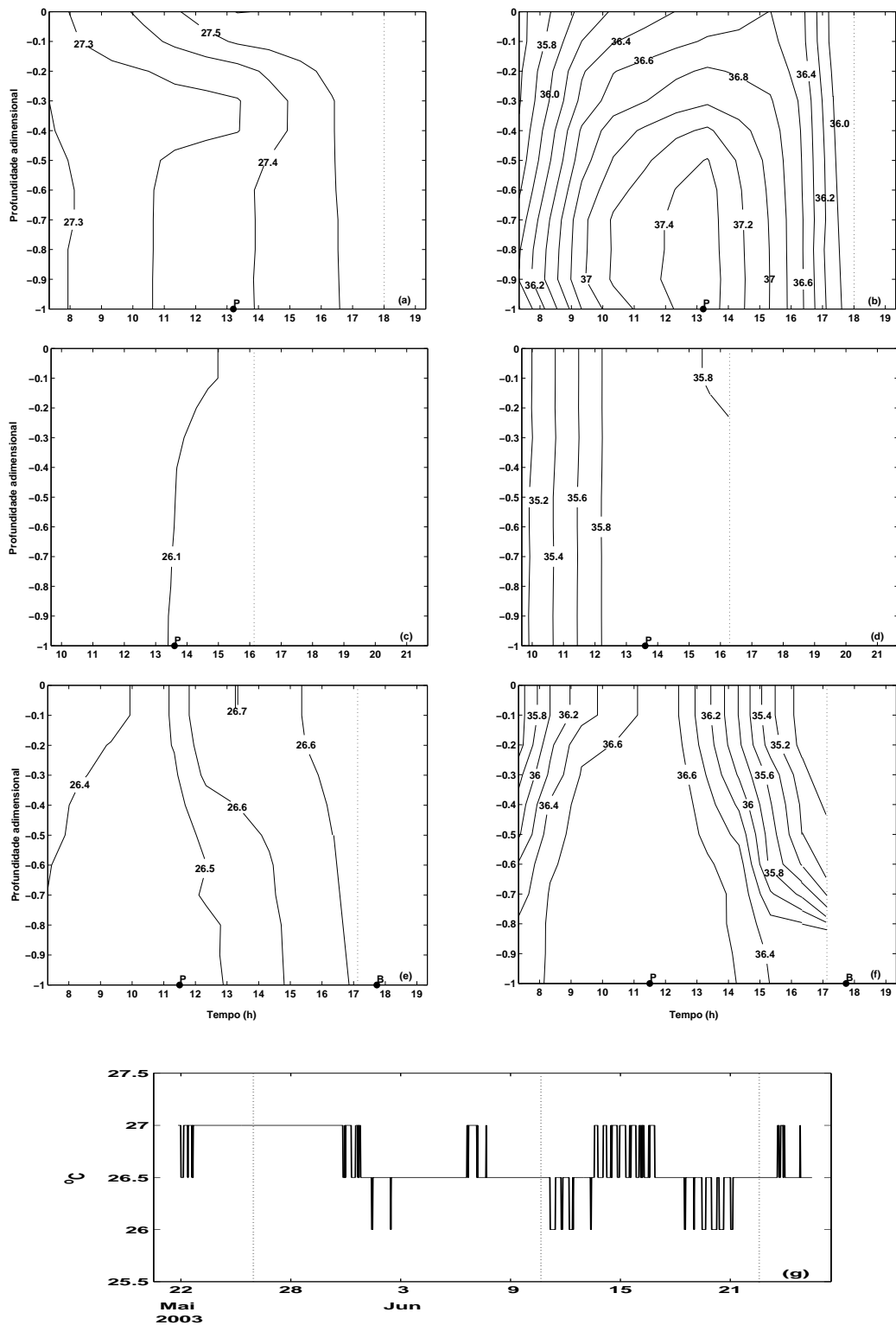


Figura 6.34: Variação vertical horária de temperatura (painéis à esquerda) e salinidade (painéis à direita) no ponto ACM1 durante o período chuvoso, para os dias (a,b) 26/05/2003, (c,d) 11/06/2003 e (e,f) 23/06/2003 (Tabela 5.2). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam o início e/ou fim dos monitoramentos. (g) A variação de temperatura a 5 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

A estrutura de salinidade observada no dia 26/05 (Figura 6.34b), anterior à entrada das chuvas mais intensas, apresentou características mais oceânicas. Para este dia, a máxima variação horizontal de salinidade foi de 1,0. Os maiores valores (até 37,4) foram observados nas camadas inferiores e associados aos eventos de preamar, quando ocorreu a máxima estratificação vertical, e os menores valores (até 35,6) estiveram associados à baixamar, quando a estrutura vertical apresentou maior mistura.

A estrutura vertical de salinidade observada para o ponto ACM1 no dia 11/06 (Figura 6.34d), durante o período de chuvas, apresentou grande homogeneidade vertical. A variação horizontal de salinidade foi de apenas 0,6, com o maior valor de 35,8 observado durante a preamar. O evento do dia 23/06 (Figura 6.34f) foi intermediário, com uma coluna de água passando de homogênea para moderadamente estratificada durante a baixamar, atingindo variações verticais de até 1,4 e variações horizontais em superfície de 1,6.

A variação temporal da temperatura, observada na profundidade de 5 m no ponto ACM1, em analogia ao apresentado na Tabela 6.16, mostra que tanto as oscilações que ocorrem na banda supra-inercial durante o inverno, quanto as variações mais lentas que ocorrem em escalas sub-inerciais, são muito pequenas e inferiores a 1°C.

A estrutura termohalina observada no ponto ACM2 (Figura 6.35), também sofreu influência da alta pluviosidade observada durante os períodos de monitoramento. A temperatura média apresentou uma variação de 1,0°C entre os monitoramentos (27,4°C - 26,4°C) com máxima estratificação vertical de 0,6°C (Tabela 6.16). A salinidade média esteve entre 36,8 e 37,6 e a estratificação vertical média variou entre 0,5 e 1,8.

Para uma situação mais chuvosa, a temperatura foi maior em sub-superfície, com valores de até 26,8°C ocorrendo na preamar (Figura 6.35c). A salinidade apresentou uma estratificação vertical moderada, com a maior diferença entre superfície e fundo de 1,6 associada à preamar (Figura 6.35d). Para uma situação intermediária, a temperatura apresentou grande homogeneidade, com valores no entorno de 26,5°C (Figura 6.35e) e a salinidade não apresentou variação horizontal, com estratificação vertical máxima de 0,6 (Figura 6.35f). Para uma situação de baixa pluviosidade e com presença de águas com características oceânicas próximo ao fundo (Figura 6.35b), observa-se a ocorrência de uma forte variação vertical da salinidade de até 2,4 nos primeiros 10 m da coluna d'água.

A variação temporal de temperatura registrada no ponto ACM2 a 5 m da superfície neste período, foi mais representativa que o observado no período seco. Principalmente em escalas sub-inerciais, as variações de temperatura podem ser significativas, com oscilações de até 1,5°C (Figura 6.35g).

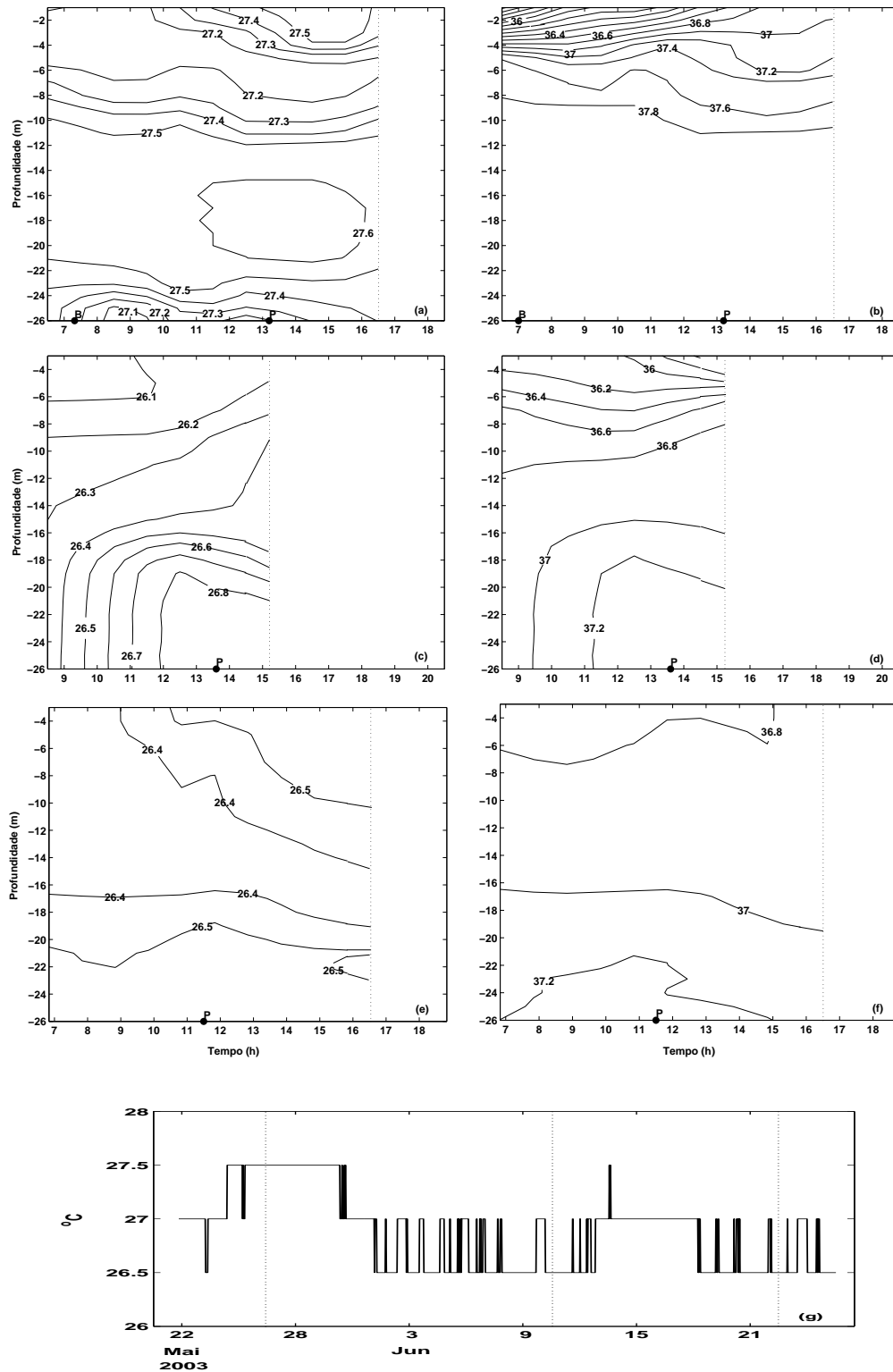


Figura 6.35: Variação vertical horária de temperatura no ponto ACM2 durante o período chuvoso seco, para os dias (a,b) 26/05/2003, (c,d) 11/06/2003 e (e,f) 23/06/2003 (Tabela 5.2). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam o início e/ou fim dos monitoramentos. (c) A variação de temperatura a 5 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

Durante os monitoramentos realizados no ponto ADP, as variações mais significativas foram observadas para a temperatura (Tabela 6.16). A salinidade média se manteve no entorno de 37,3 e a estratificação vertical média durante os monitoramentos variou entre 0,3 e 1,3. A temperatura média variou de 0,8°C durante os monitoramentos e a estratificação vertical média variou entre 0,1°C e 1,2°C.

Análogo ao observado para o ponto ACM2, para um período mais chuvoso, as maiores temperaturas foram observadas em sub-superfície (Figura 6.36c) e a salinidade apresentou pequena variação horária e estratificação vertical máxima de 0,5 (Figura 6.36d).

Para o período mais seco, as maiores temperaturas se concentraram na superfície e a variação vertical máxima foi de 1,6°C (Figura 6.36a). A salinidade apresentou uma maior estratificação vertical, com variação de até 1,6 (Figura 6.36b).

Na situação intermediária, a temperatura apresentou grande homogeneidade, com valor de 26,5°C (Figura 6.36e) e a salinidade apresentou pequena variação horizontal, com estratificação vertical máxima de 0,3 (Figura 6.36f).

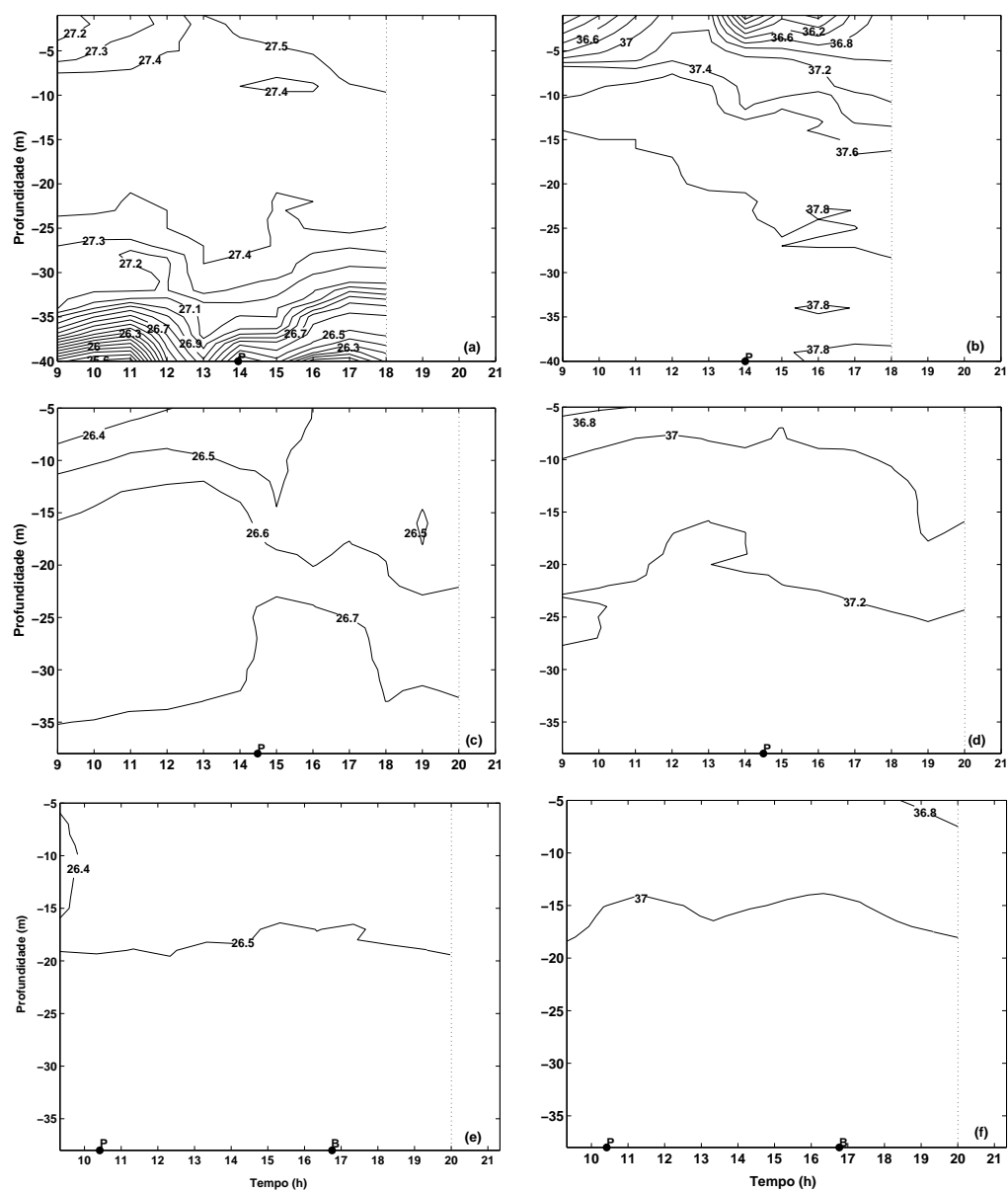


Figura 6.36: Variação vertical horária de temperatura no ponto ADP durante o período chuvoso, para o dia (a,b) 27/05/2003, (c,d) 12/06/2003 e (e,f) 22/06/2003 (Tabela 5.2). P e B indicam a ocorrência da preamar e baixamar, respectivamente. (b) A variação de temperatura a 8 m da superfície durante o período de monitoramento é apresentada. As linhas pontilhadas indicam os dias de monitoramento.

6.1.4 Região estuarina da Baía de Camamu

Esta seção apresenta a caracterização oceanográfica para o interior da BC com base nos dados coletados durante o período seco, compreendido entre 21/09/2004 e 29/09/2004, e de acordo com a Tabela 5.3.

Para avaliar a variação temporal da velocidade, foram utilizadas 3 seções transversais ao longo dos principais canais de acesso para a região da BC, como mostra a Figura 5.1. A orientação dos canais principais foi em relação ao norte verdadeiro, sendo de 35° para o rio Maraú, 62° para a Ponta do Mutá e 95° para o rio Serinhaém.

Os dados termohalinos foram coletados em estações verticais de perfilagem com CTD, localizadas em cada seção transversal de monitoramento, e ao longo de longitudinais pré-determinadas nos rios Maraú e Serinhaém durante as estofas de preamar e/ou baixamar (Figura 5.1).

Análise de acordo com os dados obtidos em situação de quadratura

Para as seções transversais realizadas no rio Maraú, as maiores velocidades foram observadas na situação de máxima vazante (Figura 6.37b), com intensidade média na seção de $0,38 \text{ m s}^{-1}$, associada a um transporte de $4.915 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.17). As maiores velocidades durante a vazante ($0,60 \text{ m s}^{-1}$), ocorreram em núcleos de superfície localizados na porção média da seção. As velocidades apresentaram uma pequena variação horizontal e um intenso cisalhamento vertical.

Na situação de máxima enchente (Figura 6.37a), a velocidade média da seção foi de $-0,32 \text{ m s}^{-1}$, associada a um transporte de $-4.091 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.17). As velocidades atingiram intensidade máxima de $-0,45 \text{ m s}^{-1}$ nas camadas superficiais e também apresentaram um intenso cisalhamento vertical. A variação lateral foi maior do que a observada durante a vazante.

As velocidades residuais (Figura 6.37c) foram preferencialmente de vazante, com intensidade máxima de $0,06 \text{ m s}^{-1}$ ocupando boa parte da porção média do perfil. A velocidade residual média da seção, com intensidades de $0,04 \text{ m s}^{-1}$, esteve associada a um transporte de $502 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.17).

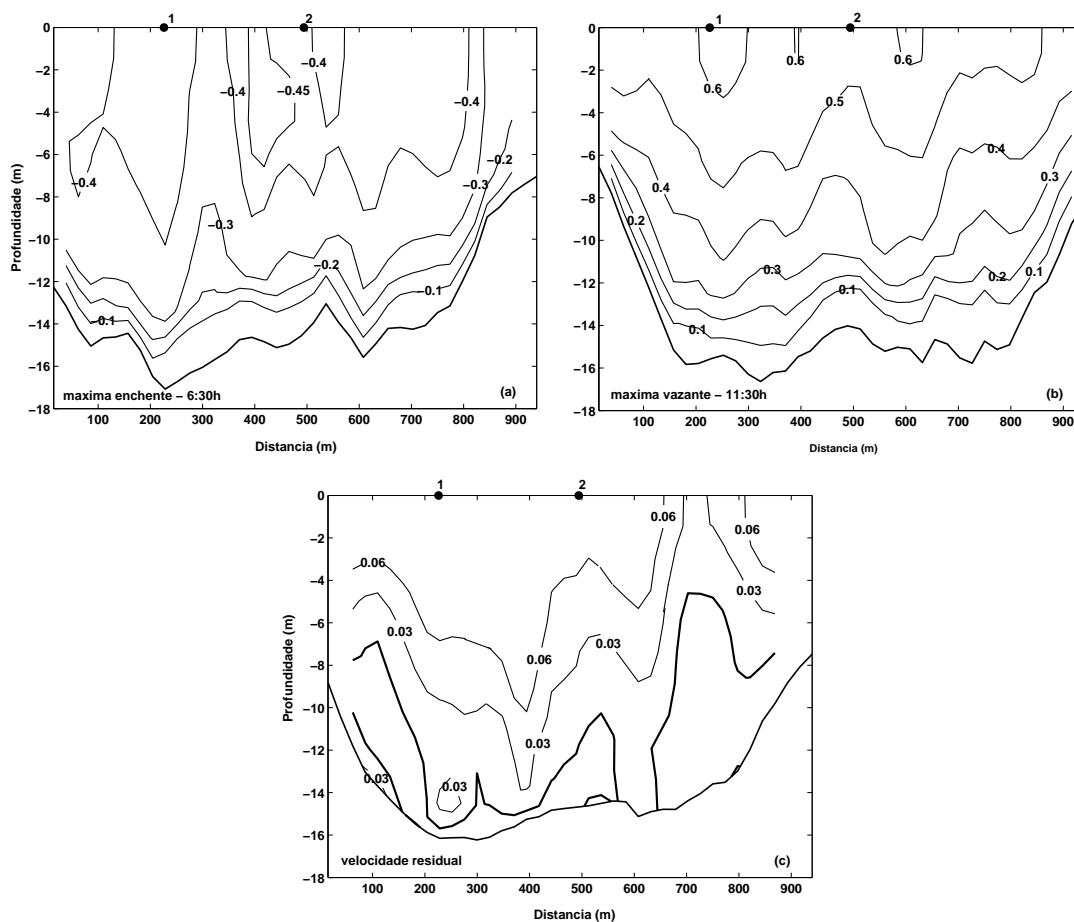


Figura 6.37: Variação da velocidade ao longo da seção transversal do rio Marau (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 21/09/2004 (entre 6:30h e 18:30h), sendo representativa de uma situação de quadratura. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em $m s^{-1}$ e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima enchente, (b) situação de máxima vazante e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD.

Tabela 6.17: Comportamento do campo de velocidade nas seções transversais localizadas na Barra do Mutá e nos rios Marau e Serinhaém durante uma situação de maré de quadratura. T_E , T_V e T_R representam, respectivamente, os transportes nas situações de máxima enchente e vazante e para o perfil de velocidades residuais. U_E , U_V e U_R representam, respectivamente, as velocidades médias para as seções nas situações de máxima enchente e vazante e para o perfil de velocidades residuais.

Seção Transversal	T_E ($m^3 s^{-1}$)	T_V ($m^3 s^{-1}$)	T_R ($m^3 s^{-1}$)	U_E ($m s^{-1}$)	U_V ($m s^{-1}$)	U_R ($m s^{-1}$)
Barra do Mutá	-9.352	8.867	-90	-0,28	0,26	-0,002
rio Marau	-4.091	4.915	502	-0,32	0,38	0,04
rio Serinhaém	-4.455	4.492	35	-0,32	0,35	0,001

Os perfis verticais médios de velocidades para as estações de CTD localizadas na seção transversal do rio maraú (Figuras 6.38a,b), apresentaram maior variabilidade horária nas camadas superficiais e uma grande homogeneidade vertical, com movimentos unidirecionais para a desembocadura do sistema, indicando que esta região possui característica típica de um estuário fracamente estratificado, forçado predominantemente pela maré (Bernardes e Miranda, 2001). As velocidades barotrópicas foram de vazante, com intensidade média de $0,06 \text{ cm s}^{-1}$ na região do CTD1.

A maior variação das velocidades durante um ciclo de maré, foi observada para o perfil do CTD1 (Figura 6.39a), com intensidade das velocidades superficiais entre $-0,48 \text{ cm s}^{-1}$ e $0,63 \text{ cm s}^{-1}$. Para os dois CTD's, as maiores velocidades ocorreram entre as estofas de enchente e vazante, quando observou-se um maior cisalhamento vertical (Figuras 6.39a,b). No momento da inversão de fluxo, as camadas superiores (inferiores) tenderam a vazar (encher) primeiramente.

A estratificação vertical de densidade foi analisada principalmente em função da salinidade, uma vez que, na maioria dos estuários de planície costeira, a densidade é função apenas da salinidade (Bernardes e Miranda, 2001). Para o rio Maraú, os perfis verticais médios de salinidade (Figuras 6.38e,f) apresentaram uma grande homogeneidade vertical, com valor médio de 35,8 e variação média entre superfície e fundo de 0,4. A temperatura apresentou valores no entorno de 26°C , com variação horária de até $0,7^\circ\text{C}$ nas camadas superiores (Figuras 6.38c,d).

Comparando as variações horárias de salinidade e velocidade, podemos observar que as menores salinidades ocorrem em superfície e estão associadas aos períodos de maré vazante (Figuras 6.39c,d), atingindo valores mínimos de 35,3 na baixamar. As maiores salinidades são encontradas nas camadas inferiores durante a maré enchente, com valores máximos de 36,5 na preamar. Entre as estofas, quando as intensidades das correntes são maiores, a estrutura vertical de salinidade apresenta-se homogênea, com valor de 35,6.

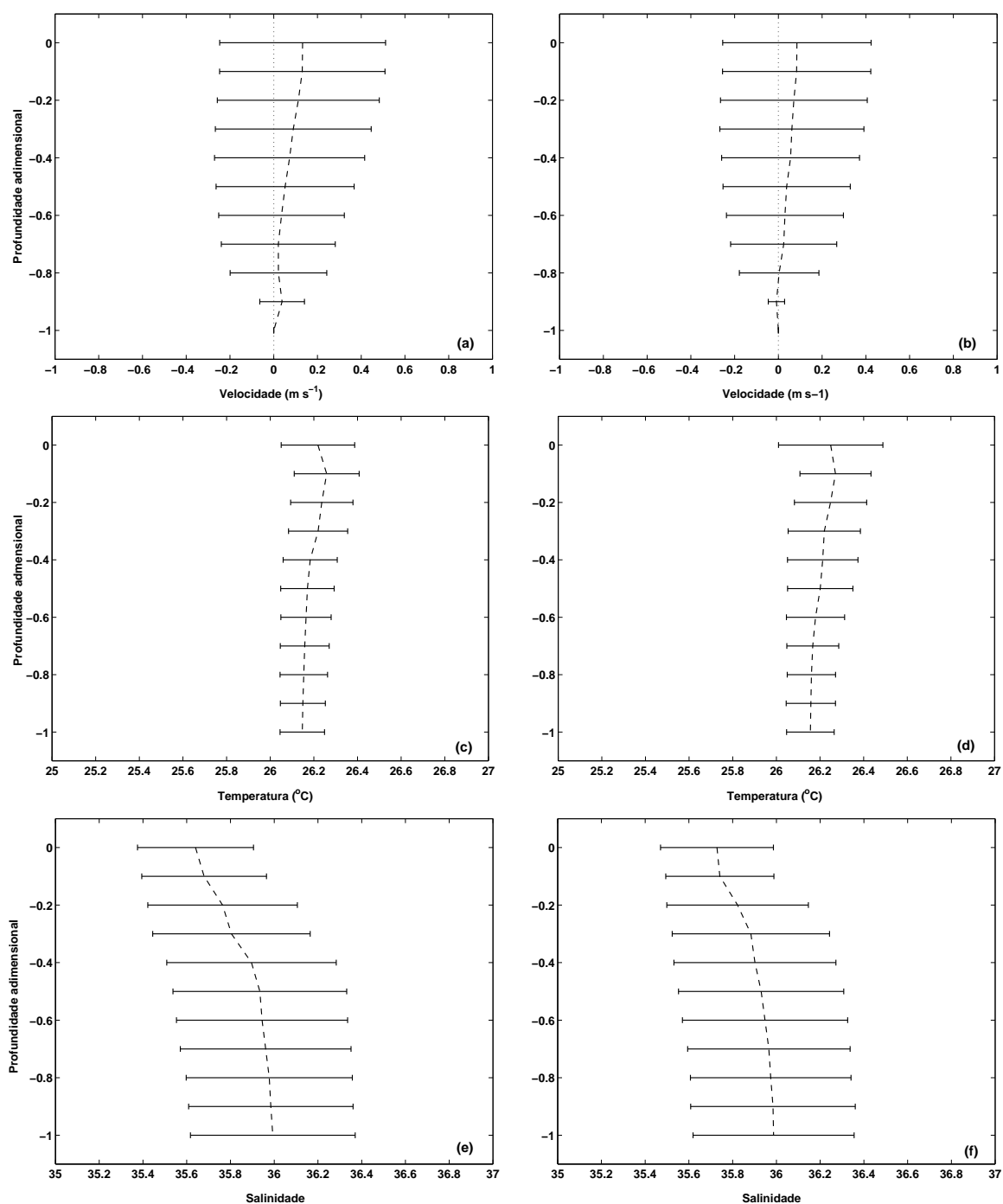


Figura 6.38: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal do rio Marau (Figura 6.37).

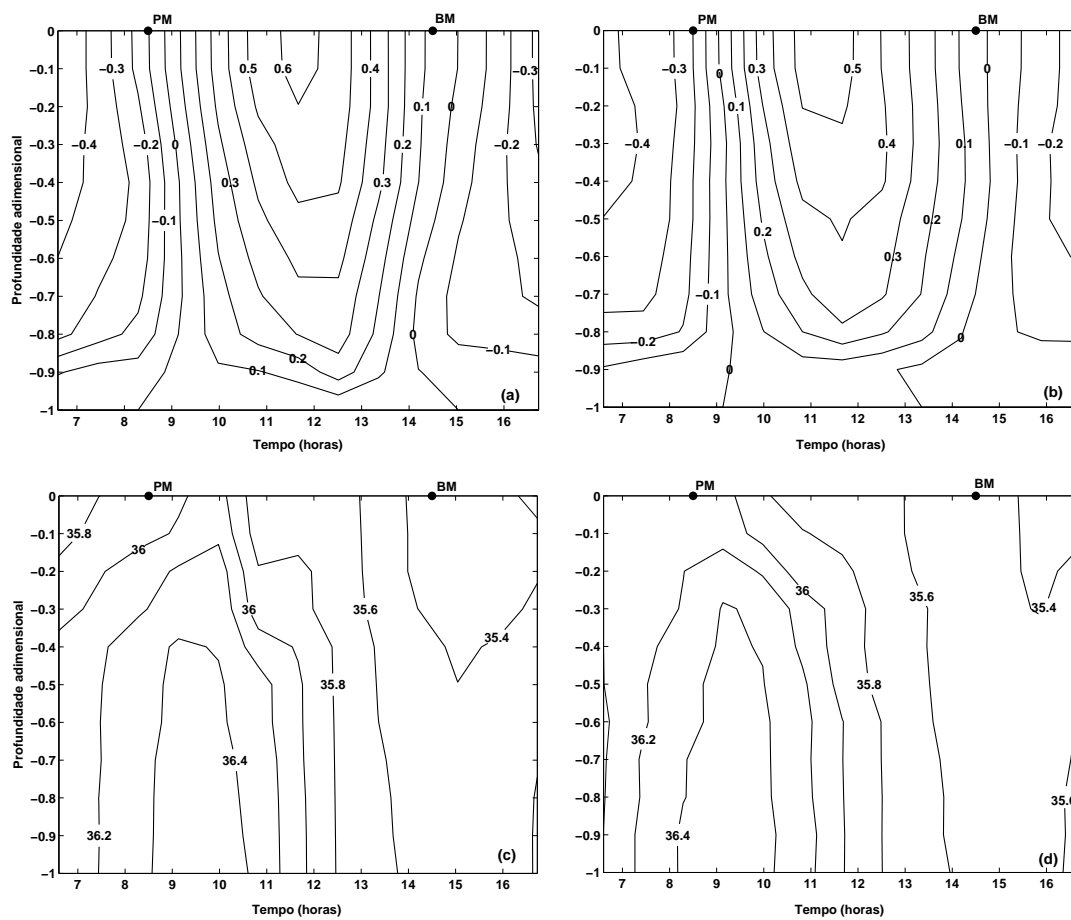


Figura 6.39: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal do rio Marau (Figura 6.37). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

Os diagramas de estratificação-circulação (Hansen e Rattray, 1966) obtidos em função do comportamento das estruturas verticais de salinidade e velocidade para as duas estações de CTD localizadas na seção transversal no rio Marau (Figura 6.40), classificam esta região da BC durante uma situação de quadratura como parcialmente misturado tipo 2a (moderadamente estratificado). Este comportamento sugere que os processos advectivos e difusivos são importantes para o transporte de sal estuário acima (Miranda et al., 2002)

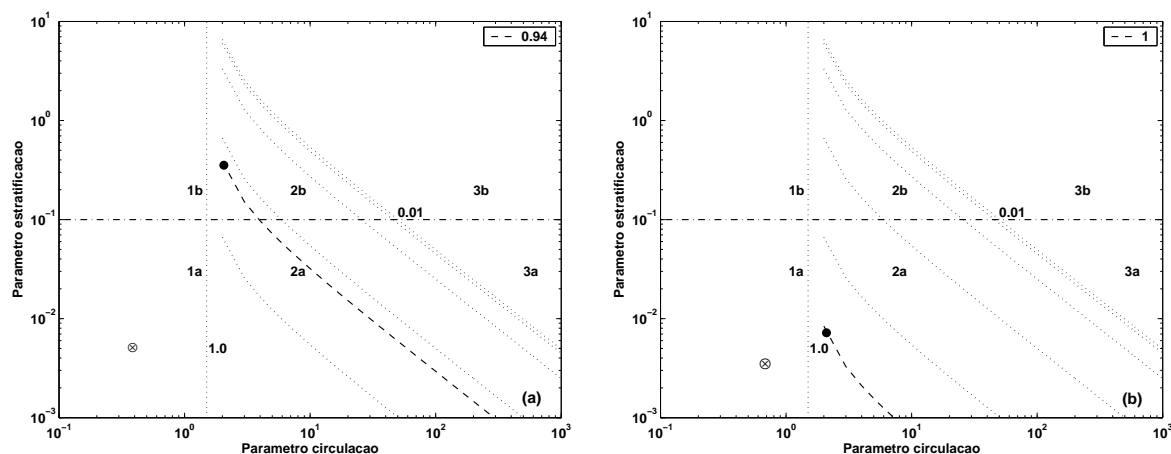


Figura 6.40: Diagramas de Estratificação-circulação para os perfis de (a) CTD1 e (b) CTD2, localizadas na seção transversal do rio Maraú, caracterizando uma situação de (●) quadratura e (⊗) sizígia.

Para a análise do comportamento das propriedades físicas (temperatura, salinidade e turbidez) ao longo do rio Maraú, foram definidas 18 estações verticais aproximadamente equidistantes (Figura 5.1). O perfil da preamar teve início na Ponta de Mutá e foi composto de 9 estações (Figura 6.41), enquanto na baixamar o perfil teve início na estação número seis, sendo composto por 14 estações (Figura 6.42).

A distribuição do campo termohalino ao longo de um perfil longitudinal durante a preamar (Figura 6.41), mostra uma grande homogeneidade da coluna de água, com pequenas variações verticais e uma marcada influência de águas oceânicas (salinidade superior a 36) ao longo de grande parte do perfil. A influência do rio pode ser observada pelo decréscimo da salinidade e pelo ligeiro aumento da temperatura, apresentando valores acima de $26,2^{\circ}\text{C}$ estuário acima, bem como pelo aumento nos valores de CSS, chegando a 5 mg l^{-1} .

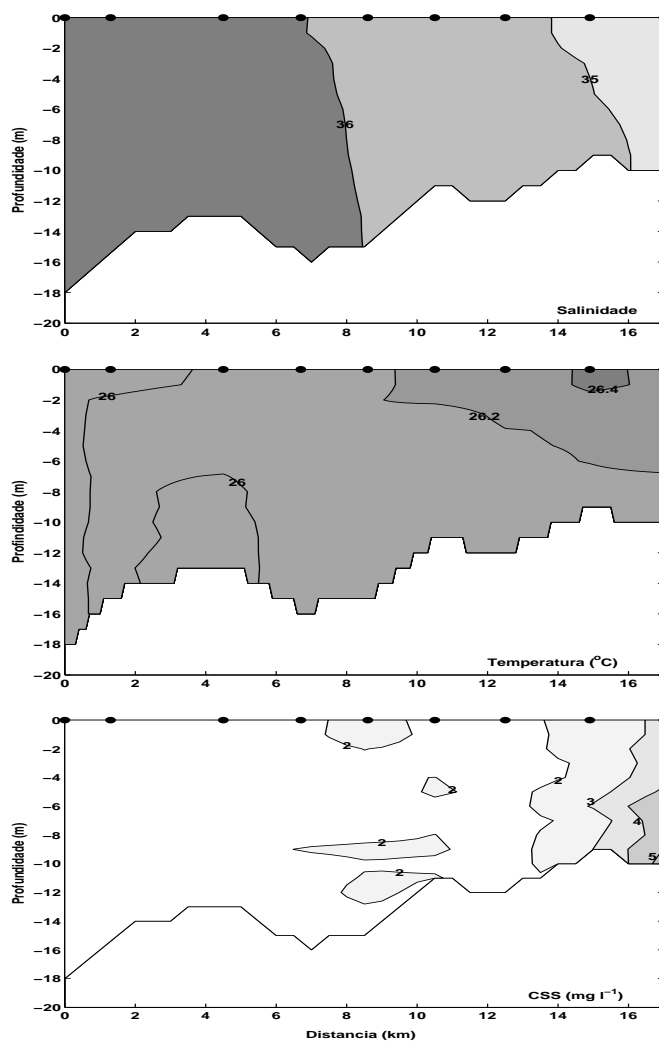


Figura 6.41: Perfis longitudinais de variação da salinidade, temperatura e CSS ao longo do rio Maraú, durante o dia 21/09/04 (entre 8:48h e 10:43h), representando uma situação de preamar de quadratura. A distância percorrida ao longo do perfil é em função das estações (●) numeradas em ordem crescente a partir da desembocadura do rio (Figura 5.1).

Durante a baixamar (Figura 6.42), a máxima variação horizontal de salinidade ao longo do perfil foi de 10 (25 - 35) e as variações verticais foram geralmente pequenas, com valores inferiores a 1. A distribuição horizontal de temperatura, principalmente na camada superficial, foi bastante homogênea, com a temperatura das estações interiores ligeiramente mais elevadas (26,8°C). As variações verticais foram de no máximo 0,6°C e localizadas nas imediações das estações mais profundas, que também apresentaram as maiores variações de CSS, com valor máximo de 11 mg l⁻¹.

Para efeitos comparativos, é importante salientar que as Figuras 6.41 e 6.42 foram realizadas ao longo de distâncias diferentes e com alguma sobreposição (a posição das estações está na mesma escala).

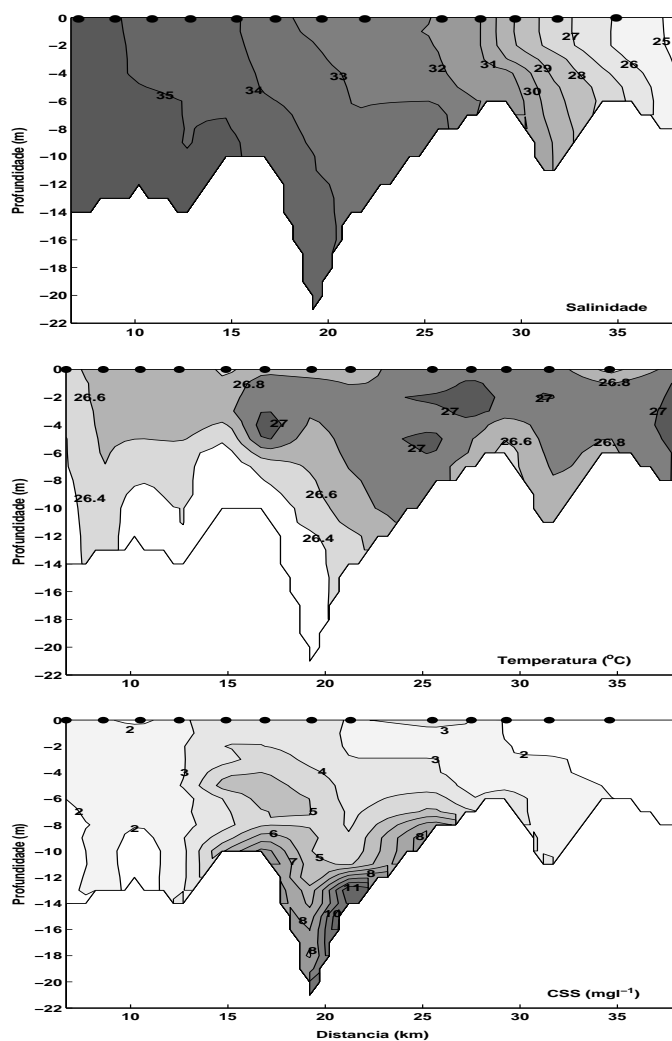


Figura 6.42: Análogo à Figura 6.41, mas para uma situação de baixamar de quadratura (entre 15:05h e 17:05h).

Para a saída da BC, na região da Barra do Mutá (Figura 5.1), a variação espacial do componente longitudinal da velocidade, mostra que na situação de máxima enchente (Figura 6.43a), as maiores velocidades ocorreram na superfície e na porção central da seção, com intensidades de $-0,60 \text{ m s}^{-1}$. As velocidades apresentaram variação horizontal e um pequeno cisalhamento vertical, principalmente para profundidades acima de 10 m. A velocidade média em toda a seção foi de $-0,28 \text{ m s}^{-1}$ e esteve associada a um transporte de $-9.352 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tabela 6.17).

Para a situação de máxima vazante (Figura 6.43b), as maiores velocidades também foram observadas na superfície, próximas a região do CTD2, com intensidades semelhantes às observadas na enchente. Este perfil também apresentou uma variação horizontal de velocidades, sendo o cisalhamento vertical maior do que o observado durante a enchente. A velocidade média da seção foi de $0,26 \text{ m s}^{-1}$, apresentando um transporte de $8.867 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tabela 6.17).

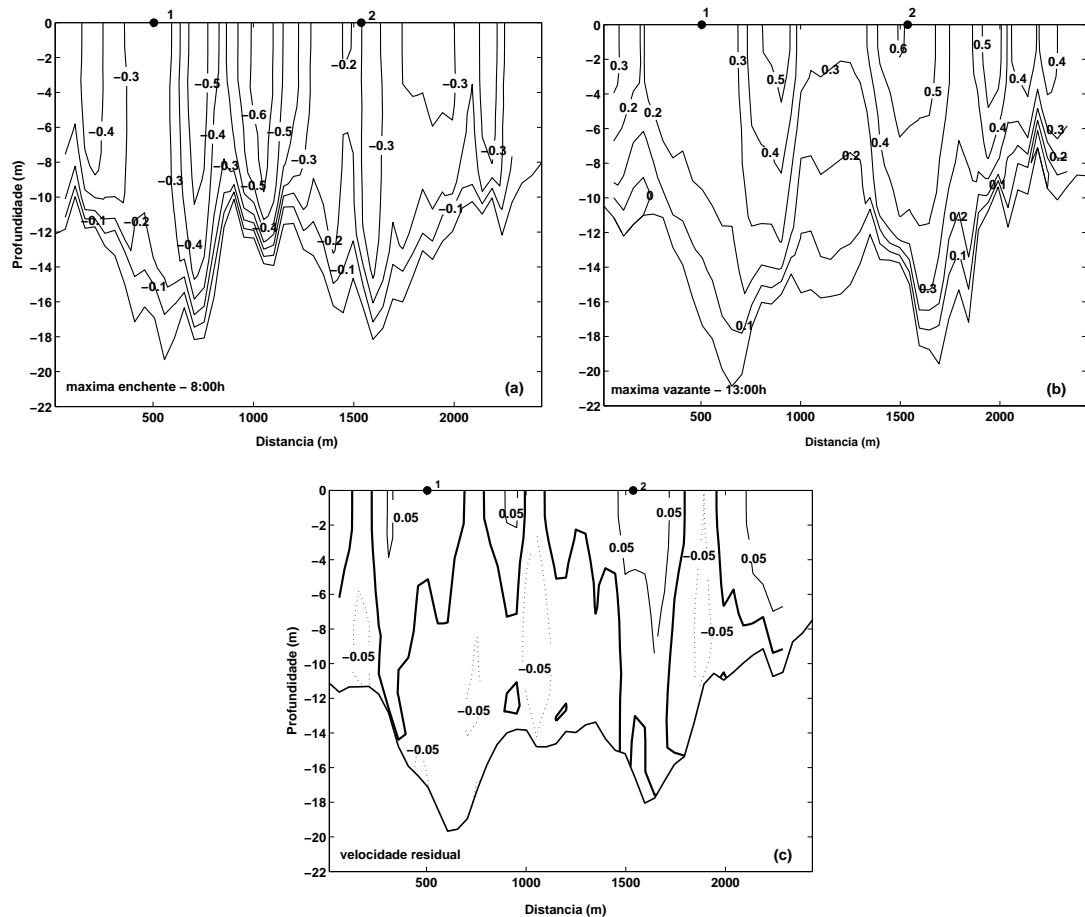


Figura 6.43: Variação da velocidade ao longo da seção transversal da Barra do Mutá (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 22/09/2004 (entre 7:00h e 19:00h), sendo representativa de uma situação de quadratura. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em m s^{-1} e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima enchente, (b) situação de máxima vazante e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD.

O perfil transversal de velocidades residuais (Figura 6.43c), mostra que a seção apresentou uma preferência de enchente na porção média e principalmente nas camadas inferiores (intensidade de $-0,05 \text{ m s}^{-1}$). Nas laterais da seção e na região do perfil de CTD2, as velocidades são preferencialmente de vazante em toda a extensão da coluna de água, com intensidade de $0,05 \text{ m s}^{-1}$. Devido a este comportamento, a velocidade média em toda a seção foi muito próxima a zero, associado a um transporte preferencialmente de enchente de $-90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tabela 6.17).

Os perfis verticais médios das velocidades longitudinais para as estações de CTD (Figuras 6.44a,b), apresentaram comportamento similar ao observado para o rio Maraú. As maiores variações horárias ocorreram nas camadas superficiais e as velocidades de vazante foram mais intensas (Figuras 6.44a,b). No entanto, o comportamento observado para as velocidades residuais foi diferenciado.

Para o perfil do CTD1 (Figura 6.44a), a velocidade residual foi mais intensa nas camadas inferiores, com movimento para o interior da BC, sugerindo ser uma região preferencial para a penetração das águas oceânicas. Para o perfil do CTD2 (Figura 6.44b), a velocidade residual foi mais intensa nas camadas superiores e apresentou movimentos para a desembocadura da BC. Em função deste comportamento, as velocidades residuais barotrópicas foram de $-0,02 \text{ cm s}^{-1}$ ($0,03 \text{ cm s}^{-1}$) para o CTD1 (CTD2), indicando a preferência de um fluxo de enchente (vazante) para esta região.

A variação do componente longitudinal da velocidade durante o ciclo de maré foi maior para o perfil do CTD2, apresentando intensidades na superfície entre $-0,45 \text{ cm s}^{-1}$ e $0,60 \text{ cm s}^{-1}$ (Figura 6.45b). Para as duas estações, o maior cisalhamento vertical foi observado entre as estofas de preamar e baixamar e a coluna de água apresentou-se completamente parada cerca de meia hora após as estofas. Durante a baixamar, as camadas inferiores tenderam a encher primeiramente.

Os perfis verticais médios de temperatura (Figuras 6.44c,d) e salinidade (Figuras 6.44e,f) para os dois CTD's, apresentaram grande homogeneidade vertical. A temperatura média da coluna d'água foi de $26,2^\circ\text{C}$, atingindo valores extremos na superfície de 26°C (mínimo) e $26,6^\circ\text{C}$ (máximo) para a região do CTD1 (Figura 6.44c). A salinidade média apresentou valores no entorno de 36,7 (Figuras 6.44e,f), com variabilidade horária inferior à unidade e principalmente nas camadas superficiais, comportamento característico de região com fraca estratificação vertical (Bernardes e Miranda, 2001).

Durante o ciclo monitorado, as menores salinidades (36,0) foram observadas na superfície (Figuras 6.45c,d), e coincidiram com a baixamar, quando se observou uma maior estratificação vertical. Durante a maré enchente a coluna de água apresentou grande homogeneidade, com os valores máximos de salinidade (36,7) associados à preamar, persistindo até a situação de máxima estratificação vertical de velocidades.

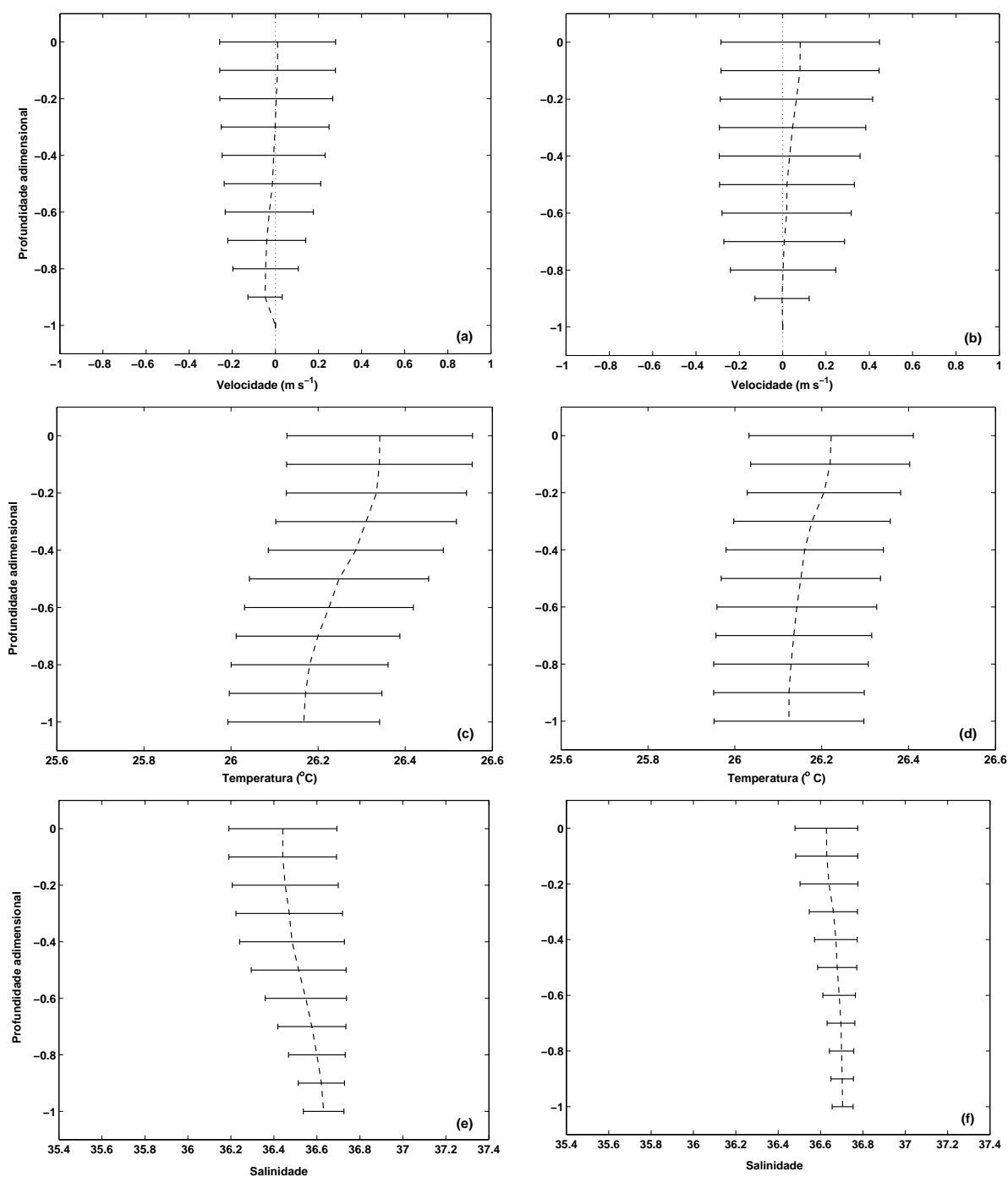


Figura 6.44: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal da Barra do Mutá (Figura 6.43).

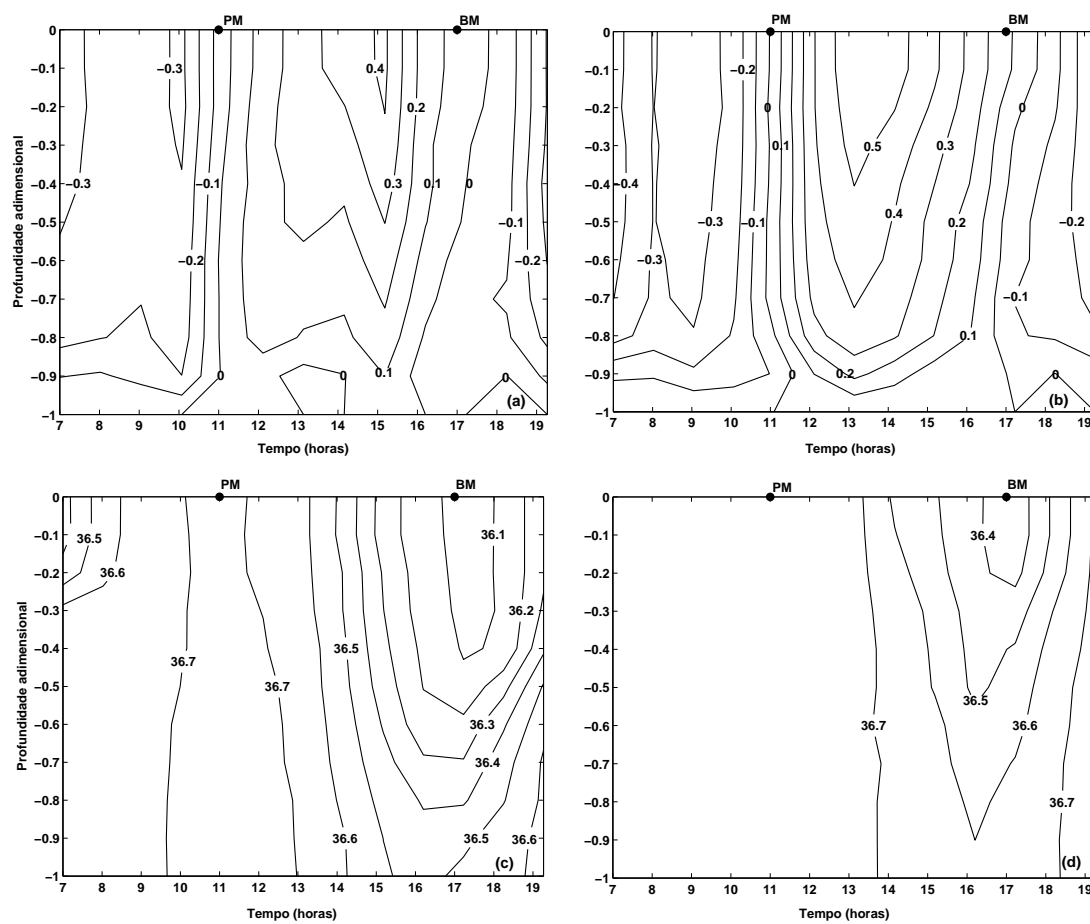


Figura 6.45: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal da Barra do Mutá (Figura 6.43). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

Os diagramas de estratificação-circulação obtidos para a seção transversal da Barra do Mutá apresentaram comportamento diferenciado (Figura 6.46). Na região do CTD1 a Barra do Mutá é classificada como bem misturada tipo 1a e na região do CTD2 como parcialmente misturada tipo 2a (fracamente estratificada).

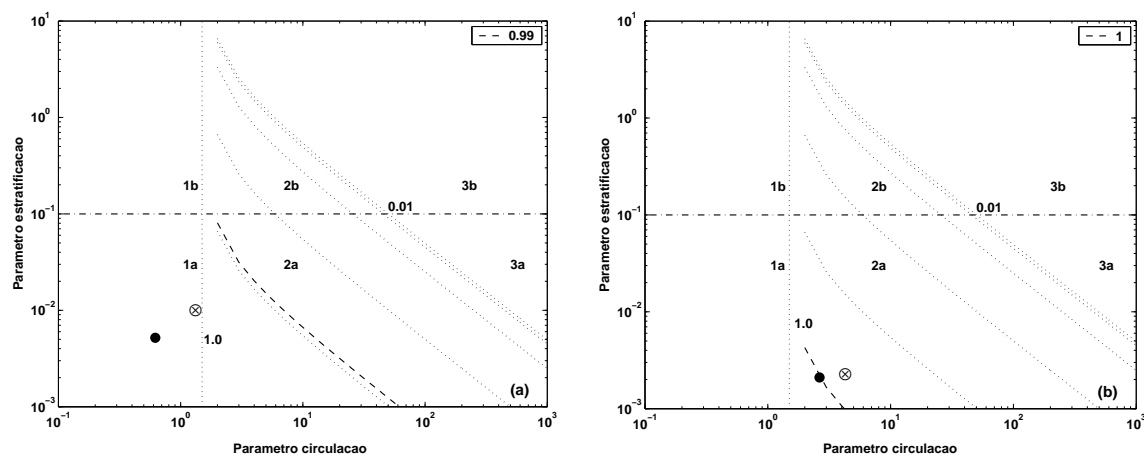


Figura 6.46: Diagramas de Estratificação circulação para os perfis de (a) CTD1 e (b) CTD2, localizadas na seção transversal da Barra do Mutá (Figura 6.43), caracterizando uma situação de (●) quadratura e (⊗) sizígia.

As velocidades na seção transversal do rio Serinhaém (Figuras 6.47a,b) apresentaram comportamento similar para as situações de máximas enchente e vazante. Em ambas situações as velocidades ao longo da coluna d'água apresentaram um grande cisalhamento vertical e uma pequena variação horizontal. As maiores velocidades foram observadas em núcleos de sub-superfície localizados nas imediações do canal principal, com intensidade de $-0,50 \text{ m s}^{-1}$ e $0,60 \text{ m s}^{-1}$ para a enchente e vazante, respectivamente.

As velocidades médias ao longo de toda a seção foram de $-0,32 \text{ m s}^{-1}$ ($0,35 \text{ m s}^{-1}$) para a enchente (vazante), associadas a um transporte de $-4,455 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($4,492 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Como as intensidades observadas durante as situações de máximas enchente e vazante foram muito similares, o perfil de velocidades residuais (Figura 6.47c) apresentou velocidade média da seção muito próxima a zero, associada a um transporte preferencialmente de vazante igual a $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.17).

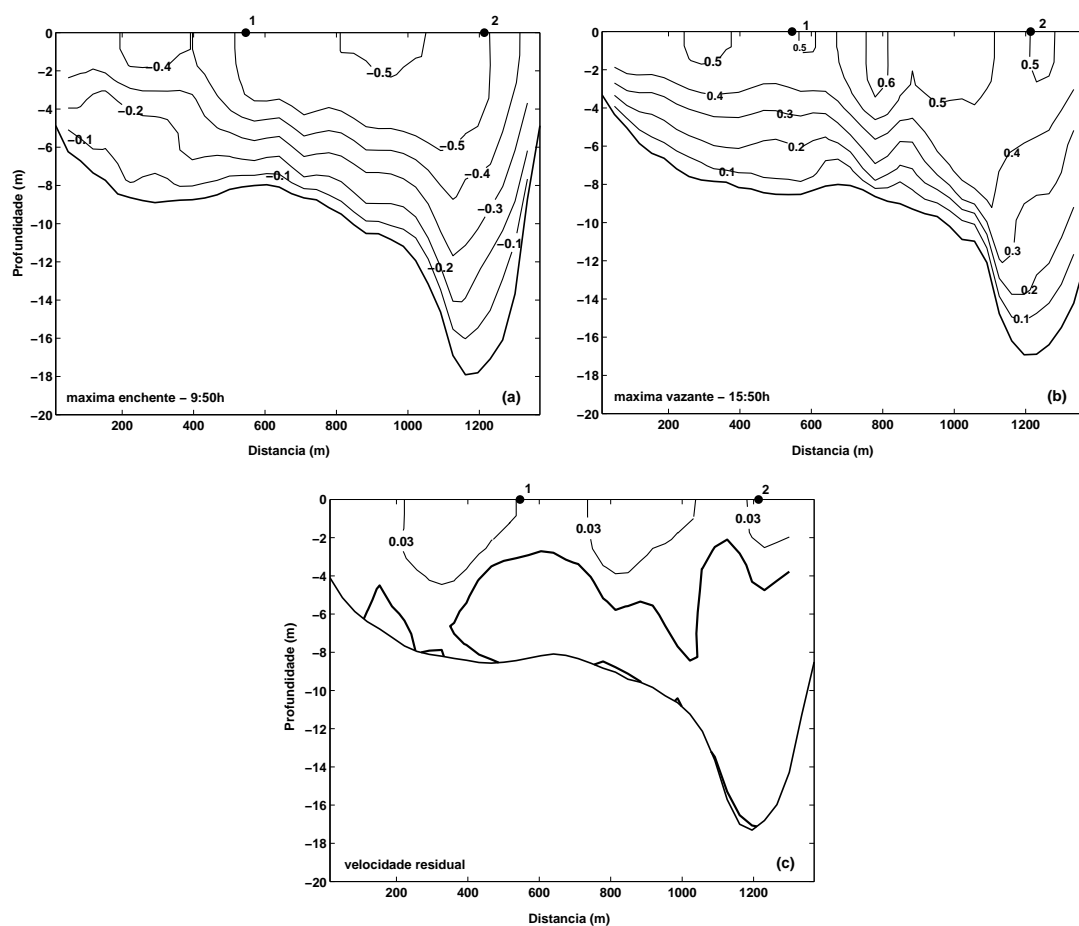


Figura 6.47: Variação da velocidade ao longo da seção transversal do rio Serinhaém (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 23/09/2004 (entre 6:50h e 18:50h), sendo representativa de uma situação de quadratura. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em m s^{-1} e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima enchente, (b) situação de máxima vazante e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD.

Os perfis verticais médios das velocidades longitudinais, para as estações de CTD localizadas no rio Serinhaém, apresentaram grande homogeneidade e maiores variações horárias em superfície (Figuras 6.48a,b). As velocidades residuais em ambas estações apresentaram movimentos bidirecionais, com fluxo preferencialmente de vazante nas camadas superficiais e de enchente nas camadas inferiores, indicando que nestas regiões é observado a presença de circulação gravitacional, comportamento típico de estuário parcialmente misturado (Bernardes e Miranda, 2001). As velocidades barotrópicas, de $-0,02 \text{ m s}^{-1}$ ($-0,01 \text{ m s}^{-1}$) para o perfil de CTD1 (CTD2), sugerem que o fluxo residual nestas regiões é preferencialmente de enchente.

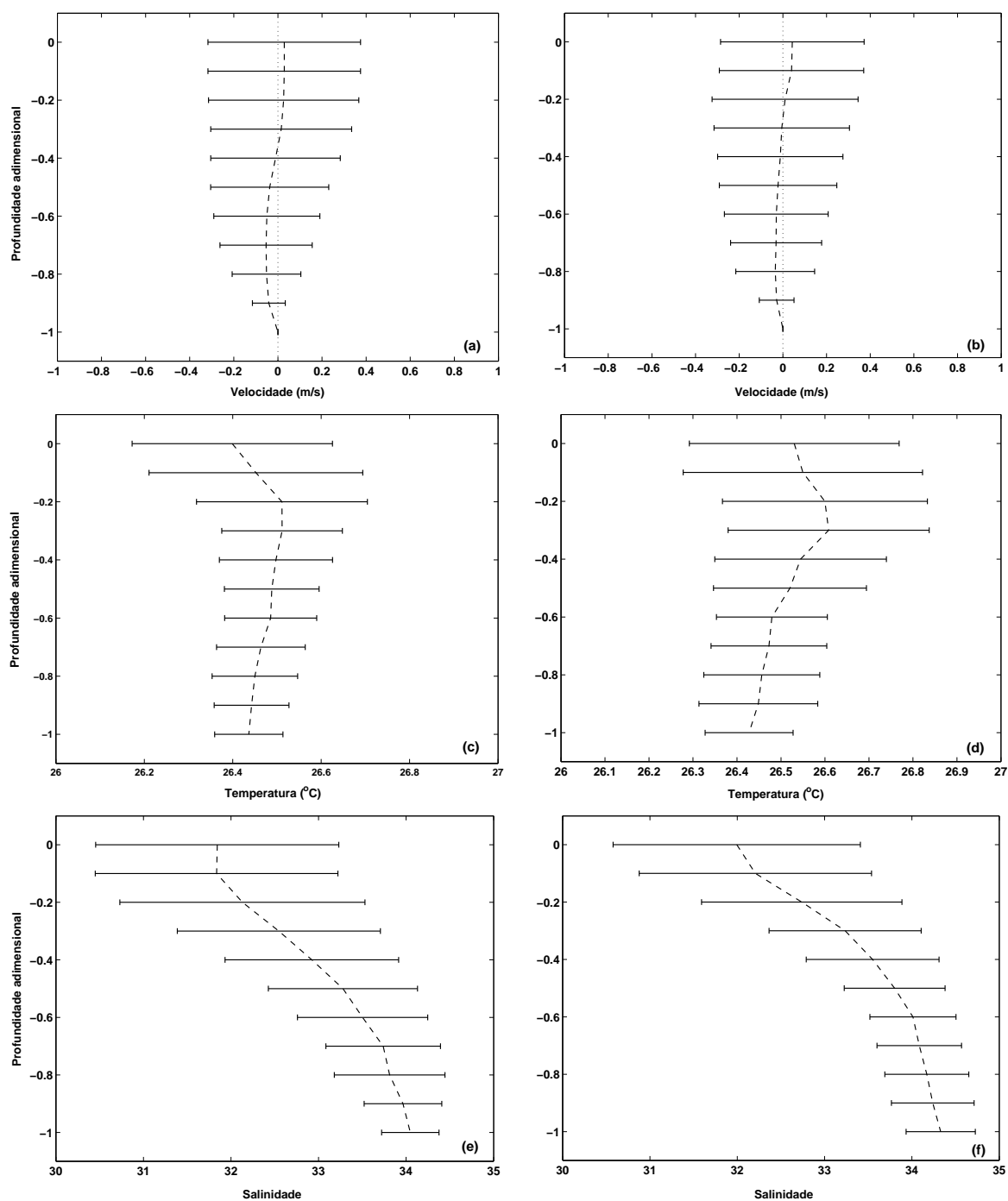


Figura 6.48: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.47).

A variação do componente longitudinal da velocidade durante o ciclo de maré (Figuras 6.49a,b), mostra que, para ambas estações de CTD, as maiores velocidades ocorrem em superfície e entre as estofas, com intensidades em torno de $0,50 \text{ m s}^{-1}$. Nas camadas inferiores, o fluxo de enchente, principalmente na parte mais rasa do perfil (Figura 6.49a), se inicia antes que se atinja a baixamar, corroborando a preferência da maré enchente nesta região.

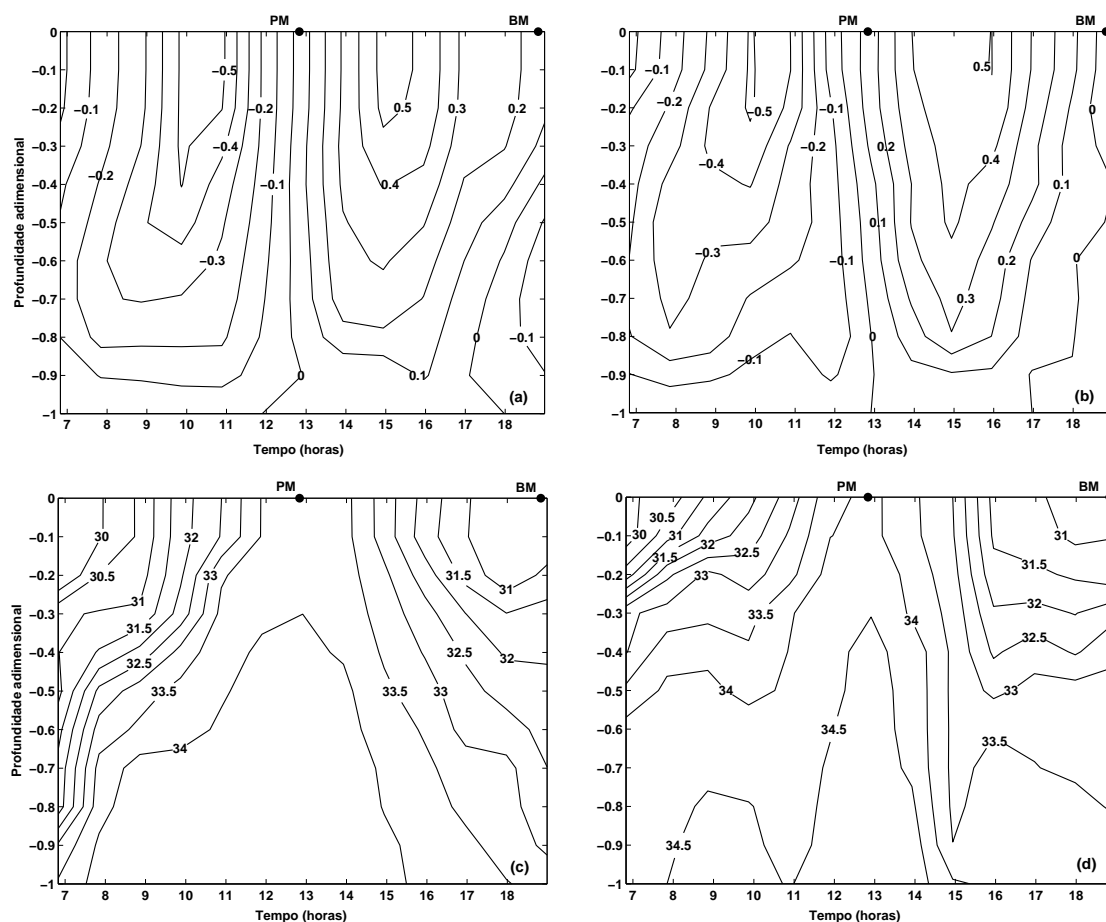


Figura 6.49: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de quadratura, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.47). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

Os perfis verticais médios de temperatura para o rio Serinhaém (Figuras 6.48c,d) apresentaram uma estrutura bastante homogênea e pequena variabilidade horária. Os perfis verticais médios de salinidade (Figuras 6.48e,f) apresentaram uma maior estratificação, com variação média de 2,2 (31,8 - 34) entre superfície e fundo, e uma variabilidade horária em superfície cerca de quatro vezes maior que a observada próximo ao fundo.

Durante o ciclo de maré, a salinidade na superfície apresentou uma variação de até 4,2 (29,9 - 34,1) para o perfil do CTD2 (Figura 6.49d). As menores salinidades foram observadas em superfície e atingiram valores de 30 próximo à baixamar, quando se observou uma maior

estratificação vertical da coluna de água. Os maiores valores de salinidade ocorreram nas camadas inferiores, atingindo valor máximo de 34, persistindo por até oito horas nos eventos de maré enchente. Na preamar, a massa de água mais salina ocupou grande parte da coluna de água, aumentando os valores de salinidade em superfície (Figuras 6.49e,f).

Os diagramas de estratificação-circulação obtidos para as regiões das estações de CTD localizadas na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.50), classificam ambas as regiões como parcialmente misturada tipo 2a (moderadamente estratificada).

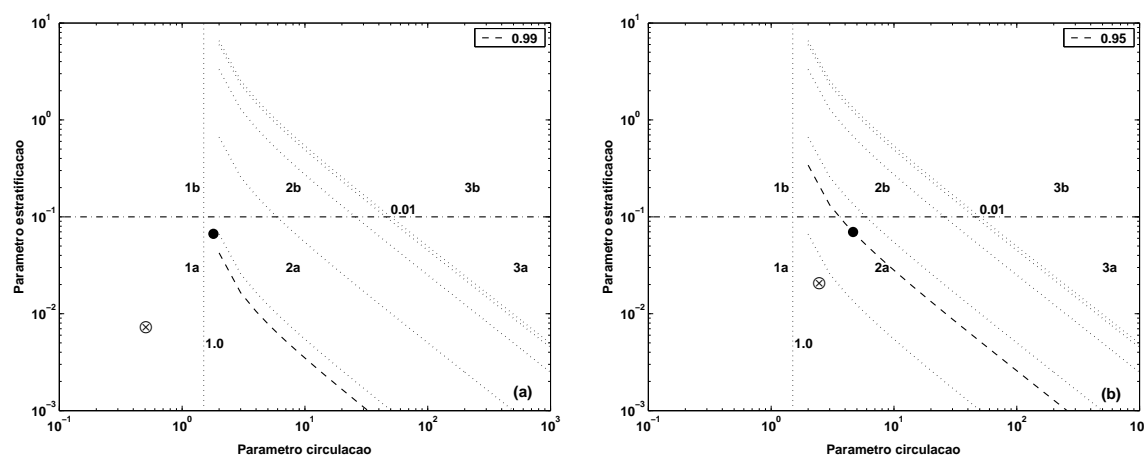


Figura 6.50: Diagramas de Estratificação circulação para os perfis de (a) CTD1 e (b) CTD2, localizadas na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.47), caracterizando uma situação de (●) quadratura e (⊗) sizígia.

O perfil longitudinal no rio Serinhaém foi realizado em uma situação de estufa de preamar (Figura 6.51). A distribuição horizontal da salinidade apresentou uma variação de 11 entre as águas mais oceânicas (máximo de 35) e as águas mais estuarinas (mínimo de 24). Apesar da variação horizontal de salinidade ter sido similar ao observado no rio Maraú, observa-se que a estratificação vertical foi mais acentuada, com variações de até 3.

A distribuição de temperatura, quando comparada ao rio Maraú, também apresentou diferenças mais pronunciadas, com uma variação horizontal de 1°C e vertical de $0,6^{\circ}\text{C}$. Os valores de CSS foram pequenos, sendo observados picos máximos de concentração próximo a desembocadura do rio de 4 mg l^{-1} , e na porção mais interior do perfil de 8 mg l^{-1} (Figura 6.51).

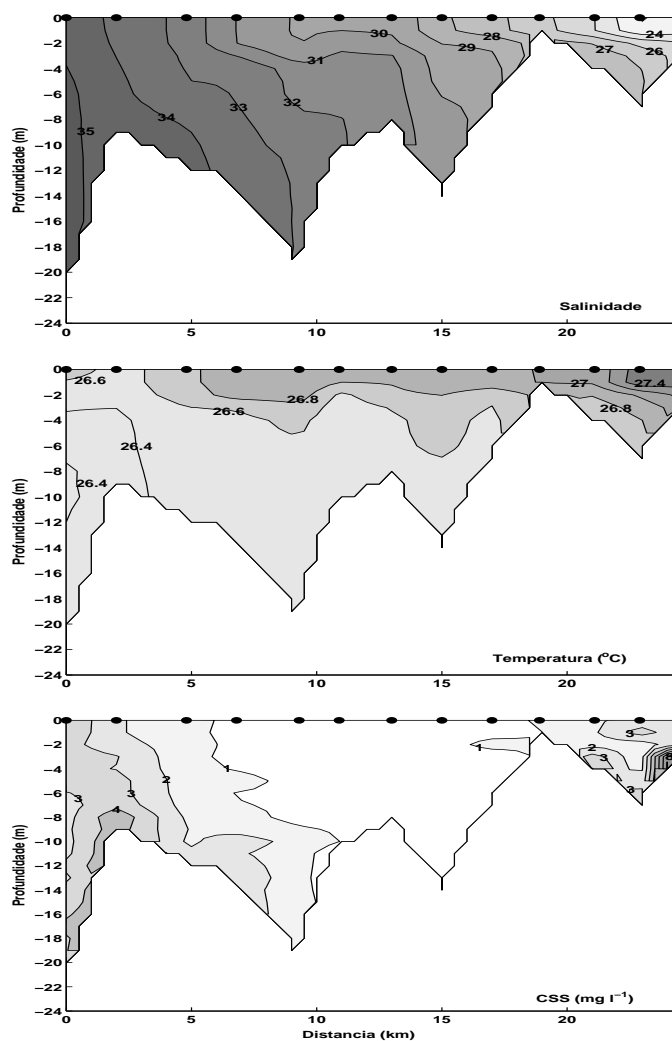


Figura 6.51: Perfis longitudinais de variação da salinidade, temperatura e CSS ao longo do rio Serinhaém, durante o dia 23/09/04 (entre 12:02h e 13:27h), representando uma situação de preamar de quadratura. A distância percorrida ao longo do perfil é em função das estações (●) numeradas em ordem crescente a partir da desembocadura do rio (Figura 5.1).

Análise de acordo com os dados obtidos em situação de sizígia

O comportamento das velocidades na seção transversal do rio Maraú durante a sizígia (Figura 6.52) apresentou variação lateral e cisalhamento vertical menor do que o observado durante a quadratura. No entanto as intensidades excederam o dobro das observadas durante a quadratura. Para a situação de máxima vazante (Figura 6.52a), as maiores velocidades atingiram intensidades de $1,2 \text{ m s}^{-1}$. A velocidade média na seção foi de $0,80 \text{ m s}^{-1}$ e esteve associada a um transporte de $10.135 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante a máxima enchente (Figura 6.52b), as velocidades atingiram intensidades máximas em superfície de $-1,0 \text{ m s}^{-1}$ e a velocidade média em toda a seção foi de $-0,72 \text{ m s}^{-1}$, estando associada a um transporte de $-9.255 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.18).

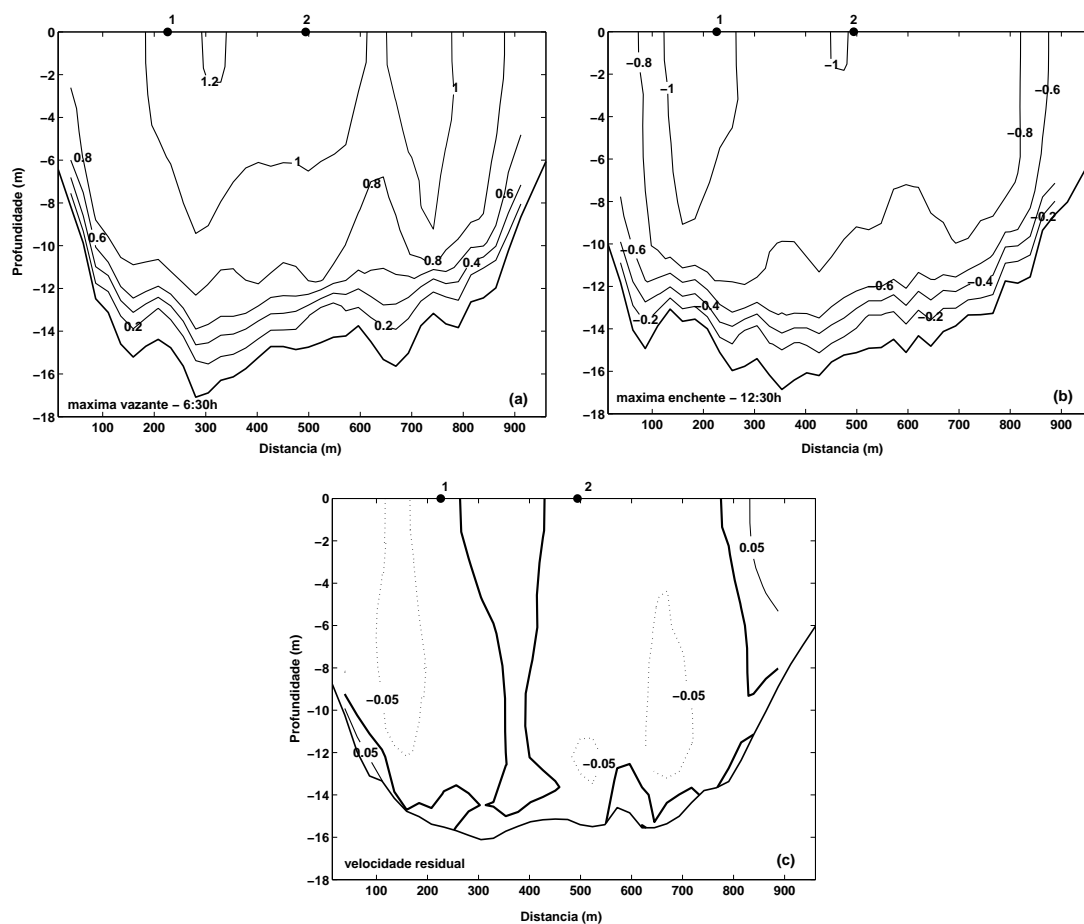


Figura 6.52: Variação da velocidade ao longo da seção transversal do rio Marau (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 27/09/2004 (entre 6:30h e 18:30h), sendo representativa de uma situação de sizígia. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em m s^{-1} e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima vazante, (b) situação de máxima enchente e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD.

Apesar das velocidades observadas durante a vazante terem sido cerca de 10% mais intensas que na enchente, as velocidades residuais (Figura 6.52c) foram preferencialmente de enchente, com intensidade de $-0,05 \text{ m s}^{-1}$ em praticamente toda a seção. A velocidade residual média foi de $-0,02 \text{ m s}^{-1}$ e esteve associada a um transporte de $-221 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.18). Este comportamento sugere que, neste período, o tempo de enchente é maior nesta seção.

Tabela 6.18: Comportamento do campo de velocidade nas seções transversais localizadas na Barra do Mutá e nos rios Maraú e Serinhaém durante uma situação de maré de sizígia. T_E , T_V e T_R representam, respectivamente, os transportes nas situações de máxima enchente e vazante e para o perfil de velocidades residuais. U_E , U_V e U_R representam, respectivamente, as velocidades médias para as seções nas situações de máxima enchente e vazante e para o perfil de velocidades residuais

Seção Transversal	T_E ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	T_V ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	T_R ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	U_E (m s^{-1})	U_V (m s^{-1})	U_R (m s^{-1})
Barra do Mutá	-22.024	26.631	-977	-0,68	0,83	-0,03
rio Maraú	-9.255	10.135	-221	-0,72	0,80	-0,02
rio Serinhaém	-7.279	10.225	329	-0,51	0,78	0,03

Os perfis verticais médios de velocidade longitudinal para as estações de CTD localizadas na seção transversal do rio Maraú (Figuras 6.53a,b), evidenciam a preferência do fluxo de enchente neste período, apresentando velocidades residuais com movimentos unidirecionais para o interior do sistema. A variabilidade das velocidades durante este período foi cerca de três vezes maior que a observada durante a quadratura, sendo este comportamento constante em praticamente todo o perfil vertical.

Ao longo do ciclo de maré, as velocidades mais intensas e o maior cisalhamento vertical ocorreu entre as estofas (Figuras 6.54a,b). As velocidades na superfície variaram entre $-1,0 \text{ m s}^{-1}$ e $1,12 \text{ m s}^{-1}$, ocupando a maior parte da coluna de água durante o início dos períodos de maré enchente. Durante a maré vazante, as maiores velocidades ocuparam um pequeno núcleo de sub-superfície, persistindo por no máximo uma hora.

Para a temperatura, os perfis verticais médios (Figuras 6.53c,d) apresentaram uma grande homogeneidade e uma variabilidade horária menor que a observada durante a quadratura, com valor médio na coluna d'água de $26,4^\circ\text{C}$. A salinidade (Figuras 6.53e,f) apresentou variabilidade horária cerca de duas vezes maior do que na quadratura, com valor médio ao longo da coluna d'água de 36,1. Durante o ciclo monitorado, a salinidade apresentou uma grande homogeneidade na coluna d'água (Figuras 6.54c,d) e a variação horizontal na superfície foi de 1,4 (35,3 - 36,7). Os maiores valores foram observadas na preamar, ocupando grande parte da coluna d'água, tendendo a elevar os valores da salinidade na superfície.

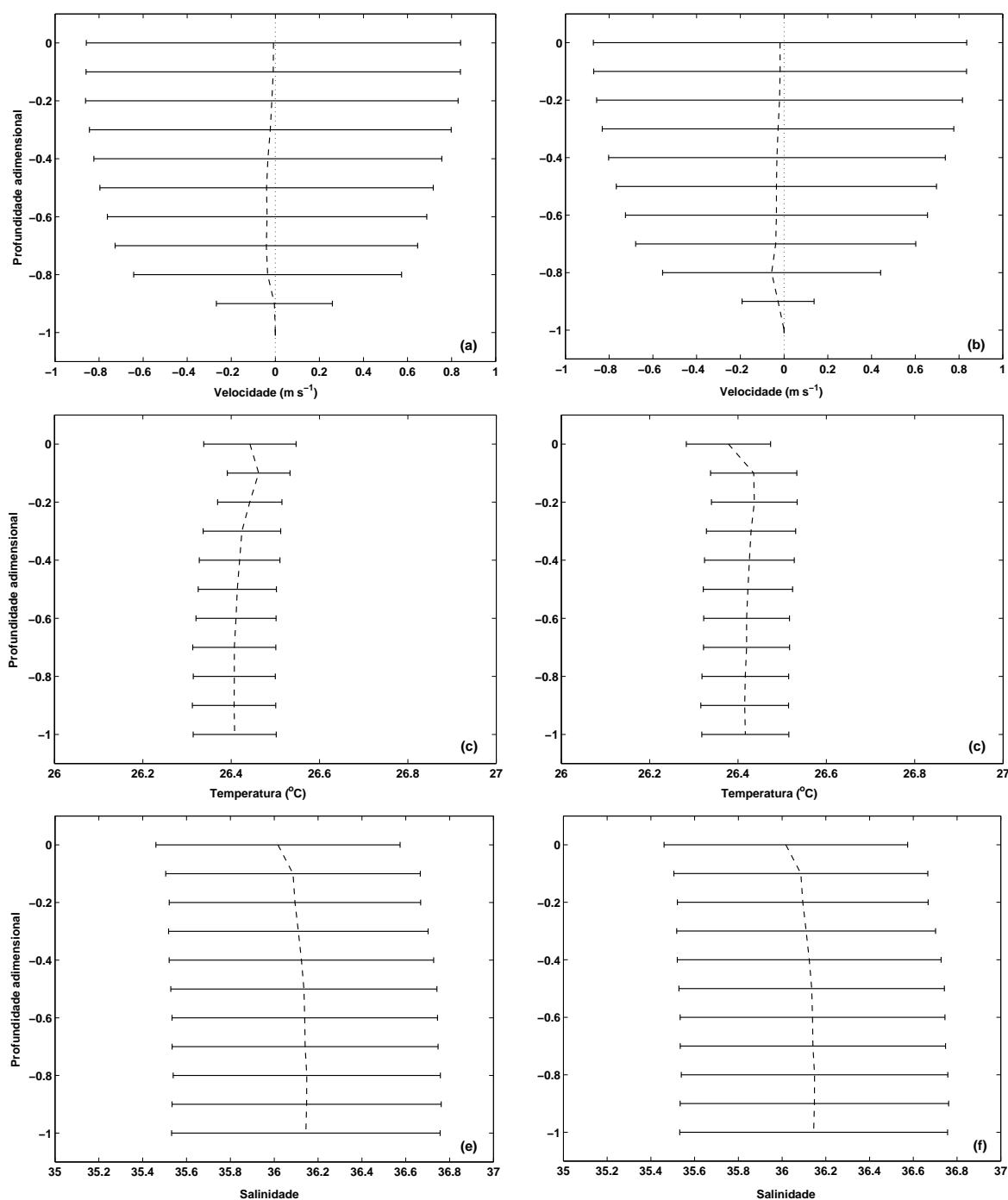


Figura 6.53: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal do rio Marau (Figura 6.52).

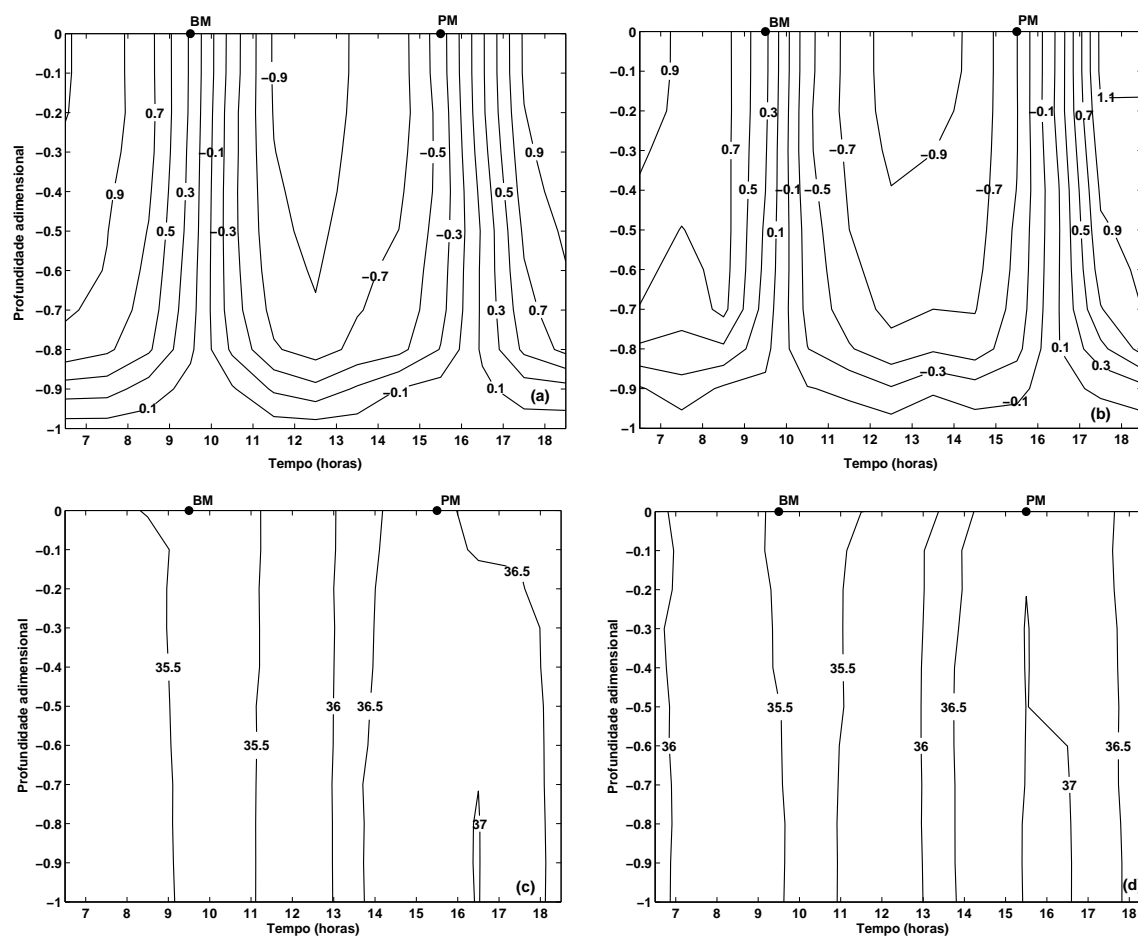


Figura 6.54: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal do rio Marau (Figura 6.52). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

Os diagramas de estratificação-circulação obtidos para as regiões das estações de CTD localizadas no rio Marau (Figura 6.40), classificam estas regiões durante uma situação de sizígia como bem misturada (tipo 1a). Este comportamento indica que as maiores velocidades observadas durante a sizígia, contribuíram para uma maior mistura na coluna de água.

Para a análise do comportamento longitudinal das propriedades físicas da água (temperatura, salinidade e turbidez) durante este período, utilizou-se um perfil longitudinal realizado na estufa de baixamar com início na estação número seis (Figura 5.1), sendo composto por 14 estações. Durante a sizígia (Figura 6.55), a distribuição horizontal de salinidade foi similar à observada na quadratura, com uma variação de 11 (35 - 24) estuário acima, no entanto não foi observado variação vertical significativa. O perfil de temperatura também apresentou uma grande homogeneidade vertical e uma variação horizontal de $0,4^{\circ}\text{C}$ ($26,6^{\circ}\text{C}$ - 27°C) menor que a observada na quadratura.

Os valores de CSS (Figura 6.55), quando comparados ao período de quadratura, foram cerca de 2-3 vezes maiores, atingindo um valor máximo de 22 mg l^{-1} na parte central e mais profunda da seção.

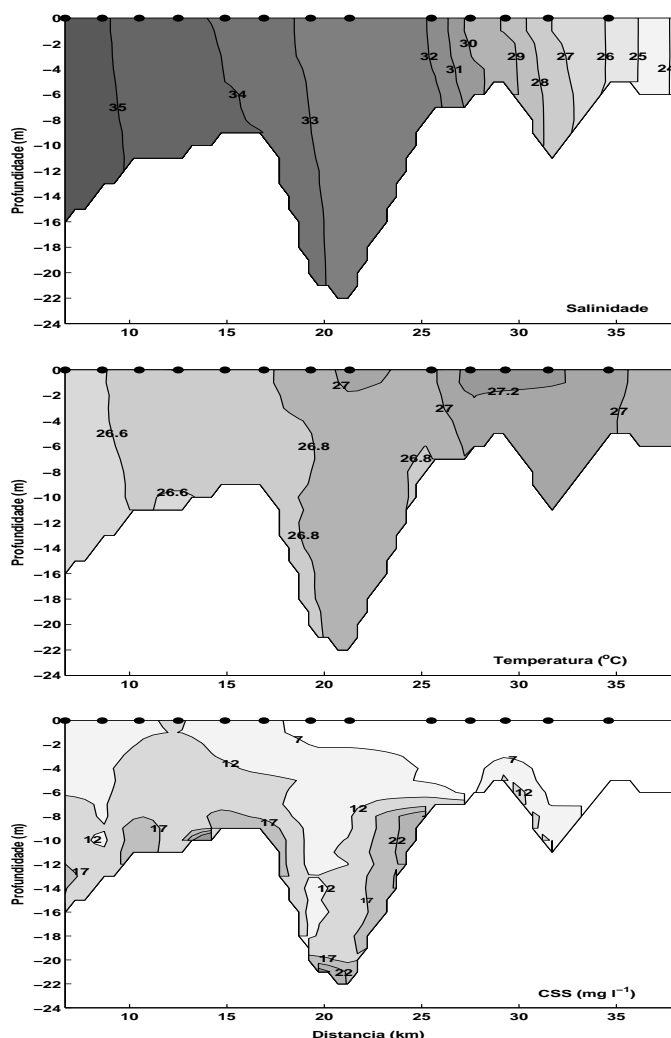


Figura 6.55: Perfis longitudinais de variação da salinidade, temperatura e CSS ao longo do rio Maraú, durante o dia 27/09/04 (entre 9:40h e 11:30h), representando uma situação de baixamar de sizígia. A distância percorrida ao longo do perfil é em função das estações (●) numeradas em ordem crescente a partir da desembocadura do rio (Figura 5.1).

Para a seção transversal localizada na Barra do Mutá, as velocidades longitudinais observadas durante a sizígia (Figura 6.56) foram cerca de 50% maiores do que as observadas em quadratura, atingindo intensidades máximas em superfície de $-1,00 \text{ m s}^{-1}$ e $1,40 \text{ m s}^{-1}$ nas situações de enchente e vazante, respectivamente. Durante a situação de máxima vazante (Figura 6.56a) foi observado um maior cisalhamento vertical e uma menor variação horizontal. A velocidade média na seção ($0,83 \text{ m s}^{-1}$) esteve associada a um transporte de $26.631 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.18), cerca de três vezes maior do que na quadratura.

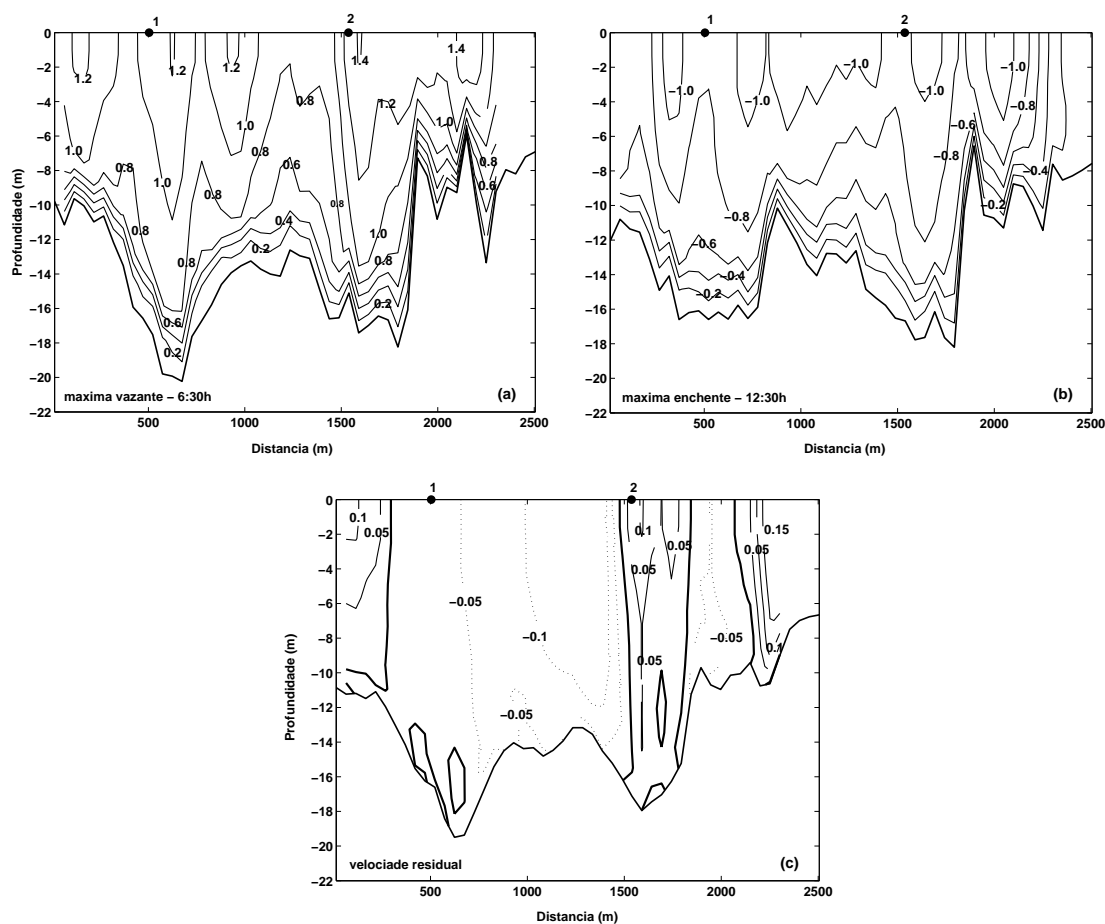


Figura 6.56: Variação da velocidade ao longo da seção transversal da Barra do Mutá (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 28/09/2004 (entre 6:30h e 18:30h), sendo representativa de uma situação de sizígia. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em m s^{-1} e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima vazante, (b) situação de máxima enchente e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD

Durante a máxima enchente (Figura 6.56b), também foi observado um grande cisalhamento das velocidades ao longo da coluna d'água, com as maiores velocidades distribuídas na superfície. Não houve uma grande variação horizontal e as menores velocidades em superfície estiveram presentes nas laterais da seção. A velocidade média em toda a seção foi de $-0,68 \text{ m s}^{-1}$ e esteve associada a um transporte de $-22.024 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tabela 6.18).

O perfil transversal de velocidades residuais (Figura 6.56c) mostra uma preferência do fluxo de enchente, principalmente na região central, com intensidade de $-0,05 \text{ m s}^{-1}$ em grande parte da coluna d'água. O fluxo residual de vazante ocorre preferencialmente nas laterais, onde são observadas as maiores velocidades de $0,15 \text{ m s}^{-1}$, e na região do CTD2, onde se observam as menores velocidades. Devido a este comportamento, a velocidade residual

em toda a seção foi preferencialmente de enchente ($-0,03 \text{ m s}^{-1}$), associado a um transporte de $-977 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Tabela 6.18).

Os perfis verticais médios de velocidades para as estações de CTD localizadas no perfil transversal da Barra do Mutá (Figuras 6.57a,b), mostram um comportamento similar ao observado na quadratura, com uma distribuição vertical quase uniforme. No entanto, neste período foi observado uma maior variabilidade em grande parte da coluna de água. O comportamento das velocidades residuais mostra que para o perfil do CTD1 (Figura 6.57a) a velocidade resultante é para o interior do sistema, e para o perfil do CTD2 (Figura 6.57b) em direção à desembocadura. Este resultado corrobora o observado para o perfil transversal de velocidades residuais ao longo do ciclo de maré (Figura 6.56c), que apontou uma preferência de fluxo de enchente (vazante) para o perfil do CTD1 (CTD2).

Ao longo do ciclo de maré, as velocidades na superfície variaram entre -1 m s^{-1} e $1,30 \text{ m s}^{-1}$ (Figuras 6.58a,b), apresentando valores máximos entre as estofas, quando também se observou um maior cisalhamento vertical. A coluna de água encontrou-se em repouso cerca de meia hora após as estofas .

A temperatura apresentou uma grande homogeneidade dos perfis verticais médios (Figuras 6.57c,d), com valor médio na coluna d'água de $26,3^\circ\text{C}$, e uma pequena variação horária. Para a salinidade, a estrutura vertical média (Figuras 6.57e,f) apresentou-se mais homogênea, e a variação horária foi maior que a observada na quadratura. A salinidade média na coluna d'água foi de 36,3.

Para a salinidade, a variação ao longo do ciclo foi diferenciada nas regiões das estações de CTD. Para o CTD1 (Figura 6.58c) a salinidade superficial variou entre 35,4 e 36,7, e a coluna de água apresentou uma fraca estratificação durante as estofas, com variação vertical máxima de 0,3 (36,4 a 36,7) durante a preamar. Na região do CTD2 (Figura 6.58d), a salinidade na superfície apresentou maiores valores, variando entre 36,0 e 37,2. No entanto, a estrutura vertical apresentou uma grande homogeneidade em todo o período monitorado, com os maiores valores de salinidade ocorrendo na preamar.

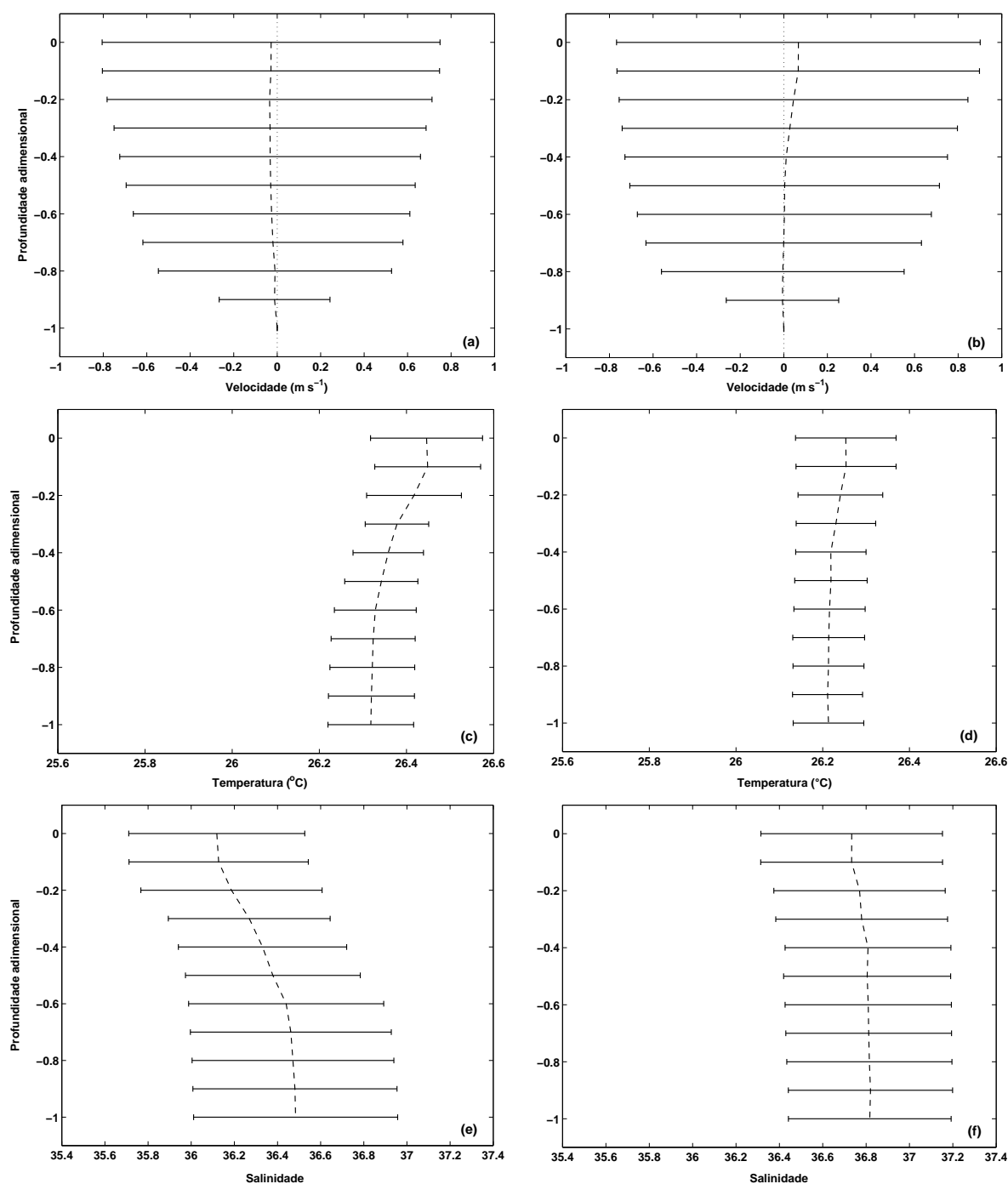


Figura 6.57: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal da Barra do Mutá (Figura 6.56).

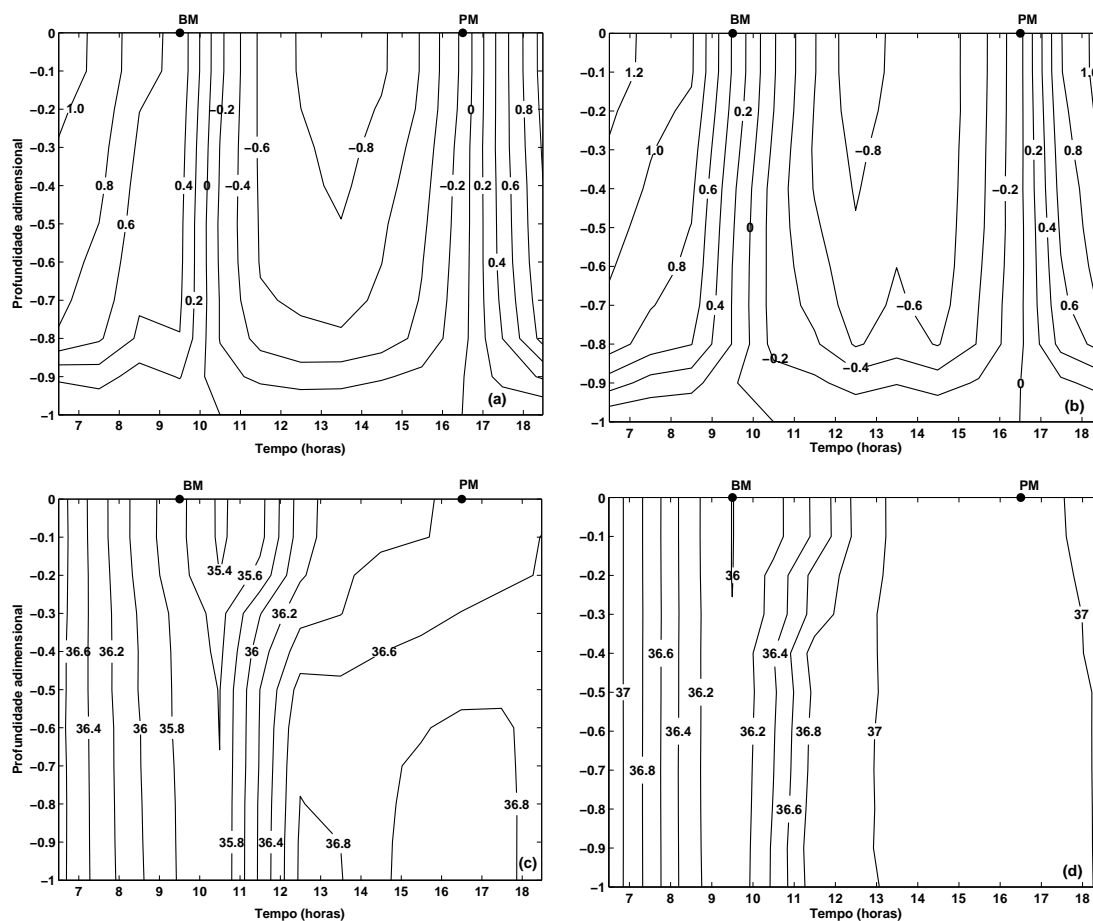


Figura 6.58: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal da Barra do Mutá (Figura 6.56). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

Os diagramas de estratificação-circulação obtidos para as estações de CTD localizadas na seção transversal da Barra do Mutá para uma situação de maré de sizígia (Figura 6.46), classificam a região do CTD1 (CTD2) como bem misturada tipo 1a (parcialmente misturada tipo 2a), não apresentando transição em relação à quadratura.

Para o perfil transversal do rio Serinhaém, as velocidades longitudinais observadas durante a sizígia (Figura 6.59), principalmente na parte superior da coluna d'água, apresentaram um cisalhamento vertical menor do que o observado durante a quadratura, e uma maior variação horizontal.

Para a situação de máxima vazante (Figura 6.59a), as maiores velocidades foram observadas nas laterais da seção ocupando uma grande porção da coluna d'água, com as maiores intensidades de $1,20 \text{ m s}^{-1}$ ocorrendo no canal principal (Figura 6.59). Na situação de máxima enchente (Figura 6.59b), as maiores velocidades foram observadas em um núcleo

de sub-superfície e ocuparam a porção central do perfil, atingindo valores de $-0,70 \text{ m s}^{-1}$. A velocidade média na seção durante a enchente (vazante) foi de $-0,51 \text{ m s}^{-1}$ ($0,78 \text{ m s}^{-1}$), associada a um transporte de $-7.279 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($10.225 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Tabela 6.18).

Para o perfil de velocidades residuais (Figura 6.59c), o fluxo de vazante ocorreu preferencialmente nas laterais da seção, com intensidade de $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto em toda a porção central o fluxo foi de enchente com intensidade similar. A velocidade residual média foi próxima a zero esteve associada a um transporte de $329 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 6.18).

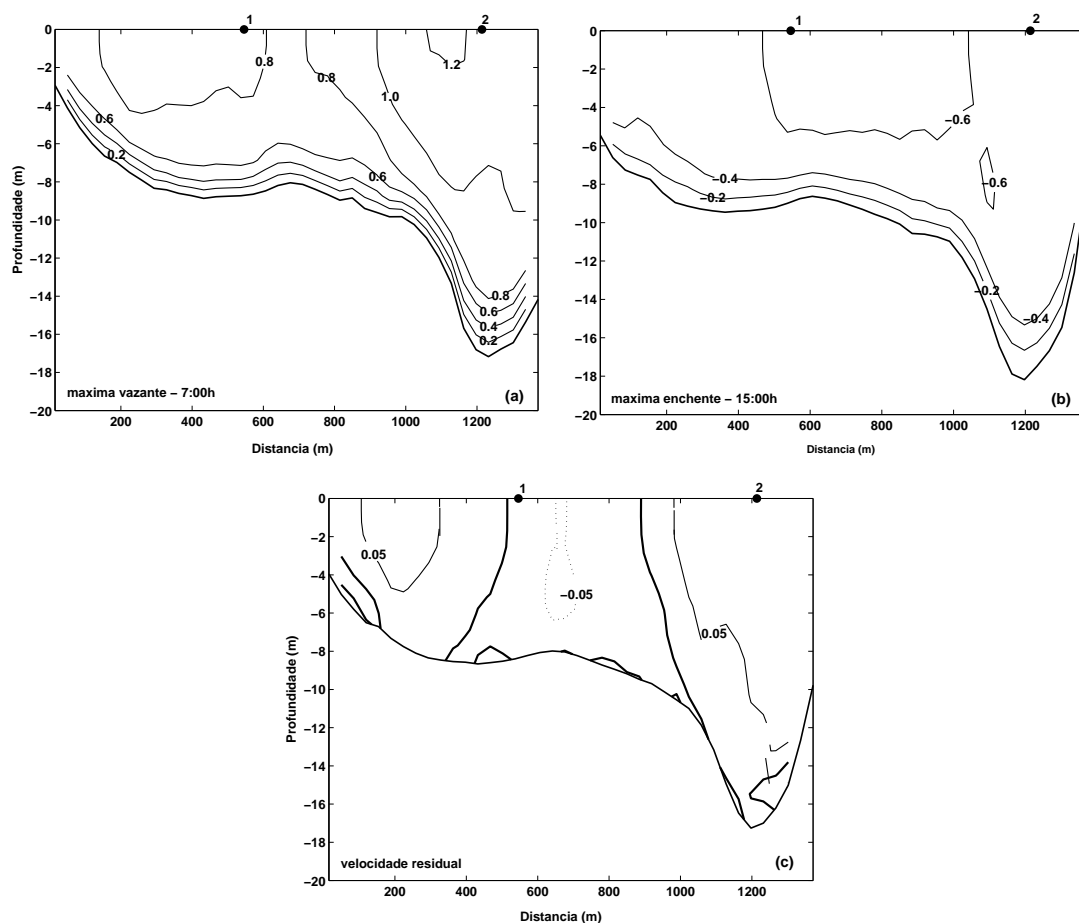


Figura 6.59: Variação da velocidade ao longo da seção transversal do rio Serinhaém (Figura 5.1) para um ciclo completo de maré (13 h). A seção foi realizada no dia 29/09/2004 (entre 6:00h e 18:00h), sendo representativa de uma situação de sizígia. A distância da seção é em relação à margem esquerda sentido continente-oceano. As velocidades são expressas em m s^{-1} e positivas (negativas) para um fluxo de vazante (enchente). As figuras representam em ordem cronológica: (a) situação de máxima vazante, (b) situação de máxima enchente e (c) campo de velocidade residual. 1 e 2 representam as posições das estações de perfilagem com CTD.

Os perfis verticais médios de velocidades nas estações de CTD localizadas na seção transversal do rio Serinhaém (Figuras 6.60a,b), apresentaram grande homogeneidade e uma variabilidade maior do que a observada na quadratura. As velocidades médias observadas no perfil do CTD2 (Figura 6.60b) apresentaram movimentos unidirecionais em direção a desembocadura do rio, com intensidade residual de $0,07 \text{ m s}^{-1}$. Para o perfil do CTD1 (Figura 6.60a) a velocidade residual foi muito próxima a zero.

Durante o ciclo de maré, as velocidades variaram entre $-0,60 \text{ m s}^{-1}$ e $1,20 \text{ m s}^{-1}$ (Figuras 6.61a,b) e foram mais intensas entre as estofas, quando chegaram a ocupar 70% da coluna d'água.

Os perfis verticais médios de temperatura (Figuras 6.60c,d) apresentaram uma estrutura bastante homogênea, com valores médios na coluna d'água de 27°C , e pequena variabilidade horária, com valores em superfície entre $26,3^\circ\text{C}$ e $27,5^\circ\text{C}$. Para a salinidade, a estrutura vertical média apresentou uma maior homogeneidade do que a observada na quadratura, com valor médio em torno de 34 em toda a coluna de água (Figuras 6.60e,f). No entanto, a variabilidade horária neste período foi maior.

Ao longo do ciclo monitorado, a salinidade na superfície variou entre 31,5 e 36,2 (Figuras 6.61c,d) e a coluna d'água apresentou forte mistura, com estratificação vertical máxima de 0,9 durante a baixamar. As maiores salinidades estiveram associadas à preamar.

Os diagramas de estratificação-circulação obtidos para as regiões das estações de CTD localizadas na seção transversal do rio Serinhém (Figura 6.50), mostram que, para uma situação de maré de sizígia, a região do CTD1 apresenta uma transição para um estuário do tipo bem misturado tipo 1a. No entanto, para a região do CTD2 as características mantem-se as mesmas das observadas durante a quadratura.

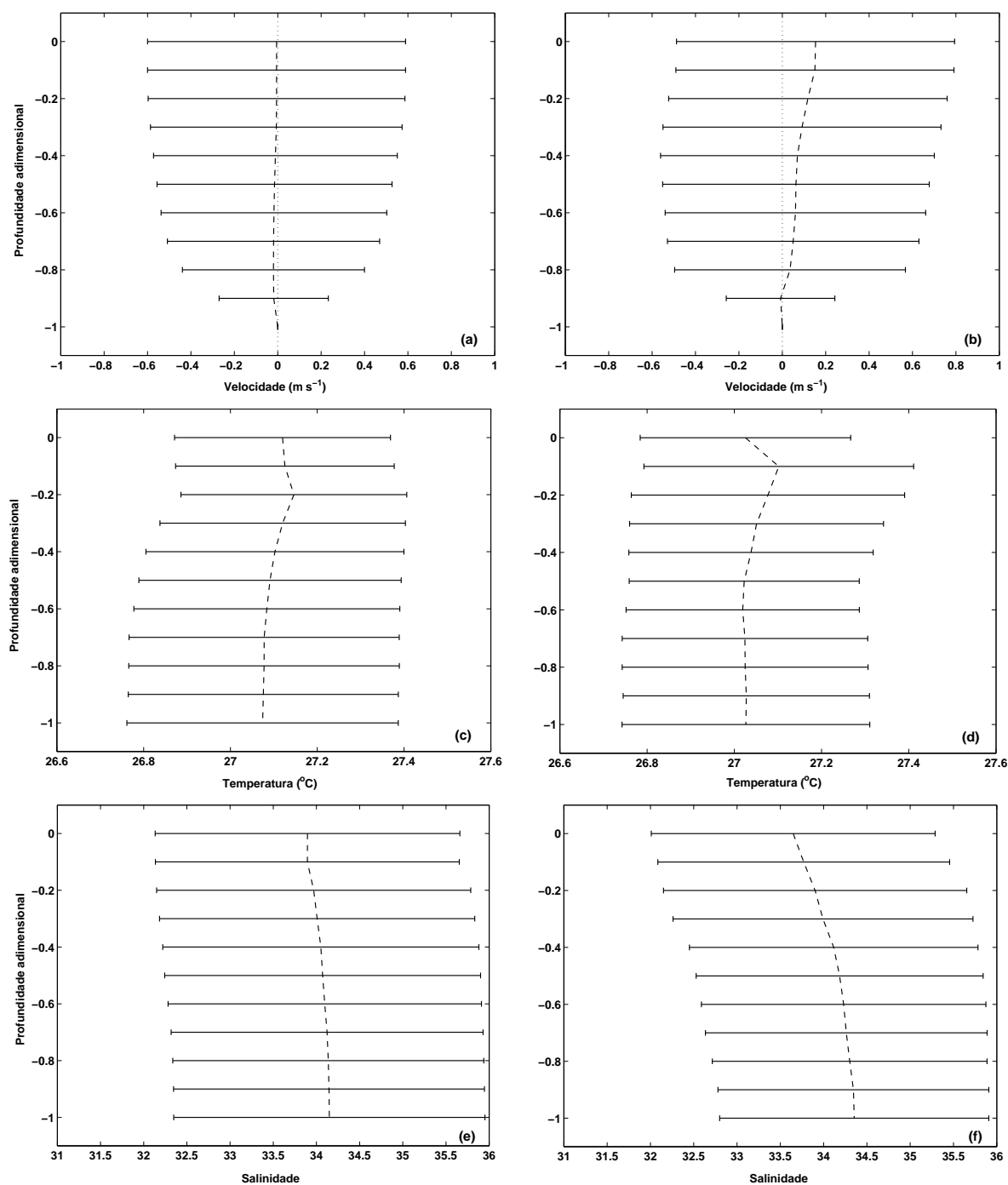


Figura 6.60: Perfis médios temporais (linha vertical tracejada) de (a,b) velocidade, (c,d) temperatura e (e,f) salinidade e correspondentes desvios-padrão (barras horizontais), durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), durante o monitoramento na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.59).

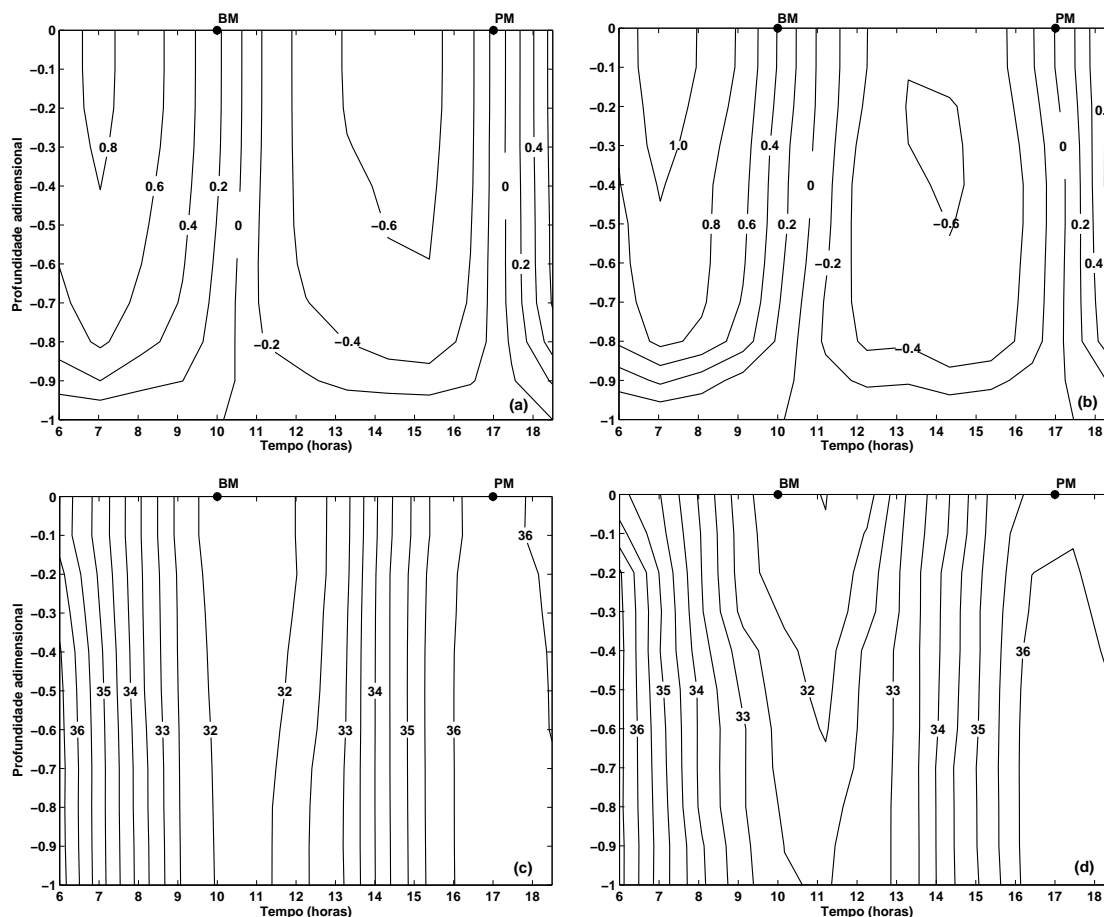


Figura 6.61: Variação temporal de (a,b) velocidade e (c,d) salinidade, durante um ciclo completo de maré (13 h) e em situação de sizígia, para as estações de CTD1 (painéis à esquerda) e CTD2 (painéis à direita), localizadas na seção transversal do rio Serinhaém (Figura 6.59). PM e BM indicam a ocorrência de preamar e baixamar, respectivamente.

A variação longitudinal de salinidade (Figura 6.62) foi bastante acentuada, variando entre 32 na boca de estuário e 19 na porção mais interna da seção. A estratificação vertical apresentou uma marcada distinção entre a porção mais próxima da entrada do sistema, que apresenta estrutura mais homogênea, e a porção mais continental, que apresentou uma estratificação de até 4.

A distribuição longitudinal da temperatura (Figura 6.62), principalmente na porção mais superficial da coluna de água, foi bastante homogênea e com valores próximos a 27°C . As variações verticais foram maiores na porção mais interior do perfil, com diferenças de até $0,4^{\circ}\text{C}$. Os valores de CSS foram cerca de três vezes maiores do que na quadratura, atingindo uma concentração máxima de 23 mg l^{-1} próximo a desembocadura do rio (Figura 6.62).

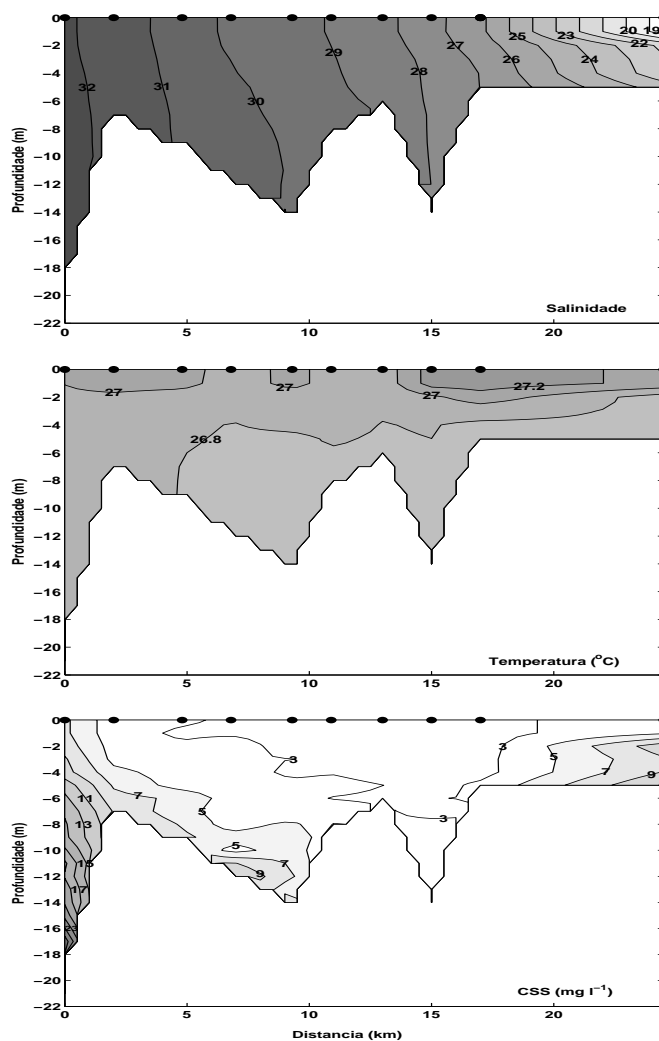


Figura 6.62: Perfis longitudinais de variação da salinidade, temperatura e CSS ao longo do rio Serinhaém, durante o dia 29/09/04 (entre 10:20h e 11:35h), representando uma situação de baixamar de sizígia. A distância percorrida ao longo do perfil é em função das estações (●) numeradas em ordem crescente a partir da desembocadura do rio (Figura 5.1).

6.2 Modelagem regional da circulação atmosférica

Nesta seção serão apresentados os critérios adotados para a validação do MR Eta, que forneceu o campo de ventos utilizado como forçante do modelo de trajetória de óleo GNOME. As considerações acerca da implementação do modelo atmosférico para a região de estudo, estão apresentadas na seção 5.3 deste trabalho. As integrações foram realizadas para os meses de janeiro e junho de 2003, de forma a caracterizar as estações seca e chuvosa e para os períodos onde existem dados hidrodinâmicos.

Para a análise das séries temporais previstas pelo MR Eta, será feita a comparação entre os resultados do MR e as análises do MCG do NCEP, utilizado como condições inicial e de contorno para o MR Eta, e com as observações de cinco estações meteorológicas localizadas no entorno do domínio estudado (Tabela 6.19). Estas análises foram feitas a partir de correlações cruzadas entre as séries e em função dos cálculos dos RMSE (Equação 4.1) e dos erros percentuais, calculados de acordo com a equação (Spiegel, 1976):

$$erro = \frac{var(P - O)}{2 var(O)} \quad (6.2)$$

onde *var* representa a variância dos dados, *P* é o resultado da previsão do MR e *O* é o resultado das observações ou das análises.

As precipitações totais para os meses de janeiro e junho de 2003 produzidas pelo MR Eta e observadas de acordo com a rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e do INPE estão apresentadas na Figura 6.63.

Para a região de domínio do MR, durante o mês de janeiro, as maiores precipitações foram observadas na região oeste do domínio correspondendo ao interior da Bahia e norte de Minas-Gerais (Figura 6.63a), com valor acumulado entre 200 e 250 mm. Na faixa litorânea da Bahia, a precipitação observada ficou entre 25 e 100 mm, sendo que no sul a precipitação foi maior do que na região norte do estado e em Sergipe.

Para o mês de junho o padrão foi inverso. As maiores precipitações foram observadas na costa central e norte da Bahia e atingiram valores entre 200 e 350 mm (Figura 6.63c). As menores precipitações foram observadas na região oeste do domínio do MR (correspondendo ao interior da Bahia), no extremo sul da Bahia e leste de Minas-Gerais, com valores entre 1 e 100 mm.

A precipitação total produzida pelo MR durante os meses de janeiro e junho (Figuras 6.63b e 6.63d), mostram que o MR foi capaz de reproduzir os padrões observados para a região de estudo. O modelo capturou as fases opostas do regime de precipitação em janeiro e junho de 2003. Em janeiro de 2003, o modelo produziu mais chuvas no oeste do domínio e no extremo sudoeste, com valores entre 100 e 250 mm. Na região litorânea do estado da Bahia, exceto no extremo sul, a precipitação variou entre 1 e 100 mm. Em junho de 2003, o modelo produziu chuvas mais intensas nas regiões litorânea, central e norte da Bahia e em Sergipe, e chuvas gradativamente menos intensas em direção ao interior do estado da Bahia, com valores entre 1 e 100 mm.

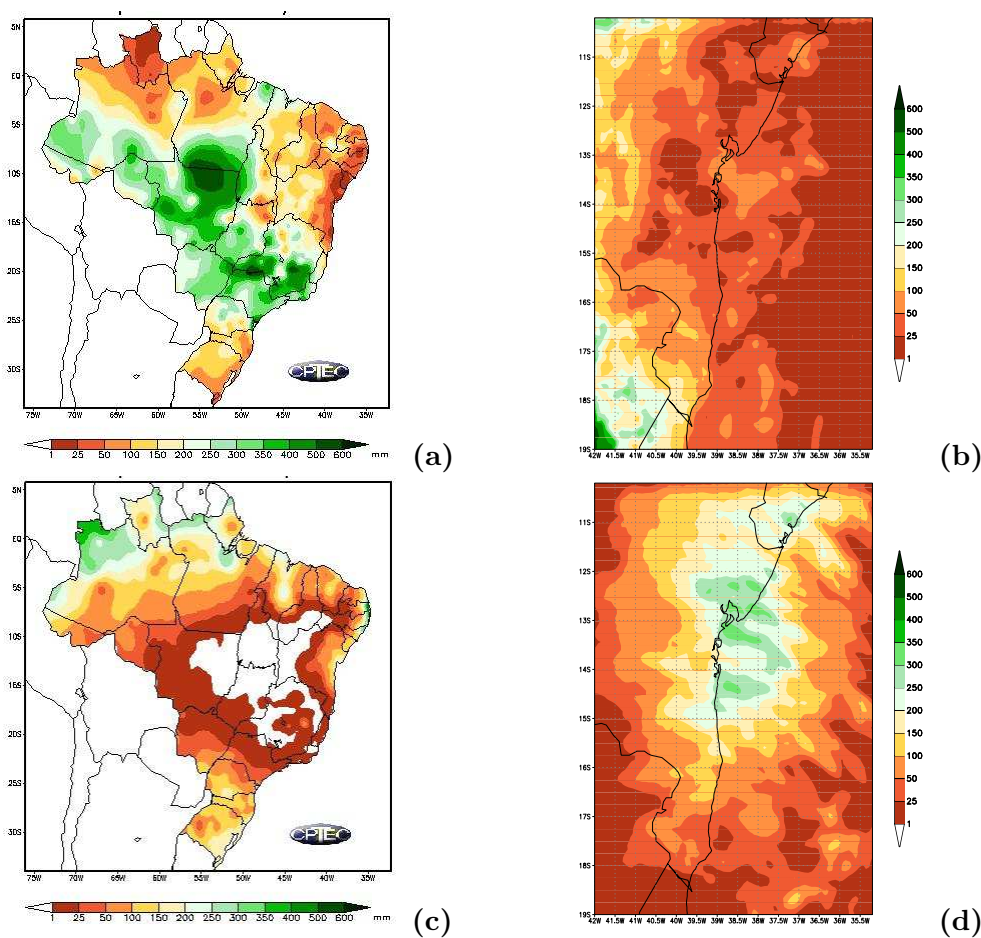


Figura 6.63: Precipitação observada pela rede de PCD's do INMET e INPE (fonte CPTEC/INPE para a e c) durante os meses de (a) janeiro e (c) junho de 2003 e previstas pelo MR Eta para os meses de (b) janeiro e (d) junho de 2003.

As séries temporais de vento observados e produzidos pelo MCG e pelo MR para o mês de janeiro (Figura 6.64), nos pontos onde cinco estações meteorológicas estão localizadas (Tabela 6.19), nas regiões costeira (Salvador, Camamu e Ilhéus) e interior (Milagres e Jequié) do domínio do MR, mostram que a variabilidade do MR e do MCG estão fortemente correlacionadas. O coeficiente de correlação foi aproximadamente de 0,75 para a intensidade

e direção dos ventos (Tabela 6.20). No entanto, o MR superestimou a intensidade dos ventos em relação ao MCG, principalmente na região costeira. Este comportamento pode estar relacionado ao fato do MR reproduzir maior variabilidade do que o MCG. As análises do MCG, por outro lado, também superestimaram a intensidade da velocidade do vento em relação às observações. No geral, os modelos capturaram com acurácia a variabilidade da intensidade do vento, mas não conseguiram reproduzir as magnitudes (Tabela 6.20).

Tabela 6.19: Localização das estações meteorológicas utilizadas para a validação do MR Eta. A estação de Camamu foi instalada durante os períodos de monitoramento (Tabelas 5.1 e 5.2) e as demais pertencem ao CPTEC (INPE, 2005).

Estação	Longitude (°)	Latitude (°)
Camamu	-38,95	-13,89
Salvador	-38,36	-12,93
Ilhéus	-39,23	-14,75
Milagres	-39,74	-12,97
Jequié	-40,70	-13,87

Tabela 6.20: Estatística entre os resultados dos MCG e MR Eta do NCEP para o mês de janeiro de 2003. As médias e o RMSE (Equação 4.1) estão expressos em m s^{-1} . O erro percentual foi calculado a partir da Equação 6.2. $\pm\sigma$ representa um desvio-padrão.

Localização		MCG média $\pm\sigma$	MR Eta média $\pm\sigma$	RMSE	erro	correlação
Camamu	Vel.	2,2	3,0	1,8	-	0,74
	u	-2,1 \pm 1,3	-2,9 \pm 2,1	1,5	0,43	0,84
	v	-0,9 \pm 1,0	-0,6 \pm 2,1	1,5	1,07	0,75
Salvador	Vel.	4,0	5,1	2,3	-	0,78
	u	-3,9 \pm 1,5	-5,1 \pm 2,9	2,2	0,76	0,84
	v	-1,0 \pm 1,7	-0,2 \pm 2,3	1,6	0,28	0,84
Ilhéus	Vel.	3,1	3,9	2,6	-	0,74
	u	-2,4 \pm 1,5	-3,4 \pm 3,2	2,4	0,98	0,81
	v	-1,9 \pm 1,4	-2,0 \pm 2,2	1,5	0,55	0,74
Milagres	Vel.	2,9	3,8	1,8	-	0,70
	u	-2,9 \pm 1,4	-3,7 \pm 2,2	1,7	0,59	0,70
	v	-0,1 \pm 1,3	-0,3 \pm 2,1	1,4	0,51	0,82
Jequié	Vel.	2,2	2,2	1,2	-	0,75
	u	-2,2 \pm 1,3	-2,0 \pm 1,8	1,2	0,45	0,75
	v	-0,3 \pm 1,0	-1,0 \pm 1,0	1,6	0,51	0,46

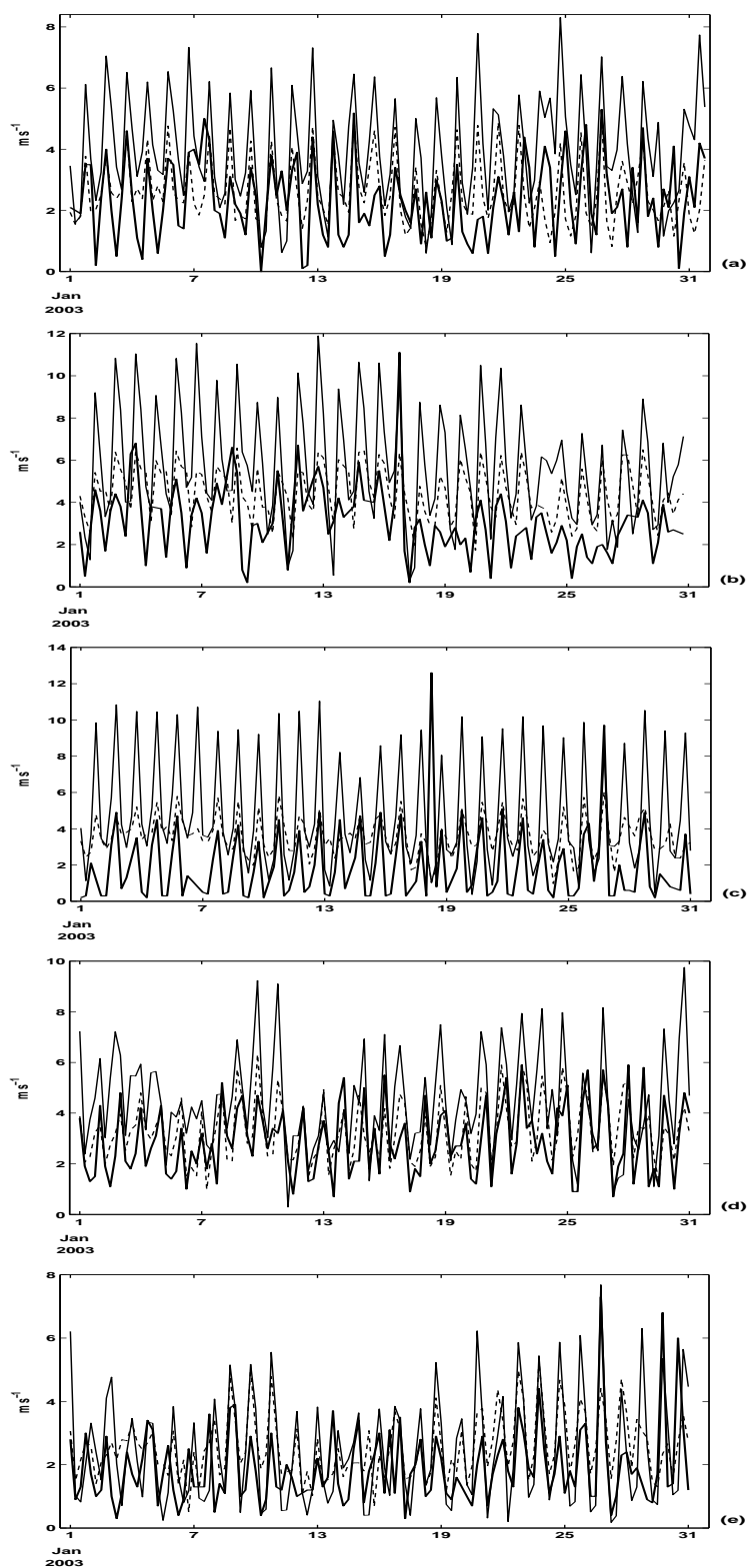


Figura 6.64: Séries temporais da intensidade do vento para janeiro de 2003, obtidas pelos MCG (linha tracejada) e MR (linha cheia fina) e pelas estações meteorológicas (linha cheia grossa) localizadas em (a) Camamu, (b) Salvador, (c) Ilhéus, (d) Milagres e (e) Jequié.

O RMSE do modelo Eta em relação ao MCG foi calculado para a intensidade do vento na região costeira e interior. Os valores atingiram $2,6 \text{ m s}^{-1}$ em Ilhéus e $1,2 \text{ m s}^{-1}$ em Jequié (Figura 6.64). Para a direção, o componente meridional do vento se mostrou ligeiramente mais bem simulado do que o zonal, principalmente para a região costeira, apresentando RMSE e erro percentual no entorno de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ e 0,50, respectivamente (Tabela 6.20).

Com relação às séries temporais de ventos registradas pelas estações meteorológicas durante o mês de janeiro (Figura 6.64), o MR foi capaz de capturar a variabilidade observada. Os coeficientes de correlação apresentaram valores no entorno de 0,50 tanto para as intensidades quanto para os componentes do vento, sendo, na maioria dos casos, maiores do que os obtidos para o MCG (Tabela 6.21). No entanto, o MR superestimou a intensidade dos ventos, principalmente para a região costeira e para o componente zonal, apresentando valores para o RMSE e para o erro percentual maiores do que os obtidos para o MCG (Tabela 6.21).

Tabela 6.21: Análogo à Tabela 6.20, porém para os resultados obtidos entre os MCG e MR Eta do NCEP e as observações das estações meteorológicas.

Localização		PCD média $\pm \sigma$	RMSE		erro		correlação	
			MCG	MR	MCG	MR	MCG	MR
Camamu	Vel.	1,3	1,3	2,2	-	-	0,44	0,54
	u	$-1,0 \pm 1,7$	1,9	2,8	0,46	0,66	0,44	0,50
	v	$-0,9 \pm 1,6$	1,5	1,8	0,44	0,67	0,42	0,55
Salvador	Vel.	2,6	2,1	3,4	-	-	0,40	0,56
	u	$-2,4 \pm 2,0$	2,6	3,9	0,60	1,10	0,24	0,37
	v	$-1,1 \pm 1,2$	1,2	2,0	0,60	1,10	0,66	0,65
Ilhéus	Vel.	1,3	2,5	3,7	-	-	0,43	0,58
	u	$0,31 \pm 1,6$	3,2	4,7	0,56	1,74	0,43	0,42
	v	$-1,2 \pm 1,8$	2,4	2,4	0,77	0,74	0,10	0,38
Milagres	Vel.	2,3	1,1	2,1	-	-	0,68	0,56
	u	$-2,1 \pm 1,5$	1,6	2,5	0,37	0,75	0,60	0,52
	v	$1,1 \pm 1,6$	1,8	1,8	0,30	0,48	0,64	0,66
Jequié	Vel.	1,0	1,3	1,6	-	-	0,48	0,54
	u	$-1,0 \pm 1,5$	1,8	1,9	0,43	0,61	0,48	0,51
	v	$0,4 \pm 1,4$	1,6	1,5	0,52	0,54	0,35	0,25

Os resultados das simulações do MR para o mês de junho de 2003 (Tabela 6.22), apresentaram coeficientes de correlação com as análises do MCG menores que os obtidos durante o mês de janeiro, principalmente para os pontos localizados na região costeira. Este comportamento pode estar associado ao fato de neste mês ter ocorrido a penetração de frentes frias no domínio do MR. Como o MR possui uma variabilidade espacial maior do que as análises do NCEP, ele produziu ventos mais intensos e um padrão menos dependente do

padrão do MG, o qual é muito mais suave. Quanto à intensidade dos ventos, se comparado aos resultados do MCG, o MR mais uma vez apresentou uma tendência a superestimá-los, principalmente na região costeira (Tabela 6.22). O RMSE obtido para as intensidades na região costeira esteve no entorno de $2,0 \text{ m s}^{-1}$. Para a direção dos ventos, na região costeira o componente meridional foi melhor capturado, apresentando um erro percentual cerca de duas vezes menor em relação aos obtidos para o componente zonal. No entanto, para os pontos no interior, o componente zonal foi melhor simulado, apresentando um erro percentual cerca de três vezes menor (Tabela 6.22).

Tabela 6.22: Análogo à Tabela 6.20, porém para o mês de junho de 2003.

Localização		MCG média $\pm\sigma$	MR Eta média $\pm\sigma$	RMSE	erro	correlação
Camamu	Vel.	1,8	4,3	3,1	-	0,40
	u	$-0,9 \pm 0,8$	$-2,2 \pm 2,0$	2,3	2,9	0,40
	v	$1,5 \pm 0,7$	$3,6 \pm 1,6$	2,6	2,2	0,40
Salvador	Vel.	3,7	5,2	2,5	-	0,46
	u	$-2,7 \pm 0,9$	$-3,3 \pm 2,4$	2,2	2,90	0,48
	v	$2,4 \pm 1,0$	$4,0 \pm 1,7$	2,2	1,30	0,42
Ilhéus	Vel.	2,7	2,8	2,0	-	0,48
	u	$-1,9 \pm 1,2$	$-1,8 \pm 3,0$	2,4	2,10	0,66
	v	$2,0 \pm 1,2$	$2,1 \pm 1,8$	1,6	0,91	0,47
Milagres	Vel.	3,0	3,9	1,7	-	0,60
	u	$-2,3 \pm 1,3$	$-2,7 \pm 2,0$	1,7	0,85	0,56
	v	$2,0 \pm 0,7$	$2,8 \pm 1,3$	1,5	1,54	0,33
Jequié	Vel.	2,4	1,7	1,4	-	0,58
	u	$-2,0 \pm 1,1$	$-1,3 \pm 1,5$	1,4	0,57	0,62
	v	$1,4 \pm 0,7$	$1,1 \pm 1,3$	1,5	2,14	0,02

Durante o mês de junho de 2003, apesar do MR ter capturado a variabilidade e a amplitude das oscilações observadas pelas estações meteorológicas (Figura 6.65), as correlações encontradas para a região costeira, para a intensidade e direção dos ventos, estiveram no entorno de 0,4 e foram menores do que as encontradas para o MR (Tabela 6.23).

Para os pontos no interior, as correlações foram similares às encontradas em janeiro. Como observado para o mês de janeiro, o MR superestimou os valores observados pelas estações meteorológicas, principalmente para a região costeira e para o componente zonal do vento, apresentando RMSE entre $2,3 \text{ m s}^{-1}$ e $4,0 \text{ m s}^{-1}$ e erro percentual de até 0,81 (Tabela 6.23). Cabe ressaltar, que para a análise dos resultados do MR para o mês de junho, os dados observados pelas PCD's de Salvador e Ilhéus foram utilizados com certa ressalva, pois as mesmas vem apresentando resultados inconsistentes para os meses de inverno desde

trabalhos anteriores (e.g. Amorim et al., 2004). Devido a alta resolução do MR, sua validação deve ser conduzida para um grande número de estações.

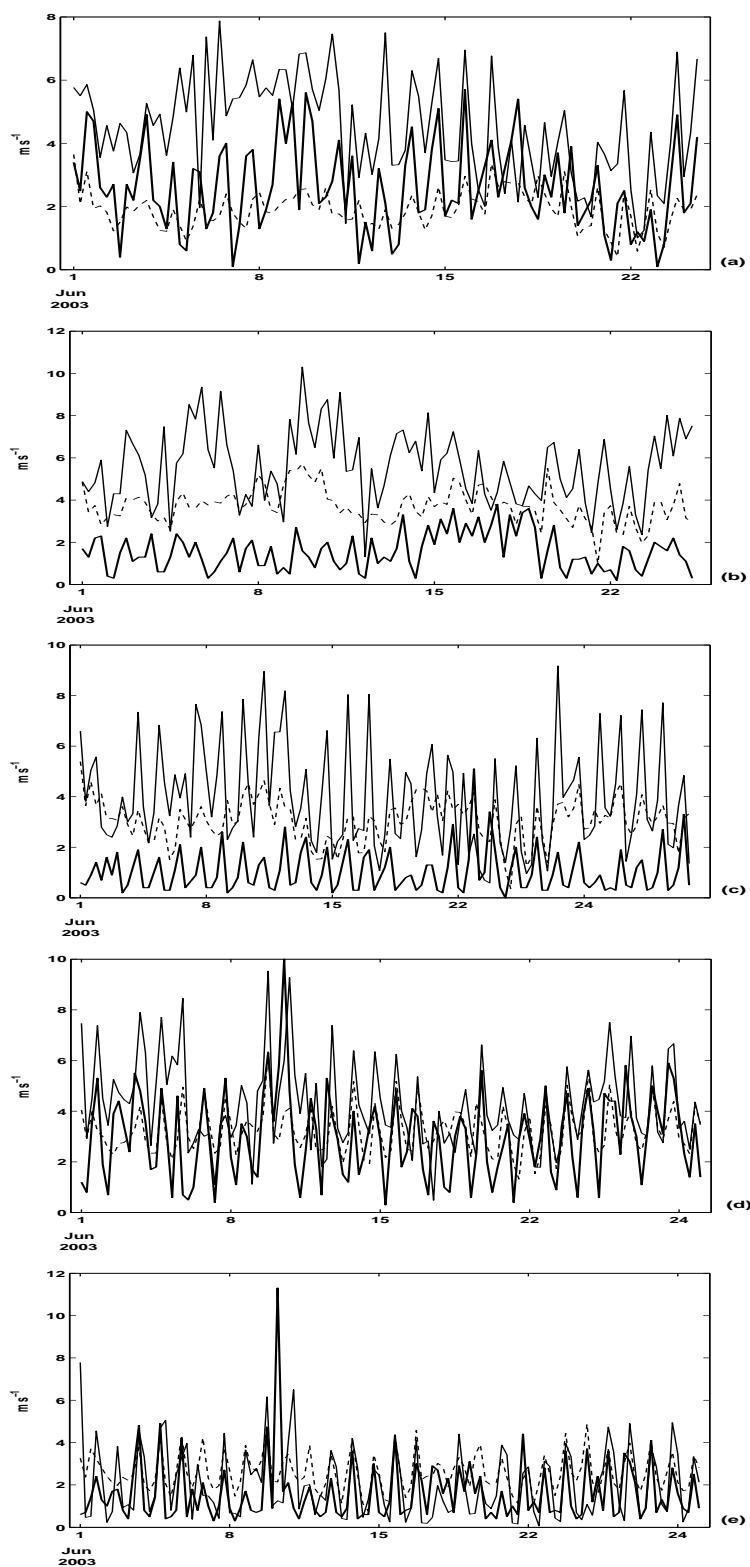


Figura 6.65: Análogo à Figura 6.64, porém para o mês de junho de 2003.

Tabela 6.23: Análogo à Tabela 6.21, porém para o mês de junho de 2003.

Localização		PCD média $\pm \sigma$	RMSE		erro		correlação	
			MCG	MR	MCG	MR	MCG	MR
Camamu	Vel.	2,0	1,4	2,5	-	-	0,52	0,43
	u	0,8 \pm 1,6	2,1	3,6	0,35	0,81	0,56	0,40
	v	1,8 \pm 1,5	1,5	2,3	0,46	0,61	0,32	0,40
Salvador	Vel.	0,8	2,4	4,4	-	-	0,28	0,10
	u	-0,3 \pm 0,9	2,7	4,0	0,85	4,30	0,15	0,10
	v	0,7 \pm 1,4	2,0	3,6	0,42	0,80	0,48	0,30
Ilhéus	Vel.	0,3	2,3	3,4	-	-	0,20	0,46
	u	-0,1 \pm 0,8	2,1	3,2	0,84	5,30	0,45	0,44
	v	-0,3 \pm 1,0	2,6	3,0	0,81	1,80	0,34	0,20
Milagres	Vel.	2,7	1,5	2,2	-	-	0,51	0,50
	u	-2,2 \pm 1,6	1,4	2,1	0,37	0,78	0,55	0,40
	v	1,5 \pm 1,4	1,5	2,2	0,48	0,78	0,30	0,20
Jequié	Vel.	0,9	1,6	1,8	-	-	0,52	0,51
	u	-0,6 \pm 1,4	1,8	1,8	0,40	0,74	0,52	0,51
	v	0,7 \pm 1,4	1,7	1,6	0,62	0,63	0,02	0,44

Com base nos resultados obtidos nas análises dos dados fornecidos pelo MR, foi adotado um critério específico para este estudo com intuito de melhorar os resultados do MR para o campo de ventos. Este critério consistiu basicamente, na adoção de um fator de correção com base nos erros percentuais obtidos entre os resultados do MR e os dados das estações meteorológicas. As correlações encontradas entre os resultados do MR e os dados das estações meteorológicas foram, no geral, melhores do que aquelas obtidas para o MCG. Com este diagnóstico, foi imposta uma correção na magnitude dos ventos.

Em função dos erros percentuais encontrados, foi usado um fator de correção $c=0,67$, obtido a partir da média dos erros, desconsiderando as PCD's de Salvador e Ilhéus em função de exposto anteriormente em relação à qualidade dos dados observados. Como este fator representa o erro percentual médio dos resultados do MR, em um universo de 95% de confiança (Equação 6.2), para descontarmos este erro a série de dados de vento fornecida pelo MR foi dividida por $1+c$.

Os resultados obtidos (Tabela 6.24) mostram que o uso do fator de correção nos resultados do MR, diminuiu consideravelmente os RMSE e os erros percentuais entre estes resultados e as observações das estações meteorológicas, principalmente para os pontos localizados na região costeira e durante o mês de junho. Como o fator de correção foi o mesmo para os componentes zonal e meridional do vento, a direção foi mantida, bem como as correlações.

Tabela 6.24: Estatística entre os resultados corrigidos do MR Eta e as observações das estações meteorológicas. O fator de correção usado foi de $c=0,67$

Localização		RMSE		erro	
		janeiro/03	junho/03	janeiro/03	junho/03
Camamu	Vel.	1,1	1,3	-	-
	u	1,7	2,6	0,40	0,50
	v	1,5	1,4	0,38	0,44
Salvador	Vel.	1,5	2,2	-	-
	u	2,2	2,5	0,57	1,93
	v	1,5	2,1	0,41	0,54
Ilhéus	Vel.	1,9	1,7	-	-
	u	3,0	1,9	0,74	1,84
	v	1,8	2,0	0,48	0,90
Milagres	Vel.	1,2	1,6	-	-
	u	1,4	1,7	0,41	0,48
	v	1,5	1,5	0,30	0,57
Jequié	Vel.	1,2	1,5	-	-
	u	1,3	1,4	0,40	0,50
	v	1,3	1,3	0,48	0,47

6.3 Modelagem numérica da trajetória de óleo

Nesta seção serão apresentados os critérios adotados para elaboração dos cenários para os derrames de óleo, bem como as forçantes e a grade definida para a modelagem.

6.3.1 Configuração do cenário para a simulação

Para a modelagem dos possíveis derramamentos de óleo que poderiam vir a impactar a BC e suas adjacências, foram usados como pontos de derrames os poços de exploração de petróleo e gás natural existentes nos blocos BM-CAL-4 e BM-CAL-5, localizados na plataforma continental adjacente à BC (Figura 6.66).

O bloco BM-CAL-4 possui três poços de exploração localizados ao norte da BC: poços BM-CAL-004-1, BM-CAL-004-2 e 7-BAS-64-001 (Figura 6.66). Os poços BM-CAL-004-1 e BM-CAL-004-2 encontram-se praticamente alinhados, desta forma, para este bloco, foi usado somente os poços BM-CAL-004-1, por se encontrar mais próximo à BC e em lâmina d'água de 35 m, e 7-BAS-64-001, situado em lâmina d'água de 20 m. Para o bloco BM-CAL-5, foi usado o poço 1-BAS-77-BA, situado em lâmina d'água de 100 m (Figura 6.66).

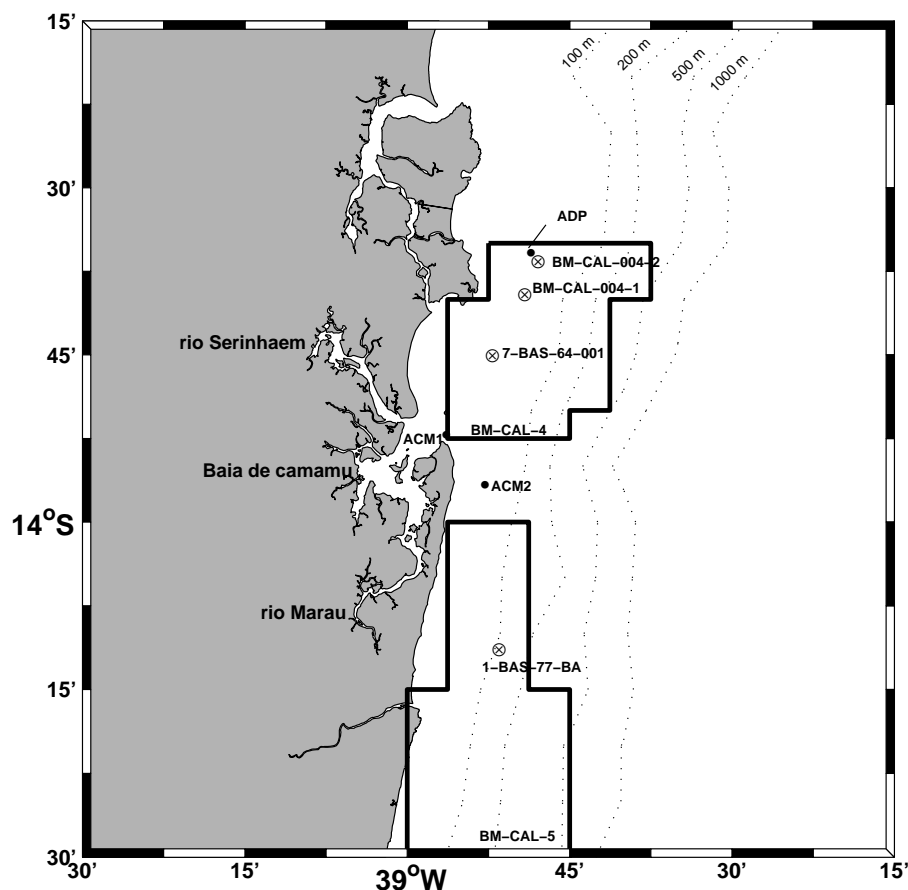


Figura 6.66: Cenário para modelagem do derrame de óleo.

Para a configuração dos cenários foram usadas duas situações distintas, pré determinadas pela EIPaso (2005) quando da execução do Relatório de Controle Ambiental do bloco BM-CAL-4, são elas: i) vazamento de óleo diesel por eventos de abalroamento da embarcação contra a plataforma ou durante operações de descarga/abastecimento; e ii) vazamento de óleo cru por descontrole total do poço (*blowout*).

Para o evento de vazamento de óleo diesel (grupo 2 da Tabela 3.1), segundo as diretrizes da Resolução CONAMA 293/01, considerou-se um vazamento instantâneo de 200 m^3 , volume máximo que a El Paso Óleo e Gás do Brasil LTDA pretende ter estocado em suas embarcações (EIPaso, 2005). Para um vazamento de óleo cru por descontrole total do poço, foi adotada a descarga de pior caso, estimada a uma taxa de $520 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ($0,006 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e contínuo por cinco dias (EIPaso, 2005). O óleo utilizado para este cenário foi um óleo #6 tipo *Bunker*, pertencente ao grupo 4 (Tabela 3.1). Desta forma, obteve-se a representação de quatro cenários, possibilitando o mapeamento das áreas de influência de três poços de petróleo, caracterizando um período seco e um período chuvoso. Este resultados serão apresentados na seção 6.4 deste trabalho.

A grade computacional utilizada para as simulações dos cenários de derrames de óleo, compreendeu os limites entre as latitudes de $-13^{\circ}15'$ e $-14^{\circ}30'$ e as longitudes de $-38^{\circ}15'$ e $-39^{\circ}30'$. Para representar o campo de correntes idealizado, usou-se uma resolução espacial de 5 km e uma resolução temporal de 1h. Para representar o campo de ventos, usou-se a resolução espacial e temporal fornecida pelo MR Eta (seção 5.3), de 10 km e 6 h, respectivamente.

6.3.2 Forçantes

Para os cenários modelados, o volume inicial da mancha de óleo foi dividida em #1000 EL, cada um sujeito à ação do campo de ventos fornecido pelo MR Eta e pelo campo idealizado de correntes apresentado a seguir. Para a representação destas forçantes, foi usada a técnica de superposição linear.

A circulação nas regiões estuarina e da plataforma continental adjacente à BC, foram representadas de maneira idealizada, com base nas séries de correntes obtidas para os pontos ACM1, ACM2 e ADP em uma profundidade de 5 m (Figura 6.67), durante os períodos de monitoramento apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2. Para que pudessemos representar os ciclos semi-diurnos de correntes de maré e as oscilações diurnas causadas pelo campo de ventos, foi adotada uma resolução espacial de 5 km e temporal de 1 h.

Para representar a circulação na plataforma continental, a série de correntes obtida para o ponto ADP representou toda a região do domínio localizada ao norte deste (Figura 6.67). O mesmo procedimento foi adotado para a região do domínio ao sul do ponto ACM2.

Para a representação espacial das correntes na região compreendida entre os pontos ACM1, ACM2 e ADP (Figura 6.67), foi feita uma interpolação linear com as séries de correntes obtidas nestes pontos. Este procedimento permitiu representar a convergência/divergência das correntes para o interior da BC, proporcionada pelas marés e pelas oscilações diurnas do campo de ventos.

A região interior à BC possui uma alta influência das correntes de maré, logo, o comportamento das correntes nesta região, foi representado a partir das séries de correntes obtidas para o ponto ACM1 (Figura 6.67). Para representar a convergência/divergência destas correntes nos rios Maraú e Serinhaém, os vetores de correntes foram alinhados com os canais destes rios, considerando-se condição de fluxo nulo nas bordas.

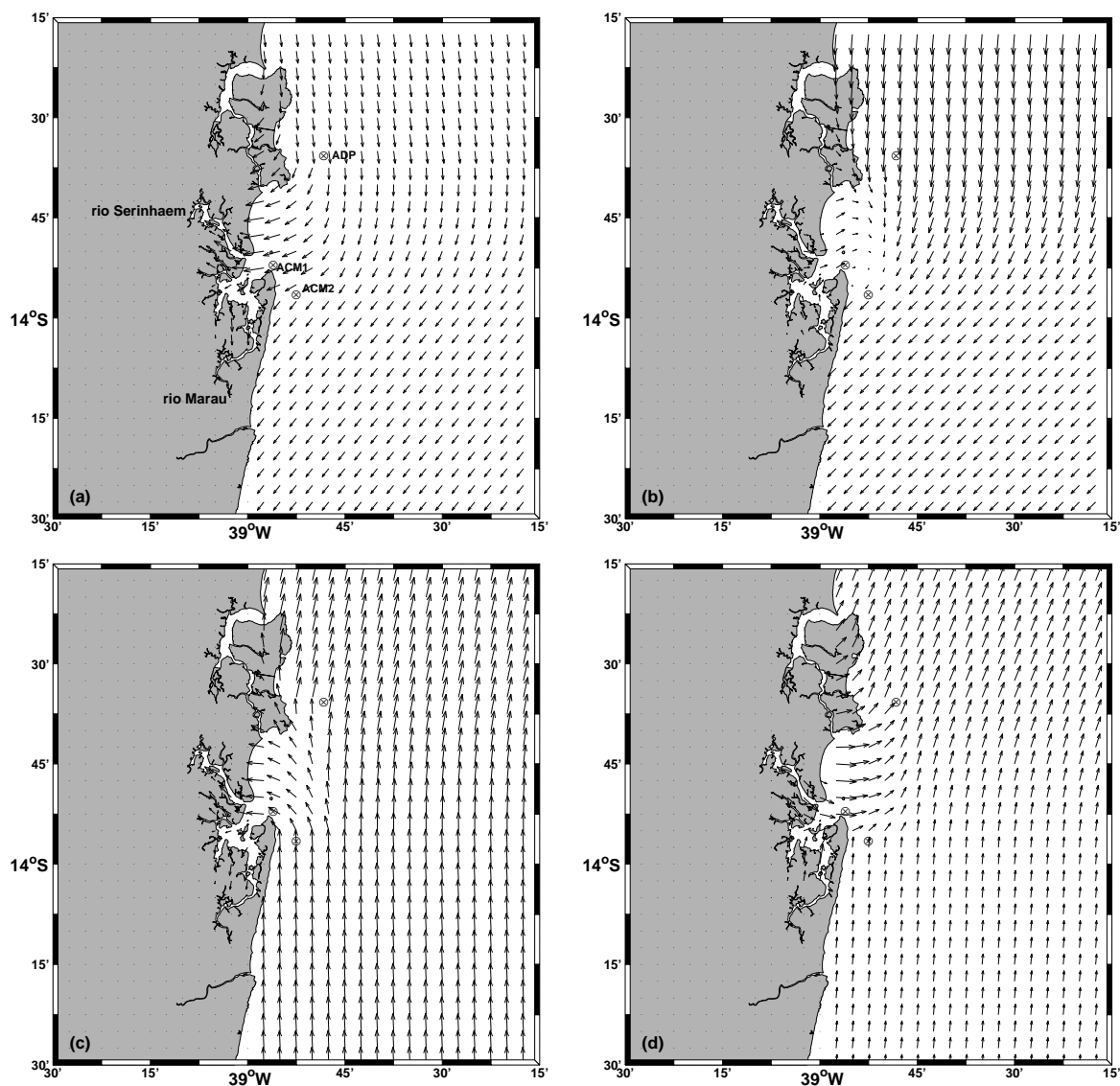


Figura 6.67: Representação do campo de correntes idealizado para a modelagem do derrame de óleo em situações de (a) enchente e (b) vazante durante o período seco e (c) enchente e (d) vazante durante o período chuvoso.

Apesar do campo de correntes representar, entre outras forçantes, a contribuição do vento na geração das correntes em uma profundidade de 5 m, o campo de ventos na superfície do mar também foi usado. Segundo Spaulding (2005), a não ser que o campo de correntes na superfície do mar seja bem representando, com uma alta resolução vertical (5 a 10 cm), e que represente o efeito das ondas, o campo de ventos deve ser fornecido para representar o fator de deriva (arraste) na superfície das partículas de óleo.

Os processos de evaporação e dispersão foram simulados de forma idealizada em função das características do óleo, conforme exposto na seção 5.2. Para o arraste do vento na superfície das partículas, foi usado uma porcentagem de 1% a 4% do valor da intensidade do vento, considerando uma persistência de 15 min.

Para representar o espalhamento da mancha de óleo na superfície do mar, adotou-se coeficientes de difusão horizontal e vertical constantes, independentes da velocidade do vento e da espessura do óleo. Para representar o espalhamento horizontal da mancha de óleo adotou-se um coeficiente de difusão horizontal de $K_H=10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, valor tipicamente adotado para a região costeira (Spaulding et al., 1994). A difusão vertical é bem menor que a horizontal (Elliott, 1999; ASCE, 1996), e para este estudo específico adotou-se um coeficiente de difusão vertical de $K_V=1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

6.4 Mapeamento das áreas de risco a derrames de óleo

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos para as simulações dos derrames de óleo em cenários característicos de uma estação seca (verão de 2003) e de uma estação chuvosa (inverno de 2003). Os resultados serão discutidos em função do comportamento do óleo até o toque na costa e após cinco dias de simulação. As áreas de influência para cada ponto de derrame também serão apresentadas. Cabe ressaltar nesta seção que, os campos de correntes e ventos usados como forçantes para a simulação dos cenários de derrames de óleo, apresentados a seguir, possuem restrições que foram devidamente discutidas nas seções 6.2 e 6.3 deste trabalho.

Para a representação dos campos de correntes e ventos, considerou-se os períodos de monitoramento que apresentaram um cenário mais crítico para um derrame de óleo, adotando-se como parâmetro as correntes e os ventos mais intensos e em situações de maré de sizígia.

Para o cenário de verão, foi usado o período compreendido entre os dias 01/01/2003 e 06/01/03, considerando-se como parâmetros as velocidades superficiais observadas durante a enchente no ponto ACM1 (Figura 5.1), por este ponto estar localizado na entrada da BC em uma região altamente influenciada pela maré, e as velocidades superficiais observadas no ponto ADP (Figura 5.1), por estar localizado em uma região onde as correntes convergem para a BC durante este período. A velocidade média no ponto ACM1 durante este período foi de 50 cm s^{-1} (Figura 6.10a) e para o ponto ADP a velocidade média foi de 40 cm s^{-1} e para S (Figura 6.16b). O vento neste período apresentou intensidade média de $3,5 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 6.1a).

O cenário de inverno ficou compreendido entre os dias 13/06/03 e 18/06/03. Para este cenário considerou-se as velocidades superficiais observadas durante a enchente no ponto ACM1, e as velocidades superficiais observadas no ponto ACM2 (Figura 5.1), por motivo análogo ao ponto ADP para o cenário anterior. A velocidade média no ponto ACM1 durante este período foi de 30 cm s^{-1} (Figura 6.20a) e para o ponto ACM2 a velocidade média foi de 28 cm s^{-1} (Figura 6.24b) e para N. O vento neste período apresentou intensidade média de $4,0 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 6.3a).

Para uma melhor descrição dos cenários, os poços de exploração de petróleo serão citados em função de suas localizações em relação à BC. Desta forma, o poço BM-CAL-004-01, localizado ao norte da BC, será denominado poço norte, e, seguindo o mesmo raciocínio, os poços 7-BAS-64-001 e 1-BAS-77-BA, serão denominados, respectivamente, poços central e sul.

6.4.1 Cenário período seco (verão)

O cenário resultante para um derramamento contínuo de óleo cru #6 durante 5 dias (120h), está apresentado na Figura 6.68. Para este cenário, o toque na costa ocorre após 40 h, proveniente do poço central, com um volume de aproximadamente 5 m^3 atingindo 200 m de extensão da costa no extremo sul da península de Maraú (Tabela 6.25).

Algumas hora depois, ocorre o toque de 8 m^3 de óleo proveniente do poço norte, atingindo 5,3 km de costa no extremo norte da península de Maraú, e de 5 m^3 de óleo proveniente do poço sul, atingindo 2,10 km de costa ao sul de Itacaré (Tabela 6.25).

Após 120 h de derrame contínuo, 340 m^3 de óleo, proveniente do poço norte, atingem 25 km de extensão da península de Maraú, além de atingir a Ponta do Mutá, a ilha de Quiepe e a entrada do rio Serinhaém. Aproximadamente 1.680 m^3 de óleo permanecem no mar, abrangendo, em conjunto com as regiões atingidas, uma área de influência de 453 km^2 (Figura 6.68).

Proveniente do poço central, 249 m^3 de óleo atingem 21 km da península de Maraú, 3,5 km da porção norte da BC e as regiões da Ponta do Mutá, da ilha de Quiepe e da entrada do rio Serinhaém (Figura 6.68). Cerca de 384 m^3 de óleo permanecem no mar, abrangendo uma área de influência de 384 km^2 (Tabela 6.25).

Após 120 h, um volume de óleo de 677 m^3 , proveniente do poço sul, atinge 21 km de costa ao sul de Itacaré e aproximadamente 1343 m^3 permanecem no mar, englobando uma área de influência de 286 km^2 (Figura 6.68).

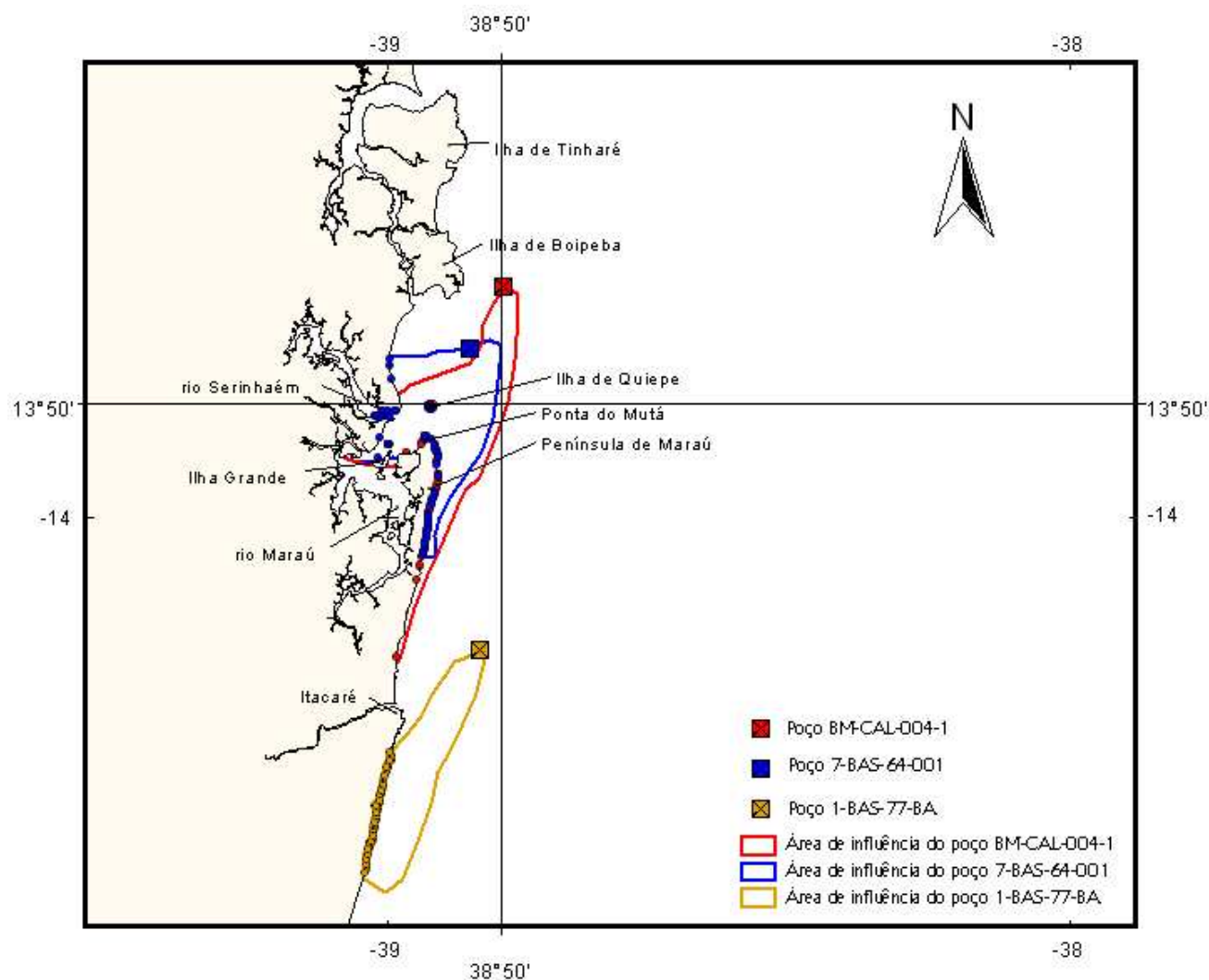


Figura 6.68: Cenário representativo de um derrame de óleo cru durante o período seco (verão).

Para um derrame instantâneo de óleo diesel, o toque na costa também ocorre em aproximadamente 41 h, proveniente do poço central (Tabela 6.25). Por ser um óleo mais leve que o óleo cru (Tabela 3.1), o volume que alcança à costa é maior e a porcentagem evaporada/dispersa em relação ao volume inicial é cerca de três vezes maior do que a observada no caso de óleo cru. As regiões atingidas inicialmente são a ilha de Quiepe e 1,40 km do extremo norte da península de Maraú.

Os derrames provenientes dos poços norte e sul também atingem a costa algumas horas depois (Tabela 6.25). Para o poço norte, a área atingida engloba 8,2 km de costa no extremo norte da península de Maraú e a ilha de Quiepe, e, para o poço sul, são atingidos 7,6 km de costa ao sul de Itacaré.

Tabela 6.25: Resumo dos resultados das simulações dos derrames de óleo durante o período seco (verão/2003). O valor percentual é em relação ao volume inicial do derrame.

Poço BM-CAL-004-01 (norte)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 51 h	120 h	Toque t = 51 h	120 h
Vol. inicial (m ³)	1.096	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	8 (0,7%)	340 (13,1%)	9 (4,4%)	35 (17,7%)
Vol. no mar (m ³)	894 (81,6%)	1680 (65%)	87 (43,4%)	16 (8%)
Vol. evaporado/disperso (m ³)	194 (17,7%)	565 (21,9%)	104 (52,2%)	149 (74,3%)
Vol. fora do domínio (m ³)	-	-	-	-
Extensão da costa atingida	5,3 km	25 km	8,2 km	36 km
Área de influência em 5 dias	453 km ²		236 km ²	
Poço 7-BAS-64-001 (central)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 40 h	120 h	Toque t = 40,8 h	120 h
Vol. inicial (m ³)	858	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	5 (0,6%)	249 (9,6%)	7 (3,3%)	25 (12,5%)
Vol. no mar (m ³)	715 (83,4%)	1770 (68,5%)	100 (50%)	26 (13,2%)
Vol. evaporado/disperso (m ³)	137 (16%)	565 (21,9%)	93 (46,6%)	149 (74,3%)
Vol. fora do domínio (m ³)	-	-	-	-
Extensão da costa atingida	200 m	21 km	1,4 km	25 km
Área de influência em 5 dias	384 km ²		289 km ²	
Poço 1-BAS-77-BA (sul)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 48,3 h	120 h	Toque t = 48,3 h	120 h
Vol. inicial (m ³)	778	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	5 (0,7%)	677 (26,2%)	6 (3%)	35 (17,7%)
Vol. no mar (m ³)	651 (83,7%)	1343 (52%)	122 (61%)	16 (8%)
Vol. evaporado/disperso (m ³)	122 (15,7%)	565 (21,9%)	72 (36%)	149 (74,3%)
Vol. fora do domínio (m ³)	-	-	-	-
Extensão da costa atingida	2,10 km	21 km	7,6 km	26 km
Área de influência em 5 dias	286 km ²		202 km ²	

Após 120 h do derrame inicial de óleo diesel, o poço norte possui uma área de influência de 236 km², sendo que 35 m³ de óleo atingem a península de Maraú, em uma extensão de 36 km (Figura 6.69), e 87 m³ permanecem no mar (Tabela 6.25). Para o poço central, a área de influência abrange cerca de 289 km², com 26 m³ do volume inicial de óleo permanecendo no mar e 25 m³ atingindo 25 km da península de Maraú, a entrada do rio Serinhaém, a Ponta do Mutá e a ilha de Quiepe (Figura 6.69). A região atingida pelo poço sul, possui uma área

de influência de 202 km², sendo que 35 m³ de óleo atingem 26 km de costa ao sul de Itacaré (Figura 6.69) e 16 m³ permanecem no mar (Tabela 6.25).

A quantidade de óleo diesel dispersa/evaporada após 120 h, é a mesma para o óleo proveniente dos três poços, e de 149 m³, representando cerca de 75% do volume inicial (Tabela 6.25).

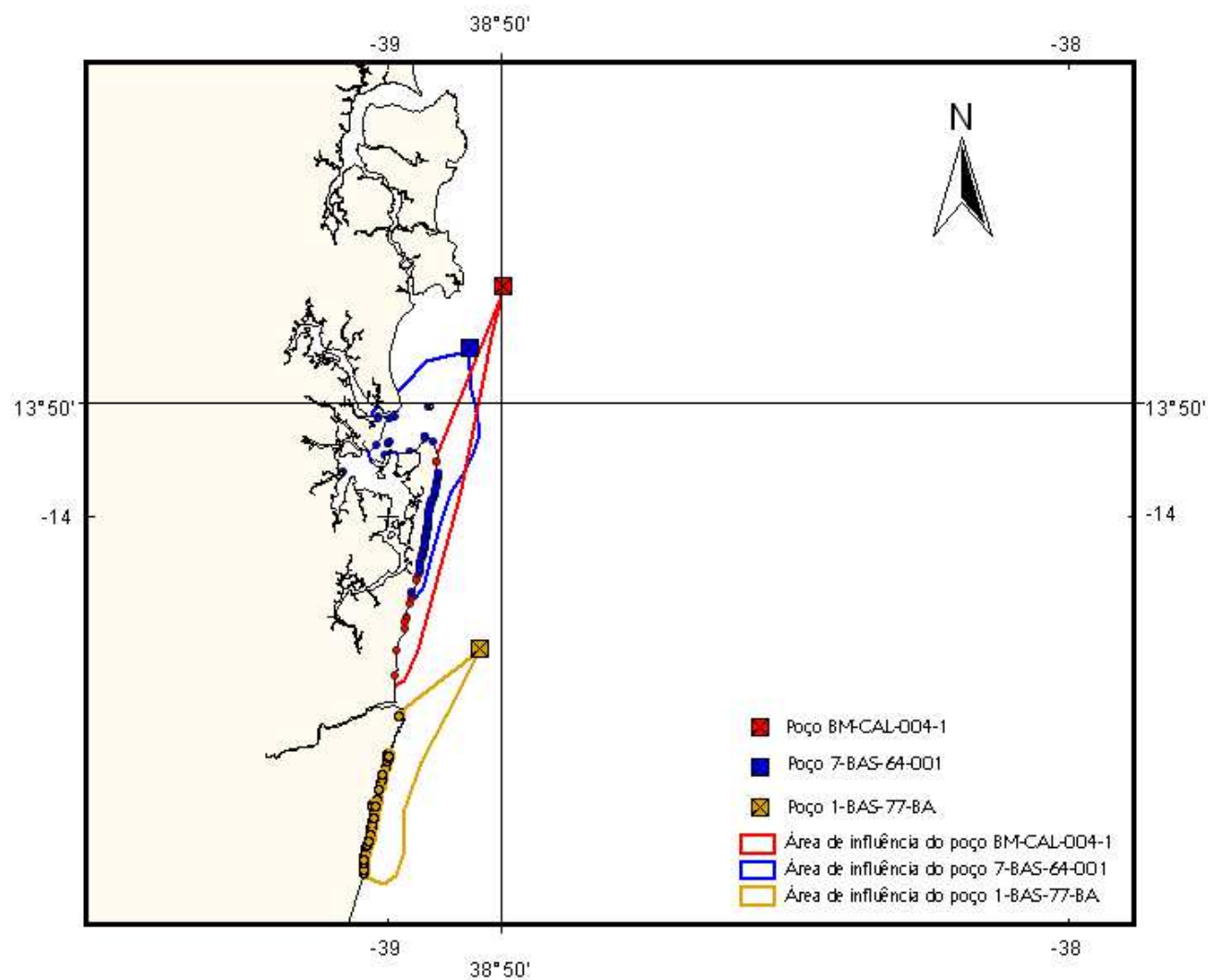


Figura 6.69: Cenário representativo de um derrame de óleo diesel durante o período seco (verão).

6.4.2 Cenário período chuvoso (inverno)

Um derrame contínuo de óleo cru #6 durante o período chuvoso, atingiria a costa em aproximadamente 26 h proveniente do poço central (Tabela 6.26). No entanto, para este cenário, a região atingida seria 250 m de costa ao sul da ilha de Boipeba. Quase dois dias após o toque inicial, seriam atingidos 3 km ao norte da ilha de Tinharé e 262 km da península de Maraú, provenientes dos poços norte e sul, respectivamente (Tabela 6.26).

Após 120 h de derrame contínuo de óleo cru #6, cerca de 5 m³ de óleo proveniente do poço norte atingem 3,5 km da porção leste da ilha de Tinharé (Figura 6.70) e 664 m³ permanecem no mar, abrangendo uma área de influência de 500 km² (Tabela 6.26). O óleo referente ao poço central atinge as ilhas de Tinharé (7,2 km de costa ao leste) e Boipeba (16 km de costa ao sul), permanecendo 866 m³ no mar em uma área de influência de 610 km² (Figura 6.70).

Para o poço sul, a área de influência e as regiões atingidas após 120 h de derrame, são maiores (Tabela 6.26). Do volume inicial de óleo proveniente deste poço, 166 m³ atingem 11 km de costa ao norte da BC, 3,5 km do extremo norte da península de Maraú e 15 km de costa ao sul da ilha de Boipeba (Figura 6.70). O volume de óleo que permanece no mar (1853 m³), juntamente com as regiões atingidas, abrangem uma área de influência de 904 km² (Figura 6.70).

Tabela 6.26: Resumo dos resultados das simulações dos derrames de óleo durante o período chuvoso (inverno/2003). O valor percentual é em relação ao volume inicial do derrame.

Poço BM-CAL-004-01 (norte)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 66,5 h	120 h	Toque não há toque	120 h
Vol. inicial (m ³)	1.431	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	10 (0,7%)	5 (0,2%)	-	-
Vol. no mar (m ³)	925 (55,2%)	664 (25,7%)	-	-
Vol. evaporado/disperso (m ³)	285 (19,9%)	555 (21,5%)	-	93 (46,3%)
Vol. fora do domínio (m ³)	210 (14,7%)	1361 (52,7%)	-	107 (53,7%)
Extensão da costa atingida	3,0 km	3,5 km	-	-
Área de influência em 5 dias	500 km ²		-	
Poço 7-BAS-64-001 (central)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 26,3 h	120 h	Toque não há toque	120 h
Vol. inicial (m ³)	562	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	5 (0,9%)	264 (10,2%)	-	-
Vol. no mar (m ³)	472 (21,7%)	866 (33,5%)	-	-
Vol. evaporado/disperso (m ³)	86 (15,2%)	607 (23,5%)	-	118 (58,8%)
Vol. fora do domínio (m ³)	-	848 (32,8%)	-	82 (41,2%)
Extensão da costa atingida (km)	250 m	23,2 km	-	-
Área de influência em 5 dias	610 km ²		-	
Poço 1-BAS-77-BA (sul)				
Status	Óleo cru		Óleo diesel	
	Toque t = 61,8 h	120 h	Toque t = 62,8 h	120 h
Vol. inicial (m ³)	1327	2.584	200	200
Vol. na costa (m ³)	10 (0,8%)	166 (6,4%)	7 (3,5%)	15 (7,4%)
Vol. no mar (m ³)	1063 (80,1%)	1853 (71,7%)	78 (38,9%)	37 (18,3%)
Vol. evaporado/disperso (m ³)	254 (19,1%)	565 (21,9%)	115 (57,6%)	149 (74,3%)
Vol. fora do domínio (m ³)	-	-	-	-
Extensão da costa atingida	261,7 km	29,5 km	7,2 km	14 km
Área de influência em 5 dias	904 km ²		570 km ²	

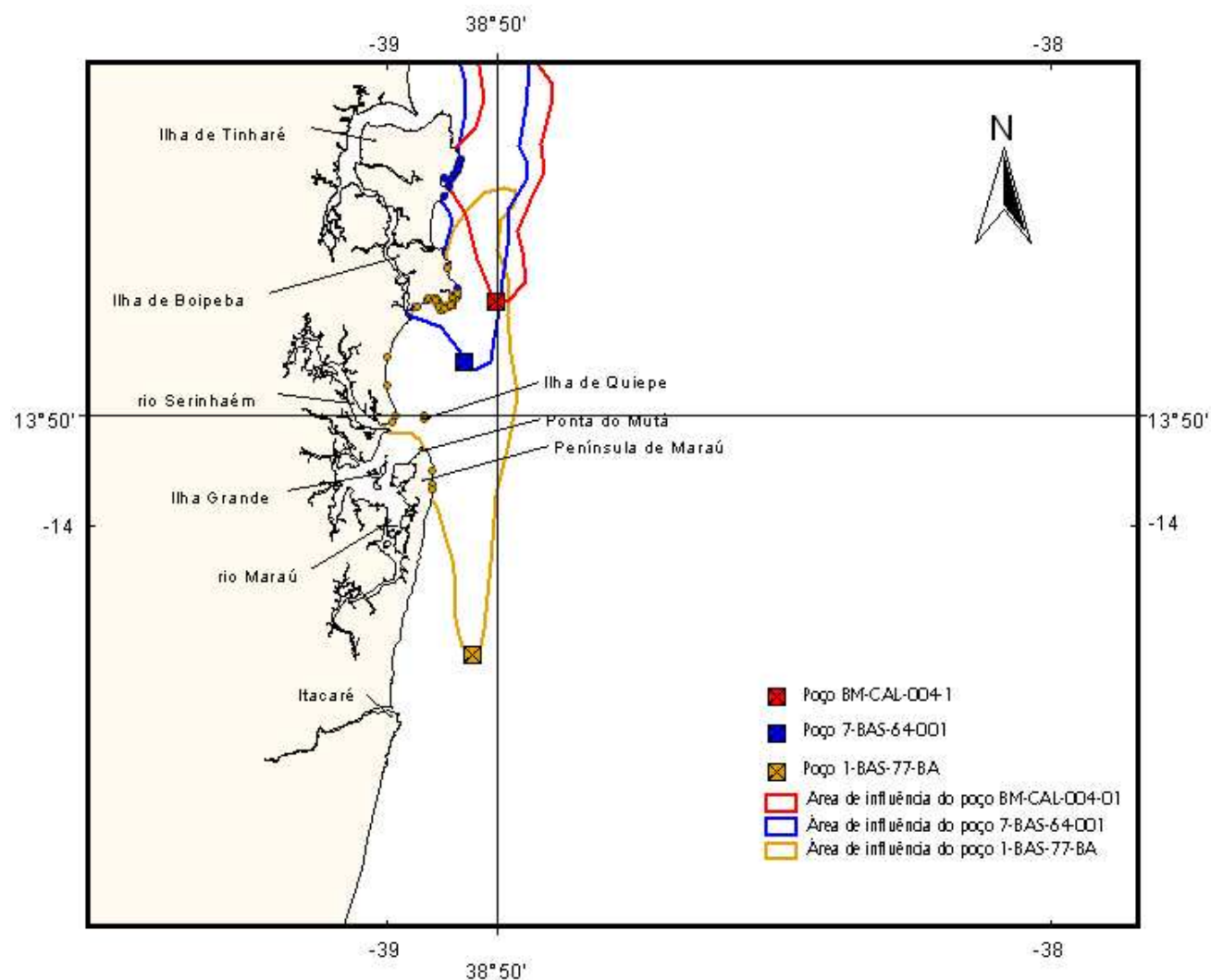


Figura 6.70: Cenário representativo de um derrame de óleo cru durante o período chuvoso (inverno).

Para um derrame instantâneo de óleo diesel durante o período chuvoso, o cenário é menos crítico (Figura 6.71). O toque na costa ocorre cerca de 63 h após o derrame inicial proveniente do poço sul, atingindo 7,2 km do extremo norte da península de Maraú (Tabela 6.26). Para os derrames provenientes dos poços norte e central, não há toque na costa. O óleo diesel proveniente destes poços após 120 h, extrapolam a região de domínio do estudo e cerca de 50% do volume inicial é evaporado/disperso (Tabela 6.26).

Após 120 h do derrame inicial, cerca de 15 m^3 de óleo proveniente do poço sul atingem 4 km de costa ao norte da BC e 10 km de costa ao sul de Boipeba (Figura 6.71). Somente 18% do volume inicial de óleo permanecem no mar, e a área de influência do derrame é de 570 km^2 (Tabela 6.26). A parcela evaporada/dispersa do óleo, representa cerca de 74% do volume inicial do derrame.

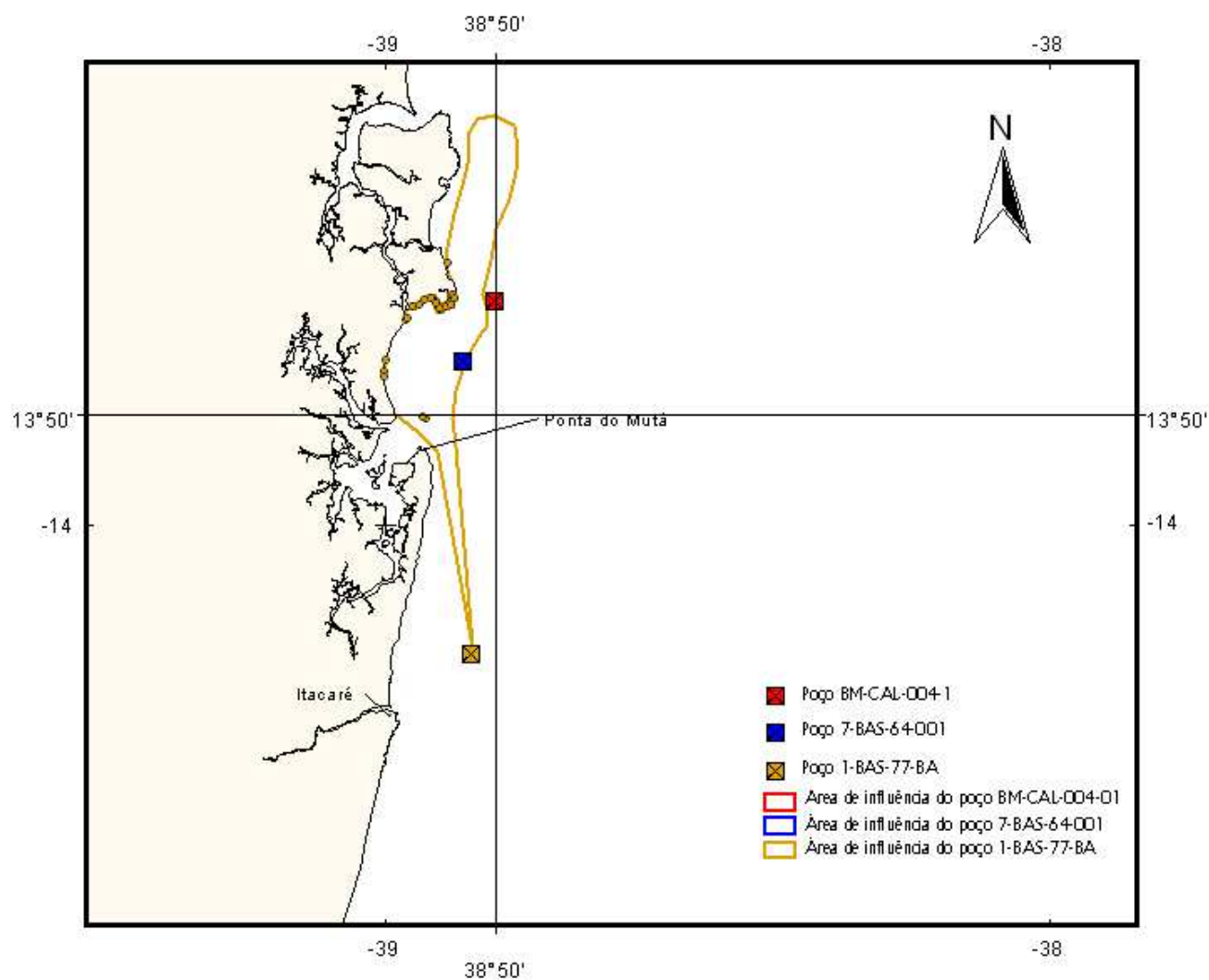


Figura 6.71: Cenário representativo de um derrame de óleo diesel durante o período chuvoso (inverno).

7 – Conclusões e Recomendações

A circulação da região de estudo é marcadamente separada em dois sistemas, a própria Baía de Camamu e a plataforma continental adjacente. As forçantes que atuam em cada sistema apresentam escalas diferenciadas e a resposta às variações sazonais apresentam comportamentos característicos para cada região em particular. Estes sistemas serão apresentados de forma sucinta a seguir.

Em termos climatológicos e principalmente em relação às características pluviométricas, a BC pode ser dividida em um período seco, compreendido entre os meses de agosto e fevereiro, e um período chuvoso, compreendido entre os meses de março e julho. A precipitação anual média observada na BC é de 2570 mm, sendo que em apenas cinco meses (período chuvoso) a precipitação média é de 1360 mm. No entanto, com relação ao regime fluviométrico, não existe uma forte distinção entre os períodos seco e chuvoso, sendo o aporte fluvial médio durante o período chuvoso de $55,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e apenas 9% maior do que o aporte médio durante o período seco.

As oscilações do nível do mar observadas no interior da BC, fazem com que em situação de sizígia a baía funcione como um sistema forçado por meso-maré ($H_{max}=266 \text{ cm}$) e por micro-maré em situação de quadratura ($H_{max}=189 \text{ cm}$). Associado a isso, os eventos sazonais, como a maré equinocial, podem aumentar em até 60% as oscilações de nível do mar dentro da baía.

A diferença nas alturas do nível do mar observadas, sugere que a BC possua uma maior capacidade de renovação de suas águas em uma situação de sizígia, quando o prisma de maré excede o dobro do observado em uma situação de quadratura. Além disso, a mudança no padrão de assimetria da maré pode fazer com que a BC funcione como um importador (exportador) de sedimentos durante uma situação de maré de sizígia (quadratura).

As marés na BC possuem modulação semi-diurna (amplitude de $M_2 \approx 75 \text{ cm}$), e são responsáveis por 99% das oscilações do nível do mar observadas durante o período chuvoso e por 93% das oscilações do nível do mar observadas durante o período seco. A menor influência das marés observadas durante o período seco, pode estar relacionado às oscilações sub-

inerciais, como resposta ao componente local sub-inercial do vento, que tendem a empilhar a água na costa durante este período, aumentando gradativamente o nível do mar no interior da BC. Este comportamento não é observado durante o período chuvoso.

As correntes observadas na entrada da BC (profundidade local de 15 m - ponto ACM1), fluem preferencialmente alinhadas com o canal principal, e são geradas principalmente por forçantes supra-inerciais, respondendo por pelo menos 97% da variabilidade observada. Durante o período seco (chuvoso), as correntes de maré representam cerca de 87% (99%) das oscilações supra-inerciais observadas. A menor influência das marés durante o período seco está provavelmente relacionada ao empilhamento de água dentro da baía causado pelo vento.

As correntes de maré observadas na entrada da BC, possuem modulação semi-diurna, e os principais componentes de maré encontram-se relativamente alinhados com o canal principal, como mostram as Figuras 6.12 e 6.22. Para o componente M_2 , a amplitude observada ao longo do eixo maior da elipse foi de $44,5 \text{ cm s}^{-1}$ para ambos os períodos.

As oscilações sub-inerciais observadas na entrada da BC respondem principalmente pela composição da fraca velocidade residual das velocidades paralelas ao canal. Apesar das velocidades residuais serem preferencialmente de vazante (Figuras 6.13 e 6.23), tal fato não pode ser usado como justificativa para afirmarmos que as correntes de vazante são mais intensas, porque estes valores são pequenos, apresentando intensidades de $4,3 \text{ cm s}^{-1}$ para o período seco e $2,7 \text{ cm s}^{-1}$ para o período chuvoso. No entanto, a assimetria de maré observada na BC mostra que, para os dois períodos, existe uma tendência para tempos de enchente maiores do que os tempos de vazante, justificando assim as maiores velocidades observadas durante os ciclos de vazante.

O comportamento das propriedades termohalinas nesta região (ponto ACM1), possui uma marcada influência das correntes e do ciclo sazonal. Para o período seco a temperatura média variou entre $27,2^\circ\text{C}$ e $27,6^\circ\text{C}$ durante os monitoramentos, com as maiores temperaturas geralmente observadas nas camadas superficiais e associadas à maré vazante, atingindo valores de até 29°C . As menores temperaturas foram geralmente associadas à maré enchente, atingindo valores de até $26,5^\circ\text{C}$ durante a preamar e próximo ao fundo.

Para o período chuvoso, a oscilação da temperatura tanto ao longo da coluna d'água como durante o ciclo de maré, é bem menor. Observa-se no entanto, que existem flutuações no valor da temperatura média associadas a um período mais seco ($27,4^\circ\text{C}$) e um período de chuvas mais intensas ($26,1^\circ\text{C}$).

A salinidade média observada na entrada da BC durante um período seco é de 37,3 e a estrutura vertical apresenta fraca estratificação, podendo apresentar diferenças entre superfície e fundo de até 0,4 (37,1 - 37,5) durante a preamar. A variação horária da salinidade em superfície pode ser de até 0,7 (36,7 a 37,4). Para o período chuvoso, a salinidade média é menor, e também apresenta flutuações associadas à maior incidência de chuvas, variando entre 36,3 (associado a um período mais seco) e 35,6 (associado a um período mais chuvoso). Estas flutuações também são observadas na estratificação vertical, que é maior (variação de 1 entre superfície e fundo) durante os períodos mais secos.

Para a região adjacente à BC, as correntes são geradas principalmente por forçantes sub-inerciais e apresentam uma marcada influência sazonal, com total reversão do campo de correntes, devido a mudança de orientação dos ventos predominantes.

As correntes observadas na região da plataforma interna (profundidade de 28 m - ponto ACM2) fluem preferencialmente paralelas à costa, com as forçantes sub-inerciais respondendo por até 87% da variabilidade observada. O componente do vento paralelo à costa possui uma grande influência na geração destas correntes, apresentando coeficiente de correlação máximo de 0,92 durante o período chuvoso. Em função deste comportamento, as correntes durante o período seco (ventos predominantes de NE) fluem preferencialmente para SW, resultando em correntes residuais com intensidade de -21 cm s^{-1} (Figura 6.13). Para o período chuvoso, há uma entrada mais frequente de frentes frias, resultando na rotação dos ventos médios (ventos predominantes de SW). Como resposta, há uma reversão das correntes, com um fluxo preferencialmente para N, com intensidade residual de $13,4 \text{ cm s}^{-1}$ (Figura 6.23). Observa-se ainda que durante este período a variabilidade das correntes é comparável com o valor da média e muito maior do que a variabilidade observada durante o período seco ($8,5 \text{ cm s}^{-1}$).

As correntes de maré nesta região são classificadas como mista com predominância semi-diurna e atuam preferencialmente nas correntes perpendiculares à costa, sendo responsáveis por até 49% da variabilidade observada na banda supra-inercial. Desta forma, as elipses dos principais componentes de maré alinham-se preferencialmente em direção à costa (Figuras 6.12 e 6.22).

A temperatura na plataforma interna (ponto ACM2) apresenta uma maior estratificação durante o período seco (diferença média de até $2,7^\circ\text{C}$), quando comparada ao período chuvoso, onde a coluna d'água é praticamente homogênea. Para o período seco a máxima temperatura observada foi de $27,5^\circ\text{C}$ e similar ao máximo valor encontrado durante o período chuvoso. A salinidade média é maior no período seco, com valor de 37,6 e apresenta uma variação no valor médio de até 0,9 entre os períodos seco e chuvoso (36,8 a 37,7). A estratificação vertical média de salinidade em um período seco é pequena e não excede 0,2. No

entanto, durante um período chuvoso a diferença média entre superfície e fundo pode chegar a 1,8.

Para a plataforma média (profundidade de 42 m - ponto ADP) as correntes também fluem preferencialmente alinhadas à costa, apresentando um fluxo preferencial para S durante o período seco e para N durante o período chuvoso. No entanto, durante o período chuvoso, as correntes apresentam episódios de reversão associados às forçantes sub-inerciais, capazes de inverter toda a circulação ao longo da coluna d'água.

As correntes paralelas à costa apresentam comportamento diferenciado entre os dois períodos. Durante o período seco, tanto as forçantes supra-inerciais como as sub-inerciais são importantes para a geração destas correntes, respondendo por até 56% da variabilidade observada. Durante o período chuvoso, as forçantes sub-inerciais são mais efetivas, respondendo por até 89% da variabilidade observada. O componente do vento paralelo à costa apresenta influência significativa na geração destas correntes, com coeficientes de correlação que variam de 0,90 (0,87) para as correntes superficiais e 0,77 (0,67) para as correntes próximas ao fundo durante o período seco (chuvoso).

As correntes paralelas à costa são as principais responsáveis para a geração das correntes residuais e apresentam intenso cisalhamento vertical. No entanto, este cisalhamento não é capaz de reverter o fluxo preferencial, resultando em correntes residuais que fluem para S ao longo da coluna d'água durante o período seco (Figura 6.13), com intensidades de -22 cm s^{-1} na superfície e -5 cm s^{-1} próximo ao fundo, e para N durante o período chuvoso (Figura 6.23), com intensidade de 15 cm s^{-1} ($1,5 \text{ cm s}^{-1}$) na superfície (fundo).

As correntes perpendiculares à costa observadas na plataforma média, apresentam comportamento similar para os dois períodos, sendo geradas preferencialmente por forçantes supra-inerciais, responsáveis por pelo menos 56% da variabilidade observada nestas correntes. Na banda sub-inercial e durante o período seco, as correntes perpendiculares à costa apresentam uma maior concordância com a dinâmica de Ekman, com um fluxo em direção ao oceano na camada superficial e em direção oposta na camada de fundo. No entanto, durante o período chuvoso as correntes não respondem à dinâmica de Ekman e existe, em grande parte do tempo, uma componente líquida em direção ao oceano. Este comportamento pode estar relacionado à maior variabilidade do campo de ventos ou aos efeitos topográficos encontrados por um fluxo indo para norte, ou até mesmo uma possível interação com a circulação de larga escala.

As correntes de maré nesta região da plataforma, apresentam modulação mista com predominância semi-diurna, e são mais importantes do que na plataforma interna, apresentando atuação similar para as correntes paralelas e perpendiculares ao canal. Durante o período

seco as correntes de maré explicam cerca de 60% da variabilidade das correntes observadas na banda supra-inercial, enquanto no período chuvoso explicam cerca de 30% da variabilidade observada.

Em função do comportamento apresentado acima, as elipses dos principais componentes de maré apresentam comportamento diferenciado para os períodos seco e chuvoso. Durante o período seco as elipses dos componentes M_2 e S_2 estiveram alinhadas preferencialmente paralelas à costa (Figura 6.12), com diferença máxima de alinhamento de 17° para o componente S_2 . Para o período chuvoso, a elipse do componente M_2 esteve alinhada preferencialmente em direção à costa, enquanto a elipse do componente S_2 esteve alinhada paralela à costa (Figura 6.22). Para os dois períodos, as elipses apresentaram amplitudes similares ao longo da coluna d'água.

Apesar da região da plataforma média (ponto ADP) ser mais profunda, as variações de temperatura observadas durante um período seco foram menos intensas, sendo de no máximo 2°C , variando entre um mínimo de 25°C próximo ao fundo e um máximo de 27°C próximo à superfície. Para um período chuvoso, a máxima variação de salinidade foi de 1,6, variando entre um mínimo de 36,2 na superfície e um máximo de 37,8 nas camadas inferiores. A temperatura média atingiu um máximo de $27,3^\circ\text{C}$ e um mínimo de $26,5^\circ\text{C}$, apresentando variações médias entre superfície e fundo de até $1,2^\circ\text{C}$ e núcleos de máxima temperatura geralmente localizados em sub-superfície. A salinidade média nesta região é de 37,6, caracterizando águas tipicamente oceânicas.

A análise comparativa entre as temperaturas de fundo observadas para a plataforma continental interna e média, mostra que durante o período chuvoso as temperaturas são mais elevadas e apontam para um provável sistema de subsidência causado pela incidência de ventos de quadrante sul, que geram um transporte de Ekman em direção à costa, induzindo uma maior mistura na coluna d'água. Durante um período seco, os ventos de NE fazem com que ocorra uma reversão no transporte de Ekman, proporcionando eventos de ressurgência, que poderiam propiciar uma intensificação do gradiente vertical de temperatura.

A região interna da BC, apresenta, para um período seco, uma forte influência das correntes de maré na distribuição do campo de velocidades e na estrutura termohalina. Para o estuário do rio Maraú, as velocidades (principalmente nas camadas mais superficiais) apresentam um maior cisalhamento vertical durante a quadratura, quando as velocidades mais intensas variaram entre $-0,45\text{ m s}^{-1}$ para uma situação de máxima enchente (transporte médio de $-4.091\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ e velocidade média de $-0,32\text{ m s}^{-1}$) e $0,60$ para uma situação de máxima vazante (transporte médio de $4.915\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ e velocidade média de $0,38\text{ m s}^{-1}$). Para uma situação de sizígia, os valores de transporte e velocidades médios geralmente excedem o

dobro daqueles observados em uma situação de quadratura, com as velocidades mais intensas atingindo valores de -1 m s^{-1} (máxima enchente) e $1,20 \text{ m s}^{-1}$ (máxima vazante).

A variação nos valores médios da estrutura termohalina para o rio Maraú, entre quadratura e sizígia não é acentuada, com valores no entorno de $26,2^\circ\text{C}$ e 36 para a temperatura e salinidade, respectivamente. No entanto, a variabilidade horária da salinidade na superfície durante uma situação de sizígia é maior, podendo variar em até 1,4 (35,4 - 36,8) durante um ciclo de maré.

Para a região da Barra do Mutá, localizada na saída da BC, durante uma situação de maré de quadratura, as velocidades apresentam uma intensa variação horizontal e um moderado cisalhamento vertical. Para este cenário, as velocidades mais intensas variaram entre $-0,60 \text{ m s}^{-1}$ para uma situação de máxima enchente (transporte de $-9.352 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e velocidade média de $-0,28 \text{ m s}^{-1}$) e $0,60 \text{ m s}^{-1}$ para uma situação de máxima vazante (transporte de $8.867 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e velocidade média de $-0,26 \text{ m s}^{-1}$). As maiores velocidades da BC são observadas na Barra do Mutá em uma situação de maré de sizígia, atingindo uma velocidade máxima na enchente de $1,4 \text{ m s}^{-1}$, com um transporte médio superior a três vezes do observado durante a quadratura. Esta seção apresenta canais preferenciais de enchente e vazante, sendo mais evidente o canal de vazante localizado nas proximidades da Barra do Mutá.

Para a Barra do Mutá, a temperatura apresenta uma pequena variabilidade horária, com valor médio de $26,2^\circ\text{C}$ durante as marés de quadratura e sizígia. A salinidade apresenta valores médios no entorno de 36,5, com uma variabilidade horária máxima na sizígia, variando entre um mínimo de 35,4 e um máximo de 36,7 na superfície.

A seção transversal do rio Serinhaém possui um canal bem evidente, apresentando uma circulação horizontal bastante distinta em relação às outras seções, com velocidades mais intensas nas regiões próximas ao canal mais profundo. Para uma situação de maré de quadratura as velocidades apresentaram um intenso cisalhamento vertical, com velocidades mais intensas variando entre $-0,50 \text{ m s}^{-1}$ e $0,60 \text{ m s}^{-1}$ para as situações de máxima enchente (transporte de $-4.455 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e velocidade média de $-0,32 \text{ m s}^{-1}$) e vazante (transporte de $4.492 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e velocidade média de $0,35 \text{ m s}^{-1}$), respectivamente. Entre todas as seções analisadas e para uma situação de quadratura, o rio Serinhaém foi o único que apresentou velocidades residuais no sentido da vazante próximas à superfície e no sentido oposto nas camadas inferiores. Para uma situação de maré de sizígia, as velocidades no rio Serinhaém apresentaram uma menor estratificação vertical e uma grande variação entre as maiores intensidades de enchente e vazante, atingindo valores máximos de $-0,70 \text{ m s}^{-1}$ para o primeiro e de $1,20 \text{ m s}^{-1}$ para o último. Os transportes médios durante a sizígia foram cerca de duas vezes maiores do que para uma situação de quadratura e o fluxo foi preferencialmente de

vazante nas laterais da seção, ocupando toda a região do canal principal.

A temperatura apresenta uma estrutura vertical média bastante homogênea, com uma pequena variabilidade horária. No entanto, a temperatura média durante uma situação de quadratura é de 26,4°C, enquanto na sizígia a temperatura média é de 27°C.

O comportamento longitudinal das propriedades físicas (temperatura, salinidade e CSS) no interior da BC, representado pelos rios Maraú e Serinhaém, mostra que para um período seco e durante as estofas de preamar e/ou baixamar, a região estuarina destes rios estendem-se por longas distâncias, em função das baixas vazões e/ou taxa de precipitação para este período.

Para uma situação de maré de quadratura, as variações horizontais de salinidade foram de no máximo 10 para o rio Maraú (mínimo de 25 e máximo de 35 em 30 km) e 11 para o rio Serinhaém (mínimo de 24 e máximo de 35 em 25 km). Em ambos os rios observa-se uma mudança na distribuição da salinidade ao longo de seu curso, sendo que os pontos mais interiores apresentam um aumento no gradiente horizontal e na estratificação vertical de salinidade. Para o rio Maraú, a máxima variação vertical de salinidade foi de 2 e para o rio Serinhaém foi de 4, sendo que para o último, estas variações ocorrem em uma coluna d'água mais rasa. Variações de temperatura são no geral pequenas em ambos os rios, com águas oceânicas relativamente mais frias próximo à desembocadura (temperaturas inferiores à 26,4°C) misturando-se com águas gradativamente mais quentes em direção ao interior dos sistemas (temperaturas superiores a 26,8°C). Em termos de material em suspensão, uma grande parte dos rios apresentou baixas concentrações de CSS (geralmente inferiores à 2 mg l⁻¹), com os maiores valores observados na parte mais profunda e central do rio Maraú (máximo de 11 mg l⁻¹) e nas partes mais oceânicas e interiores do rio Serinhaém (máximo de 8 mg l⁻¹).

Para uma situação de maré de sizígia, e devido às maiores variações na altura de maré que proporcionam uma mistura mais acentuada, observa-se tanto nas distribuições de salinidade como nas de temperatura, uma maior homogeneidade na coluna d'água. Variações horizontais de salinidade foram geralmente similares às observadas durante uma situação de quadratura, sendo de 11 para o rio Maraú (mínimo de 24 e máximo de 35 em 35 km) e de 13 para o rio Serinhaém (mínimo de 19 e máximo de 32). Comparado a uma situação de quadratura, quando as correntes são menos intensas, a distribuição de CSS foi cerca de duas a três vezes maior, com picos ocorrendo ao longo das mesmas regiões e atingindo valores máximos de 22 mg l⁻¹ e 23 mg l⁻¹ para os rios Maraú e Serinhaém, respectivamente.

Com base em um cenário hidrodinâmico idealizado e na circulação atmosférica proveniente do modelo regional ETA, foram realizadas simulações de derrames de óleo para os cenários mais críticos observados durante os períodos seco e chuvoso. Após cinco dias do início do derrame as regiões que poderiam vir a ser impactadas durante estes períodos são diferenciadas e dependentes do tipo de óleo, do tipo de derrame e da localização do poço de onde se iniciou o derrame.

Para o cenário de um período seco, um derrame contínuo (*blow-out*) de óleo cru #6 proveniente dos poços norte (BM-CAL-004-01) e central (7-BAS-64-001) poderiam vir a atingir regiões similares localizadas na entrada da BC, compreendendo a península de Maraú, a região da ponta do Mutá, a entrada do rio Serinhaém e a Ilha de Quiepe (Figura 6.68). Um volume aproximado de 589 m³ atingiria a costa, e as áreas de influência destes poços em função deste volume e do volume de óleo que permaneceria no mar, seriam de 453 km² para o poço norte e de 384 km² para o poço central (Tabela 6.25).

Para um derrame de óleo cru #6 proveniente do poço sul, a região atingida seria ao sul de Itacaré, não compreendendo a BC (Figura 6.68). A área de influência deste poço seria de 286 km², compreendendo 677 m³ de óleo que atingiriam a costa e 1343 m³ que permaneceriam no mar (Tabela 6.25).

No caso de um derrame instantâneo de óleo diesel (200 m³), as regiões atingidas seriam menores, bem como a área de influência dos derrames (Figura 6.69), devido ao fato deste tipo de óleo ser mais leve e mais susceptível à evaporação. A região atingida pelo poço norte seria grande parte da península de Maraú, sendo que 35 m³ atingiriam a costa e 16 m³ permaneceriam no mar, englobando uma área de influência de 236 km² (Tabela 6.25). Para o poço central, as regiões atingidas seriam as mesmas para o caso de um derrame de óleo cru, no entanto, a parcela que atingiria a costa (25 m³) e a área de influência (289 km²) seriam menores. O mesmo comportamento seria observado para o poço sul, com 35 m³ atingindo a costa e com uma área de influência de 202 km² (Tabela 6.25).

Para o cenário de um período chuvoso, devido a rotação das correntes e do campo de ventos atuantes neste período, as áreas atingidas pelos poços norte e central após cinco dias de derrame contínuo de um óleo cru, não atingiriam a BC (Figura 6.70). A área atingida pelo derrame proveniente do poço norte seria a porção leste da ilha de Tinharé e somente cerca de 5 m³ de óleo atingiriam a costa, englobando, juntamente com o volume de óleo que permaneceria no mar ou fora do domínio estudado (2025 m³) uma área de influência de 500 km² (Tabela 6.26). Para o derrame proveniente do poço central as áreas atingidas compreenderiam a porção leste da ilha de Tinharé e a porção sul da ilha de Boipeba e o volume que atingiria a costa seria maior e de 264 m³, compreendendo uma área de influência

de 610 km² (866 m³ permaneceriam no mar e 848 m³ sairiam do domínio estudado) (Tabela 6.26).

Para este cenário, um derrame de óleo só atingiria a BC caso fosse proveniente do poço sul (Figura 6.70). As regiões atingidas seriam a península de Maraú, a ilha de Queipe e a porção norte da BC, bem como a porção sul da ilha de Boipeba. A área de influência do derrame seria de 904 km², englobando cerca de 166 m³ que atingiriam a costa e 1853 m³ que permaneceriam no mar (Tabela 6.26).

Um derrame contínuo de óleo diesel durante um período chuvoso, somente atingiria a costa se fosse proveniente do poço sul (Figura 6.71). Para os poços norte e central, todo o volume derramado seriam evaporados ou extrapolariam o domínio estudado. As áreas atingidas compreenderiam as porções norte da BC e sul da ilha de Boipeba, englobando uma área de influência de 570 km². Cerca de 15 m³ atingiriam a costa e 37 m³ permaneceriam no mar (Tabela 6.26).

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- Um estudo comparativo da circulação no interior da BC, incluindo o período chuvoso, com o intuito de caracterizar eventuais padrões sazonais;
- A aplicação de um modelo hidrodinâmico que descreva a circulação na região da BC e suas adjacências, sendo forçado por marés, vazão fluvial, variação espaço-temporal do campo de ventos e circulação de larga escala. Tais resultados devem ser validados com base na caracterização oceanográfica realizada neste trabalho;
- A inclusão de um campo hidrodinâmico mais realístico nas simulações de trajetória de óleo.

Referências Bibliográficas

- ADIOS (2002) Automated Data Inquiry for Oil Spills Manual, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration.
- Allen, J. S.; Beardsley, R. C.; Blanton, J. O.; Biocourt, W. C.; Butman, B.; Coachman, L. K.; Huyer, A.; Kinder, T. H.; Royer, T. C.; Shumacher, J. D.; Smith, R. L. e Struges, W. (1983) Physical Oceanography of Continental Shelves, *Rev. of Geophys. Space Phys.*, **21**(5):1149–1181.
- Amorim, F. N.; Cirano, M. e Tanajura, C. A. S. (2004) Análise da Influência de Ventos Modelados em Escalas Global e Regional na Dispersão de óleo no Oceano: um Estudo Aplicado à Costa Central da Bahia, In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Oceanografia*, pp. 289–289, Itajaí, SC.
- ANA (2005) Agência Nacional de águas, <http://www.ana.gov.br>.
- ANP (2005) Agência Nacional de Petróleo. Ministério de Minas e Energia, <http://www.brasil-rounds.gov.br>.
- Araújo, H. A. e Rodrigues, R. S. (2000) Regiões Características do Estado da Bahia para Previsão de Tempo e Clima, Secretaria de Infra Estrutura - SEINFRA. Superintendência de Recursos Hídricos - SRH. Gerência de Estudos e Informações - GEREI, 13pp.
- ASCE (1996) State-of-the-Art Review of Modelling Transport and Fate of Oil Spills, *J. Hydraul. Eng.*, **122**.
- Bérgamo, A. L.; Miranda, L. B. e Corrêa, M. A. (2002) Estuário: Programas para Processamento e Análise de dados Hidrográficos e Correntográficos, Rel. Téc., Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 16pp.
- Bernardes, M. E. C. e Miranda, L. B. (2001) Circulação Estacionária e Estratificação de Sal em Canais Estuarinos: Simulação com Modelos Analíticos, *Rev. bras. oceanogr.*, **49**:115–132.
- Betts, A. K. e Miller, M. J. (1986) A New Convective Adjustment Scheme. Part II: Single Column Tests Using GATE Wave, BOMEX, ATEX, and Artic Air Mass Data Sets, *Q.*

- J. Roy. Meteor. Soc., **112**:693–709.
- Black, T. L. (1994) The new NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples, *Weather and Forecasting*, **9**:265–278.
- Bragg, J. R. e Owens, E. H. (1994) Clay-Oil Flocculation as a Natural Cleansing Process Following Oil Spills: Part I - Studies of Shoreline Sediments and Residues from Past Spills, In: *Proc. of the 17th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP), Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario.
- Bragg, J. R.; Prince, R. C.; Harner, E. J. e Atlas, R. M. (1994) Effectiveness of Bioremediation for the Exxon Valdez Oil spill, *Nature*, **368**:413–418.
- Brown, J.; Colling, A.; Park, D.; Phillips, J.; Rothery, D. e Wriqth, J. (1994) Waves, Tides and Shallow-Water Processes, Open University Course Team. Elsevier Science Inc., 187 pp.
- Cantão, R. F.; Oliveira, R. F. e Meyer, J. F. C. A. (2000) Numerical Simulations of an Oil Spill Accident in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, *Environmental Coastal Regions III*, **1**:149–156.
- Castro, B. M. e Miranda, L. B. (1998) Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located Between 4°N and 34°S, *The Sea*, **11**:209–251.
- Cawley, A. M. e Hartnett, M. (1992) Sensitivity of a 2-D Hydrodynamic Model to Boundary Conditions, In: *Proc. of the 2nd International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters*, vol. 1, pp. 157–171, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Ashgate.
- Chou, S. C. e Justi, S. (1999) Objective Evaluation of Eta Model Precipitation Forecasts Over South America, *Climanálise*, **14**(1):235–239, (disponível em www.cptec.inpe.br/products/climanálise/artigos/ets.html).
- Chou, S. C.; Tanajura, C. A. S.; Xue, Y. e Nobre, C. A. (2002) Validation of the Coupled Eta/SSiB Model Over South America, *J. Geophys. Res.*, **107**(D20):56(1–20).
- Cirano, M. e Amorim, F. N. (2005) Análise Crítica do Conjunto de Dados Meteorológicos para a Região da Bacia de Camamu-Almada, Convênio UFBA- El Paso, Relatório Técnico, Salvador-BA.
- CRA (1995) Centro de Recursos Ambientais, Área de Proteção Ambiental do Pratigi. Plano de Manejo, Zoneamento- Ecológico-Econômico, Plano de Gestão. Diagnóstico Ambiental. Meio Físico, 14pp.
- Csanady, G. T. (1973) *Turbulent Diffusion in the Environment*, D. Reidel.

- DOGS (2004) Digital Optimization of Grid Systems. National Ocean Service. National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Report. 27pp, <http://response.restoration.noaa.gov/software/dogs>.
- Dominguez, J. M. L. (2004) The Coastal Zone of Brazil - an Overview, *J. Coast. Res.*, **39**, Special Issue.
- Elliott, A. J. (1999) Simulations of Atmospheric Dispersion Following a Spillage of Petroleum at Sea, *Spill. Sci. Technol. B.*, **5**:39–50.
- Elliott, A. J. e Jones, B. (2000) The Need for Operational Forecasting During Oil Spill Response, *Mar. Pollut. Bull.*, **40**:110–121.
- ElPaso (2005) Relatório de Controle Ambiental - RCA. Bloco BMCAL4. Volume II - Meio Físico, 270pp, <http://www.bmcal4.com.br/> (acesso em 2005).
- Emery, J. W. e Thompson, R. (1997) *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Nova York, E.U.A., Elsevier Science Inc, 634 pp.
- Fels, S. B. e Schwarzkopf, M. D. (1975) The Simplified Exchange Approximation: A New Method for Radiative Transfer Calculations, *J. Atmos. Sci.*, **32**(1475–1488).
- Franco, A. S. (1988) *Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction*, São Paulo, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 249 pp.
- Galt, J. A. (1998) Uncertainty Analysis Related to Oil Spill Modeling, *Spill. Sci. Technol. B.*, **4**:231–238.
- Genz, F. (2001) A Importância da Zona Ciliar em Microbacias, XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju - SE.
- Genz, F.; Cirano, M. e Lessa, G. (2005) Processamento de Dados de Correntes Adquiridos com ADCP para Caracterização de Estuários, In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia*, Vitória, ES, BRA.
- Geyer, W. R. (1997) Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries, *Est. Coast. Shelf Sci.*, **44**:713–722.
- Hansen, D. V. e Rattray, M. J. (1966) New Dimensions in Estuarine Classification, *Limnol. Oceanogr.*, **11**(3):319–325.
- Herring, H. J.; Inoue, M.; Mellor, G. L.; Mooers, C. N. K.; Niiler, P. P.; Oey, L. Y.; Patchen, R. C.; Vukovich, F. M. e Wiseman, W. J. J. (1999) Coastal Ocean Modeling Program for the Gulf of Mexico, *Rel. Téc., Dynalysis of Princeton*, Princeton, NJ, USA.
- Hodgins, D. O.; Fingas, M. F. e Goodman, R. H. (1993a) Forecasting Surface currents Measured with HF Radar, In: *Proc. of the 16th Arctic Marine Oil Spill Program, Technical Seminar*, pp. 517–528, Calgary, Alberta, Canada.

- Hodgins, D. O.; Goodman, R. H.; Fingas, M. F. e Overstreet, R. (1993b) Surface Current Measurements in Juan de Fuca Strait using the SeaSonde HF Radar, In: *Proc. of the 16th Artic Marine Oil Spill Program, Technical Seminar*, Calgary, Alberta, Canada.
- Howlett, E.; Jayko, K. e Spaulding, M. (1993) Interfacing Realtime Information with OIL-MAP, In: *Proc. of the 16th Artic Marine Oil Spill Program, Technical Seminar*, Calgary, Alberta, Canada.
- INPE (2005) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Clima, <http://www.cptec.inpe.br>.
- ITOPF (2004) Fate of Marine Oil Spill, The International Tanker Owners Pollution Federation, <http://www.itopf.com>.
- Jahns, H. O.; Bragg, J. R.; Dash, L. C. e Owen, E. H. (1991) Natural Cleaning of Shorelines Following the Exxon Valdez Spill, In: *Proc. of the 1991 International Oil Spill Conference*, Washington DC, American Petroleum Institute, Publication no. 4529.
- James, I. D. (2002) Modelling Pollution Dispersion, the Ecosystem and Water Quality in Coastal Waters: a Review, *Environ. Modell. Softw.*, **17**:363–385.
- Janjić, Z. I. (1994) The Step Mountain Eta Coordinate Model - Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulent Closure Schemes, *Mon. Weather Review*, **122**:927–945.
- Janzen, C. D. e Wong, K.-C. (2002) Wind-forced Dynamics at the Estuary-Shelf Interface of a Large Coastal Plain Estuary, *J. Geophys. Res.*, **107**, (C10), 3138.
- Jones, B. (1999) The Use of Numerical Weather Prediction Model Output in Spill Modelling, *Spill. Sci. Technol. B.*, **5**:153–159.
- Korotenko, K. A.; Mamedov, R. M. e Mooers, C. N. K. (2000) Prediction of the Dispersal of Oil Transport in the Caspian Sea Resulting from a Continuous Release, *Spill. Sci. Technol. B.*, **6**:323–339.
- Krause, C. B. (2003) Contato Pessoal, National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, Cj.Beegle-Krause@noaa.gov.
- Lacis, A. A. e Hansen, J. E. (1974) A Parametrization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, **31**:118–133.
- Large, W. G. e Pond, S. (1981) Open Ocean Momentum Flux Measurements in Moderate to Strong Winds, *J. Phys. Oceanogr.*, **11**:324–336.
- Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P. e Testa, V. (2003) Corals and Coral Reefs of Brazil, In: *Latin America Coral Reefs*, pp. 9–52, Boston, USA, Elsevier.

- Lee, K. (2002) Oil-Particle Interactions in Aquatic Environments: Influence on the Transport, Fate, Effect and remediation of Oil Spills, *Spill. Sci. Technol. B.*, **8**:3–8.
- Lee, T. N.; Ho, W. J.; Kourafalou, V. e Wang, J. D. (1984) Circulation on the Continental Shelf of the Southeastern United States. Part i: Subtidal Response to Wind and Gulf Stream Forcing During Winter, *J. Phys. Oceanogr.*, **14**:1001–1012.
- Lehr, W. J. e Beatty, D. S. (2000) The Relation of Langmuir Circulation Processes to the Standard Oil Spill Spreading, Dispersion and Transport, *Spill. Sci. Technol. B.*, **6**:247–253.
- Lentz, S. J. (1994) Current Dynamics Over the Northern California Inner Shelf, *J. Phys. Oceanogr.*, **24**(12):2461–2478.
- Mantovanelli, A.; Marone, E.; da Silva, E. T.; Lautert, L. F.; Klingenfuss, M. S.; Prata, V. P.; Noernberg, M. A.; Knoppers, B. A. e Angulo, R. J. (2004) Combined Tidal Velocity and Duration Asymmetries as a Determinant of Water Transport and Residual Flow in Paranaguá Bay Estuary, *Est. Coast. Shelf Sci.*, **59**:523–537.
- McAuliffe, C. D. (1993) Organism Exposure to Volatile Hydrocarbons from Untreated and Chemically Dispersed Crude Oils in Field and Laboratory, In: *Proc. of the 9th Arctic Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Environment Canada*, pp. 497–526, Ottawa, Canada, Beuuregard press.
- Mesinger, F.; Janjić, Z. I.; Nickovic, S. e Gavrillov, D. (1988) The Step-Mountain Coordinate: Model Description and Performance for Cases of Alpine Lee Cyclogenesis and for a Case of an Appalachian Redevelopment, *Mon. Weather Rev.*, **116**:1493–1518.
- Michel, J. (2000) Assesment and Recomendations for the Oil Spill Cleanup of Guanabara Bay, Brazil, *Spill. Sci. Technol. B.*, **6**:89–96.
- Middleton, J. F. (2000) Wind-Forced Upwelling: The Role of the Surface Mixed Layer, *J. Phys. Oceanogr.*, **30**:745–763.
- Middleton, J. F. e Cirano, M. (1999) Wind-Forced Downwelling Slope Currentes: A Numerical Study, *J. Phys. Oceanogr.*, **29**:1723–1743.
- Miranda, L. B.; Castro, B. M. e Kjerfve, B. (2002) Princípios de Oceanografia Física de Estuários, Edusp, 414 pp.
- MMA (2000) Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Levantamento do Estado da Arte de Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil - Oceanografia Física - Região Central. Programa REVIZEE.
- MMA (2002) MMA, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade

- a Derramamentos de Óleo, Secretária de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiros e Marinhos. www.mma.gov.br.
- MME (2005) Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional, Ano base 2004 (BEN 2005). www.mme.gov.br.
- Mooers, C. N. K. (1997) South Florida Oil Spill Research Center, *Spill. Sci. Technol. B.*, **5**:51–61.
- Muschenheim, D. K. e Lee, K. (2002) Removal of Oil from the Sea Surface Through Particulate Interactions: Review and Prospectus, *Spill. Sci. Technol. B.*, **8**:9–18.
- NCEP (2005) National Center of Environmental Prediction Reanalysis Data. National Oceanic and Atmospheric Administration, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (NOAA-CIRES). Climate Diagnostics, Center, Boulder, Colorado, USA, <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>.
- NOAA (2002a) General NOAA Oil Model Environment. Users's Manual, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration, Hazardous Materials Response Division, 91 pp.
- NOAA (2002b) Trajectory Analysis Handbook, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration, Hazardous Materials Response Division, 41 pp.
- NOAA (2002c) Environmental Sensitivity Index Guidelines, version 3.0, NOAA Technical Memorandum NOS OR 11, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration, Hazardous Materials Response Division, 88 pp.
- NRC (1985) Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects, National Research Council, Washington DC, National Academy Press, 280pp.
- Odd, N. V. M. e Murphy, D. G. (1992) Experience and Recommended Practice for the Construction and Objective Calibration of Coastal Pollution Models, In: *Proc. of the 2nd International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters*, vol. 1, pp. 229–239, Environment Canada, Ottawa, Ontario, Ashgate.
- Price, J. M.; Johnson, W. R.; Marshall, C. F.; Ji, Z. G. e Rainey, G. B. (2003) Overview of the Oil Spill Risk Analysis OSRA Model for Environmental Impact Assessment, *Spill. Sci. Technol. B.*, **8**:529–533.
- Proctor, R.; Elliot, A. J. e Flather, R. A. (1994) Forecast and Hindcast Simulations of the Braer Oil Spill, *Mar. Pollut. Bull.*, **28**:219–229.

- Reed, M.; Johansen, O.; Brandvik, P. J.; Darling, P.; Lewis, A.; Fiocco, R.; Mackay, D. e Prentki, R. (1999) Oil Spill Modelling Towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art, *Spill. Sci. Technol. B.*, **5**:3–16.
- Rocha, A. B. (2000) Estudo da Hidrodinâmica e do Transporte de Solutos na Baía do Espírito Santo Através de Modelagem Computacional, Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Dissertação de Mestrado, 108pp.
- Santana, A. G.; Cardoso, E. R.; Silva, F. F.; Genz, F. e Ribeiro, C. A. O. (2000) Estimativa da Vazão de Referência, com Carência de Dados, para Outorga na Bahia, V Simpósio de recursos Hídricos do Nordeste, Natal - RN.
- Sebastião, P. e Soares, C. G. (1995) Modelling the Fate of Oil Spills at Sea, *Spill. Sci. Technol. B.*, **2**:121–131.
- SEI (2000) Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia., Base cartográfica Digital, www.sei.ba.gov.br.
- Slingo, J. (1987) The Development and Verification of a Cloud Prediction Scheme for the ECMWF Model, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **103**:29–43.
- Souza-Lima, W.; Manso, C. L. C.; Andrade, E. J. e Grillo, J. L. (2003) Bacias Sedimentares Brasileiras. Bacia de Camamu, Phoenix, **54**:1–6.
- Spaulding, M. L. (2005) Professor of Ocean Engineering. University of Rhode Island, e-mail: spaulding@oce.uri.edu (contato em março de 2005).
- Spaulding, M. L.; Kolluru, V. S.; Anderson, E. e Howlett, E. (1994) Application of Three-Dimensional Oil Spill Model to Hindcast the Braer Spill, *Spill. Sci. Technol. B.*, **1**:23–35.
- Spaulding, M. L.; Opishinski, T. e Haynes, S. (1996) COASTMAP: An Integrated Monitoring and Modeling System to Support Oil Spill Response, *Spill. Sci. Technol. B.*, **3**:149–169.
- Spiegel, M. R. (1976) Estatística, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 580pp.
- Spix, J. B. e Martius, C. F. P. (1828) Reise in Brasilien, Gedrukt bei M. Lindauer, Munchen, Book II: 795-799.
- SRH (2003) Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos, Sistema de Informações Georeferenciadas. Série: Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos - SIRH, Volume I em CD. www.srh.ba.gov.br.
- Stramma, L. e Schott, F. (1999) The Mean Flow Field of the Tropical Atlantic Ocean, *Deep-Sea Res.*, Part II, **46**:279–303.
- Sugioka, S.; Kojima, T.; Nakata, K. e Horiguchi, F. (1999) A Numerical Simulation of an Oil Spill in Tokyo Bay, *Mar. Pollut. Bull.*, **5**:51–61.

- Suslick, S. B. (2002) E se o Petróleo acabasse ano que vem?, *Correio Braziliense - Atualidades*, Brasília - DF, www.ige.unicamp.br/lage/publicações.php.
- Tanajura, C. A. S. e Shukla, J. (2005) Modelling the Effect of the Andes on the South American climate, *Rev. Bras. Meteor.*, **20**(3):315–322.
- Tanajura, C. A. S.; Cárdenas, J. W. e Branco, R. M. (2003) The Influence of the Domain and Resolution on the ETA Model Simulations of a Cold Front Passage Over Southeast Brazil, *Rev. Bras. Meteor.*, **18**:21–32.
- Tucci, C. E. M. (1986) Modelos Numéricos em Hidrologia e Hidráulica, Rio de Janeiro: *Revista Brasileira de Engenharia*, **1**:1.4–1.16.
- Walters, R. A. e Heston, C. (1982) Removing Tidal-Period Variations from Time-Series Data Using Low-Pass Digital Filters, *J. Phys. Oceanogr.*, **12**:112–115.
- Wang, J. (2001) A Nowcast/Forecast System for Coastal Ocean Circulation Using Simple Nudging Data Assimilation, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **18**(6):1037–1047.
- Weise, A. M.; Nalewajko, C. e Lee, K. (1999) Oil-Mineral Fine Interactions Facilitate Oil Biodegradation in Seawater, *Environ. Technol.*, **20**:811–824.
- Wong, K.-C. (1999) The Wind Driven Currents on the Middle Atlantic Bight Inner Shelf, *Cont. Shelf Res.*, **19**:757–773.
- Wong, K.-C. e Moses-Hall, J. E. (1998) On the Relative Importance of the Remote and Local Wind Effects to the Subtidal Variability in a Coastal Plain Estuary, *J. Geophys. Res.*, **103**(C9):18,393–18,404.

A – Metodologia para caracterização fluviométrica

A Baía de Camamu (BC) possui como principais afluentes os rios Serinhaém, Igrapiúna, Sorojó, Pinaré e Maraú (Figura A.1). No entanto, a região onde encontra-se inserida a baía possui carência de registros hidrológicos, com um único posto fluviométrico representativo da região instalado no rio Cachoeira Grande (ou da Mariana), no município de Ituberá, um dos afluentes do rio Serinhaém. Este posto é operado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (ANA, 2005), código 51940000, e possui registros disponíveis entre os anos de 1969 e 2002.

Para a caracterização fluviométrica da BC, foi primeiramente usada a metodologia proposta por Santana et al. (2000), que apresenta uma estimativa de vazões para locais com carência de dados hidrológicos a partir de informações obtidas de pelo menos um posto fluviométrico representativo da região de interesse.

Para aplicação desta metodologia é necessário que se conheçam vazões pontuais em alguns rios afluentes à região de estudo, para, a partir destas vazões, podermos quantificar a permanência destas no tempo por correlação com o posto fluviométrico de referência, em função da vazão medida no posto no mesmo dia em que foram medidas as vazões pontuais. Devemos partir do princípio que os pontos escolhidos para obtenção de vazões pontuais estejam inseridos em uma região com mesmo regime pluviométrico do posto de referência.

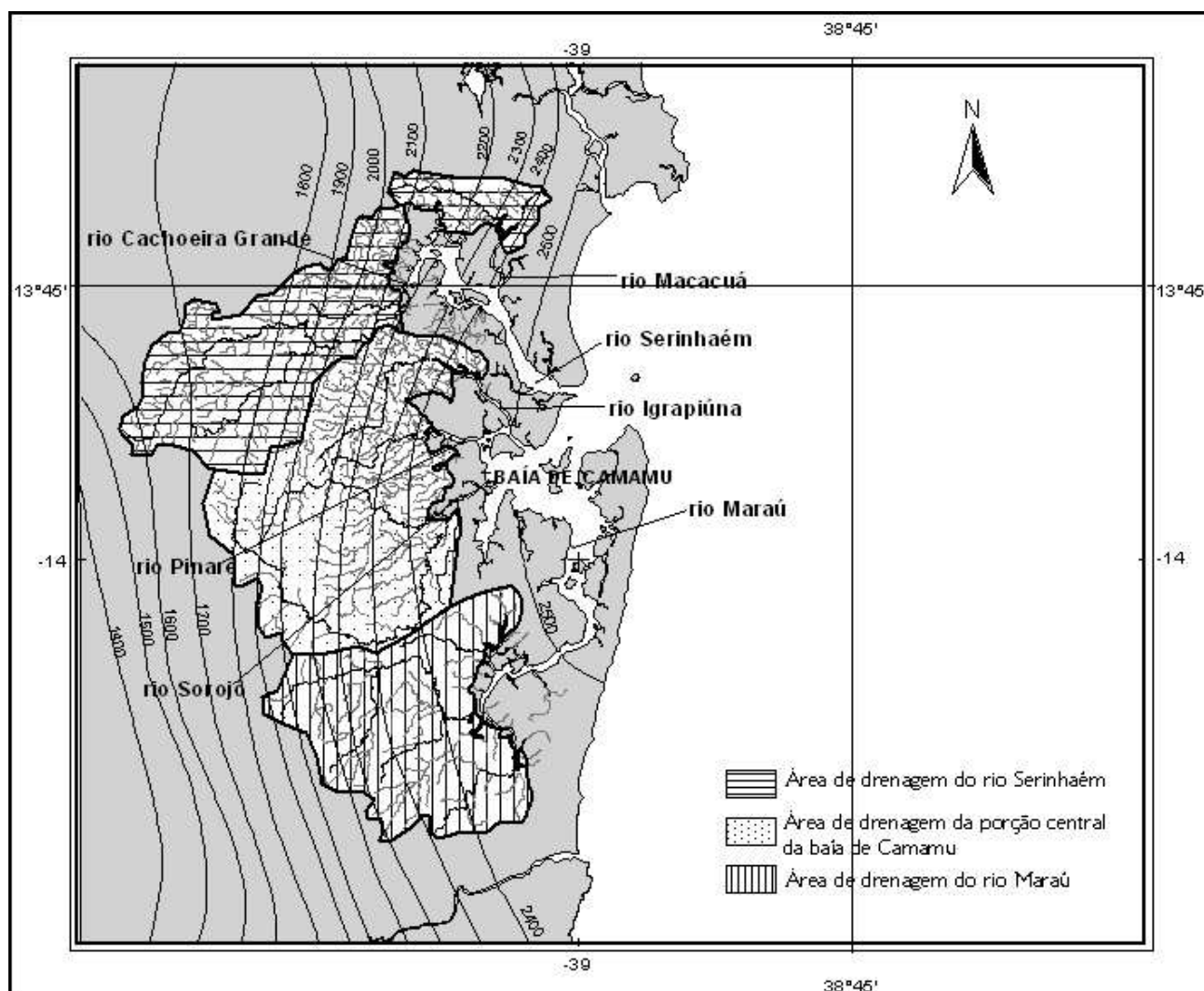


Figura A.1: Áreas de drenagem dos principais rios afluentes à BC, sendo ao norte o rio Serinhaém, a leste os rios Igrapiúna, Sorojó e Pinaré e ao sul o rio Marau. A rede de drenagem foi obtida da base cartográfica digital da SEI (2000), na escala 1:100.000. As isoietas foram obtidas do sistema de informações georeferenciadas da SRH (2003).

O próximo passo da estimativa é o cálculo da vazão Q_{90} (vazão com 90% de permanência no tempo) para o posto fluviométrico representativo da região em questão, obtido a partir da curva de permanência do posto, e, a partir de um coeficiente de correção dado pela relação:

$$K = \frac{Q_{90}}{Q_{lido}} \quad (\text{A.1})$$

tem-se a primeira estimativa de Q_{90} pontual para cada ponto monitorado, através do produto entre o coeficiente K pela vazão medida no local de interesse:

$$Q_{90,pontual} = K * Q_{medido} \quad (\text{A.2})$$

Observando a recessão da curva de permanência (Figura A.2), pode-se verificar, em geral, que a mesma pode ser ajustada em trechos de reta, principalmente nos intervalos entre Q_{50} e Q_{95} (Genz, 2001). Logo, obtidas as duas vazões com permanência conhecida para os pontos monitorados, podemos, a partir de ajuste linear, quantificar vazões com diferentes permanências para os mesmos locais.

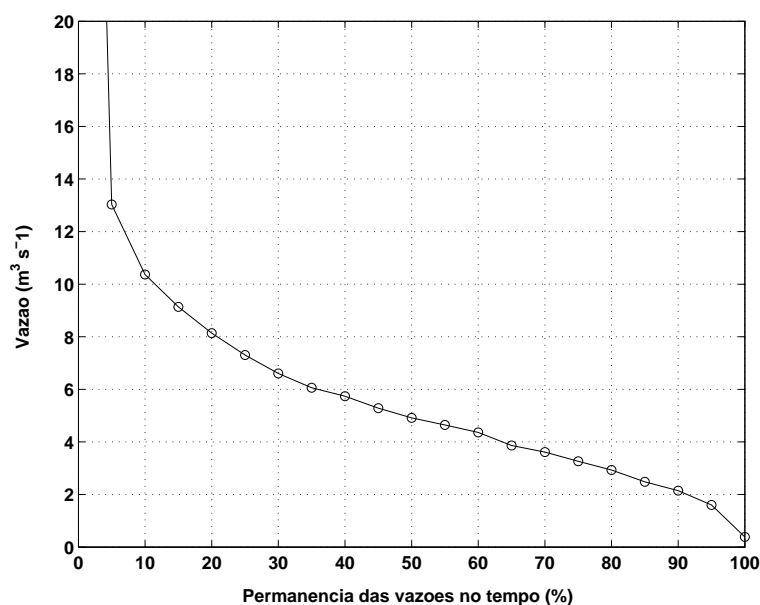


Figura A.2: Curva de permanência no tempo das vazões do rio cachoeira Grande, de acordo com registro obtido pelo posto fluviométrico de Ituberá (ANA, 2005)

Uma vez quantificada as vazões para cada ponto monitorado, calculamos a vazão específica das áreas de drenagem contribuintes, e, em função do tipo de solo predominante em cada uma delas, podemos fazer uma transposição desta vazão específica para outras regiões inseridas na área de estudo que possuam o mesmo tipo de solo, quantificando as descargas provenientes destas bacias.

A área de Proteção Ambiental do Pratigi, que possui grande parte inserida nas proximidades da BC, recebe o aporte fluvial das bacias hidrográficas do rio das Almas (ou Jequié), rio Cachoeira Grande (ou da Mariana) e rio Igrapiúna. A Bacia do rio das Almas sofre influência de diferentes tipos climáticos, como os subúmido a seco em suas cabeceiras, úmido a subúmido na porção média e úmido entre as porções média e baixa da bacia. Já os rios Cachoeira Grande e Igrapiúna possuem a maior parte de suas bacias nos tipos climáticos úmido a subúmido, em uma faixa litorânea onde se verifica as mais altas produtividades hídricas, sendo que o rio Cachoeira Grande registra a mais alta vazão média em toda a região da APA (CRA, 1995).

Os postos fluviométricos Nilo Peçanha, no rio das Almas, e Ituberá, no rio Cachoeira Grande, apesar de apresentarem deflúvios bastante diferenciados, mostram um regime médio

anual muito similar. Desta forma, segundo o Plano de Manejo da área de Proteção Ambiental de Pratigi (CRA, 1995), a estimativa da disponibilidade hídrica dos mananciais que se desenvolvem na APA pôde ser obtida por correlação com o posto fluviométrico de Ituberá (Figura A.3), no rio Cachoeira Grande. Este rio é um dos contribuintes do rio Serinhaém, um dos principais afluentes da BC (Figura A.1).

Como proposto pelo CRA (1995), as informações obtidas do posto fluviométrico de Ituberá (ANA, 2005) foram usadas como referência para quantificarmos a vazão afluyente à BC, principalmente pelo fato deste posto estar inserido em uma região com mesmo comportamento pluviométrico que a baía e ser representativo do regime fluviométrico do rio Cahoeira Grande, um dos principais afluentes do rio Serinhaém.

Os pequenos riachos inseridos na APA de Pratigi, dos quais mediram-se vazões pontuais como referência para a elaboração do plano de manejo da APA, estão inseridos nas principais bacias de drenagem da BC (Figura A.3). Desta forma, estas vazões foram usadas para quantificarmos as vazões afluentes à baía provenientes destes riachos, bem como para quantificarmos as vazões específicas representativas dos tipos de solo predominantes nas área de drenagem da BC.

O comportamento climatológico da BC e adjacências foi dividido em dois cenários distintos, de acordo com os resultados obidos na seção 2.3, sendo uma estação seca, compreendida entre os meses de agosto e setembro, e uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de março e julho

De acordo com o fluviograma médio anual (Figura A.4) e a curva de permanência (Figura A.2) do posto fluviométrico de Ituberá, a vazão média para o período seco é de $5,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e representa uma permanência média no tempo de 43%, e no período chuvoso a vazão média é de $6,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, representando uma permanência média no tempo de 35%.

As medições de vazão nos riachos da APA de Pratigi (Figura A.3), foram realizadas nos dias 13 e 19 de fevereiro de 2000, e, de acordo com os registros disponíveis, as vazões para o posto fluviométrico de Ituberá nestes dias eram de $5,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $5,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Estas vazões possuem permanências respectivas de 48% e 49%, de acordo com a curva de permanência obtida para o posto fluviométrico de Ituberá. A vazão com 90% de permanência no tempo para o posto de Ituberá é de $2,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e, de acordo com a Equação A.1, os coeficientes de correção que foram usados para quantificarmos as Q_{90} pontuais foram de $K_1=0,40$ e $K_2=0,42$, para os dias 13/02 e 19/02, respectivamente.

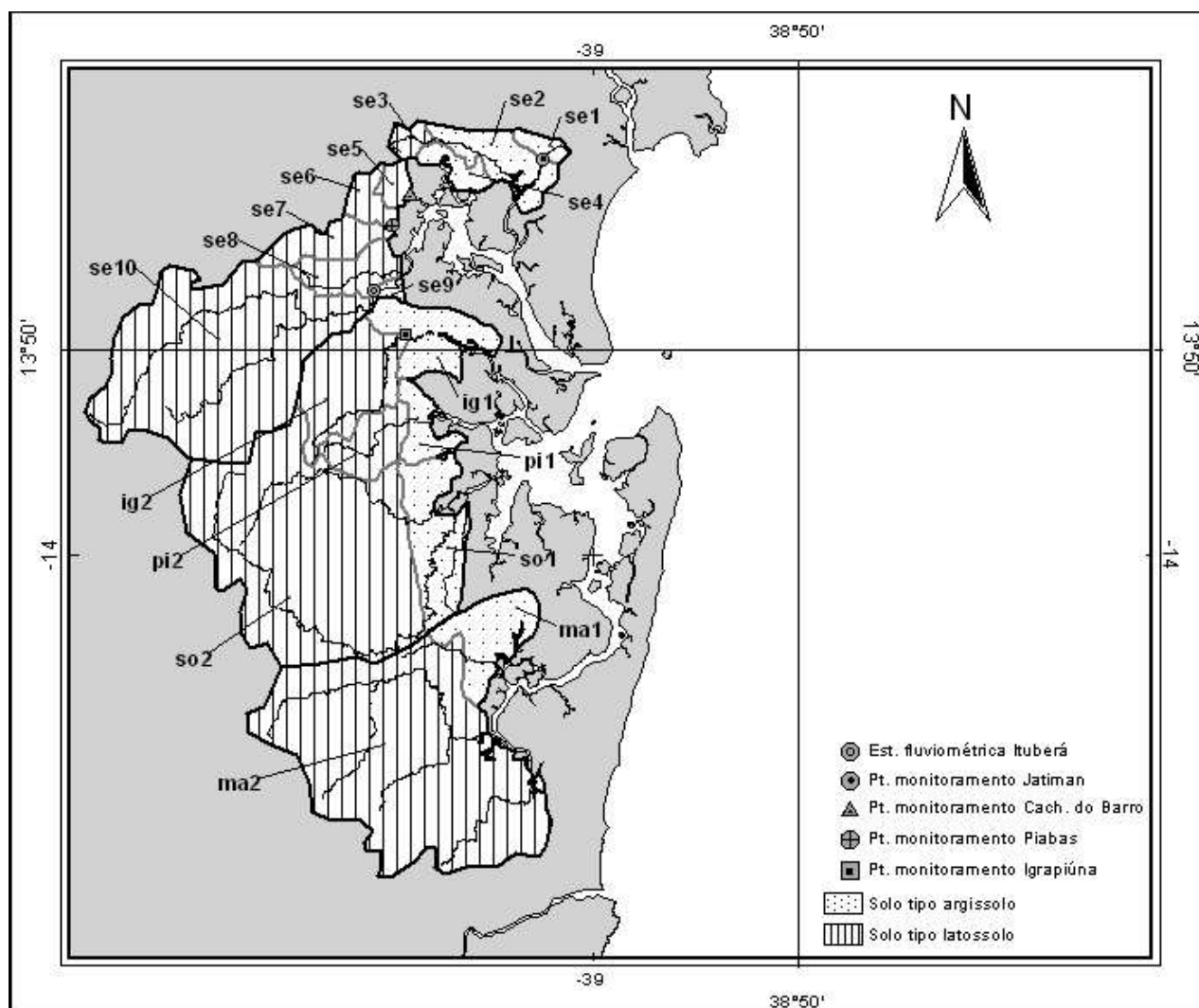


Figura A.3: Setorização em função do tipo de solo característico das áreas de drenagem dos principais rios afluentes à BC, de acordo com o sistema de informações georeferenciadas da SRH (2003). Também é apresentado a localização do posto fluviométrico de Ituberá (ANA, 2005) e dos pontos de medições pontuais de vazão (CRA, 1995).

De acordo com os coeficientes de correção, foram obtidas as vazões Q_{90} pontuais para os pontos monitorados (Tabela A.1), e, a partir de correlação linear com as vazões medidas, com permanências de 48% e 49% para os dias 13/02 e 19/02, respectivamente, foram calculadas as vazões médias para as estações seca (permanência de 43%) e chuvosa (permanência de 35%) para cada ponto, conforme apresentado na Tabela A.2.

Uma vez obtidas as vazões médias representativas dos períodos seco e chuvoso para os pontos de monitoramento, calculamos as vazões específicas representativas dos tipos de solo predominantes nas bacias de drenagem afluentes à BC. A partir da transposição destas vazões específicas, calculamos as descargas referentes as áreas de drenagem onde não se possuem informações.

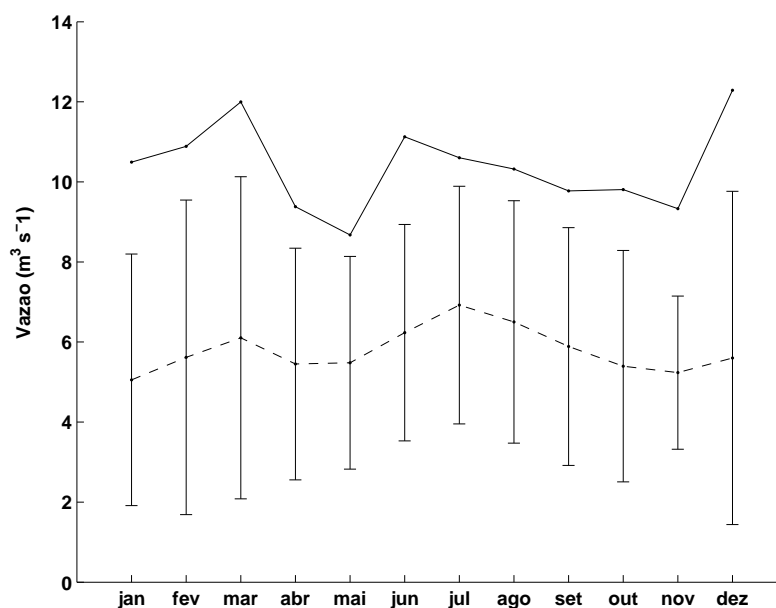


Figura A.4: fluviograma médio anual para o rio Cachoeira Grande, de acordo com registro obtido pelo posto fluviométrico de Ituberá (ANA, 2005). A linha pontilhada representa as vazões médias ao longo do ano e as barras verticais indicam o desvio-padrão em torno da média. A linha cheia representa as médias das vazões máximas diárias

Tabela A.1: Vazões medidas nos pontos de monitoramento (Figura A.3) e suas respectivas permanências no tempo. Os coeficientes de correção foram obtidos em função da vazão Q_{90} do posto fluviométrico de Ituberá, localizado no rio Cachoeira Grande, e das vazões lidas neste nos dias de monitoramento (13/02 e 19/02), conforme Equação A.1. As vazões Q_{90} pontuais foram obtidas conforme Equação A.2.

Ponto de monitoramento	Vazão monitorada (m^3s^{-1})	Permanência no tempo (%)	Coefficiente de correção (k)	Q_{90} pontual (m^3s^{-1})
Cachoeira Grande	5,24 (13/02)	48	0,40	2,10
	5,00 (19/02)	49	0,42	
Jatiman	0,91 (13/02)	48	0,40	0,37
Piabas	0,47 (13/02)	48	0,40	0,19
Cachoeira do Barro	0,49 (19/02)	49	0,42	0,21
Igrapiúna	1,56 (19/02)	49	0,42	0,66

As bacias de drenagem contribuintes para a BC possuem uma área total de aproximadamente 1.451,44 km², sendo que aproximadamente 86% desta área é composta por solo do tipo latossolo e o restante composto por solo tipo argissolo. Como pôde ser observado para as vazões específicas calculadas a partir dos monitoramentos realizados nos rio Jatiman e Cachoeira do Barro, as vazões específicas para áreas similares com diferentes tipos de solo, podem apresentar diferenças significativas (Tabela A.2).

Tabela A.2: Vazões médias nas estações seca e chuvosa para os pontos de monitoramento localizados nas áreas de drenagem da BC (Figura A.3), cujas permanências no tempo são de 42% e 35%, respectivamente, de acordo com a curva de permanência do posto fluviométrico de Ituberá no rio Cachoeira Grande (Figura A.2). As vazões médias no rio Cachoeira Grande foram obtidas a partir do fluviograma médio anual para o posto fluviométrico de Ituberá (Figura A.4). As vazões médias para os demais pontos foram obtidas por correlação linear entre as vazões obtidas nos dias de monitoramento e a vazão Q_{90} pontual (Tabela A.1). As vazões específicas foram obtidas pelo quociente entre a vazão média e a área de drenagem de cada ponto de monitoramento.

Ponto de monitoramento	Q média (m^3s^{-1})		Área de drenagem (km^2)	Tipo de solo	Q específica ($\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$)	
	Est. seca	Est. chuvosa			est. seca	est. chuvosa
Cachoeira Grande	5,60	6,04	310,00	latossolo	0,018	0,019
Jatiman	0,98	1,08	8,82	argissolo	0,111	0,123
Cachoeira do Barro	0,53	0,59	9,92	latossolo	0,054	0,059
Piabas	0,50	0,56	15,82	latossolo	0,032	0,035
Igrapiúna	1,70	1,87	75,18	latossolo	0,023	0,025

As áreas de drenagem da BC que possuem solo tipo argissolo são, em geral, pequenas, com valores extremos de $4,12 \text{ km}^2$ e $64,58 \text{ km}^2$, sendo que as medições pontuais realizadas contemplaram apenas um posto representativo deste tipo de solo. No entanto, as áreas de drenagem de solo tipo latossolo possuem áreas discrepantes, com valores extremos de $9,19 \text{ km}^2$ e $355,62 \text{ km}^2$, e as medições pontuais contemplaram quatro pontos representativos deste tipo de solo, incluindo a estação fluviométrica de Ituberá (Tabela A.2).

Existe uma relação decrescente da vazão específica para regiões com mesmo tipo de solo à medida que a área de drenagem aumenta, ressaltando o aspecto de produção de água nas bacias menores (Genz, 2001). Este comportamento pôde ser observado nas curvas representativas das vazões específicas em função das áreas de drenagem de solo tipo latossolo (Figura A.5).

Em função do exposto acima, para o cálculo das vazões específicas do solo tipo latossolo, foram traçadas curvas representativas para as estações seca e chuvosa, de acordo com os quatro pontos de monitoramento de vazão realizados nos riachos que possuem este tipo de solo predominante (Tabela A.2). Desta forma, podemos traçar o comportamento da vazão específica do solo tipo latossolo de acordo com o decréscimo das vazões específicas com aumento das áreas de drenagem, evitando superestimar as vazões referentes às regiões com maiores áreas.

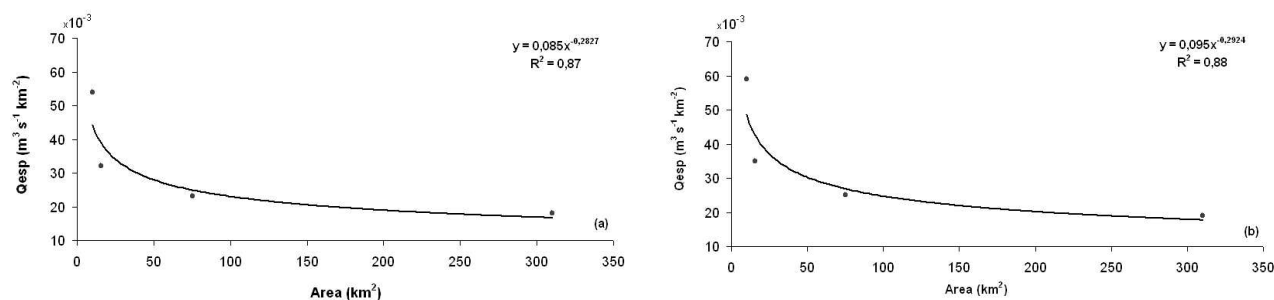


Figura A.5: Curvas de vazões específicas para o solo tipo latossolo em função das áreas de drenagem afluentes à Baía de Camamu representativas deste tipo de solo, durante a (a) estação seca, compreendida entre os meses de agosto e fevereiro, e (b) chuvosa, compreendida entre os meses de março a julho

Para o cálculo das áreas de drenagem com solos tipo argissolo, usamos as vazões específicas para as estações seca e chuvosa em função do ponto de monitoramento de vazão representativo deste tipo de solo (Tabela A.2). Como essas áreas são em geral pequenas, não corremos o risco de estarmos superestimando as vazões das áreas com maiores dimensões.

Desta forma, as bacias de drenagem contribuintes à BC foram divididas por setores em função da área e tipo de solo (Figura A.3). A partir de correlação com a vazão específica encontrada para o argissolo e as curvas para as vazões específicas do latossolo, foram quantificadas as vazões nas áreas onde não se possuem informação.

A partir desta metodologia, foi possível estimar as vazões afluentes à BC nos períodos seco e chuvoso (Tabela A.3). Caso se queira conhecer as vazões médias na baía em diferentes épocas, basta aplicarmos a mesma metodologia, conhecendo-se, a princípio, a permanência no tempo destas vazões.

Tabela A.3: Vazões médias na Baía de Camamu nas estações seca e chuvosa a partir das vazões afluentes dos mananciais. As vazões do rio Cachoeira Grande foram obtidas a partir do posto fluviométrico de Ituberá, dos rios Jatiman Cachoeira do Barro, Piabas e Igrapiúna a partir de correlações lineares, conforme Tabela A.2 e dos demais a partir da vazão específica para áreas de solo tipo argissolo (Tabela A.2) ou das curvas de vazão específica para solo tipo latossolo (Figura A.5).

Rio	Setor	Área km ²	Método para obtenção da vazão	Vazão média (m ³ s ⁻¹)	
				Est. seca	Est. chuvosa
Serinhaém	SE1	8,82	vazão rio Jatiman	0,98	1,08
	SE2	40,03	Q específica para argissolo	4,44	4,92
	SE3	9,19	curva para latossolo	0,42	0,46
	SE4	14,49	Q específica para argissolo	1,61	1,78
	SE5	9,92	vazão do rio Cach. do Barro	0,53	0,59
	SE6	15,82	vazão rio Pabas	0,50	0,56
	SE7	30,28	curva para latossolo	0,98	1,06
	SE8	30,91	curva para latossolo	1,00	1,08
	SE9	4,12	Q específica para argissolo	0,46	0,51
	SE10	310,00	vazão rio Cach. Grande	5,60	6,04
			vazão total rio Serinhaém	16,52	18,08
Igrapiúna	IG1	49,91	Q específica para argissolo	5,54	6,14
	IG2	75,18	vazão rio Igrapiúna	1,70	1,87
			vazão total rio Igrapiúna	7,24	8,01
Pinaré	PI1	21,87	Q específica para argissolo	2,43	2,69
	IG2	33,76	curva para latossolo	1,06	1,15
			vazão total rio Pinaré	3,49	3,84
Sorojó	SO1	64,58	específica para argissolo	7,17	7,94
	SO2	327,71	curva para latossolo	5,42	5,72
			vazão total rio Sorojó	12,59	13,66
Maraú	MA1	49,23	Q específica para argissolo	5,46	6,06
	MA2	355,62	curva para latossolo	5,74	6,07
			vazão total rio Maraú	11,20	12,13
			vazão total na Baía de Camamu	51,04	55,72

B – Cálculo dos prismas de maré para os rios Maraú e Serinhaém

Para quantificarmos os prismas de maré para os estuários dos rios Maraú e Serinhaém, foram usados os monitoramentos das correntes realizados ao longo de seções transversais (Figura 5.1), durante a campanha de setembro/2004 (Tabela 5.3). As vazões instantâneas das seções transversais foram integradas ao longo de um ciclo completo de maré semidiurna (13h), em situações de maré de quadratura e sizígia. Os resultados estão apresentados nas Tabelas B.1 e B.2.

Tabela B.1: Vazões instantâneas obtidas a partir do monitoramento da velocidade na seção transversal do rio Maraú, abrangendo um ciclo completo de maré semi-diurna (13h), em situações de quadratura e sizígia, durante a campanha de setembro/04 (Tabela 5.3). Os prismas de maré foram obtidos a partir da integração das vazões instantâneas ao longo do ciclo.

Hora	quadratura			Sizígia		
	Vel. média m s^{-1}	Área ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Vazão ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Vel. média m s^{-1}	Área ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Vazão ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)
1	-0,32	12,66	-4,09	0,80	12,71	10,13
2	-0,28	12,67	-3,49	0,70	13,00	9,03
3	-0,18	12,84	-2,31	0,57	11,75	6,67
4	0,01	12,87	-0,13	0,23	12,14	2,74
5	0,18	12,94	2,29	-0,35	11,81	-4,16
6	0,33	12,91	4,21	-0,62	12,44	-7,68
7	0,38	12,93	4,91	-0,72	12,78	-9,26
8	0,31	13,12	4,14	-0,67	13,22	-8,84
9	0,20	12,41	2,52	-0,56	13,58	-7,56
10	0,07	12,29	0,81	-0,32	13,73	-4,42
11	-0,06	12,36	-0,72	0,14	13,51	1,90
12	-0,15	12,53	-1,84	0,67	13,75	9,20
13	-0,22	12,71	-2,73	0,80	12,71	10,14
Prisma vazante = $67,97 \times 10^6 \text{ m}^3$ Prisma enchente = $42,83 \times 10^6 \text{ m}^3$				Prisma vazante = $142,81 \times 10^6 \text{ m}^3$ Prisma enchente = $147,10 \times 10^6 \text{ m}^3$		

Tabela B.2: Análogo à Figura B.1, porém para o rio Serinhaém

Hora	quadratura			Sizígia		
	Vel. média m s^{-1}	Área ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Vazão ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Vel. média m s^{-1}	Área ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Vazão ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)
1	-0,09	12,27	-1,06	0,58	14,00	8,16
2	-0,21	12,70	-2,70	0,78	13,10	10,23
3	-0,28	13,10	-3,65	0,68	12,63	8,62
4	-0,32	13,80	-4,46	0,48	11,90	5,68
5	-0,26	13,90	-3,56	0,17	11,60	2,00
6	-0,12	14,05	-1,67	-0,18	12,10	-2,14
7	0,07	13,74	0,89	-0,36	12,72	-4,63
8	0,24	13,63	3,33	-0,43	13,28	-5,76
9	0,34	13,20	4,46	-0,51	13,95	-7,04
10	0,33	12,90	4,31	-0,48	14,44	-7,00
11	0,21	12,71	2,67	-0,31	14,62	-4,51
12	0,07	12,54	0,92	0,08	14,19	1,19
13	-0,07	12,86	-0,92	0,58	13,78	7,97
Prisma vazante = $57,93 \times 10^6 \text{ m}^3$ Prisma enchente = $59,39 \times 10^6 \text{ m}^3$				Prisma vazante = $125,51 \times 10^6 \text{ m}^3$ Prisma enchente = $110,00 \times 10^6 \text{ m}^3$		