



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Jeanne Cristine Schmidt Saldanha

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIO SANTA MARIA DA
VITÓRIA NA BAÍA DE VITÓRIA, ATRAVÉS DA
MODELAGEM COMPUTACIONAL: UMA CONTRIBUIÇÃO
AO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO.**

Dissertação de Mestrado

Vitória, Abril de 2007.

Jeanne Cristine Schmidt Saldanha

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIO SANTA MARIA DA
VITÓRIA NA BAÍA DE VITÓRIA, ATRAVÉS DA
MODELAGEM COMPUTACIONAL: UMA CONTRIBUIÇÃO
AO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rigo

Vitória, Abril de 2007.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIO SANTA MARIA DA
VITÓRIA NA BAÍA DE VITÓRIA, ATRAVÉS DA
MODELAGEM COMPUTACIONAL: UMA CONTRIBUIÇÃO
AO PROCESSO DE ENQUADRAMENTO.**

Jeanne Cristine Schmidt Saldanha

Prof. Dr. Daniel Rigo – Orientador
Prof. Adjunto do DHS – CT - UFES

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Examinador Interno – CT - UFES

Prof. Dr. José Paulo Azevedo
Examinador Externo – COPPE - UFRJ

Coordenador do PPGEA: Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Vitória, Abril de 2007.

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais por todo amor que me dedicaram.

A minha filha, Maria Julia, por todo amor e carinho.

Ao meu marido, João Rodrigo, pela paciência e apoio em todas às horas.

AGRADECIMENTOS

A todos que direta ou indiretamente participaram deste estudo gostaria de expressar aqui a minha gratidão, em especial,

A Deus, que me deu a vida e a possibilidade de desenvolver este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Daniel Rigo, por toda a dedicação, paciência e respeito em todas as etapas desta dissertação e por ter sido acima de tudo, um amigo de todas as horas.

Ao Prof. Julio Tomás Aquije Chacaltana, pelo apoio e enriquecimento com discussões objetivas.

À Mônica, pela amizade e por tudo que me ensinou.

À toda equipe do GEARH e EMANA, pelo apoio prestado.

As minhas grandes amigas Teresa e Raphaela, pela amizade e ajuda ao longo de todo este trabalho.

À Prefeitura Municipal de Vitória, pela cessão da bolsa de estudos, através do projeto FACITEC.

Aos meus pais Sérgio e Marilze Schmidt, pelo apoio incondicional.

À Tânia e Sergio Luiz, pela alegria de tê-los como irmãos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem de satélite LANDSAT TM da região de estudo.....	33
Figura 2: Domínio de estudo compreendendo a parte fluvial e estuarina	48
Figura 3: Mapa batimétrico da área de estudo e proximidades.....	50
Figura 4: Malha de discretização do Rio Santa Maria da Vitória e da Baía de Vitória, em coordenadas UTM.	53
Figura 5: Detalhe A da malha de discretização sobre o trecho fluvial do Rio Santa Maria da Vitória.....	54
Figura 6: Detalhe B da malha de discretização sobre a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória na Baía de Vitória.	54
Figura 7: Elevação do nível d'água para o Porto de Tubarão.	56
Figura 8: Condições de Contorno implementadas no modelo hidrodinâmico.	57
Figura 9: Estações de Monitoramento utilizadas na calibração.	59
Figura 10: Comparação entre os valores medidos e simulados na estação maregráfica de Santo Antônio.	61
Figura 11: Comparação entre os valores de velocidade medidos e simulados na estação de Santo Antônio.....	63
Figura 12: Comparação entre os valores das componentes de velocidades U e V medidos e simulados na estação de Santo Antônio.....	65
Figura 13: Maré utilizada como condição de contorno na entrada da Baía de Vitória.	67
Figura 14: Intervalo de tempo onde são apresentadas as simulações realizadas na maré de sizígia.	68
Figura 15: Campo de Velocidades obtido para a maré de sizígia para o instante de tempo $t = 918,6$ horas.....	69
Figura 16: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 918,6$ horas.	69
Figura 17: Campo de Velocidades obtido para a maré de sizígia para o instante de tempo $t = 925,0$ horas.....	70
Figura 18: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 925,0$ horas.	70
Figura 19: Intervalo de tempo onde são apresentadas as simulações realizadas na maré de quadratura.	72
Figura 20: Campo de Velocidades obtido para a maré de quadratura para o instante de tempo $t = 784,0$ horas.....	73
Figura 21: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 784,0$ horas.	73

Figura 22: Campo de Velocidades obtido para a maré de quadratura para o instante de tempo $t = 789,6$ horas.....	74
Figura 23: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 789,6$ horas.	74
Figura 24: Mapa Base com a identificação das estações.	76
Figura 25: Elevação do nível do mar na Estação 5 para o Cenário 1.	80
Figura 26: Distribuição de Salinidade obtidas no Cenário 1 no instante $t = 632,0$ h.	81
Figura 27: Detalhe da distribuição de salinidade obtidas no Cenário 1.....	81
Figura 28: Salinidade encontrada na Estação 5 para o Cenário 1.	82
Figura 29: Salinidade encontrada na Estação 6 para o Cenário 1.	83
Figura 30: Classificação das águas do Cenário 1 de acordo com a Resolução CONAMA.....	84
Figura 31: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.	84
Figura 32: Classificação das águas do Cenário 2 de acordo com a Resolução CONAMA.....	86
Figura 33: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.	86
Figura 34: Elevação do nível do mar na Estação 4 para o Cenário 1.	87
Figura 35: Distribuição de Salinidade obtidas no Cenário 3 no instante $t = 656,6$ h.	88
Figura 36: Detalhe da distribuição da salinidade obtidas no Cenário 3.....	88
Figura 37: Distribuição da salinidade na Estação 4 para o Cenário 3.....	89
Figura 38: Distribuição da salinidade na Estação 5 para o Cenário 3.....	90
Figura 39: Classificação das águas do Cenário 3 de acordo com a Resolução CONAMA.....	91
Figura 40: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.	91
Figura 41: Classificação das águas do Cenário 4 de acordo com a Resolução CONAMA.....	93
Figura 42: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.	93
Figura 43: Distribuição da salinidade no Cenário 4 no instante de tempo $t = 906,5$ h. Concentração de sal no Canal da Passagem de 10 mg/l.....	95
Figura 44: Distribuição da salinidade no Cenário 4 no instante de tempo $t = 906,5$ h. Concentração de sal no Canal da Passagem de 20 mg/l.....	96
Figura 45: Classificação das águas do Cenário 4 de acordo com a Resolução CONAMA.....	97

Figura 46: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.....	97
Figura 47: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 5 dias do início do lançamento.	99
Figura 48: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 10 dias do início do lançamento.	100
Figura 49: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 15 dias do início do lançamento.	100
Figura 50: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 20 dias do início do lançamento.	101
Figura 51: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 25 dias do início do lançamento.	101
Figura 52: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 30 dias do início do lançamento.	102
Figura 53: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 35 dias do início do lançamento.	102
Figura 54: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 40 dias do após início do lançamento.....	103
Figura 55: Concentrações obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 45 dias do início do lançamento.	103
Figura 56: Concentrações obtidas para a maré de quadratura no Cenário 1 no instante de tempo $t = 782,33$ h (preamar).....	106
Figura 57: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 782,33$ horas (preamar).....	106
Figura 58: Concentrações obtidas para a maré de quadratura no Cenário 1 no instante de tempo $t = 788,00$ h (baixamar).	107
Figura 59: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 788,00$ horas (baixamar).....	107
Figura 60: Concentrações obtidas para a maré de sizígia no Cenário 2 no instante de tempo $t = 917,0$ h (preamar).....	109
Figura 61: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 917,0$ horas (preamar).....	109
Figura 62: Concentrações obtidas para a maré de sizígia no Cenário 2 no instante de tempo $t = 923,33$ h (baixamar).	110
Figura 63: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 923,33$ horas (baixamar).....	110

Figura 64: Concentrações obtidas para a maré de quadratura no Cenário 3 no instante de tempo t = 782,33 h (preamar).....	111
Figura 65: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo t = 782,33 horas (preamar).....	112
Figura 66: Concentrações obtidas para a maré de quadratura no Cenário 3 no instante de tempo t = 788,00 h (baixamar).	112
Figura 67: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo t = 788,00 horas (baixamar).....	113
Figura 68: Concentrações obtidas para a maré de sizígia no Cenário 4 no instante de tempo t = 917,0 h (preamar).....	114
Figura 69: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo t = 917,0 horas (preamar).....	114
Figura 70: Concentrações obtidas para a maré de sizígia no Cenário 4 no instante de tempo t = 923,33 h (baixamar).	115
Figura 71: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo t = 923,33 horas (baixamar).....	115
Figura 72: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 50.000 NMP/100ml, no instante de tempo t = 675,33 hs.....	119
Figura 73: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 10.000 NMP/100ml, no instante de tempo t = 675,33 hs.....	120
Figura 74: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 4.000 NMP/100ml, no instante de tempo t = 675,33 hs.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores recomendados para a amplitude da rugosidade equivalente de fundo.....	51
Tabela 2: Comparação entre erros obtidos e indicados na literatura	62
Tabela 3: Descargas médias mensais para o Rio Santa Maria da Vitória.	78
Tabela 04: Valores do parâmetro coliformes termotolerantes, segundo as classes da resolução CONAMA 357/2005.	117

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS:	17
2.1.OBJETIVO GERAL :	17
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	17
3. REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 CONCEITOS	18
3.1.1. ZONA COSTEIRA	18
3.1.2. ESTUÁRIOS	18
3.1.3. BACIA HIDROGRÁFICA	19
3.2. IMPORTÂNCIA DA REGIÃO COSTEIRA E ESTUARINA	20
3.3. PRINCIPAIS IMPACTOS SOBRE A REGIÃO COSTEIRA E ESTUARINA.....	21
3.4. GESTÃO AMBIENTAL EM REGIÕES COSTEIRAS.....	23
3.5. ESTUDOS RELACIONADOS À QUESTÃO DA GESTÃO AMBIENTAL NO BRASIL....	24
3.6. PRINCIPAIS POLÍTICAS DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	26
3.6.1. POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	26
3.6.1.1. O ENQUADRAMENTO E A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005	27
3.6.1.2. OUTORGA PELO USO DA ÁGUA	28
3.6.1.3. COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA.....	28
3.6.2. PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO	29
3.7. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.7.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA.....	31
3.7.2. CARACTERIZAÇÃO DA BAÍA DE VITÓRIA.....	33
3.7.3. MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA	35
3.7.3.1. MANGUEZAL COMO ÁREA DE PRESERVAÇÃO	36
3.7.4. PRINCIPAIS IMPACTOS OBSERVADOS NA REGIÃO DE ESTUDO.....	37
3.8. MODELAGEM COMPUTACIONAL	38
3.8.1 O PROCESSO DA MODELAGEM	38
3.8.2. IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS MODELOS	41
3.8.3. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO.....	42

4. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1. O MODELO SisBAHIA.....	43
4.1.1. MODELO HIDRODINÂMICO	45
4.1.2. MODELO DE TRANSPORTE EULERIANO	46
4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL SisBAHIA	47
4.2.1. REPRESENTAÇÃO DO DOMÍNIO MODELADO	47
4.2.2. PARÂMETROS AMBIENTAIS.....	48
4.2.2.1. BATIMETRIA	48
4.2.2.2. RUGOSIDADE EQUIVALENTE DE FUNDO.....	50
4.2.2.3. MARÉ.....	52
4.2.2.4. VENTO.....	52
4.2.3. CARACTERÍSTICAS DA MALHA ADOTADA.....	53
4.2.4. CONDIÇÕES INICIAIS E CONDIÇÕES DE CONTORNO	55
4.2.4.1. CONDIÇÕES DE CONTORNO	55
4.2.4.2. CONDIÇÕES INICIAIS	58
4.2.5. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO	58
5. RESULTADOS	60
5.1. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SisBAHIA.....	60
5.2. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA BAÍA DE VITÓRIA	67
5.2.1. MARÉ DE SIZÍGIA.....	68
5.2.2. MARÉ DE QUADRATURA.....	72
5.3. QUALIDADE DE ÁGUA DA BAÍA DE VITÓRIA.	76
5.3.1. INTRUSÃO SALINA NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA	79
5.3.2. LANÇAMENTO DE CONSTITUINTE CONSERVATIVO NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA	99
5.3.2.1. CORRELAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS COM AS CONCENTRAÇÕES GERADAS NO INTERIOR DO ESTUÁRIO.....	104
5.3.3. LANÇAMENTO DE COLIFORMES NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA.....	117
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
6. CONCLUSÃO	125
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	129
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	130

RESUMO

As costas e os estuários são ambientes nos quais as atividades humanas têm causado uma grande variedade de alterações. Dentre estas, está a utilização cada vez mais intensa e descontrolada dos recursos hídricos, que vêm resultando em diversos conflitos de qualidade e quantidade de água. Para que ações de controle e monitoramento possam ser adotadas com eficácia, visando atenuar os danos provocados por tais práticas, faz-se necessário conhecimento à respeito dos padrões de circulação dos corpos d'água em questão, bem como da sua correlação com a qualidade das águas. No presente estudo, foi implementado um modelo computacional, denominado SisBAHIA, na região que compreende o trecho final do rio Santa Maria da Vitória e a Baía de Vitória.

Após calibração e validação do modelo, associou-se às características hidrodinâmicas da região aspectos ligados à qualidade de suas águas, realizando-se simulações de transporte de constituintes. Através destas simulações foi possível analisar a influência da vazão do rio no comportamento da intrusão salina, correlacionar as condições de vazão fluvial e maré com as concentrações geradas na região do estuário da Baía de Vitória, após o lançamento de um constituinte conservativo e avaliar a qualidade das águas na região depois de realizado o lançamento de um constituinte não conservativo, fazendo uso de diversos cenários de vazão do rio e marés.

Pretende-se que os resultados obtidos, contribuam para o processo de enquadramento das águas da Baía de Vitória, além de fornecerem dados que possibilitem o acesso a informações, auxiliando nas tomadas de decisões e no gerenciamento costeiro da região de estudo, visando melhoria nas condições de vida das populações usuárias da baía.

ABSTRACT

Coasts and firths are environments in which human impacts have caused a variety of changes. Among the main impact is the increasing use of water resources, which has caused several quality and quantity of water conflicts. In order for the control and monitoring actions to be effectively adopted, aiming at lessening the damage caused by these practices, one should understand the movement pattern of the relevant bodies of water as well as their correlation with the water quality. This is the purpose of this paper. To do so, a computer model of the region comprising the final section of the Santa Maria da Vitória River and Vitória bay was implemented. It was named SisBAHIA.

After the model was calibration and verification, the hydrodynamic characteristics of the region were associated with aspects related to water quality, by performing component transport simulations. These simulations allowed the analyses of the influence of river output on the saline intrusion behavior; correlation of river and tide conditions with concentrations in the Vitória bay firth area, considering a conservative component; and evaluation of the amount of water in the region considering a non-conservative component, by using several river and tide output scenarios.

It is intended that the obtained results contribute to the process of classification of the Vitória Bay. Results should also provide data to allow access to information, in order to help make decisions and manage the studied region coast. This aims at improving the quality of life of the people using the bay water.

1. INTRODUÇÃO

As costas e os estuários são ambientes nos quais os impactos humanos têm causado uma grande variedade de alterações. Dentre estas, está a utilização cada vez mais intensa e descontrolada dos recursos hídricos, que vêm resultando em diversos conflitos relativos à qualidade e à quantidade de água. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento e aprimoramento de instrumentos de gestão da água, incluindo métodos e técnicas para o enquadramento de corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes, conforme preconiza a Resolução CONAMA nº. 357/2005.

A questão da conservação e da preservação das regiões estuarinas e costeiras faz parte das diretrizes gerais de ação da Lei nº. 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que preconiza a “integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras”.

Na integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, devem ser consideradas às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais de ambas as regiões.

MUÑOZ, 2000, afirma que os programas de gerenciamento costeiro e de gestão de bacias hidrográficas podem ser compatibilizados, pois ambos poderiam eventualmente ser implementados dentro de espaços geográficos que se sobrepõem. Ressalta ainda que a proteção do estado das águas nas bacias fluviais proporciona benefícios econômicos ao contribuir para a proteção dos recursos costeiros.

Um dos fatores que dificultam a implantação da gestão de recursos hídricos nas zonas costeiras é o fato desta apresentar grande diversidade físico-ambiental associada à múltipla competência e à ausência de articulações entre as diversas entidades gestoras e intervenientes, bem como, a ampla gama de órgãos responsáveis pelo gerenciamento costeiro no Brasil (Rosso, 2005).

A importância do presente estudo é ressaltada pela necessidade de um efetivo gerenciamento costeiro da Baía de Vitória. Pretende-se avaliar a influência da

vazão aportada pelo rio Santa Maria da Vitória na qualidade das águas da baía, através do emprego da modelagem computacional. Por se tratar de uma região turística, com atividades de pesca e de sustentabilidade para comunidades locais, além de apresentar-se como abrigo para diversos ecossistemas com elevada importância ambiental, a boa qualidade destas águas deve ser mantida, e os resultados deste estudo poderão ser utilizados para embasar atividades de gestão e políticas públicas que promovam articulações entre as políticas de recursos hídricos e de gerenciamento costeiro.

A modelagem computacional tem se tornado uma poderosa ferramenta de auxílio no gerenciamento dos corpos d'água costeiros, permitindo o prognóstico dos principais impactos gerados pelos lançamentos de efluentes sobre a qualidade da água, além de determinar a trajetória percorrida pelos solutos. Além disso, através da análise de cenários, pode auxiliar no desenvolvimento e aprimoramento de métodos e técnicas para enquadramento dos corpos de água estuarinos, segundo seus usos preponderantes.

O presente trabalho visa contribuir para melhor conhecimento à respeito do comportamento hidrodinâmico da Baía de Vitória, bem como da sua qualidade de água, considerando a influência das águas advindas do Rio Santa Maria da Vitória, bem como para o processo de enquadramento do ambiente estuarino, através da simulação de cenários de modelagem.

2. OBJETIVOS:

2.1.OBJETIVO GERAL :

Contribuir para o processo de enquadramento das águas da baía de Vitória, através da análise da influência da vazão aportada pelo Rio Santa Maria da Vitória, sobre o comportamento hidrodinâmico e da qualidade de suas águas, através da utilização da modelagem computacional.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Avaliar o emprego da modelagem computacional, através do modelo 2DH SisBAHIA; na representação do comportamento hidrodinâmico da Baía de Vitória.
- Modelar a qualidade das águas na região, para diversos cenários de vazão do rio, marés e qualidade de água.
- Analisar a influência da vazão do rio no comportamento da intrusão salina na região de estudo.
- Correlacionar as condições de vazão fluvial e maré com as concentrações geradas na região do estuário da Baía de Vitória, depois de realizado o lançamento de um constituinte conservativo.
- Contribuir para o processo de enquadramento das águas da baía de Vitória, à partir da análise de cenários.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONCEITOS

O presente trabalho envolve o estudo dos trechos fluvial inferior e estuarino do rio Santa Maria da Vitória. Os tópicos que seguem referem-se a definições de espaço físico relacionadas ao complexo estuarino fluvial, além de salientar a importância e os principais impactos encontrados nestas regiões.

3.1.1. ZONA COSTEIRA

São várias as definições encontradas para Zona Costeira. No entanto, todas concordam que esta compreende uma faixa de terra seca e o espaço oceânico adjacente, na qual a parte terrestre e seus recursos afetam diretamente a ecologia do espaço oceânico e vice-versa. Esta região apresenta limites imprecisos, os quais podem ser definidos de acordo com a extensão das atividades do homem, baseadas nas terras que possuem uma influência considerável da água do mar e/ou na ecologia da vida marinha.

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro define Zona Costeira como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo a Faixa Marítima (faixa que se estende mar adentro distando 12 milhas marítimas das Linhas de Base estabelecidas de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar compreendendo a totalidade do Mar Territorial) e a Faixa Terrestre (faixa do continente formada pelos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Zona Costeira).

3.1.2. ESTUÁRIOS

Uma definição que considera aspectos ecológicos é que, estuário é um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. Dentro dele a água do mar, ou de qualquer outro corpo costeiro salino de água entrando por uma ou mais conexões com o oceano aberto, é diluída significativamente com a água fluvial proveniente da drenagem continental,

podendo sustentar espécies biológicas que suportam variações de salinidade durante uma parte ou por todo o ciclo de vida (PERILLO, 1995).

Pode-se dizer que um estuário é um corpo d'água parcialmente encerrado, que se forma quando as águas doces provenientes de rios e córregos fluem até o oceano e se misturam com a água salgada do mar. Os estuários podem ser considerados ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, áreas de encontro dos rios com o mar.

3.1.3. BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia hidrográfica pode ser definida como uma área topográfica, drenada por um curso da água ou um sistema conectado de cursos da água, de forma que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída, denominada exultório.

Esta área física é uma importante unidade de planejamento e de execução de atividades que visam a gestão e o gerenciamento ambiental.

A Bacia Hidrográfica é considerada unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei 9433 de 08 de janeiro de 1997).

A Bacia Hidrográfica contém o conceito de integração. Seu uso e aplicação para estudos de problemas ambientais são fundamentais, pois também contém informações físicas, biológicas e socioeconômicas, sendo que nenhuma pode ser desconsiderada se a análise se basear na sua verdadeira compreensão. A solução de muitos problemas de pressão ambiental está intimamente vinculada com as preocupações que objetivem a manutenção das bacias hidrográficas (O'SULLIVAN, 1981).

3.2. IMPORTÂNCIA DA REGIÃO COSTEIRA E ESTUARINA

A riqueza biológica dos ecossistemas costeiros faz com que estas áreas sejam consideradas grandes “berçários” naturais, tanto para as espécies características desses ambientes, como para animais que migram para as áreas costeiras durante, pelo menos, uma fase do ciclo de vida (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989).

Os estuários são regiões ideais para os pássaros migratórios descansarem e reabastecerem-se durante suas jornadas. Muitas espécies de peixes e crustáceos dependem de suas águas como lugares seguros para reproduzirem-se. Centenas de organismos marinhos, incluindo peixes de alto valor comercial, dependem destes ambientes em algum estágio de seu desenvolvimento (BARBOSA, 2002).

A fauna e a flora de áreas costeiras representam significativa fonte de alimentos para as populações humanas. Os estoques de peixes, moluscos e crustáceos apresentam expressiva biomassa, constituindo excelentes fontes de proteína animal de alto valor nutricional. Os recursos pesqueiros são considerados como indispensáveis à subsistência das populações tradicionais da zona costeira, além de alcançarem altos preços no mercado internacional, caracterizando-se como importante fonte de divisas para o País (MACIEL, 1991).

A vegetação estuarina atua como amortecedor natural entre a terra e o oceano, absorvendo as inundações e dissipando as ressacas. Isto protege os organismos terrestres, assim como as propriedades, de tormentas e danos por inundações. Pode ainda ajudar a prevenir a erosão e estabilizar as costas (BARBOSA, 2002).

Entre os benefícios culturais estão a recreação, o conhecimento científico, a educação e o valor estético. Navegação, pesca e natação são apenas algumas das numerosas atividades recreativas que os cidadãos podem desfrutar nos estuários.

Deve-se também considerar os benefícios econômicos provenientes de atividades portuárias. Suas águas costeiras apóiam infra-estruturas públicas, que servem a portos e "píeres" para o transporte e embarques.

Em síntese, os estuários são ecossistemas extremamente importantes e responsáveis pelo equilíbrio e manutenção dos recursos marinhos. São áreas de reprodução, crescimento, alimentação e refúgio para inúmeras espécies, além de propiciar benefícios econômicos advindos das atividades portuárias, pesqueiras e turísticas.

3.3. PRINCIPAIS IMPACTOS SOBRE A REGIÃO COSTEIRA E ESTUARINA

Os ambientes marinho e costeiro do Brasil são os que mais sofreram o processo de ocupação humana, o que determinou um considerável processo de degradação ambiental, pela crescente pressão sobre os recursos naturais e pela capacidade limitada desses ecossistemas absorverem os impactos resultantes (GEO BRASIL, 2002).

Sendo o Brasil um país de formação colonial, a ocupação de seu território iniciou-se à partir da região costeira. Tal estrutura condicionou, nesta região, uma concentração populacional, a qual perdura até a atualidade. Este processo, contudo, gerou uma concentração que equivale a um efetivo de mais de 70 milhões de habitantes, cuja forma de vida impacta diretamente os ambientes litorâneos.

Todo esse crescimento populacional associado a seu desenvolvimento são as principais causas das mudanças ambientais observadas no Brasil. Sendo um país em processo de desenvolvimento, o Brasil precisa crescer em altas taxas para suprir carências básicas de sua população. Para tanto, a exploração dos recursos naturais e a produção industrial de manufaturados desempenham um importante papel no abastecimento deste mercado. Os custos ambientais associados ao desenvolvimento são altos, particularmente quando o sistema de controle ambiental não funciona adequadamente (GEO BRASIL, 2002).

Como a tendência atual é o aumento da população costeira, é esperado também um aumento dos problemas associados ao aumento da população. A construção de casas em áreas de alta sensibilidade ambiental tais como mangues, estuários, etc., a falta de saneamento básico, junto com as atividades de agricultura e atividades urbanas degradam os ambientes naturais através da poluição orgânica, deposição de sedimentos e deteriorização dos habitats naturais (GEO BRASIL, 2002).

Com isso, inúmeras baías e estuários estão sendo comprometidos pela poluição e exploração de seus recursos, configurando um estado de desequilíbrio difícil de ser revertido.

Além dos problemas já citados, os recursos estuarinos são também afetados pelas atividades humanas realizadas em locais distantes da costa, como a descarga de poluentes (pesticidas, metais pesados, coliformes e outras substâncias) à sua montante, os quais acabam tendo que ser absorvidos pelo próprio estuário, pois o trecho fluvial normalmente não é suficiente para que ocorra total autodepuração (AMARAL, 2005).

Analogamente, grandes movimentos de terra ou construções de barragens podem aumentar ou diminuir, respectivamente, a quantidade de sedimentos que atingem o estuário ou a costa. Isto leva a uma alteração do tempo de permanência de poluentes no estuário, bem como pode trazer conseqüências sobre toda a circulação estuarina, causadas pelas mudanças nas correntes de maré (FRENCH, 1997).

Além disso, a alteração no escoamento dos rios pode causar mudanças na circulação salina do estuário e então promover desequilíbrio dos ecossistemas estuarinos existentes (FRENCH, 1997).

No entanto, estas atividades humanas ao longo da costa não podem ser simplesmente paralisadas. É necessário operar com um gerenciamento costeiro integrado, realizando um controle das atividades que ocorrem e administrando-as de tal forma a minimizar os efeitos ao meio ambiente, assegurar que ecossistemas importantes sejam preservados e planejar o uso dos recursos naturais de forma sustentável.

Com o passar do tempo fica mais evidente que a região costeira precisa ser considerada e gerenciada como um sistema completo, no qual as muitas relações complexas entre os diferentes ambientes e suas interações com as comunidades locais sejam adequadamente consideradas.

De maneira geral, a pequena eficiência dos atuais instrumentos que norteiam as ações de gerenciamento e monitoramento dessas áreas tem proporcionado um descompasso entre as políticas de desenvolvimento e os programas e projetos para o gerenciamento da zona costeira, trazendo como consequência a ocupação espontânea e desordenada nas comunidades costeiras; o aumento da poluição pela falta de infra-estrutura para dispor adequadamente os esgotos domésticos e os resíduos sólidos; a degradação e a descaracterização dos ecossistemas, principalmente aqueles considerados como prioritários, a exemplo dos estuários; a exclusão das populações tradicionais do processo de desenvolvimento e a perda do patrimônio cultural (AGENDA 21, Ações Prioritárias).

3.4. GESTÃO AMBIENTAL EM REGIÕES COSTEIRAS

Metade da população brasileira reside a não mais de 200 km do mar, impactando diretamente os ambientes litorâneos. Neste contexto, 5 das 9 regiões metropolitanas brasileiras encontram-se à beira-mar. As atividades econômicas costeiras são responsáveis por cerca de 70% do PIB nacional (GEO BRASIL, 2002).

A zona costeira brasileira apresenta como aspectos relevantes sua extensão e a grande variedade de espécies e de ecossistemas, além de poder ser considerada uma região de contrastes, constituindo-se, por isso, um campo privilegiado para o exercício de diferentes estratégias de gestão ambiental (AGENDA 21, Ações Prioritárias).

Por um lado são encontradas nessa região áreas onde coincidem elevada urbanização, atividades portuárias e industriais intensas e exploração turística em larga escala, como no caso das metrópoles e centros regionais litorâneos,

em grande parte localizados em áreas estuarinas e baías, por constituírem naturalmente, áreas abrigadas.

Por outro lado, esses espaços são permeados por áreas de baixa densidade de ocupação e ocorrência de ecossistemas de grande significado ambiental, que, no entanto, vêm sendo objeto de acelerado processo de ocupação, demandando ações preventivas de direcionamento das tendências econômicas, no processo de utilização dos espaços e no aproveitamento dos respectivos recursos (GEO BRASIL, 2002).

Nas duas situações, o elemento comum está na diversidade dos problemas, na fragilidade dos ambientes encontrados e na complexidade de sua gestão, pressupondo intervenções integradas, redirecionadoras das políticas públicas nacionais incidentes nessa região.

3.5. ESTUDOS RELACIONADOS À QUESTÃO DA GESTÃO AMBIENTAL NO BRASIL

Acredita-se que as próximas duas décadas serão decisivas na implantação de planos de gestão ambiental. Nesse período, estima-se que a população da zona costeira mundial terá quase dobrado, exigindo assim um esforço dentro desse espaço de tempo, a fim de se criar a base para uma sociedade sustentável.

Ainda dentro destas previsões, acredita-se que dois terços desta população viverão ao longo das áreas costeiras, constituindo um grande problema de gestão ambiental.

Contudo, quando abordamos a questão do gerenciamento dos corpos de água costeiros, verificamos ainda uma escassez de trabalhos desenvolvidos. No entanto, a adesão às convenções internacionais está levando o Brasil a implementar políticas e programas para impedir e controlar a degradação do meio marinho e promover o desenvolvimento sustentável, melhorando o nível de vida das populações costeiras e integrando a pesquisa científica na

preservação e recuperação dos recursos naturais e dos ecossistemas costeiros, despertando, assim, um recente interesse em estudos relacionados com estas questões.

Amaral (2003), utilizou a modelagem computacional como uma ferramenta de auxílio no gerenciamento integrado dos Recursos Hídricos com a região Costeira no Rio Macaé. Ainda neste estudo, evidenciou a importância da modelagem computacional em processos de tomada de decisão.

Paz et al. (2003), empregou um modelo hidrodinâmico bidimensional horizontal para simular o Lago Guaíba, visando identificar padrões de circulação da água e estabelecer um zoneamento hidrodinâmico. Tal zoneamento subsidiou a segmentação do Lago para enquadramento em classes de uso preponderante com base na Resolução nº. 20/1986 do CONAMA.

Costa et al. (2004), apresentou um estudo que propõe o enquadramento dos corpos d'água da Bacia do Rio São Francisco, o qual foi elaborado para o Plano Decenal de Recursos Hídricos desta bacia. Neste documento são também apresentados os estudos anteriores de enquadramento da bacia e os diagnósticos dos usos preponderantes dos recursos hídricos, da condição atual da qualidade dos corpos d'água e das principais fontes de poluição.

Proença et al.(2004), apresentou a aplicação de uma metodologia própria para definição de parâmetros de qualidade da água relevantes para o monitoramento e enquadramento dos corpos d'água das bacias hidrográficas do semi-árido.

Rodrigues (2005), desenvolveu uma ferramenta de suporte à decisão aplicada na gestão quali-quantitativa para os processos de outorga e cobrança pelo uso da água, a qual viabiliza a articulação de todos os instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, sem a dissociação dos aspectos qualidade e quantidade. Esta ferramenta integra o modelo de outorga e cobrança pelo uso da água com um modelo de qualidade de água.

3.6. PRINCIPAIS POLÍTICAS DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Dentre as principais políticas que contemplam o gerenciamento dos recursos hídricos, pode-se destacar:

3.6.1. POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9433, tem em um dos seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de águas, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Esta considera a água como um bem de domínio público, mas que também é um recurso limitado, dotado de valor econômico.

Os instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos são: os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga e a cobrança pelo uso da água; o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos.

Os planos de recursos hídricos visam orientar e viabilizar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. Apresentam a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação dessa política.

O enquadramento dos corpos de água em classes permite fazer a junção entre a gestão da qualidade e da quantidade da água, visando assegurar água com qualidade compatível aos usos mais exigentes da bacia.

A outorga pelo uso da água tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água associado a uma garantia. A cobrança esta condicionada à outorga e objetiva reconhecer a água como um bem econômico, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o atendimento das metas propostas nos planos de recursos hídricos. O sistema de

informações de recursos hídricos visa à coleta, o tratamento e o armazenamento de informações sobre recursos hídricos.

3.6.1.1. O ENQUADRAMENTO E A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes, possibilita a gestão dos recursos hídricos, considerando sempre que a qualidade e a quantidade são aspectos indissociáveis, já que a concentração do poluente está diretamente relacionada à vazão do corpo hídrico. A gestão dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, está condicionada à outorga do uso da água para a captação e lançamento de efluentes.

Logo, para concessão ou não de uma outorga de lançamento ou captação, deve ser realizada uma análise do possível impacto que a bacia ficará submetida, considerando a vazão do corpo hídrico, de forma à assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que foram destinadas.

O Art.2, da Resolução CONAMA nº 357, adota a seguinte definição para enquadramento: “estabelecimento da meta ou objetivo da qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento do corpo de água, de acordo com os usos preponderantes, ao longo do tempo”.

O enquadramento de um corpo hídrico não apresenta, necessariamente, a qualidade que ele se encontra, mas sim uma possível estratégia de planejamento para atendimento às metas de médios e longos prazos, estabelecidas nos planos de recursos hídricos.

O inciso IV do Art.38, da referida Resolução, estabelece que as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, deverão ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuando-se os casos de baías de águas salinas e salobras, ou outros corpos hídricos onde não seja aplicada a vazão

de referência, onde deverão ser elaborados estudos específicos sobre a dispersão e assimilação de poluentes no meio hídrico.

A Resolução também considera a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e o controle de metas, visando atingir gradativamente os objetivos propostos.

3.6.1.2. OUTORGA DE USO DA ÁGUA

A outorga pelo uso da água tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água associado a uma garantia. Para tanto, deverá assegurar o enquadramento em classes de uso e a vazão do corpo hídrico. A análise de concessão de outorga deverá considerar o impacto do lançamento ou captação do corpo hídrico, diante do cenário real da bacia hidrográfica e o atendimento às metas estabelecidas nos planos de recursos hídricos.

Art.13. Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso.

Para efetiva aplicação de Lei 9433 e da resolução nº 16 do CNRH, fica clara a importância de se considerar, para os processos de outorga e cobrança pelo uso da água, o regime de vazão, o enquadramento e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico.

3.6.1.3. COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

A cobrança esta condicionada à outorga e objetiva reconhecer a água como um bem econômico, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o atendimento das metas propostas nos planos de recursos hídricos.

Pode-se dizer que a cobrança pelo uso da água é um instrumento que promove o equilíbrio da qualidade de vida dos habitantes da bacia hidrográfica. Dar valor econômico a água é preservar a vida, pois a cobrança permite investir, entre outras coisas, em saneamento básico, agindo de forma econômica em saúde preventiva, reduzindo os índices de mortalidade infantil e melhorando as condições ambientais para preservação de diversidade nos diversos ecossistemas das bacias hidrográficas (CONEJO, 2000).

Segundo GARRIDO, 2000; “o problema não deve ser abordado sem a necessária conexão com o conceito de desenvolvimento, pois o setor de planejamento e gestão dos recursos hídricos existe para, induzindo os usuários a uma utilização racional da água, dar sua contribuição para o enriquecimento da sociedade, como ponto de passagem essencial para o alcance de seu bem estar. Por esta razão, a racionalidade da intervenção do setor público na alocação da água de mananciais e, por extensão, a própria cobrança pelo uso da água, devem ser analisadas à luz de programas de desenvolvimento”.

3.6.2. PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO

O Governo Brasileiro, visando o ordenamento da ocupação dos espaços litorâneos, implantou o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), o qual objetiva atingir o planejamento integrado da utilização dos recursos costeiros e marinhos.

O PNGC foi instituído pela Lei 7.661, de 16/05/88, cujos detalhamentos e operacionalização foram objeto da Resolução nº 01/90 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), de 21/11/90, aprovada após audiência do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Na sua divulgação, a PNGC já previa mecanismos de atualização, por meio do Grupo de Coordenação do Gerenciamento Costeiro (COGERCO), através de processos marcados pela experimentação e pelo aprimoramento constante.

A presente revisão do PNGC, aprovada pela CIRM e pelo CONAMA (Resolução nº 005, de 03 de dezembro de 1997), busca contemplar o

atendimento das novas demandas surgidas, as quais implicam no redirecionamento de suas atividades, levando-se em consideração que:

- A Zona Costeira abriga um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres e marinhos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade e que requerem, por isso, atenção especial do poder público, conforme demonstra sua inserção na Constituição Brasileira como área de patrimônio nacional;

- A maior parte da população mundial vive em Zonas Costeiras, e há uma tendência permanente ao aumento da concentração demográfica nessas regiões. A saúde, o bem-estar e, em alguns casos, a própria sobrevivência das populações costeiras depende da saúde e das condições dos sistemas costeiros, incluídas as áreas úmidas e regiões estuarinas, assim como as correspondentes bacias de recepção e drenagem e as águas interiores próximas à costa, bem como o próprio sistema marinho. Em síntese, a sustentabilidade das atividades humanas nas Zonas Costeiras depende de um meio marinho saudável e vice-versa (Programa de Ação Mundial para a Proteção do Meio Ambiente Marinho das Atividades Baseadas em Terra-item I.I); e

- A atividade de gerenciamento deste amplo universo de trabalho implica, fundamentalmente, a construção de um modelo cooperativo entre os diversos níveis e setores do governo, e deste com a sociedade.

Sob essa orientação, esta nova versão do PNGC (PNGC II) busca estabelecer as bases para a continuidade das ações, de forma a consolidar os avanços obtidos, e possibilitar o seu aprimoramento, mantendo a flexibilidade necessária para o atendimento da ampla diversidade de situações que se apresentam ao longo da extensa Zona Costeira brasileira.

3.7. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os tópicos que seguem referem-se à descrição da área de estudo, além de relacionar os principais impactos encontrados na região.

3.7.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

A bacia do rio Santa Maria da Vitória situa-se na região central do estado do Espírito Santo, entre as coordenadas U.T.M. 7793375 (N) 328297 (E) 7762159 (S) 286984 (W), de acordo com a carta nº. 24 do IBGE. Nasce na região serrana do estado e engloba os municípios de Santa Maria do Jetibá, Santa Leopoldina e parte das áreas de Cariacica, Serra e Vitória.

As precipitações pluviométricas anuais da bacia do rio Santa Maria variam de 1100 à 1300 mm nas proximidades do litoral e crescem em direção à cabeceira até a ordem de 1800 mm (CORREIA JUNIOR, 2003).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante na região é o tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno e temperaturas médias variando entre 19°C e 28°C (BERNARDES, 1951).

O rio Santa Maria da Vitória apresenta bacia com área de drenagem de aproximadamente 1.660 km², o que corresponde a 3,5% da área do Espírito Santo, e um perímetro de 291 km, limitando-se à leste com a Baía de Vitória, ao norte e a oeste com as bacias dos rios Reis Magos e Doce e ao sul com as bacias dos Rios Jucu, Bubu e Formate (CAIADO, et al,1997).

O rio Santa Maria da Vitória apresenta um desnível de aproximadamente 1.100m entre a nascente e a foz e percorre cerca de 122 km até desaguar na Baía de Vitória, na forma de um delta. No seu trecho final, o rio sofre a influência da cunha salina e apresenta suas margens com manguezais (CORREIA JUNIOR, 2003).

Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Possmouser, Claro, São Luís, Bonito, da Prata e Timbuí e, pela margem direita, os rios

Mangaraí, das Pedras, Caramuru, Duas Bocas, Triunfo, Jequitibá, Farinhas, Fumaça e São Miguel.

Enquanto seus afluentes cortam várias comunidades com atividades econômicas voltadas para a agricultura, seu leito principal recebe os efluentes domésticos da cidade de Santa Maria de Jetibá através do córrego São Luiz e sofre dois barramentos, responsáveis pela formação dos reservatórios de Rio Bonito e Suíça, responsáveis pela produção de 10 e 30 MW de energia, respectivamente. Em seu curso final, depois de atravessar a cidade de Santa Leopoldina, tem parte de suas águas captadas para o abastecimento de cerca de 30% da população da grande Vitória (CAIADO, et al, 1997).

Em estudo desenvolvido por CORREIA JUNIOR (2003), foi observado que no trecho inferior do rio Santa Maria da Vitória, o pH situou-se entre 5,7 e 6,9, com relativamente altas concentrações de oxigênio dissolvido (5,0 a 7,35 mg/l). No entanto, o índice de coliformes fecais variou entre 1.300 a 90.000 NMP/100 ml, e os números de E.coli variaram entre 80 a 22.000 NMP/100 ml, indicando uma significativa contribuição de lançamento de esgotos não tratados ao longo do rio, principalmente em sua zona mais baixa, provavelmente oriunda de áreas urbanas do município de Serra.

A bacia do rio Santa Maria da Vitória é uma das principais responsáveis pelo abastecimento da Grande Vitória, apresentando vazão média anual e mínima para o período de retorno de 10 anos, à montante da captação d'água da CESAN, de 21,0 m³/s e 3,19 m³/s, respectivamente. (CESAN, 1995).

Cabe ainda ressaltar, que o rio Santa Maria da Vitória apresenta especial importância quando considerado o principal tributário de água doce, do seu estuário e da Baía de Vitória, provendo a manutenção de uma área de 18 km² de manguezais, localizados na sua desembocadura. A manutenção do equilíbrio de nutrientes na mesma Baía também apresenta-se dependente das suas contribuições (CESAN, 1995).

3.7.2. CARACTERIZAÇÃO DA BAÍA DE VITÓRIA

A região da Baía de Vitória apresenta uma área total de 35,47 Km², a qual compreende desde a desembocadura do rio Santa Maria da Vitória até a Baía do Espírito Santo, contendo o Porto de Vitória e seu canal de acesso. Sua largura varia desde 1,60 km na região da Ilha das Caieiras, onde a profundidade é menor (cerca de 4 m na parte mais profunda) até 160 m em frente ao Morro do Penedo na região do Porto de Vitória, onde a profundidade alcança 24 m (RIGO, 2004).

A Baía de Vitória interliga-se com o Canal da Passagem e com a Baía do Espírito Santo, perfazendo o contorno da Ilha de Vitória (figura 1). O Canal da Passagem liga a Baía do Espírito Santo, à porção norte da Baía de Vitória, recebendo a influência da maré em suas duas extremidades. A Baía do Espírito Santo é limitada a norte pela Ponta de Tubarão e a sul pela Ponta de Santa Luzia, onde se comunica com a Baía de Vitória.

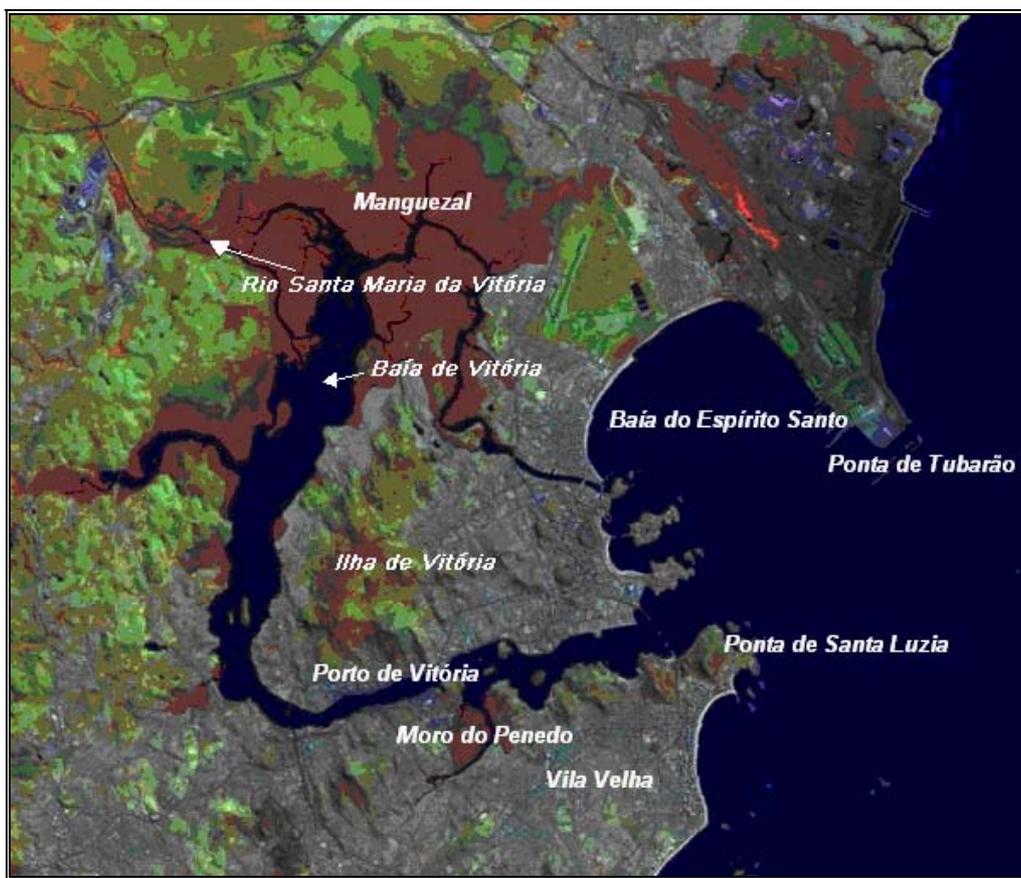


Figura 1: Imagem de satélite LANDSAT TM da região de estudo.

A embocadura do rio Santa Maria da Vitória, além daquelas de outros rios de menor expressão, forma uma região estuarina constituída, em sua parte central, pela baía de Vitória (CORREIA JUNIOR, 2003).

A Baía de Vitória pode ser considerada como parte do estuário do rio Santa Maria da Vitória, onde a barragem submersa na captação de água da CESAN é o limite da intrusão salina no rio Santa Maria (CORREIA JUNIOR, 2003).

O estuário do rio Santa Maria da Vitória pode ser classificado como bem misturado. As marés da região são classificadas como micromarés, com a altura das marés menor que 2 m (DAVIES, 1973 *apud* DYER, 1997). Também se classificam como semidiurnas com desigualdades diurnas (BARROS FILHO, 2002).

De acordo com Rigo, (2004), os dados de maré medidos, em seu estudo, nas estações ao longo da Baía de Vitória, mostram que a onda de maré incidente na região propaga-se da Baía do Espírito Santo (Tubarão) para a Baía de Vitória (chegando a Santo Antônio, Caieiras e Maria Ortiz, nessa ordem). Assim, a maré medida em Maria Ortiz é proveniente da Baía de Vitória. Este mesmo autor, aponta uma região do Canal da Passagem ao sul de Maria Ortiz como o “Tombo da Maré”, onde se dá o encontro da maré quando esta se propaga no entorno da Ilha de Vitória.

Segundo estes autores, durante a maré enchente, a região apresenta velocidades nulas, e em suas proximidades o escoamento se dirige para esta região vindo dos dois lados do canal, promovendo o enchimento do manguezal. No início da maré vazante o escoamento se inverte e esta região de velocidade nula caminha para o norte, até as proximidades da desembocadura do rio Santa Maria, fazendo com que o escoamento em todo o Canal da Passagem seja em direção ao sul.

Após um período do início da vazante esta região de velocidades nulas faz o caminho inverso retornando aproximadamente para a mesma região onde se encontrava durante a enchente. Até o fim da vazante esta região permanece atuando como divisor entre os escoamentos que se dirigem para o sul e para o norte, promovendo o esvaziamento do manguezal. Este ciclo repete-se a cada

maré, com a posição da região de velocidades nulas variando em função da amplitude da maré.

3.7.3. MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

Manguezais são ecossistemas restritos aos litorais tropicais e subtropicais, os quais se desenvolvem nas zonas entre marés e localizam-se, geralmente, na desembocadura de rios. Estão sujeitos a mudanças periódicas por água do mar e água doce, sofrendo flutuações abruptas e pronunciadas de salinidade (CARMO, 1987).

Os manguezais são ambientes caracterizados por apresentarem um ecossistema que existe justamente por conta da relação oceano e rio. Apresentam-se como ambientes extremamente alagados, fruto do encontro da ação das marés e dos rios, além de um grande acúmulo de sedimentos e de matéria orgânica. Oliveira (2003), comenta que a origem destes sedimentos é bem diversa, podendo originar da decomposição de rochas ou ainda de restos de plantas e animais, sendo o transporte dos sedimentos feito, também de diversas maneiras, indo desde o movimento da marés, dos ventos e também pelo fluxo dos rios.

O manguezal do estuário do rio Santa Maria da Vitória, localiza-se ao norte da Baía de Vitória, entre as coordenadas 20°15'S e 40°20'W. A região do entorno possui clima tropical úmido, sem estação de seca definida, com temperaturas médias variando em torno de 25°C e pluviosidade mensal média de aproximadamente 1330 mm.

A temperatura da água intersticial do bosque do manguezal varia entre 21,5° e 29,0°C, enquanto sua salinidade flutua de 7% a 30,6%. Apresenta temperatura do ar no interior do bosque variando de 22° a 35°C (CARMO, 1987).

Segundo CARMO (1987), o bosque do manguezal da Baía de Vitória pode ser classificado como ribeirinho nas porções próximas aos canais, pelo fato de se desenvolver ao longo das margens dos rios até onde vai a intrusão salina, e

como de bacia na sua parte interna, uma vez que ocorre associado a corpos de água que se localizam terra adentro.

Segundo CARMO et al. (1995), este manguezal é constituído por *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Avicennia schaueriana* (mangue preto), ocorrendo predominância de 61,2%, 28,3% e 10,5%, respectivamente.

Estas espécies são plantas halófitas, próprias de ambientes salinos. Embora possam se desenvolver em ambientes livres da presença de sal, em tais condições não ocorre a formação de bosques, pois perdem espaço para as espécies de crescimento mais rápido melhor adaptadas à presença de água doce.

De acordo com CARMO (1987), encontram-se na fauna associada ao manguezal da Baía de Vitória a predominância de crustáceos, insetos de variadas famílias, moluscos (ostras, sururus, etc), várias espécie de peixes, siri, camarão, caranguejo, além de pequenos mamíferos.

3.7.3.1. MANGUEZAL COMO ÁREA DE PRESERVAÇÃO

Segundo a Constituição Federal de 1988, a Resolução CONAMA nº 04/85, a Lei 6981/84 e a Lei 4771/65, o manguezal é considerado uma área de preservação permanente com restrições de usos. Esta mesma Resolução, CONAMA nº 04/85, baseada na Lei 6938/81 e no Decreto nº89366/84, considera o manguezal Reserva Ecológica.

Para garantir o decreto acima, em 1986, a Prefeitura Municipal de Vitória, através da Lei nº 3326, cria a Reserva Biológica da Ilha Lameirão, com 655.082 m² de terrenos firmes e 8.263.268 m² de mangue, a qual engloba todos os manguezais que se situam ao longo do rio Santa Maria da Vitória, do Canal da Passagem e ao norte da Baía de Vitória. Esta mesma reserva, através do decreto municipal nº 3616, do mesmo ano, foi transformada em Estação Ecológica da Ilha do Lameirão.

Segundo MACIEL (1984), o diploma de criação de Estação Ecológica poderá auxiliar nos meios de fiscalização para preservação dos ecossistemas.

3.7.4. PRINCIPAIS IMPACTOS OBSERVADOS NA REGIÃO DE ESTUDO

O estuário da Baía de Vitória vem sofrendo intenso processo de degradação ambiental, devido ao grande crescimento populacional verificado nas últimas décadas no Espírito Santo, associado ao desordenado processo de urbanização, não acompanhado pela implantação de sistemas de controle e gerenciamento destes ambientes.

O complexo portuário instalado na região está entre os maiores do Brasil em termos de movimentação de cargas e encontra-se em constante expansão desde a sua implantação, para atender a crescente demanda por terminais de apoio à atividade de exploração de petróleo na costa brasileira (BARROS FILHO, 2002).

Além dos terminais portuários, diversas obras de aterro foram realizadas na linha de costa para fins de estabilização e urbanização.

CARMO (1987), FERREIRA (1989) e CARMO *et al.* (1995) apontam os impactos a que os manguezais tem sido submetido ao longo dos anos, que ocasionaram uma diminuição de sua área principalmente por aterros. Atualmente os aterros em manguezais têm sido bastante coibidos pelos órgãos de controle ambiental e deixaram de ser uma ameaça importante. Os despejos de esgotos (principalmente domésticos) sem tratamento configuram-se como a grande ameaça atual a esse ecossistema.

As últimas décadas foram marcadas por um grande desenvolvimento industrial na região, com grandes indústrias instalando-se no entorno da região de estudo.

Com o exposto acima, pode-se dizer que os principais impactos observados no estuário do rio Santa Maria da Vitória são de origem antrópica, em

conseqüência do aumento populacional da região da Grande Vitória que, além de contribuir com o lançamento de esgoto e disposição de lixo, tem levado à ocupação e conseqüente destruição dos manguezais, através de desmatamentos, invasões e aterros, seguidos por projetos de urbanização.

Outro fator atuante na degradação do ecossistema deste estuário é a diminuição significativa no aporte de água doce do rio Santa Maria da Vitória, proveniente da captação de água para o abastecimento da população da Grande Vitória, e de eventuais volumes outorgados pelo órgão responsável, essencial à manutenção do equilíbrio do manguezal (PELISSARI, 2000).

Cabe ainda citar as atividades humanas realizadas em locais distantes da costa (principalmente na região serrana, que se encontra em crescente desenvolvimento), como a descarga de poluentes agrícolas ou industriais (pesticidas, metais pesados, coliformes e outras substâncias) e/ou atividades de movimentação de terra à montante do rio Santa Maria da Vitória. Estas atividades podem causar alterações na qualidade da água do rio, as quais acabam na maioria das vezes sendo absorvidas pelo estuário (PELISSARI, 2000).

3.8. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Os tópicos que seguem contém informações sobre o processo da modelagem, sua importância e alguns critérios necessários à implementação dos modelos.

3.8.1 O PROCESSO DA MODELAGEM

Os ambientes costeiros e estuarinos são regiões onde os fenômenos oceânicos sobrepõe-se com os fenômenos fluviais, fazendo com que os processos de escoamento assumam características bastantes complexas (FISCHER, 1979). Assim, a aplicação de modelos que descrevam satisfatoriamente a circulação hidrodinâmica e os processos de dispersão de constituintes nestas regiões tornam-se de grande importância no estudo de impactos ambientais, bem como na definição de estratégias de gerenciamento destes corpos d'água costeiros.

Pode-se definir os modelos como sendo representações do comportamento dos sistemas, existindo duas formas de serem solucionados: por meio de modelos físicos ou de modelos matemáticos. Estes últimos nem sempre possuem soluções analíticas, necessitando então, de métodos numéricos para serem resolvidos.

Os modelos físicos utilizam a semelhança hidrodinâmica para confecção de modelos reduzidos, os quais representam o sistema através de um protótipo em escala menor, na maioria dos casos. Dentre suas principais desvantagens encontram-se o grande custo financeiro envolvido, a dificuldade de transporte, o fato de não serem adaptáveis a outras regiões senão para a qual foi desenvolvido, além de não conseguirem reproduzir a turbulência e as taxas de decaimento com bom nível de precisão. Por outro lado, contribuem de forma significativa na solução de problemas complexos, como a visualização de cenários de circulação de água em corpos d'água costeiros, além do fornecimento de dados para testes de modelos numéricos (FALCONER, 1992).

Nas últimas décadas, o uso dos modelos numéricos em detrimento aos modelos físicos aumentaram à medida que foram surgindo computadores com maior capacidade de processamento e de armazenamento (FALCONER, 1992).

Atualmente utilizam-se modelos físicos somente em casos muito especiais, uma vez que se apresentam incomparavelmente mais lentos e custosos do que os modelos numéricos.

Os modelos numéricos são os que representam a natureza do sistema através da solução de equações matemáticas (FALCONER, 1992). Porém, como estas equações raramente possuem solução analítica, a solução das equações se faz através de técnicas numéricas, onde substitui-se o domínio contínuo por um domínio discreto, o qual resulta em equações algébricas cujas soluções podem ser obtidas através de algoritmos computacionais.

Os modelos numéricos são traduções dos modelos matemáticos adaptados para diferentes métodos de cálculo, por exemplo, diferenças finitas, elementos de contorno, elementos finitos e volumes finitos. Praticamente qualquer modelo

matemático pode ser resolvido através de um modelo numérico, e em geral há relativamente pouca perda de informação na tradução de um para o outro.

Os modelos numéricos também apresentam algumas ressalvas, dentre as quais pode-se citar a necessidade de alto nível de conhecimento técnico, escolha de um esquema de solução adequado e a utilização por pessoas habilitadas. Os modelos numéricos de hidrodinâmica e de qualidade d'água possuem algumas limitações, como: dificuldades em se equacionar os efeitos de turbulência e do atrito devido à rugosidade do fundo em escoamentos não permanentes e não uniformes, o valor dos coeficientes de dispersão e de difusão ainda não são bem conhecidos, processos químicos e biológicos, de complexo equacionamento, ainda são compreendidos apenas na sua forma mais simples, além do que, as condições de contorno incluídas nos estudos são freqüentemente imprecisas e limitadas. Em contrapartida, possuem baixos custos, são adaptáveis a situações distintas, fornecem informações sobre toda a área modelada e facilitam a confecção de saídas gráficas (FALCONER, 1992).

Os modelos numéricos que simulam os processos de escoamento e transporte de constituintes em corpos d'água costeiros e estuarinos deveriam utilizar modelos tridimensionais. No entanto, estas regiões requerem malhas computacionais com grande número de nós e longas horas de simulação; além de ser difícil e custosa a obtenção de dados de campo na forma tridimensional, tornando a modelagem uma tarefa complexa, apesar da capacidade de processamento dos computadores atuais.

Uma alternativa satisfatória é a redução do modelo tridimensional para o bidimensional integrado na profundidade, o qual fornece resultados aceitáveis uma vez que a região modelada apresente predominância de fluxos horizontais e exista pouca ou nenhuma estratificação no corpo d'água (FALCONER, 1992).

Todos os modelos numéricos da hidrodinâmica baseiam-se nas Leis da Conservação da Mecânica e Termodinâmica, representadas pelos princípios de Conservação da Massa (equação da continuidade), Conservação da

Quantidade de Movimento ou Momentum (2ª Lei do movimento de Newton), e da Conservação da Energia (equação do transporte de calor).

3.8.2. IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos são uma representação simplificada do mundo real e devem ser vistos como instrumento de auxílio na compreensão de fenômenos e de tomada de decisão sobre sistemas ambientais.

Segundo ROSMAN (2001), a necessidade da aplicação de modelos para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável, face à complexidade do ambiente de corpos de água naturais, especialmente em lagos, reservatórios, estuários e zona costeira adjacente das bacias hidrográficas. Modelos são ferramentas integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica de processos nestes complexos sistemas ambientais.

A gestão e gerenciamento de corpos d'água naturais requerem dados ambientais, os quais, devido ao alto custo para seu levantamento, geralmente são escassos. Através de modelos calibrados, bem capazes de reproduzir valores nos pontos onde se fez medições, podem-se interpolar e extrapolar espacial e temporalmente as informações obtidas nos poucos pontos onde os dados foram medidos para toda a área de interesse, podendo prever situações ao simular cenários futuros e, quase em tempo real, permitem planejar operações de limpeza ambiental em decorrência de derrames acidentais de contaminantes. (adaptado de ROSMAN, 2001).

A aplicação de modelos numéricos na representação de corpos d'água costeiros apresenta-se como uma valiosa ferramenta tanto na avaliação de impactos ambientais como na identificação e definição de estratégias para a operacionalizar e gerenciar programas de monitoramento ambiental.

3.8.3. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

Para que os modelos numéricos representem de forma satisfatória as particularidades de cada região e o fenômeno a ser estudado, um conjunto de informações deve ser adquirido e/ou definido. Essas informações incluem a definição dos dados geométricos da área a ser modelada, marés, velocidades e propriedades físicas do fluido.

Dentre as principais exigências para que os modelos numéricos implementados funcionem de forma satisfatória, é que levantamento de dados de batimetria seja realizado com bastante cuidado, de modo à possibilitar a obtenção de detalhes que caracterizem a topografia do relevo submarino e que, as condições de contorno adotados pelo modelador represente os padrões de escoamento dominantes na região.

Depois de implementado, enfatiza-se a importância da calibração dos modelos, uma vez que este processo eleva o potencial de utilização e coerência dos resultados. É através da comparação entre os valores medidos em campo e os computados, que se faz a calibração dos modelos.

Uma vez calibrado, o modelo é validado contra outro conjunto de dados para que se assegure a possibilidade do seu uso na representação de uma variedade de condições diferentes.

Pode-se então dizer que a modelagem numérica consiste em três atividades distintas:

- 1. implementação do modelo com as características da região em estudo;
- 2. calibração e validação do modelo, procedimento em que, através de um processo iterativo, ajustam-se parâmetros para que os resultados do modelo tenham boa coerência e aderência com valores medidos e avalia-se a confiabilidade do modelo;
- 3. aplicação do modelo, etapa na qual o modelo é operado para o estudo desejado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas algumas considerações a cerca do modelo computacional utilizado neste trabalho, bem como a metodologia utilizada para sua implementação.

4.1. O MODELO SISBAHIA

Para empregar a modelagem computacional na região em estudo delimitada e cumprir com os objetivos propostos neste trabalho, foi utilizado o modelo computacional SisBAHIA.

O SisBAHIA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) é um sistema de modelagem em ambiente Windows, registrado pela Fundação Coppetec. Encontra-se em contínuo desenvolvimento na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE/UFRJ, desde 1987.

O SisBAHIA é um sistema de modelos computacionais para previsão do escoamento ou hidrodinâmica das águas e também para a previsão da qualidade das águas ou transporte de grandezas escalares (modelos de dispersão) em corpos d'água naturais (ROSMAN, P. C. C., 1999, COPPE/UFRJ).

O modelo hidrodinâmico utiliza o método de elementos finitos para discretização da região modelada, e o transporte de solutos é feito pelo método de trajetória de partículas.

A estratégia de discretização espacial utilizado pelo SisBAHIA permite excepcional detalhamento de contornos recortados e batimetrias complexas. A discretização espacial é preferencialmente feita via elementos finitos quadrangulares biquadráticos, mas pode igualmente ser feita via elementos finitos triangulares quadráticos ou combinação de ambos. A discretização vertical da coluna de água usa diferenças finitas com transformação sigma, de sorte que a discretização completa do domínio resulta em uma pilha de malhas

de elementos finitos, uma para cada nível Z da transformação sigma. (ROSMAN, 2000).

No SisBAHIA as tensões e difusividades turbulentas são modeladas de uma maneira que torne a calibragem dos modelos diretamente relacionada a variáveis naturais. O emprego de esquemas auto-ajustáveis para a turbulência em escala sub-malha minimiza a necessidade de calibragem. A modelagem da turbulência é baseada em técnicas de filtragem que levam à simulação de grandes vórtices, ou vórtices resolvíveis. Tal técnica é conhecida na literatura internacional como LES, sigla de Large Eddy Simulation, e é considerada estado da arte para modelagem de turbulência em escoamentos geofísicos.

O modelo hidrodinâmico admite especificação pontual do tipo de material de fundo, e usa interpolação biquadrática para valores de profundidade e rugosidade equivalente do fundo, permitindo ótima acurácia na representação física do leito. Além disso, permite que o atrito no fundo seja variável no tempo e no espaço. Tal realismo é extremamente relevante para simulações de escoamentos em regiões costeiras, baías, estuários, rios e lagos. Com a fidelidade conseguida no mapeamento da batimetria e contornos, bem como das tensões de atrito, diminuem-se enormemente discrepâncias entre resultados medidos e modelados, minimizando o processo de calibração (ROSMAN, 2000).

Dentre os diversos módulos existentes no modelo computacional SisBAHIA estão o modelo hidrodinâmico, modelo de transporte euleriano, modelo de qualidade de água, modelo de transporte lagrangeano e modelo de geração de ondas.

Os modelos são baseados em esquemas numéricos bem estabelecidos, para garantia de validade e aceitação.

A seguir, são apresentadas informações sobre o modelo de circulação hidrodinâmica e o modelo euleriano de transporte utilizado no estudo em questão.

4.1.1. MODELO HIDRODINÂMICO

Para estudo da Baía de Vitória optou-se pela utilização de um modelo 2DH, uma vez que é possível reduzir a dimensão do problema e ainda determinar o padrão de circulação médio na vertical na Baía de Vitória, levando a uma economia de tempo e recurso computacional, sem prejudicar os resultados de interesse, já que não há necessidade da obtenção dos campos de velocidades tridimensionais.

O sistema SisBAHIA utiliza para o seu módulo 2DH as equações governantes do modelo 3D integradas analiticamente na dimensão vertical.

A mecânica que determina o movimento do fluido em regime turbulento é governada pelas equações de Navier-Stokes. Tais equações representam o princípio da conservação da quantidade de movimento, e, em conjunto com a equação da continuidade, uma equação de estado e uma equação de transporte para cada constituinte da equação de estado, compõem o modelo matemático fundamental para qualquer corpo d'água.

A equação da continuidade representa de fato, a imposição da condição de escoamento incompressível. Pode-se demonstrar que isso é equivalente a dizer que o volume ocupado por um grupo de partículas fluidas em escoamento permanece constante, Rosman (1997). No entanto, o termo “continuidade” deve ser entendido como continuidade do “volume”. No caso especial de fluido homogêneo, pode-se demonstrar que a continuidade do volume é equivalente à continuidade da massa. Entretanto, escoamentos ambientais geralmente não são homogêneos já que possuem densidade variável. Contudo, quase sempre a imposição da condição de escoamento incompressível é uma aproximação boa e prática. Assim, para escoamentos ambientais, é preferível dizer que a equação da continuidade representa a continuidade do volume, e não a continuidade da massa.

Escoamentos de grande escala, nos quais as escalas dos movimentos horizontais são pelo menos 20 vezes maiores do que a profundidade, podem ser considerados como quase horizontais ou escoamentos em águas rasas. Em tais situações, as equações governantes do movimento são as chamadas

equações de águas rasas. Deduzidas a partir das equações gerais de escoamentos em regime turbulento, as equações de águas rasas podem ser obtidas considerando-se densidade de referencia constante. Para escoamentos de grande escala, a equação de quantidade de movimento na direção vertical pode ser reduzida à distribuição de pressão hidrostática (aproximação hidrostática) (ROSMAN, 2000).

4.1.2.MODELO DE TRANSPORTE EULERIANO

Um dos modelos mais básicos e usados em muitas análises de problemas ambientais em corpos de água naturais é o modelo de transporte, muitas vezes chamado de “modelo de dispersão”. O modelo de transporte Euleriano é o mais adequado para simular o transporte de escalares que se encontram dissolvidos na coluna de água, tais como substâncias genéricas, contaminantes, ou parâmetros de qualidade da água.

Os esquemas numéricos do modelo de transporte incluído no SisBAHIA são os mesmos do modelo hidrodinâmico, porém os fatores de ganho entre tempo de modelo e tempo real são de 5 a 8 vezes maiores.

No modelo de transporte utilizado neste estudo apenas as reações cinéticas sem sinergia são consideradas. Isto é, o transporte de cada substância é feito como se não houvesse interferências de outras substâncias. Trata-se de uma abordagem de sistema binário formado pela água e pela substância de interesse. Tal tipo de abordagem é limitante, pois não permite simulações acopladas muitas vezes necessárias em modelagens de qualidade d' água (ROSMAN, 2000).

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL SISBAHIA

A implementação do modelo compreende inicialmente a reunião de todos os dados ambientais da região de estudo como batimetria, maré, salinidade, vento. Depois de coletados, esses dados são fornecidos ao modelo dentro de um domínio pré-definido; a área de interesse.

4.2.1. REPRESENTAÇÃO DO DOMÍNIO MODELADO

O domínio modelado compreende uma região bastante heterogênea, com dimensões bastante variáveis dos corpos d'água e profundidades variando de cerca de 20 m até -1 m (profundidades negativas referem-se a níveis d'água acima do nível médio do mar). A região conta com canais estreitos na região do manguezal e na desembocadura do rio Santa Maria, mas a maior parte do domínio é a própria Baía de Vitória.

Para representar este domínio, confeccionou-se no aplicativo Argus One uma malha com células quadrangulares de comprimentos irregulares. Deve-se considerar que as dimensões das células da malha computacional devem possuir tamanho que possibilite a obtenção de detalhes e que, um maior refinamento da malha permite uma melhor reprodução da geometria dos canais e dos gradientes de batimetria presentes ao longo da região de estudo.

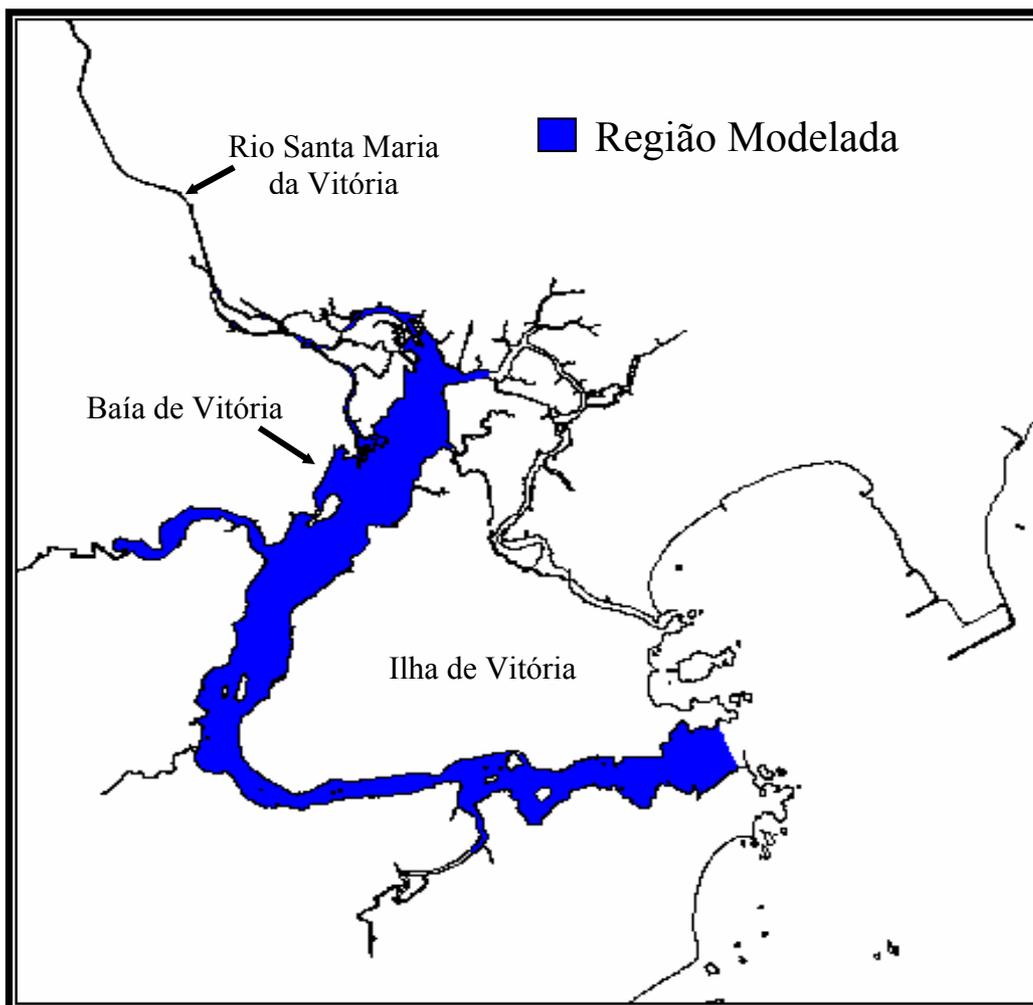


Figura 2: Domínio de estudo compreendendo às partes fluvial e estuarina

4.2.2. PARÂMETROS AMBIENTAIS

Os parâmetros ambientais estão relacionados a características específicas da região de estudo.

4.2.2.1 BATIMETRIA

O bom funcionamento de modelos hidrodinâmicos requer dados de batimetria de boa qualidade, os quais devem ser capazes de reproduzir o relevo submarino da região de estudo com um bom detalhamento.

Para a região do canal de acesso ao Porto de Vitória, foram utilizados dados batimétricos a partir da carta náutica nº 1.401 (Portos de Vitória e Tubarão),

digitalizados e corrigidos para o nível médio. Outra fonte de dados utilizados para esta mesma região foram os dados coletados no projeto “Levantamento Topo-Batimétrico dos Manguezais e Canais da Baía de Vitória – Relatório Final” (Rigo, 2001). A principal característica é a presença do canal dragado de acesso ao Porto de Vitória, com profundidade média em torno de 12m.

Este mesmo levantamento cobriu a porção oeste do Porto de Vitória, toda a região da Baía de Vitória e o Canal da Passagem. Em 2002, foi realizado um adensamento do levantamento anterior, na região entre a Ilha das Caieiras e a desembocadura do Rio Santa Maria (GEARH, 2002a).

Na região próxima ao manguezal, destaca-se um canal principal com profundidades máximas em torno de 8m e extensas planícies de maré, grande parte expostas nas baixa-mares de sizígia.

O nível de referência adotado foi nível médio do mar, sendo que para entrada no modelo os pontos localizados acima desse nível possuem coordenadas negativas e os localizados abaixo coordenadas positivas.

O arquivo contendo os pontos da batimetria e suas respectivas profundidades é importado pelo modelo e este faz a interpolação dos valores de profundidade para cada ponto pertencente à malha de elementos finitos, a partir das coordenadas (x, y, z) fornecidas.

Para evitar que o nível de água durante o processamento do modelo alcance valores negativos, o que é denominado “secagem”, foi preciso impor valores mínimos de profundidade aos registros batimétricos. O valor adotado corresponde à menor profundidade encontrada no arquivo de maré medida utilizada como condição de contorno. Isso equivale a modelar-se apenas as regiões de domínio que encontram-se permanentemente submersas (não “secam”).

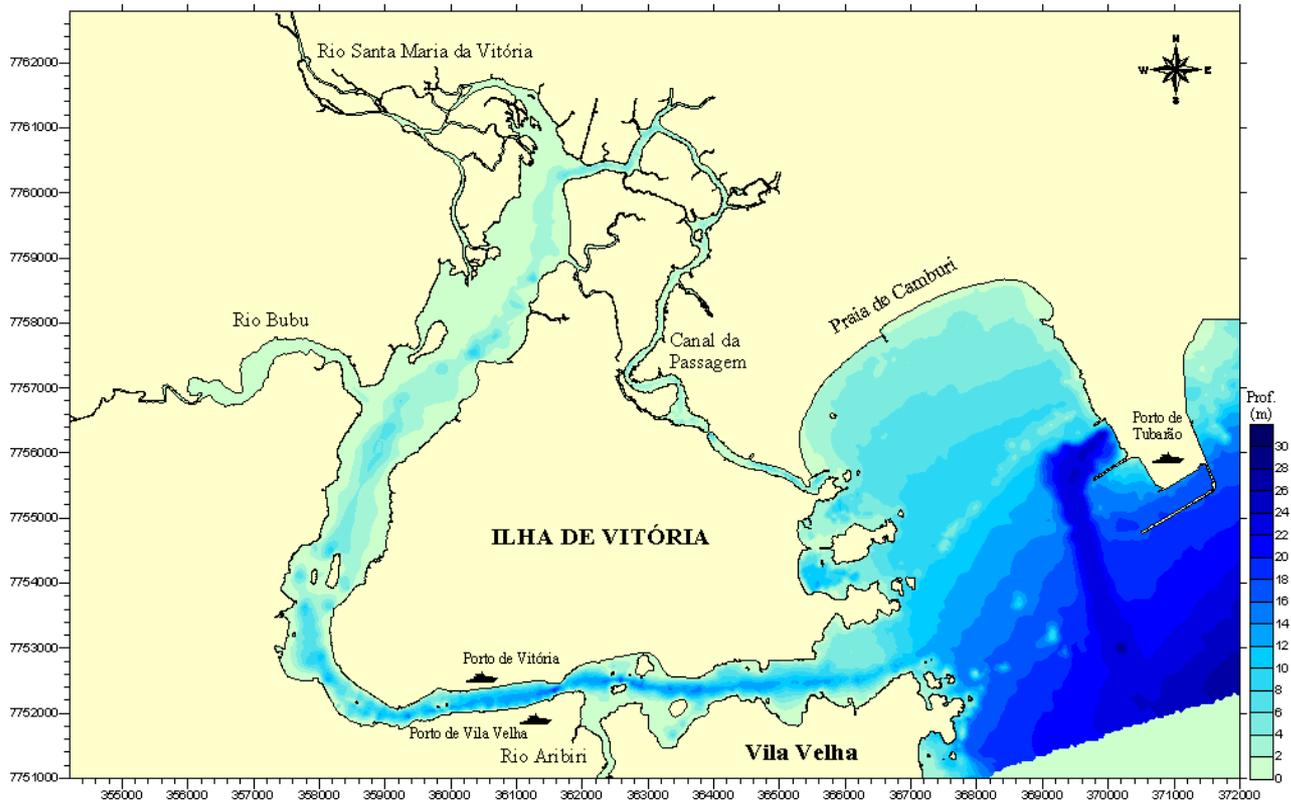


Figura 3: Mapa batimétrico da área de estudo e proximidades.

4.2.2.2. RUGOSIDADE EQUIVALENTE DE FUNDO

O comprimento da rugosidade de fundo é outro parâmetro que deve ser fornecido para o modelo SisBAHIA para o cálculo do coeficiente de Chézy e que representa a resistência ao escoamento causada pelo atrito com o fundo. A amplitude da rugosidade equivalente do fundo (ϵ) é função direta do material componente do leito. A Tabela 1 contém os valores recomendados por ABBOT & BASCO (1989), para a amplitude da rugosidade equivalente.

Tabela 1: Valores recomendados para a amplitude da rugosidade equivalente de fundo.

FUNDO SEDIMENTAR (AREIA, TERRA, VASA, ETC.)	
Fundo com transporte de sedimentos	$0,0070 \text{ m} < \varepsilon < 0,0500 \text{ m}$
Fundo com vegetação	$0,0500 \text{ m} < \varepsilon < 0,1500 \text{ m}$
Fundo com obstáculos	$0,1500 \text{ m} < \varepsilon < 0,4000 \text{ m}$
FUNDO DE PEDRA OU ROCHOSO	
Fundo de alvenaria	$0,0003 \text{ m} < \varepsilon < 0,0010 \text{ m}$
Fundo de pedra lisa	$0,0010 \text{ m} < \varepsilon < 0,0030 \text{ m}$
Fundo de asfalto	$0,0030 \text{ m} < \varepsilon < 0,0070 \text{ m}$
Fundo com pedregulhos	$0,0070 \text{ m} < \varepsilon < 0,0150 \text{ m}$
Fundo com seixos rolados	$0,0150 \text{ m} < \varepsilon < 0,0400 \text{ m}$
Fundo com pedras	$0,0400 \text{ m} < \varepsilon < 0,1000 \text{ m}$
Fundo com rochas	$0,1000 \text{ m} < \varepsilon < 0,2000 \text{ m}$
FUNDO DE CONCRETO	
Fundo de concreto liso	$0,0001 \text{ m} < \varepsilon < 0,0005 \text{ m}$
Fundo de concreto inacabado	$0,0005 \text{ m} < \varepsilon < 0,0030 \text{ m}$
Fundo de concreto antigo	$0,0030 \text{ m} < \varepsilon < 0,0100 \text{ m}$

Existem poucos estudos sobre a composição do fundo da região da Baía de Vitória e do rio Santa Maria da Vitória. Paiva (1999) estudou as características do sedimento de fundo da região da Baía de Vitória e verificou a existência de areia lamosa média e fina, além de lama arenosa e lama no substrato de fundo. Oliveira (2003) ao estudar a distribuição dos sedimentos no trecho final do rio Santa Maria da Vitória detectou, na realização de suas campanhas, que a natureza do leito do rio é predominantemente arenosa.

Embora existam variações do tipo de sedimento de fundo ao longo da região de estudo, utilizou-se no modelo SisBAHIA um valor constante para a rugosidade equivalente do fundo ao longo de todo o domínio modelado.

Com base nestas informações e devido à escassez de dados sedimentológicos, o valor adotado para a rugosidade equivalente de fundo (0,01m), foi o que obteve a melhor resposta simulada da curva de maré, dentre os valores sugeridos na Tabela 1 para leito arenoso com transporte de sedimentos.

4.2.2.3. MARÉ

O padrão de escoamento do sistema estuarino do entorno da Ilha de Vitória é regido por um regime de micromarés, com alturas máximas em torno de 1,7m e 0,9m para marés de sizígia e quadratura, respectivamente.

A principal componente harmônica de maré para a região é a M2, lunar semidiurna, com período de 12,4h e amplitude encontrada para o Porto de Vitória é de 92,4cm (FEMAR, 2000).

As séries temporais de elevação do nível do mar analisadas neste estudo foram obtidas nas estações de monitoramento de marés instaladas ao longo do estuário (Figura 9), e mantidas pelo GEARH/UFES.

4.2.2.4. VENTO

Os dados de vento não foram implementados no modelo, uma vez que a área de estudo encontra-se em uma região bem abrigada, onde torna-se muito difícil verificar os prováveis efeitos dos ventos sobre os padrões de circulação.

Desta forma, a região apresenta um sentido de escoamento bem definido que pode ser explicado pelo fato da influência da energia transferida pela ação dos ventos ser muito pequena, quando comparada com os forçantes principais, no caso, as ondas de maré e a vazão afluente do rio Santa Maria da Vitória.

4.2.3. CARACTERÍSTICAS DA MALHA ADOTADA

A malha utilizada para representar o domínio modelado respeita os contornos limites do domínio a ser estudado, totalizando 456 elementos quadráticos e 2246 nós (Figura 4). As figuras 5 e 6 representam detalhes da malha sobre o trecho fluvial do Rio Santa Maria da Vitória e na desembocadura do rio na Baía de Vitória, respectivamente.

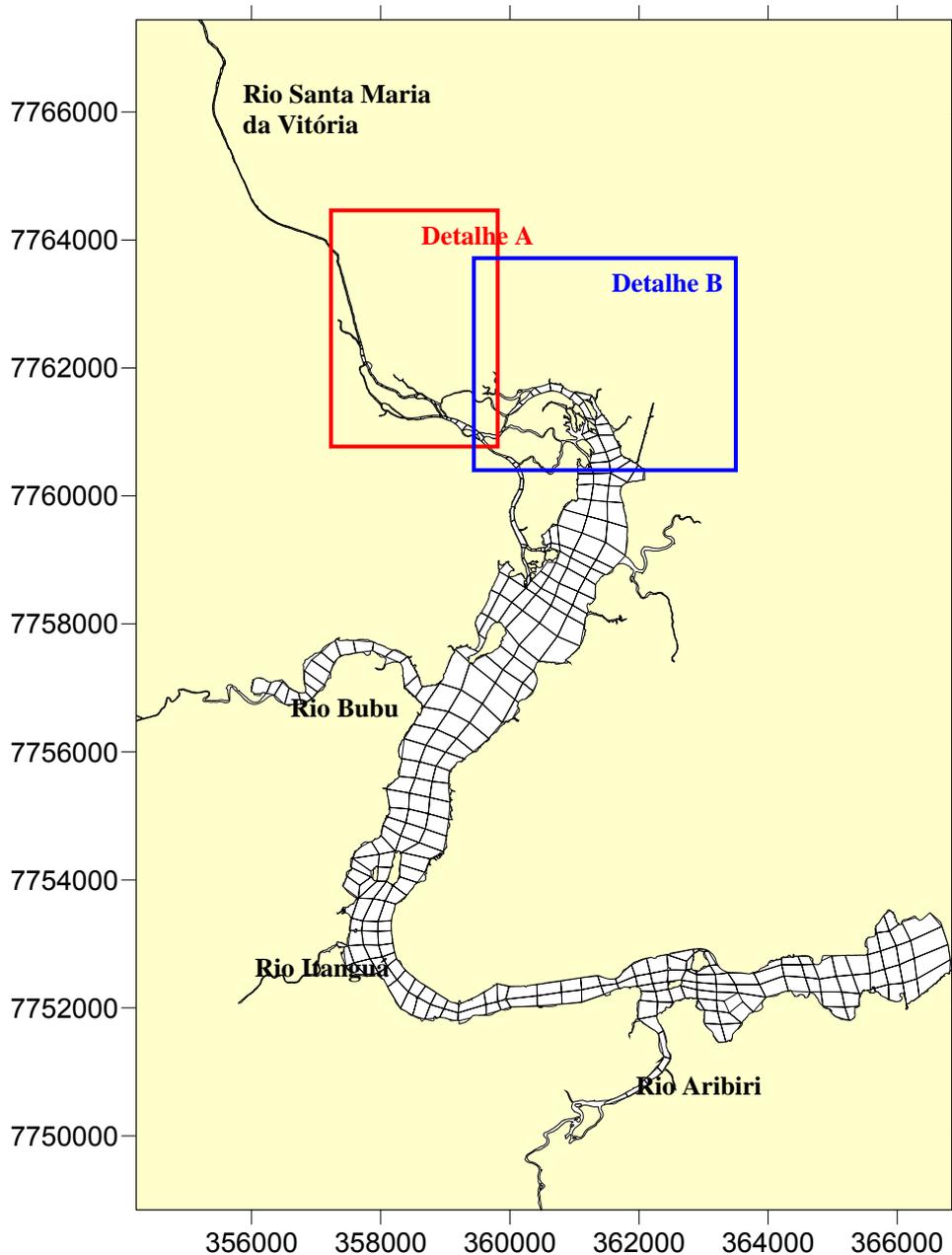


Figura 4: Malha de discretização do Rio Santa Maria da Vitória e da Baía de Vitória, em coordenadas UTM.

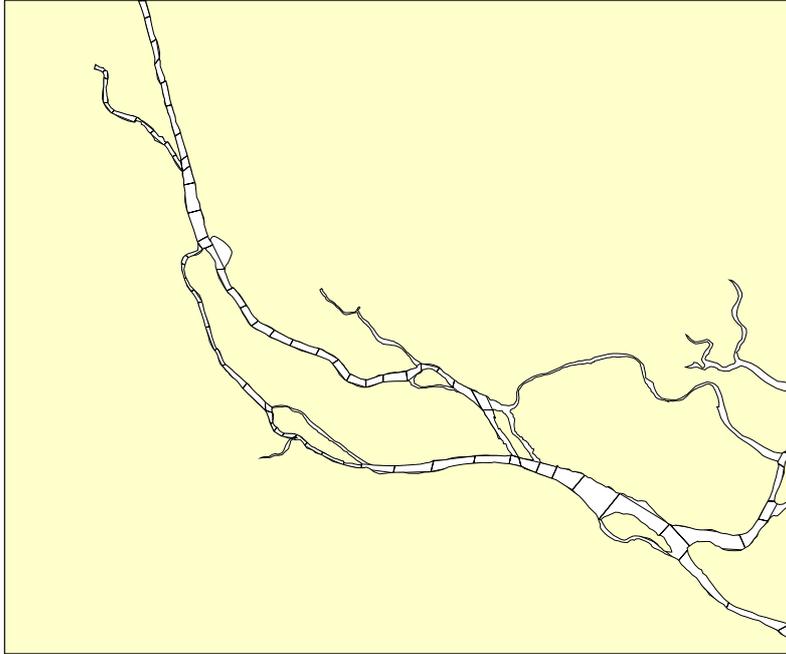


Figura 5: Detalhe A da malha de discretização sobre o trecho fluvial do Rio Santa Maria da Vitória

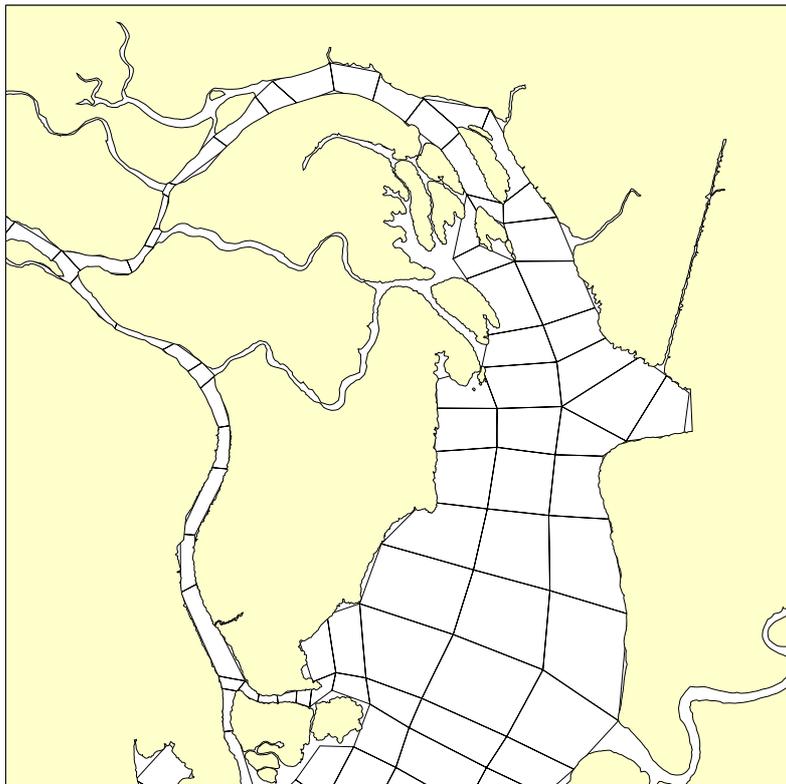


Figura 6: Detalhe B da malha de discretização sobre a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória na Baía de Vitória.

4.2.4. CONDIÇÕES INICIAIS E CONDIÇÕES DE CONTORNO

A correta implementação das condições iniciais e das condições de contorno tem se apresentado como decisiva na calibração de um modelo numérico, devendo então, serem adotadas as condições que mais representem os fenômenos verificados no local de estudo.

4.2.4.1. CONDIÇÕES DE CONTORNO

O modelo SisBAHIA admite condições de contorno abertas e fechadas. As condições de contornos fechados ocorrem ao longo da linha de costa e são utilizados para delimitar áreas secas da região modelada, onde não existe fluxo através da fronteira. Desta forma, a componente normal e a componente tangencial (condição de não deslizamento) da velocidade na fronteira de terra são assumidas como sendo nulas.

Já as condições de contornos abertas são aquelas que representam um limite do domínio do modelo, mas não um limite físico do corpo d'água. Ao contrário do contorno fechado, ao longo da fronteira aberta existe fluxo de água e/ou solutos. Desta forma, é necessário especificar como as condições hidrodinâmicas (elevação do nível d'água, velocidade normal à fronteira, vazão) e/ou as concentrações de soluto variam ao longo do tempo.

No caso de existir rios ou canais ao longo do contorno fechado, seus valores característicos de velocidade ou vazão também devem ser prescritos normais ao contorno. Para as fronteiras abertas, a condição de contorno prescrita deve corresponder ao valor da componente da vazão normal à linha de fronteira.

Na abordagem representada neste estudo não foram consideradas as áreas alagáveis referentes a planícies de maré e manguezais, sendo, portanto, utilizada como condição de contorno terrestre apenas a impermeabilidade da fronteira de terra e o afluxo do rio Santa Maria da Vitória.

No SisBAHIA a entrada das vazões dos rios é feita por metro linear. Para o rio Santa Maria da Vitória (com largura aproximada de $L = 30,00$ m), a vazão de entrada por metro linear é igual a vazão afluyente considerada dividida pela largura do rio. Para os demais rios que deságuam próximos à região estuarina da baía de Vitória não foram considerados nenhum tipo de afluxo, pois apresentam contribuição insignificante quando comparados com a do rio Santa Maria.

Como condição de contorno na fronteira aberta, representado pela letra A (Figura 8), utilizou-se a variação da elevação do nível d'água, obtida com o marégrafo instalado no Porto de Tubarão no período de 01 de janeiro a 16 de fevereiro de 2004 (Figura 7).

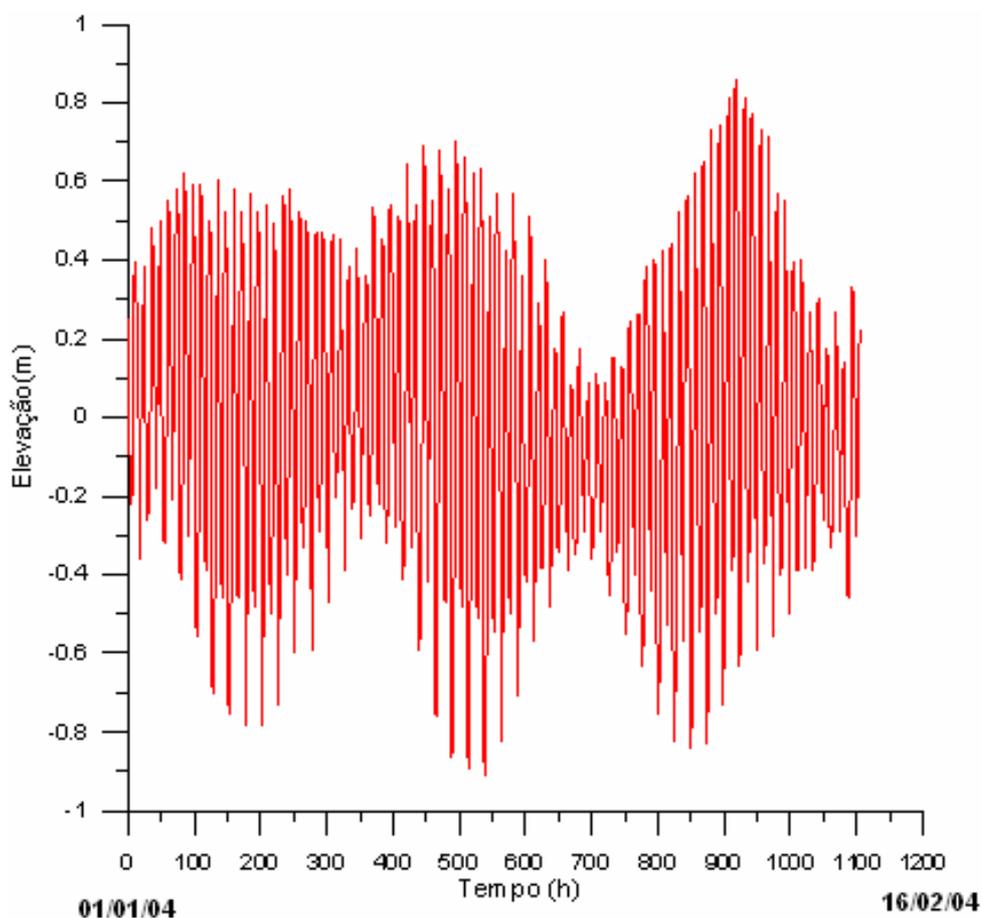


Figura 7: Elevação do nível d'água para o Porto de Tubarão.



Figura 8: Condições de Contorno implementadas no modelo hidrodinâmico.

Na fronteira aberta indicada pela letra B (Figura 8), localizada na entrada do Canal da Passagem, considerou-se a variação da elevação do nível d'água medida na estação de monitoramento de Caieiras. No entanto, considerou-se uma defasagem de 0,25 horas (tempo gasto pela onda de maré para percorrer a distância existente entre a estação maregráfica de Caieiras e a entrada do Canal da Passagem).

A condição de contorno representada pela letra C (Figura 8), corresponde ao rio Santa Maria da Vitória, único afluente representado no modelo, ao qual foi fornecida a vazão constante por metro linear de seção do rio anteriormente mencionada.

4.2.4.2. CONDIÇÕES INICIAIS

As condições iniciais utilizadas no modelo numérico SisBAHIA podem ser de dois tipos: partida a quente e partida a frio. No primeiro caso, a simulação começa a partir de valores de elevação, velocidade e concentração de solutos obtidos em simulações precedentes. Na outra opção, o modelo inicia a simulação considerando velocidade nula ao longo do domínio computacional, concentração de soluto nula ou um outro valor constante em toda malha, e elevação em qualquer ponto do ciclo de maré, sendo preferencialmente utilizadas valores de elevação próxima ao seu nível máximo (preamar) ou mínimo (baixa-mar).

De forma a reduzir as instabilidades numéricas, as simulações realizadas neste estudo foram iniciadas a partir de momentos de preamar, ou seja, realizando-se um prévio “enchimento” do modelo. Para tanto, assume-se um nível d’água uniforme ao longo de todo o domínio fluido e consideram-se nulas as componentes de velocidade em todo o domínio.

4.2.5. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo computacional consiste em um processo iterativo de comparação entre os valores medidos em campo e os valores computados, seguidos de ajustes dos fatores inexatos conhecidos, tais como coeficiente de rugosidade de fundo, condições de contorno ou coeficiente de difusividade, até que exista uma proximidade aceitável entre as respostas observadas.

Uma vez calibrado, o modelo é validado contra outro conjunto de dados coletados em campo, independentes daqueles usados na calibração, para que se assegure a possibilidade do seu uso na representação de uma variedade de condições diferentes.

Pode-se dizer que a qualidade dos resultados decorrentes da aplicação de um modelo depende não só de sua conceituação, mas também da qualidade dos dados empregados, entre outras coisas. Do ponto de vista conceitual, a

qualidade dos resultados de um modelo não é maior do que a qualidade dos dados por ele utilizados (Mancuso, 2003).

Foram realizadas diferentes simulações utilizando-se como parâmetros de entrada as marés observadas no Porto de Tubarão e na estação de Caieiras para o período simulado e a vazão aportante do rio Santa Maria da Vitória. De modo a testar a capacidade do modelo na reprodução da circulação local, os dados de elevação, direção e velocidade de correntes calculados pelo modelo foram comparados aos dados obtidos em campo para diferentes estações localizadas ao longo do estuário (Figura 9).

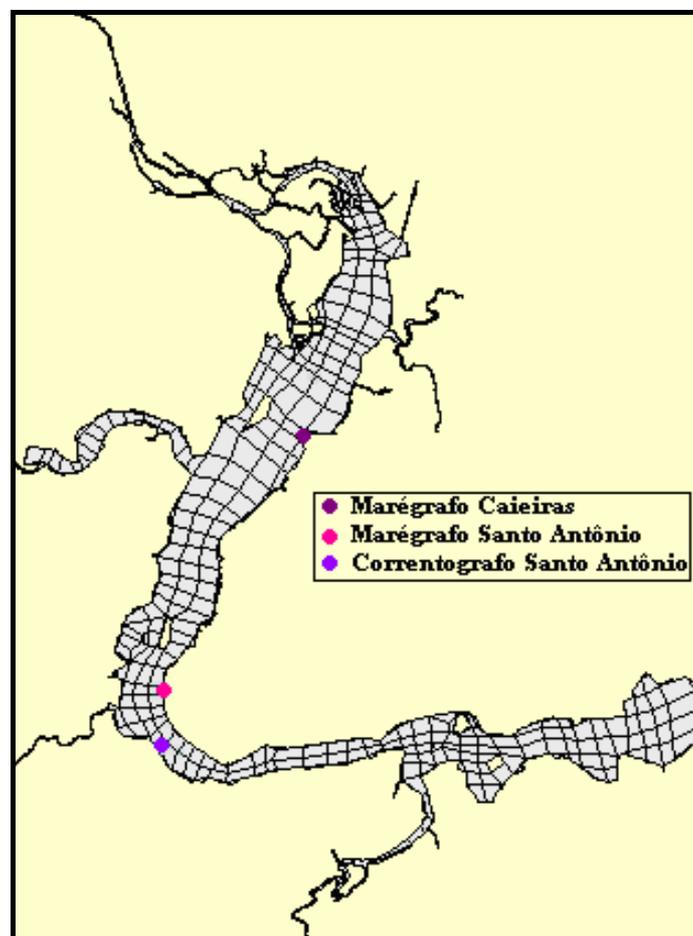


Figura 9: Estações de Monitoramento utilizadas na calibração.

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados do processo de calibração e validação do modelo SisBAHIA para a Baía de Vitória, as simulações hidrodinâmicas e de transporte realizadas para diversos cenários, bem como as correlações existentes entre a hidrodinâmica da região e a qualidade de suas águas.

5.1. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SISBAHIA

A calibração do modelo hidrodinâmico consiste na comparação entre os valores de elevação do nível do mar e intensidade e direção de correntes medidos em campo e os valores calculados pelo modelo.

Foram realizados alguns ajustes dos fatores inexatos conhecidos, tais como coeficiente de rugosidade de fundo, ajustes de profundidade e condições de contorno, até que existisse uma proximidade aceitável entre as respostas observadas.

Para a avaliação dos resultados de elevação e velocidades de correntes gerados pelo modelo para as estações localizadas ao longo do estuário, utilizou-se dados medidos em campo no período de 26 de agosto de 2002 a 05 de setembro de 2002 (GEARH, 2002).

Os resultados comparativos, apresentados na Figura 10, referem-se aos dados de maré obtidos na estação de Santo Antônio.

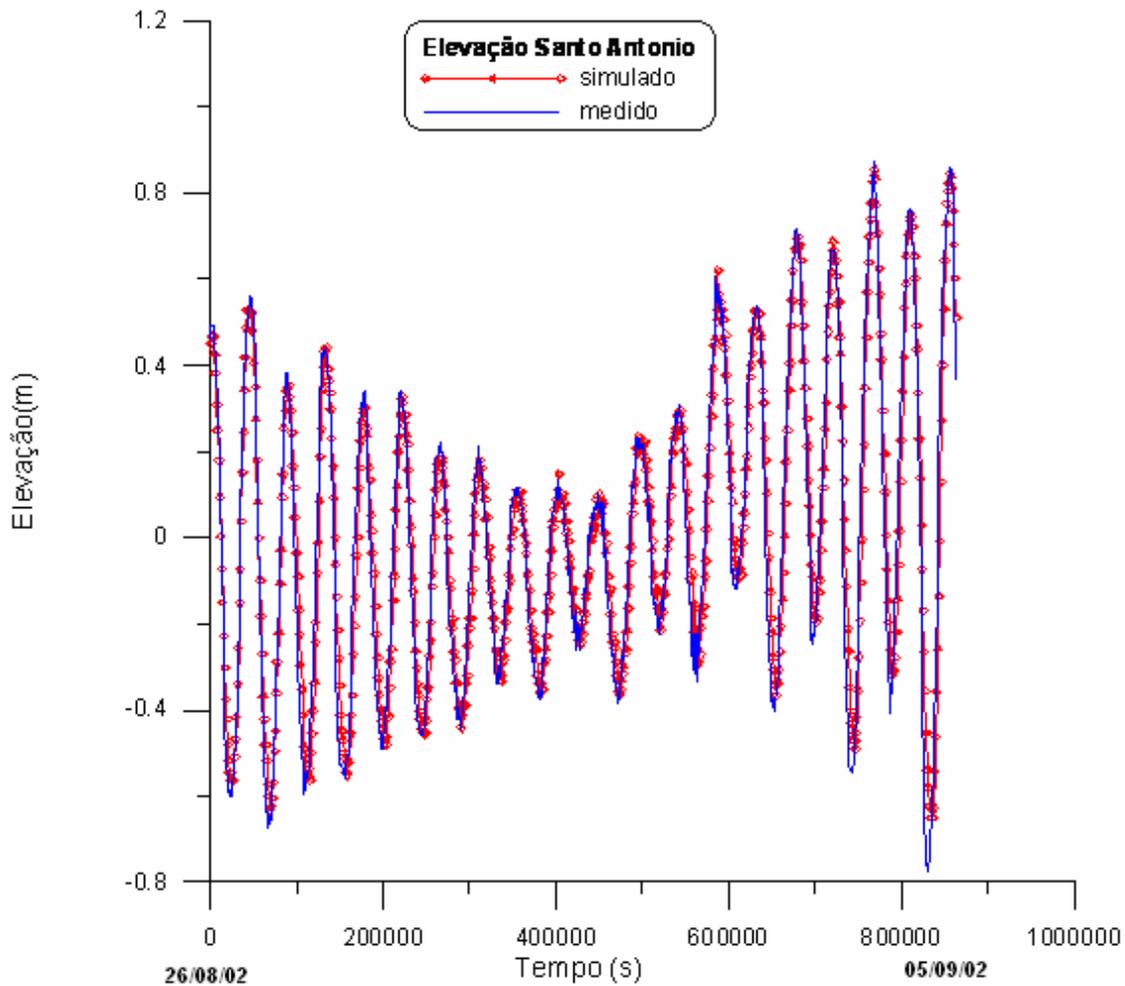


Figura 10: Comparação entre os valores medidos e simulados na estação maregráfica de Santo Antônio.

No entanto, uma das dificuldades encontradas durante o processo de calibração é a determinação de quando os resultados de um modelo podem ser considerados realmente satisfatórios. De forma geral, a avaliação da boa capacidade de reprodução dos modelos tem sido feita a partir da experiência dos modeladores.

De acordo com Cawley e Hartnett (1992), um objetivo típico para calibração dos modelos numéricos de hidrodinâmica, aplicados a regiões costeiras, seria de que 80% dos valores dos níveis de marés estivessem em uma faixa de 5% de erro em relação aos valores observados na área modelada. Para as correntes, indicam que o erro médio percentual entre os valores de corrente

medidos e calculados deve estar em torno de 20%. Cabe ressaltar que a precisão dos modelos de transporte de escalares que qualificam a água está relacionada com a precisão dos modelos de hidrodinâmica.

No entanto, os autores não deixam claros que critérios foram adotados na definição das faixas de erro tidas como aceitáveis, assim como não foram discutidos os períodos de amostragem de dados, o que vem a influenciar diretamente a interpretação dos resultados.

Tabela 2: Comparação entre erros obtidos e indicados na literatura

	Erros Médios Obtidos	Erros Satisfatórios
Maré Santo Antônio	7,20%	$\leq 5\%$
Correntes Santo Antônio	11,92%	$\leq 20\%$

Cabe ressaltar que, Cawley & Hartnett (1992) e Hodder, Parkinson & Falconer (1992) consideraram como bem ajustados modelos numéricos cujos gráficos de maré e corrente apresentaram desvios iguais ou superiores aos encontrados neste trabalho, sem fazer qualquer referência a critérios de comparação, uma vez que os percentuais obtidos foram muito próximos daquele estabelecido na literatura.

Contudo, depois de realizada a comparação entre os erros encontrados com a aplicação do modelo e os erros indicados na literatura como satisfatórios, verifica-se uma boa capacidade reprodutiva para os dados de elevação de maré e magnitude de correntes, mesmo apresentando um valor 2,2% acima do prescrito como satisfatório para estação maregráfica de Santo Antônio (Figura 10).

A Figura 11 apresenta a comparação do módulo de velocidade medido e calculado para a região de Santo Antônio. A série temporal de velocidade de corrente utilizada neste estudo foi obtida na estação de monitoramento de velocidades de corrente de Santo Antônio, através de um correntógrafo

Sensordata SD 6000 (precisão de $\pm 0,5 \text{ cm.s}^{-1}$), fundeados a 60 % da profundidade.

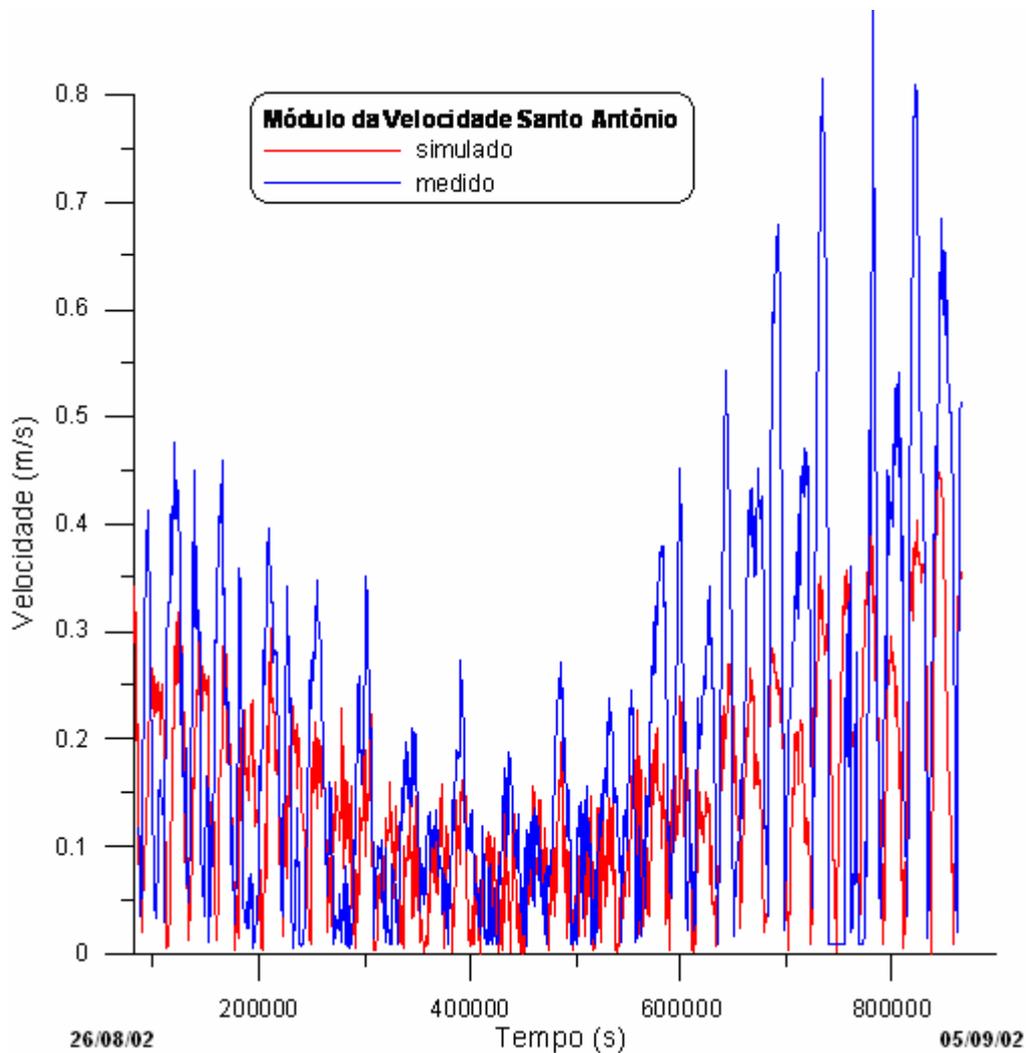


Figura 11: Comparação entre os valores de velocidade medidos e simulados na estação de Santo Antônio.

Os erros de velocidades de corrente encontrados podem ser muitas vezes atribuídos à própria natureza do processo de modelagem, o qual apresenta dificuldades em representar o comportamento aleatório do fluido. As simplificações nas equações que governam o processo hidrodinâmico, bem como as aproximações feitas para as condições de contorno, são fatores que contribuem para isso.

No entanto, existem outros motivos que podem estar causando as discrepâncias observadas.

Os resultados obtidos demonstram que o modelo hidrodinâmico resolve de forma satisfatória a fase das correntes na estação de Santo Antônio, indicando uma razoável concordância com os períodos de inversão da direção das correntes. No entanto, as velocidades calculadas estão subestimadas quando comparadas com os dados medidos em campo.

Algumas considerações devem ser feitas em relação à análise dos resultados obtidos através do modelo hidrodinâmico. A primeira é que o valor da velocidade registrada pelo correntógrafo refere-se a medições realizadas em um único ponto da coluna d'água enquanto que, os valores de velocidades fornecidos pelo modelo consideram uma média das velocidades ao longo da profundidade.

Outro aspecto a ser abordado é a representação do atrito provocado pelo fundo no escoamento. Como descrito no item 4.2.2.2, assumiu-se no modelo SisBAHIA, um valor constante para a rugosidade de fundo para todo o domínio, tendo sido utilizado nesse estudo o valor de 10mm que melhor representou o comportamento da maré para a região, após a realização de testes para calibração deste parâmetro.

Os dados batimétricos obtidos para este trabalho permitem uma representação razoável do relevo de fundo para a região como um todo. Porém, a reprodução precisa das velocidades em um ponto do domínio modelado requer um nível de detalhamento não abordado neste estudo.

A dimensão das células da malha computacional utilizada para representar a região de estudo, pode ter interferido na obtenção de detalhes suficientes para caracterizar a topografia do relevo submarino.

Entretanto, acredita-se que a principal razão para as baixas magnitudes de velocidade observadas esteja relacionada às simplificações adotadas na implantação do modelo para a região, não tendo sido representados no domínio modelado, os principais processos que causam o padrão de assimetria

observado em campo que, para a região, acredita-se que sejam os efeitos conjugados das planícies de inundação associadas aos canais de maré na região interna dominada por manguezais e, o atrito provocado pela vegetação sobre o escoamento (BARROS FILHO, 2002).

A Figura 12 permite a análise das direções de correntes, comparando os resultados das componentes de velocidade simulados e medidos em campo.

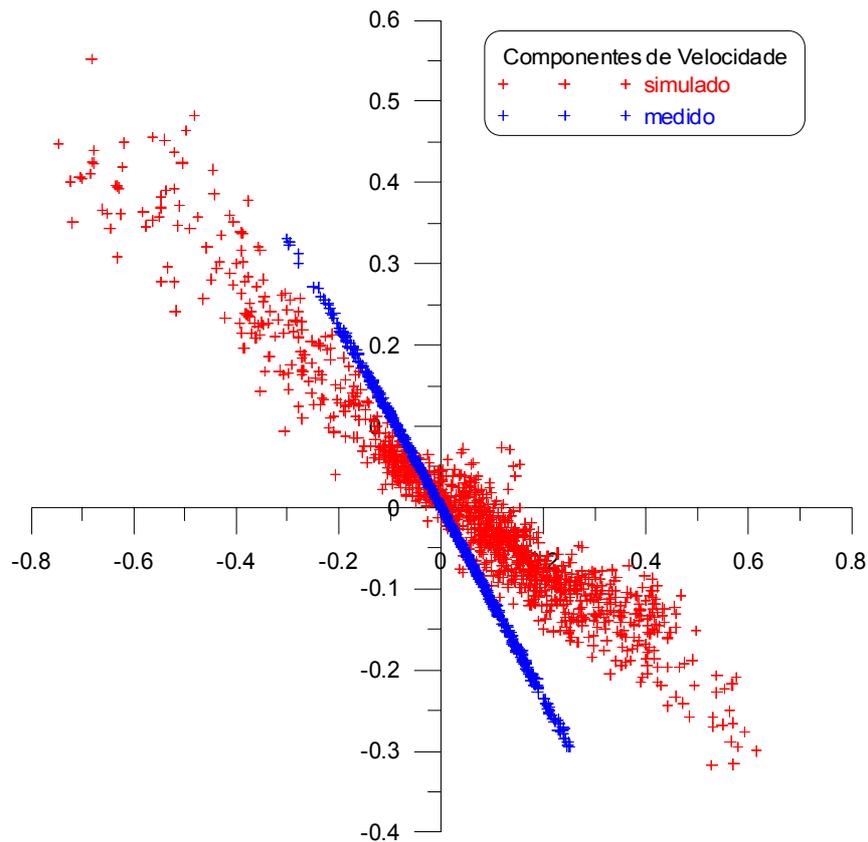


Figura 12: Comparação entre os valores das componentes de velocidades U e V medidos e simulados na estação de Santo Antônio.

Acredita-se que foram vários os fatores que contribuíram para a divergência na direção da corrente. Destacam-se, entre eles, a geometria e o local de instalação do correntógrafo. O local onde o correntógrafo foi instalado possui uma geometria bastante complexa e a forma de representá-la pode ter interferido na direção das correntes que passam pelo canal.

Tendo em vista o exposto acima, o resultado gerado pelo modelo pode ser considerado satisfatório, uma vez que os valores simulados nos pontos avaliados fazem crer que o modelo seja capaz de reproduzir de forma razoável os padrões de circulação para a Baía de Vitória, para os objetivos propostos neste trabalho.

5.2. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA BAÍA DE VITÓRIA

Tendo sido feita a avaliação dos resultados fornecidos pelo modelo para os pontos específicos da malha computacional, serão discutidos à seguir os diferentes campos de velocidade obtidos para todo o domínio modelado.

A análise é realizada considerando períodos de quadratura e sizígia da maré utilizada como condição de contorno, em intervalos de tempo críticos, ou seja, instantes de tempo onde as velocidades encontradas possuem valores mínimos e máximos tanto na enchente quanto na vazante. Para esta análise considera-se vazão média de $15,7 \text{ m}^3/\text{s}$ para o Rio Santa Maria da Vitória (SANTOS, M.M., 1994).

Para cada tempo analisado, foi anexado um gráfico, indicando o instante da onda de maré que esta sendo representado. Vale ressaltar, que a maré graficada corresponde a maré medida no Porto de Tubarão, no período de 01 de janeiro a 16 fevereiro de 2004, utilizada como condição de contorno na entrada da Baía de Vitória (Figura 13).

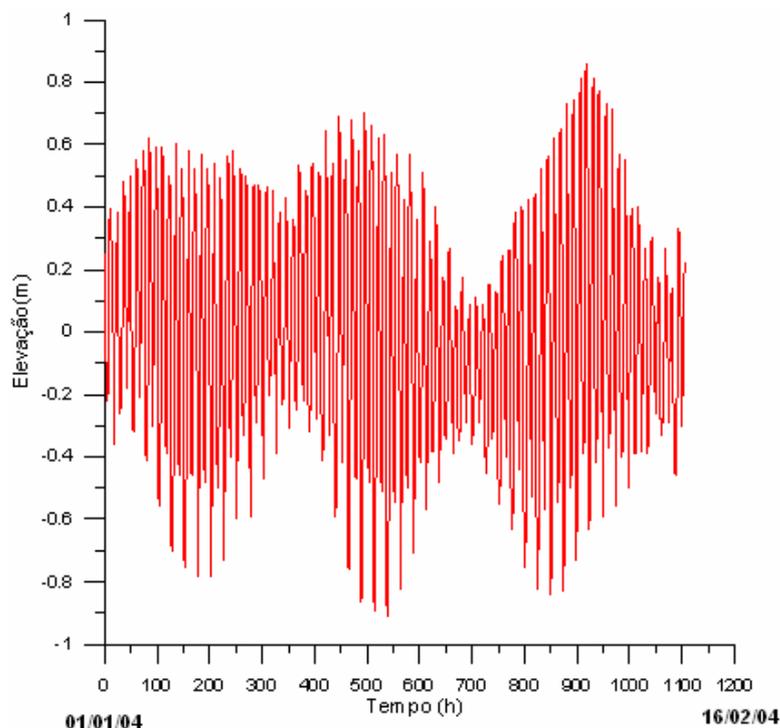


Figura 13: Maré utilizada como condição de contorno na entrada da Baía de Vitória.

5.2.1. MARÉ DE SIZÍGIA

Os instantes de tempo para os quais são apresentadas as simulações realizadas na maré de sizígia referem-se ao terceiro ciclo de maré (Figura 14).

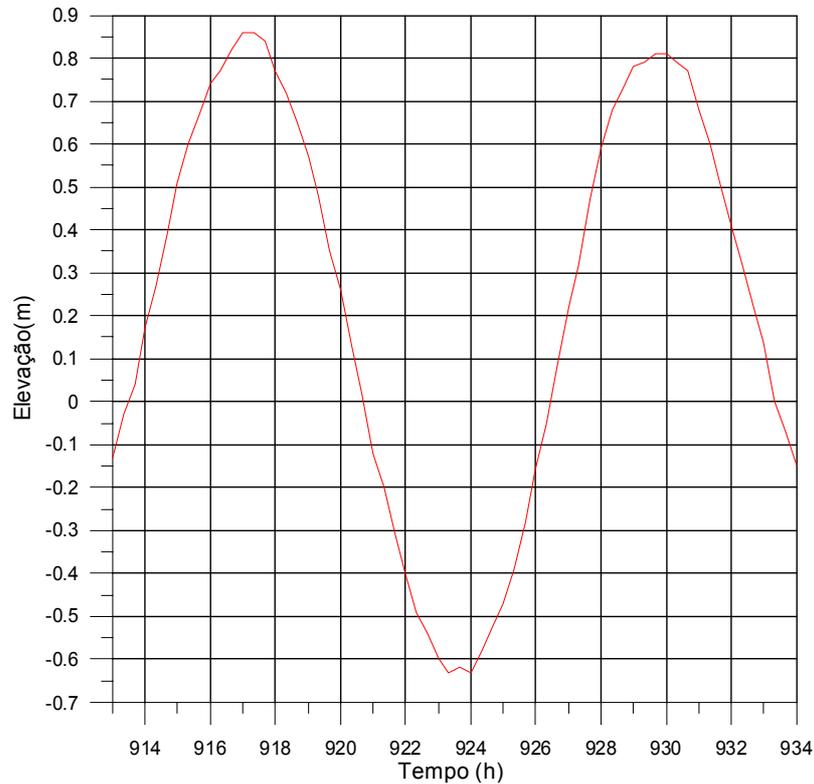


Figura 14: Intervalo de tempo onde são apresentadas as simulações realizadas na maré de sizígia.

As figuras 15 a 18, apresentadas a seguir, ilustram os resultados da simulação envolvendo uma maré de sizígia. A partir da análise dos dados dos campos de velocidade obtidos, torna-se possível conseguir informações importantes acerca do padrão de escoamento da região modelada.

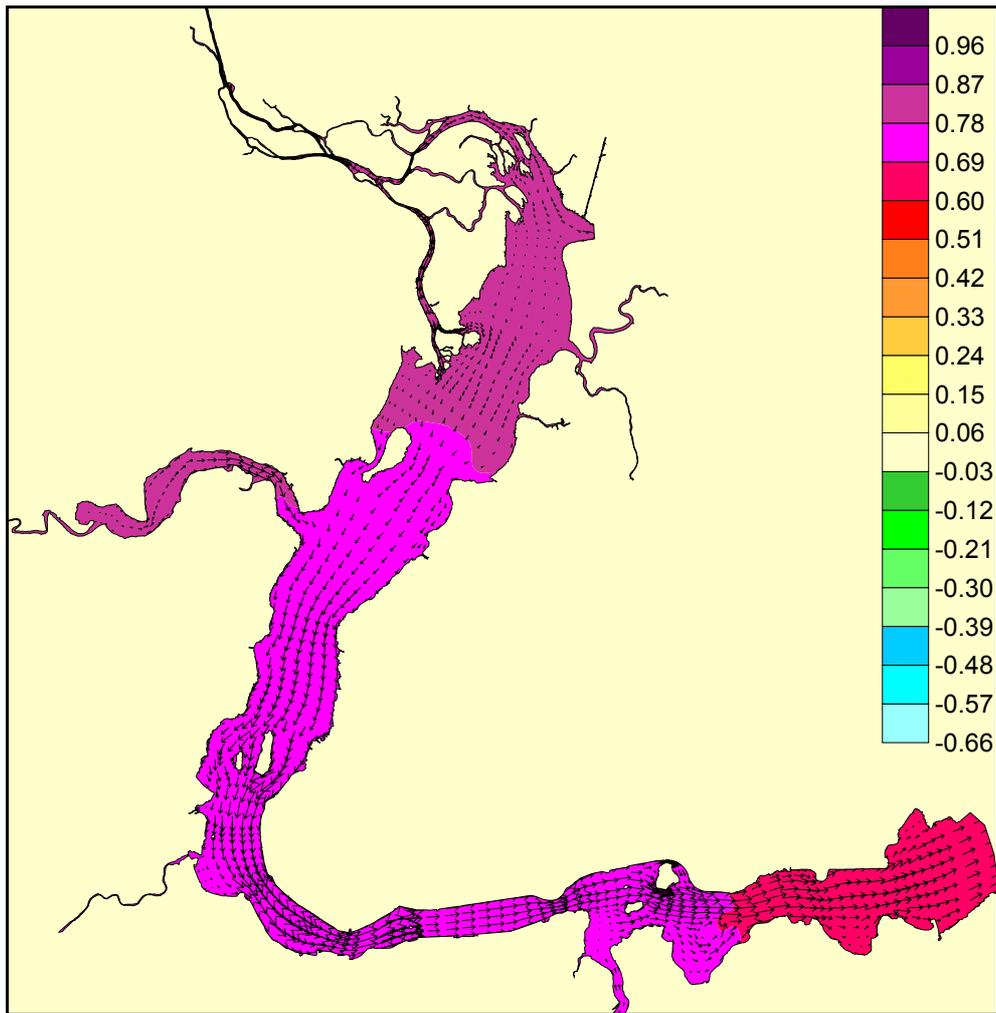


Figura 15: Campo de Velocidades obtido para a maré de sizígia para o instante de tempo $t = 918,6$ horas.

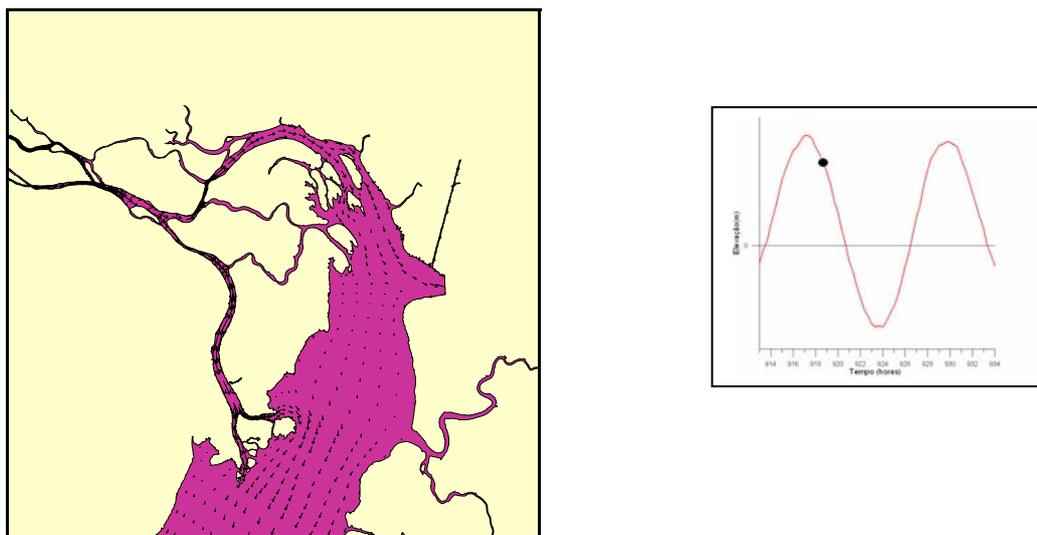


Figura 16: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 918,6$ horas.

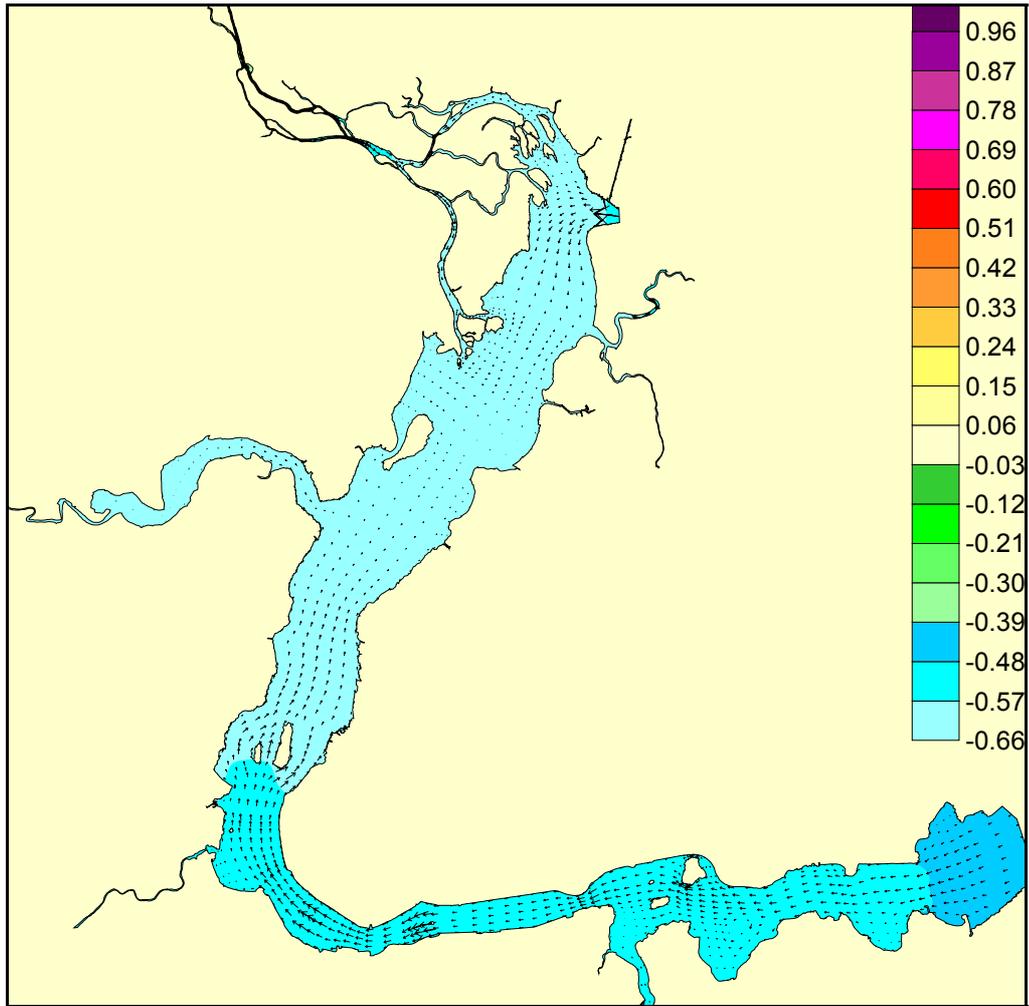


Figura 17: Campo de Velocidades obtido para a maré de sizígia para o instante de tempo $t = 925,0$ horas.

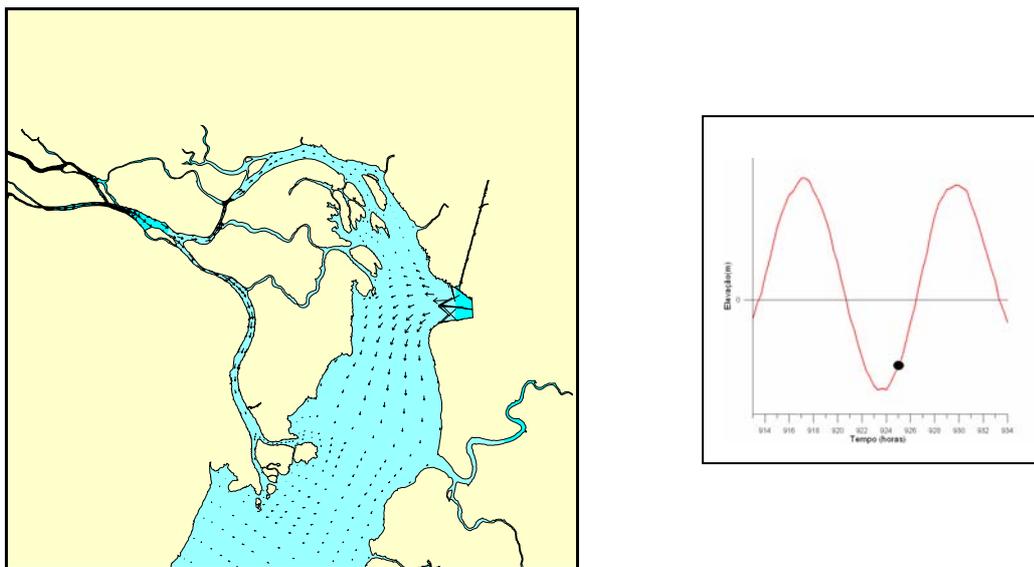


Figura 18: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 925,0$ horas.

Verifica-se através dos dados de corrente obtidos na região interna do estuário que a principal componente geradora do escoamento é o gradiente de elevação do nível do mar. Esse escoamento, juntamente com a configuração geométrica do estuário, determina as características do padrão de circulação.

Na maré de sizígia, a região de estudo apresenta velocidades que variam de - 0,66 a 0,93 m/s. Durante a enchente, verifica-se que as maiores velocidades encontram-se próximas à entrada da Baía de Vitória, enquanto que, durante a maré vazante, estas ocorrem nas proximidades do Canal da Passagem e da desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Percebe-se também, a existência de uma região mais estagnada na baía que funciona como divisor de águas, ou seja, região que direciona o escoamento no período posterior à estufa de maré. Durante a maré enchente, esta região localiza-se entre o Canal da Passagem e o canal principal do Rio Santa Maria da Vitória. Na vazante, esta mesma região encontra-se nas proximidades do Rio Bubu.

Para o Rio Santa Maria da Vitória, durante as simulações realizadas na maré vazante, percebem-se maiores magnitudes de corrente do que as verificadas no interior da baía. Isto se deve ao fato de que, neste período, a vazão fluvial do Rio Santa Maria da Vitória não encontra resistência ao fluxo, além de deparar-se com velocidades de escoamento em direção ao mar. O contrário ocorre, durante a maré enchente, quando as águas do rio deparam-se com a força da maré que penetra no estuário.

5.2.2. MARÉ DE QUADRATURA

Os instantes de tempo para os quais são apresentadas as simulações realizadas na maré de quadratura referem-se ao segundo ciclo de maré (Figura 19).

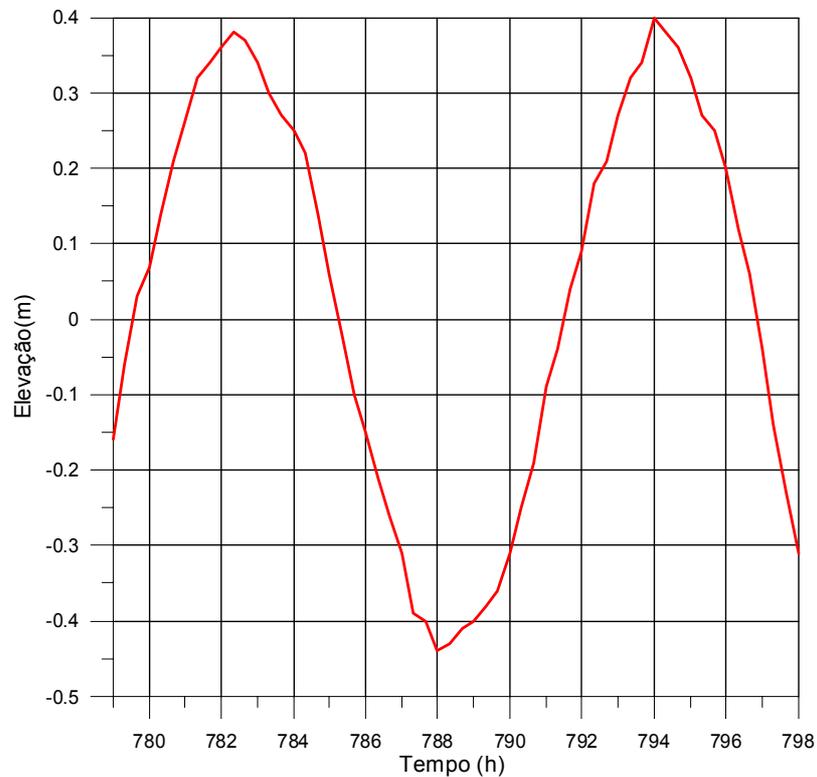


Figura 19: Intervalo de tempo onde são apresentadas as simulações realizadas na maré de quadratura.

As figuras 20 a 24, apresentadas a seguir, ilustram os resultados da simulação envolvendo uma maré de quadratura.

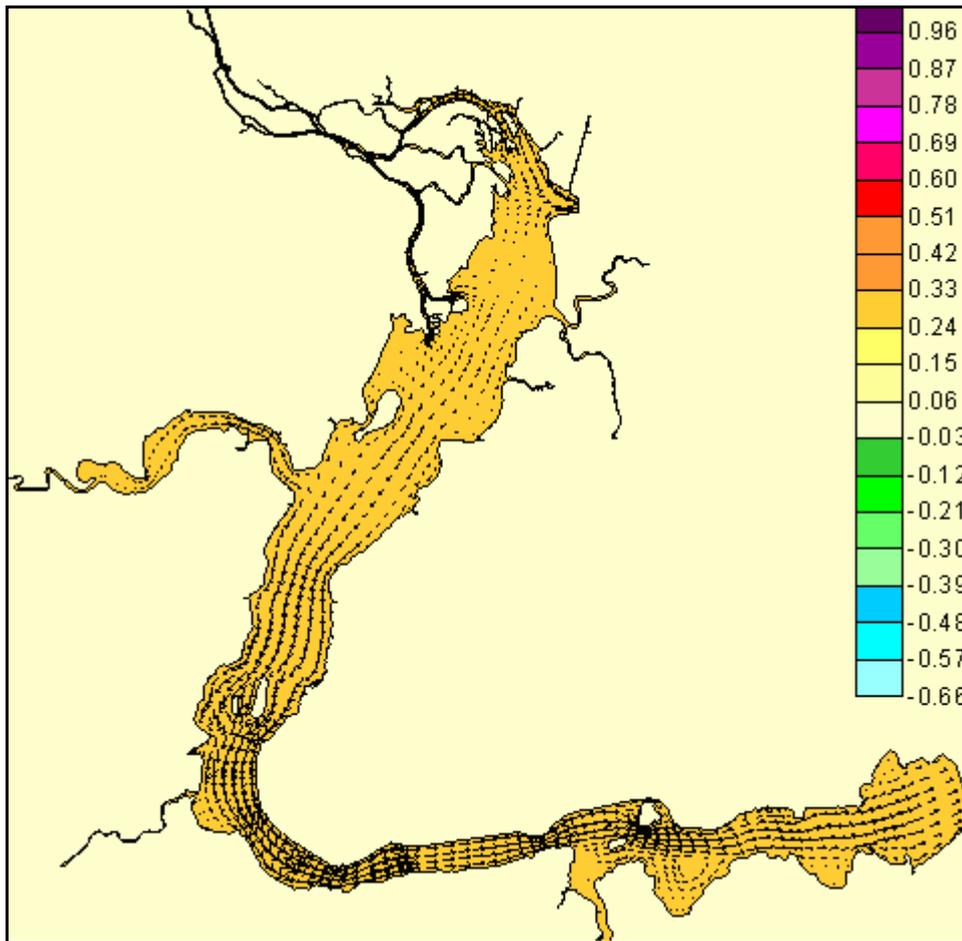


Figura 20: Campo de Velocidades obtido para a maré de quadratura para o instante de tempo $t = 784,0$ horas.

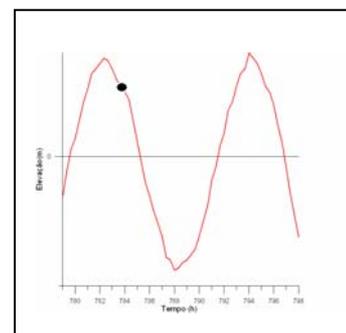
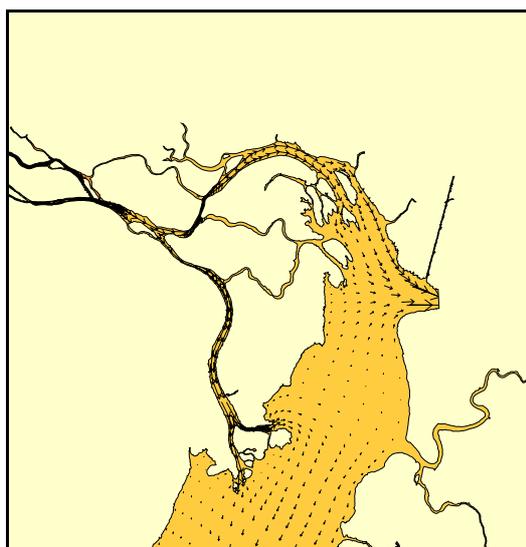


Figura 21: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 784,0$ horas.

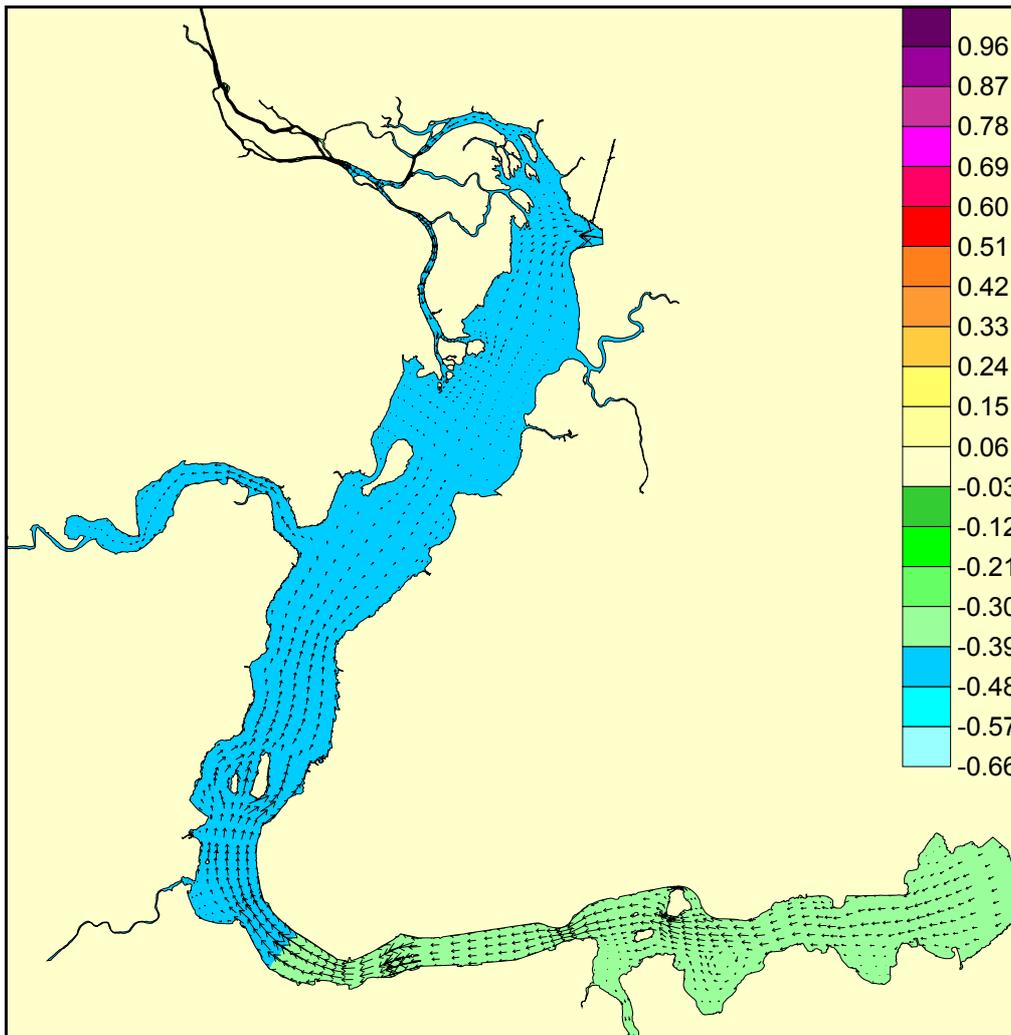


Figura 22: Campo de Velocidades obtido para a maré de quadratura para o instante de tempo $t = 789,6$ horas.

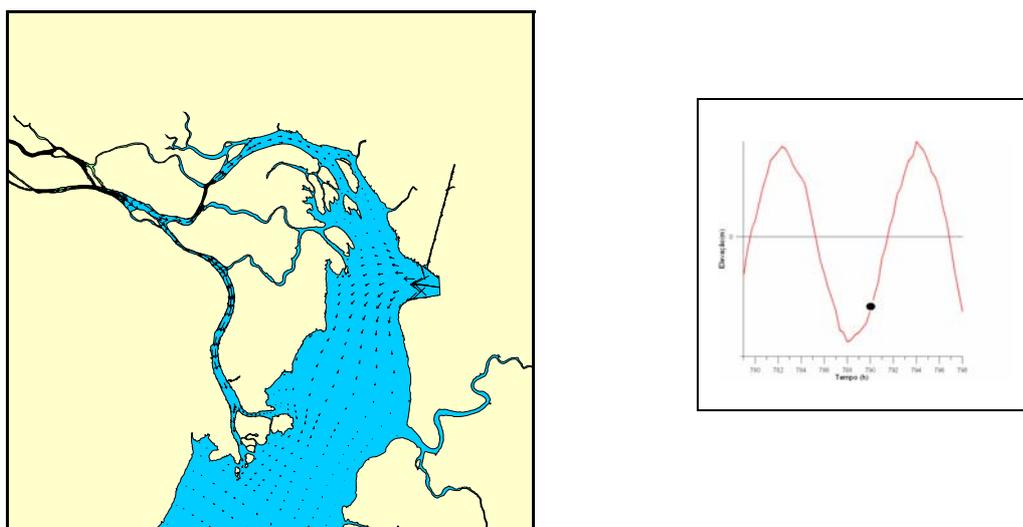


Figura 23: Detalhe do campo de velocidades obtido para o tempo $t = 789,6$ horas.

Comparando os dados dos campos de velocidade obtidos na maré de quadratura com os encontrados durante a sizígia, pode-se dizer que os padrões de escoamento em pouco diferem. No entanto, percebe-se uma diminuição na magnitude dos fenômenos, que nesse caso, apresentam menores velocidades para todas as regiões.

Na maré de quadratura, a região de estudo apresenta velocidades que variam de -0,46 a 0,45 m/s.

Analisando os valores de velocidades mínimas e máximas apresentados, observa-se que as velocidades de vazante são, em geral, superiores as de enchente. Para marés de sizígia as velocidades de vazante podem atingir o dobro das velocidades de enchente. Em marés de quadratura, entretanto, a diferença não se mostrou muito significativa.

Este fato pode ser explicado, quando considerada a variação do volume de água armazenado durante a enchente dentro do estuário, sendo, portanto, maior nas situações de maré de sizígia, o que resulta em uma maior velocidade durante a vazante neste período.

5.3. QUALIDADE DE ÁGUA DA BAÍA DE VITÓRIA.

Visando associar às características hidrodinâmicas da região, aspectos ligados à qualidade de suas águas, como capacidade de dispersão, diluição e transporte, foram realizadas simulações numéricas envolvendo o lançamento de constituintes.

Foram realizadas várias simulações hidrodinâmicas fazendo uso de diversos cenários que abrangem condições variadas de vazão afluente do Rio Santa Maria da Vitória, associadas à diferentes condições de maré, objetivando analisar a influência da vazão do Rio Santa Maria da Vitória, em termos de qualidade e quantidade, no comportamento da intrusão salina e na qualidade das águas da Baía de Vitória.

Visando auxiliar a análise dos resultados, a figura 24 apresenta algumas estações ao longo da região em estudo que foram relacionadas ao modelo hidrodinâmico, de forma a contemplar todas as possíveis variações no escoamento, e acompanhar a evolução da pluma de constituintes.

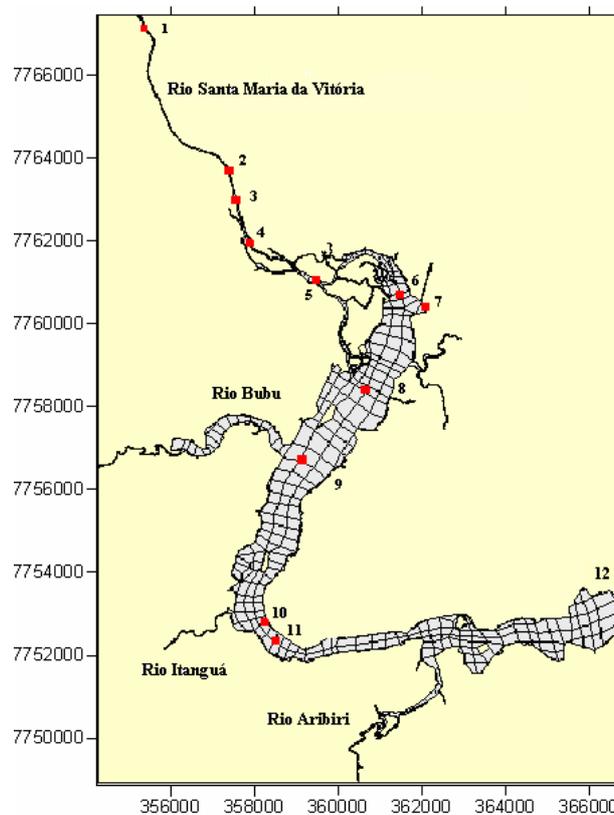


Figura 24: Mapa Base com a identificação das estações.

Para analisar o transporte dos constituintes na região modelada, foram criados quatro cenários:

Cenário 1: Maré de quadratura com vazões fluviais de cheia. A análise é realizada considerando períodos de quadratura da maré utilizada como condição de contorno, em horários críticos, ou seja, os que fornecem as maiores concentrações, tanto na enchente quanto na vazante.

Cenário 2: Maré de sizígia com vazões fluviais de cheia. A análise é realizada considerando períodos de sizígia da maré utilizada como condição de contorno, em horários críticos, ou seja, os que fornecem as maiores concentrações, tanto na enchente quanto na vazante.

Cenário 3: Maré de quadratura com vazões fluviais de estiagem. A análise é realizada considerando os períodos de quadratura da maré utilizada como condição de contorno, em horários críticos, ou seja, os que fornecem as maiores concentrações, tanto na enchente quanto na vazante.

Cenário 4: Maré de sizígia com vazões fluviais de estiagem. A análise é realizada considerando os períodos de sizígia da maré utilizada como condição de contorno, em horários críticos, ou seja, os que fornecem as maiores concentrações, tanto na enchente quanto na vazante.

Foram simulados no modelo hidrodinâmico e no modelo de transporte euleriano períodos de 46 dias, a fim de representar períodos que englobam marés de sizígia e quadratura.

De acordo com SANTOS, 1994, a tabela 3 apresenta as vazões médias mensais da série histórica de vazão do Rio Santa Maria da Vitória para os anos de 1961 a 1979.

Tabela 3: Descargas médias mensais para o Rio Santa Maria da Vitória.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1961	23.10	34.00	19.50	14.20	15.60	16.80	13.80	8.92	6.43	6.48	6.81	7.52
1962	18.00	16.10	9.55	6.37	6.32	6.08	6.02	5.22	2.81	6.64	8.47	32.90
1963	15.10	12.30	10.20	8.05	6.61	4.58	4.16	4.40	3.32	3.86	4.94	3.68
1964	16.80	19.50	19.30	25.40	10.70	11.90	9.37	11.40	9.39	15.50	15.40	20.70
1965	23.60	30.80	17.80	14.30	11.60	9.56	9.75	7.04	5.19	8.73	27.00	11.90
1966	14.30	7.20	4.40	4.77	4.98	4.82	5.55	4.97	4.48	6.43	20.60	12.90
1967	7.88	9.55	12.30	8.78	12.90	7.52	6.08	5.80	5.22	4.98	7.83	28.10
1968	19.90	20.40	23.80	12.90	9.44	7.83	9.19	9.00	14.40	11.70	10.10	12.00
1969	9.17	11.40	9.91	7.58	7.02	15.40	9.29	7.66	7.56	10.20	9.27	22.70
1970	41.40	23.80	15.00	10.90	9.77	8.90	14.00	12.50	9.63	13.70	43.00	28.50
1971	15.00	10.00	8.35	7.73	7.06	8.14	8.76	7.58	12.70	18.50	54.30	46.50
1972	21.20	19.00	16.80	13.70	12.60	10.60	10.40	9.90	13.90	10.40	15.60	32.20
1973	17.50	14.20	30.10	20.30	15.30	10.80	8.43	7.74	7.54	10.10	10.60	14.60
1974	35.40	20.20	18.80	14.10	9.31	7.43	9.94	7.49	6.78	12.20	15.10	13.70
1975	42.80	35.80	20.50	13.80	11.80	12.00	13.20	9.60	8.01	15.30	20.00	13.10
1976	5.81	5.86	6.53	4.39	4.62	3.80	4.20	3.80	4.42	7.88	19.40	32.30
1977	20.00	10.90	8.09	8.00	8.19	6.96	6.00	4.11	5.48	9.78	15.90	23.20
1978	20.90	19.20	14.00	15.90	10.30	8.76	18.50	11.30	12.30	13.60	9.96	17.40
1979	60.20	94.40	47.80	33.20	19.20	14.60	13.70	10.10	10.80	11.50	23.60	26.60
Média mensal	22.53	21.82	16.46	12.86	10.17	9.29	9.49	7.82	7.91	10.39	17.78	21.08
Desvio Padrão mensal	13.18	19.04	9.72	7.04	3.74	3.54	3.71	2.55	3.47	3.77	12.22	10.44

Média Total da série histórica	13.96 m ³ /s
Desvio Padrão Total da série histórica	7.7 m ³ /s
Vazão de Cheia	21.66 m ³ /s
Vazão de Estiagem	6.26 m ³ /s

Como não existem recomendações que quantifiquem a vazão que deverá ser usada para realização de enquadramentos, buscou-se retratar períodos secos e chuvosos da vazão afluente do rio Santa Maria. Para tanto, na simulação dos cenários anteriormente mencionados, utilizou-se vazões fluviais de cheia igual a 21,0 m³/s, a qual retrata a média total da série histórica observada na tabela acima, acrescida do valor do desvio padrão e, vazões fluviais de estiagem igual a 6,0 m³/s, correspondente a média total da série histórica reduzida do valor do desvio padrão.

5.3.1. INTRUSÃO SALINA NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

As várias simulações hidrodinâmicas que foram realizadas fazendo uso dos diversos cenários já mencionados permitem identificar os limites da intrusão salina no Rio Santa Maria da Vitória.

Em cada um dos cenários foram identificados os períodos mais críticos, isto é, instante em que a frente de sal se encontra mais avançada dentro do estuário, utilizando como base os resultados obtidos na modelagem do transporte de sal.

Para a simulação da intrusão salina foi considerado lançamento de 35 de sal na entrada da Baía de Vitória e concentração de 10 no Canal da Passagem.

DONATELLI (1998), em seu estudo mediu nas proximidades da entrada do Canal da Passagem salinidade de 10, durante o período final da maré enchente e sua estofa.

O início do lançamento coincidiu com o início da simulação do modelo hidrodinâmico, ou seja, a preamar.

A unidade utilizada para representar a concentração da salinidade corresponde a escala prática de salinidade.

Cenário 01 - Salinidade:

A figura 25 representa a elevação do nível do mar encontrada na estação 5 para o Cenário 1 (maré de quadratura com vazões fluviais de cheia).

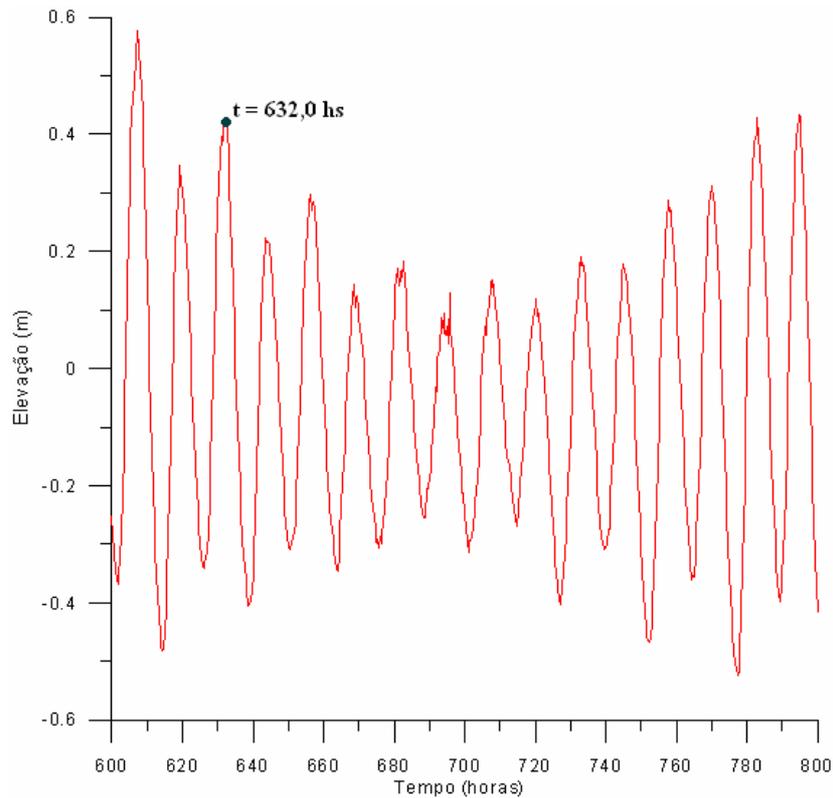


Figura 25: Elevação do nível do mar na Estação 5 para o Cenário 1.

A Figura 26 apresenta a distribuição espacial de salinidade no instante de tempo ($t = 632,0$ horas) em que a intrusão salina na estação 5 é máxima. O instante de tempo utilizado para a análise do Cenário 1, refere-se ao instante de tempo em que foi atingida uma estufa de preamar, ou seja, período de tempo em que a maré passa de enchente para vazante.

Esta figura também permite visualizar que a água do rio se estende até a desembocadura do rio Santa Maria da Vitória, onde a concentração de sal ainda encontra-se insignificante.

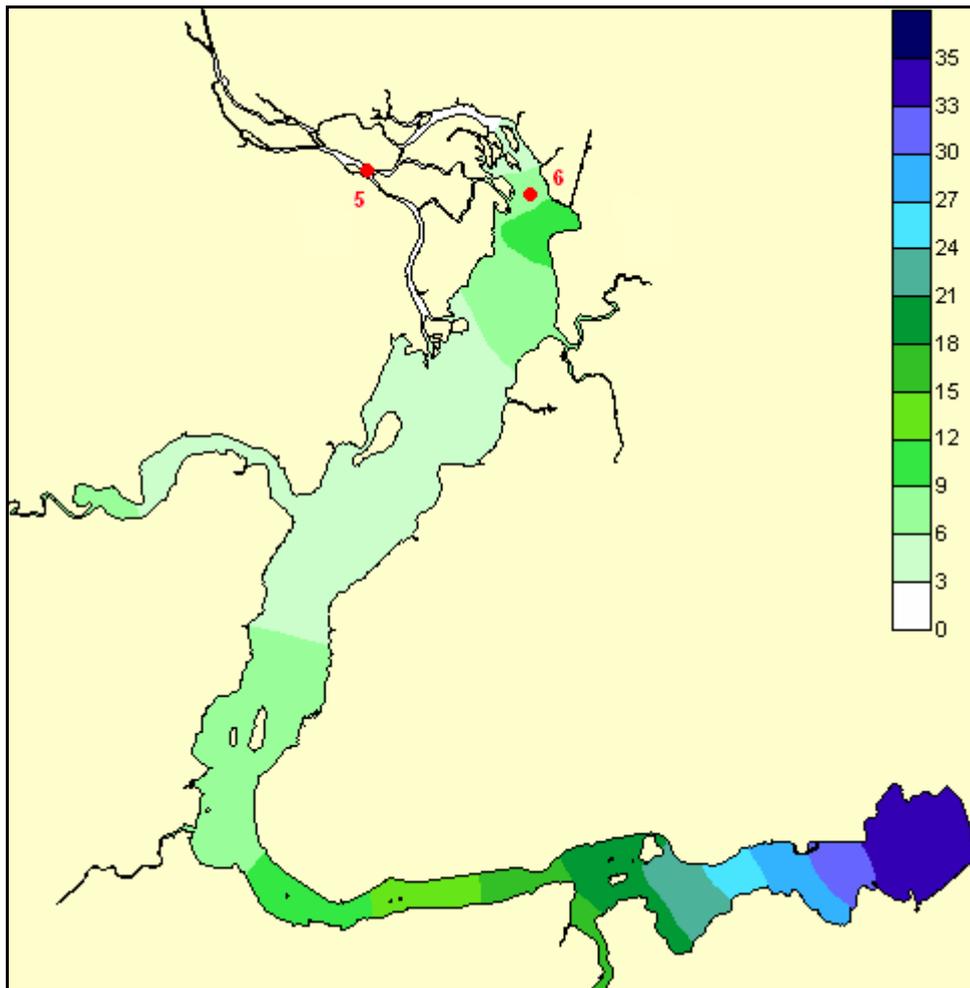


Figura 26: Distribuição de Salinidade obtidas no Cenário 1 no instante $t = 632,0$ h.

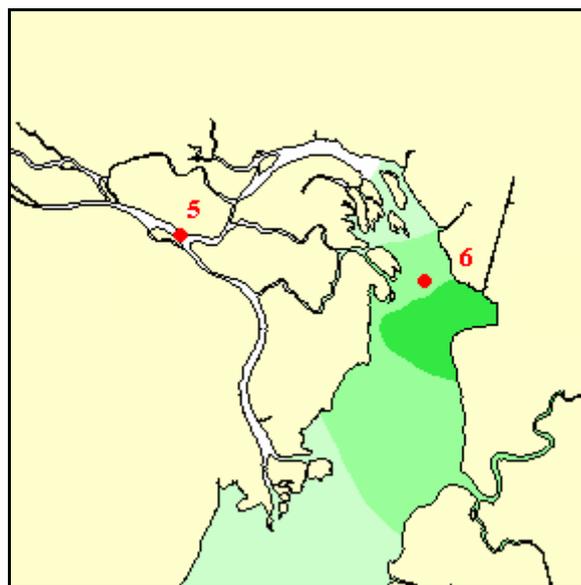


Figura 27: Detalhe da distribuição de salinidade obtidas no Cenário 1.

Para o Cenário 1 (maré de quadratura com vazões fluviais de cheia), devido à forte vazão fluvial, não ocorre entrada de sal significativa no rio Santa Maria da Vitória.

De acordo com a Figura 28, a salinidade máxima encontrada na estação 5 para este cenário foi de 0,008, o que caracteriza água doce.

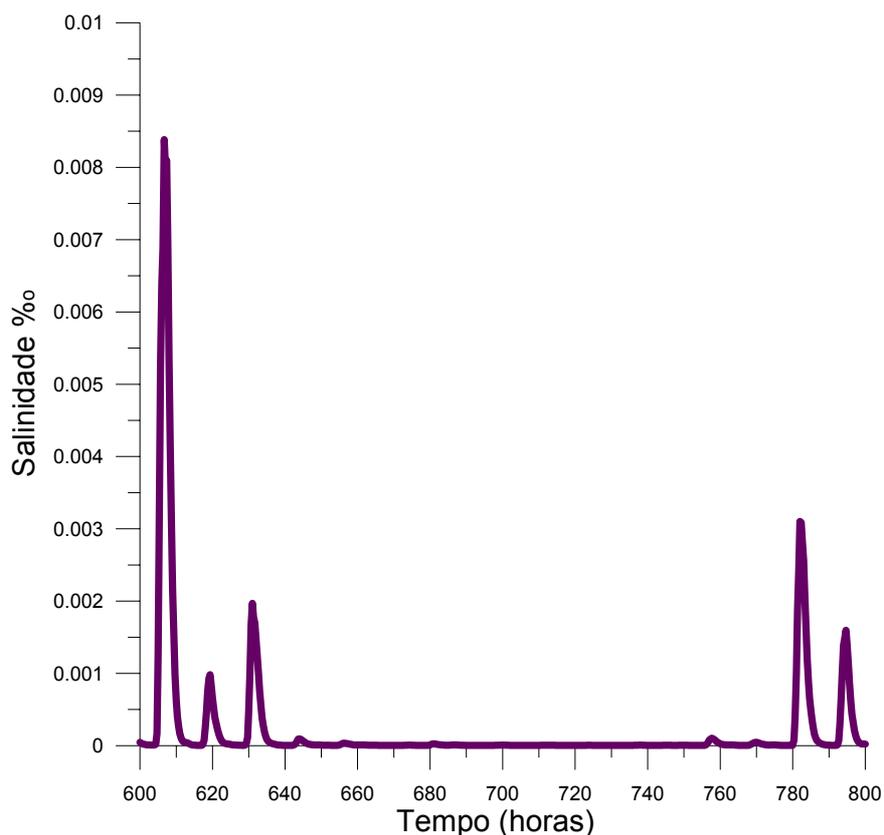


Figura 28: Salinidade encontrada na Estação 5 para o Cenário 1.

No entanto, na estação logo à jusante desta, localizada próximo à desembocadura do Rio Santa Maria na Baía de Vitória pode ser observada presença significativa de sal. De acordo com a Figura 29, a salinidade máxima encontrada na estação 6 para este cenário foi de 8, o que caracteriza água salobra (CONAMA, 357/2005).

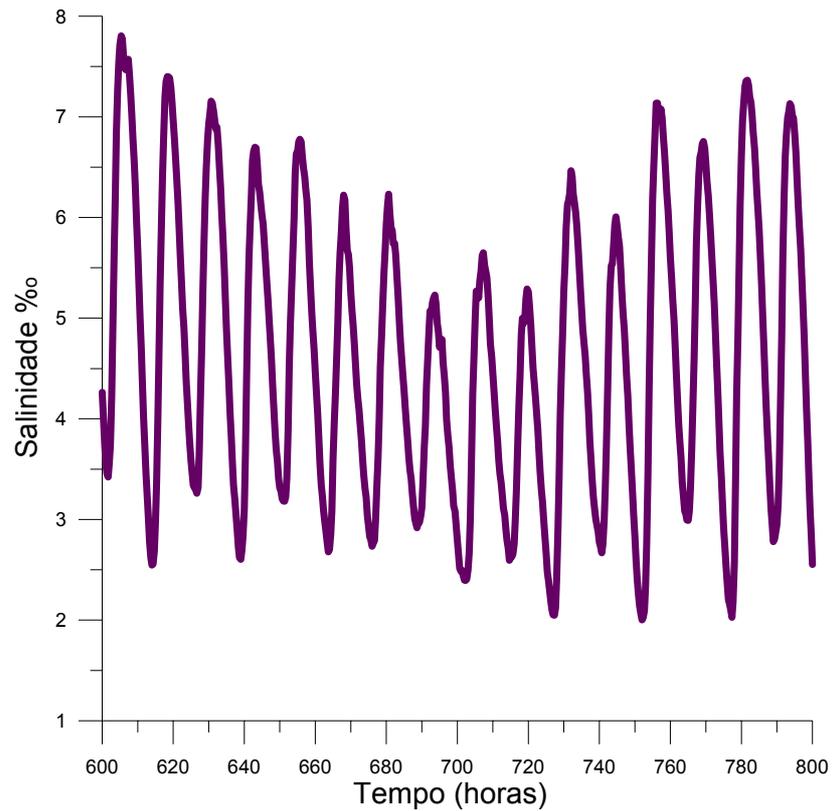


Figura 29: Salinidade encontrada na Estação 6 para o Cenário 1.

As figuras 30 e 31 permitem classificar as águas da Baía de Vitória e do Rio Santa Maria da Vitória de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, quanto à sua concentração de sal. O instante de tempo analisado para obter esta classificação é o mesmo instante de tempo utilizado na análise da intrusão salina do cenário 1.

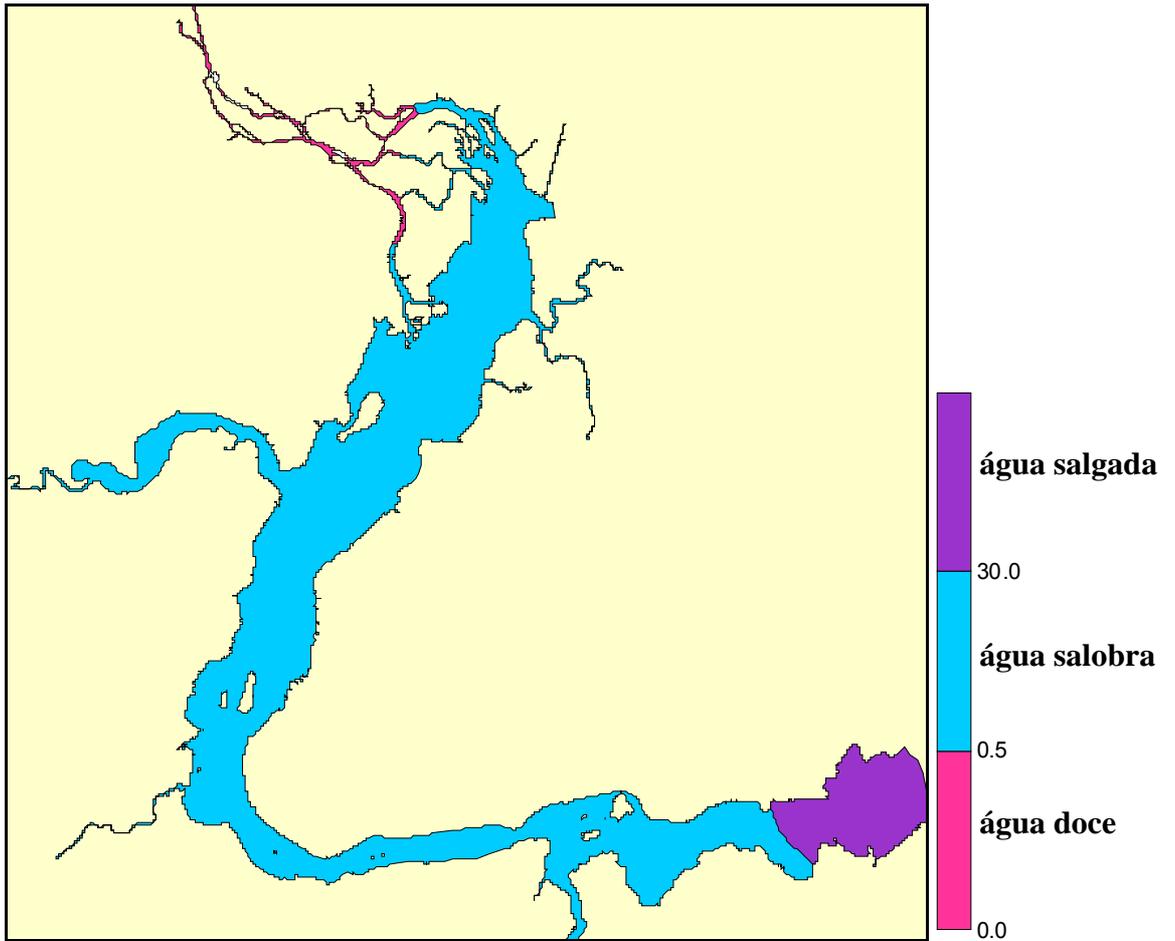


Figura 30: Classificação das águas do Cenário 1 de acordo com a Resolução CONAMA.

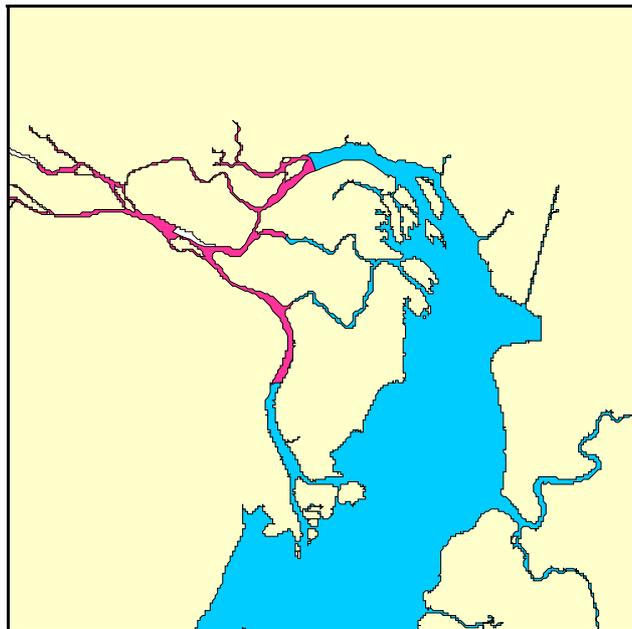


Figura 31: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Cenário 02 - Salinidade:

No Cenário 2 (maré de sizígia com vazões fluviais de cheia), também não ocorre entrada de sal significativa no Rio Santa Maria da Vitória.

No entanto, a salinidade máxima encontrada na estação 5 para este cenário foi de 0,07.

Se comparada com o cenário anterior, a salinidade máxima na estação 5 aumentou de 0,008 para 0,07, enquanto que, para a estação 6, este valor passou de 8,0 para 8,9.

Como era de se esperar, uma maior penetração da salinidade é verificada para este cenário (maré de sizígia) quando comparado ao cenário anterior (maré de quadratura), considerando as mesmas condições de vazão afluyente do Rio Santa Maria da Vitória.

As figuras 32 e 33 permitem classificar as águas da Baía de Vitória e do Rio Santa Maria da Vitória de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, quanto à sua concentração de sal. O instante de tempo utilizado para a análise deste cenário, refere-se ao instante de tempo em que foi atingida a maior intrusão salina na estação 5 durante a maré de sizígia ($t= 905,6$ horas).

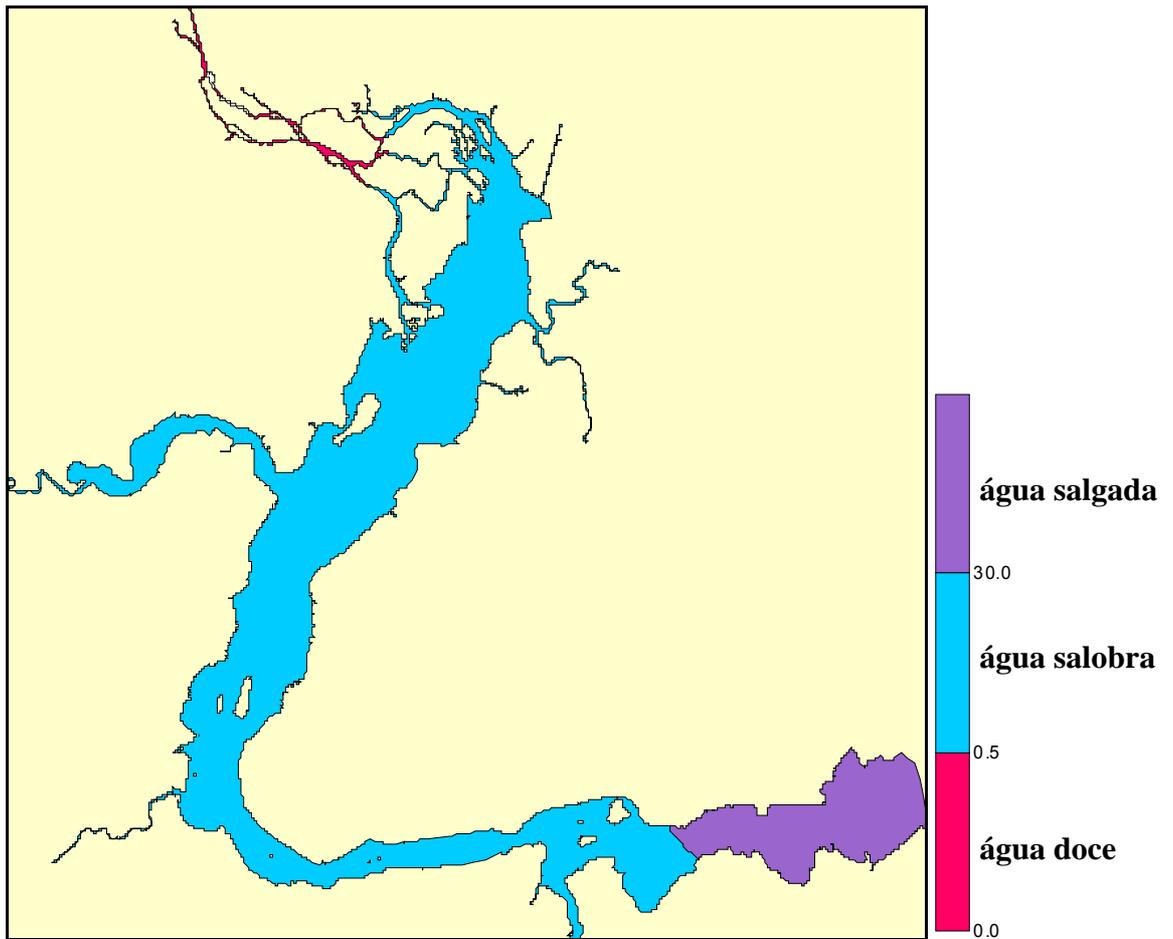


Figura 32: Classificação das águas do Cenário 2 de acordo com a Resolução CONAMA.



Figura 33: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Cenário 03 - Salinidade:

A figura 34 representa a elevação do nível do mar encontrada na estação 4 para o Cenário 3 (maré de quadratura com vazões fluviais de estiagem).

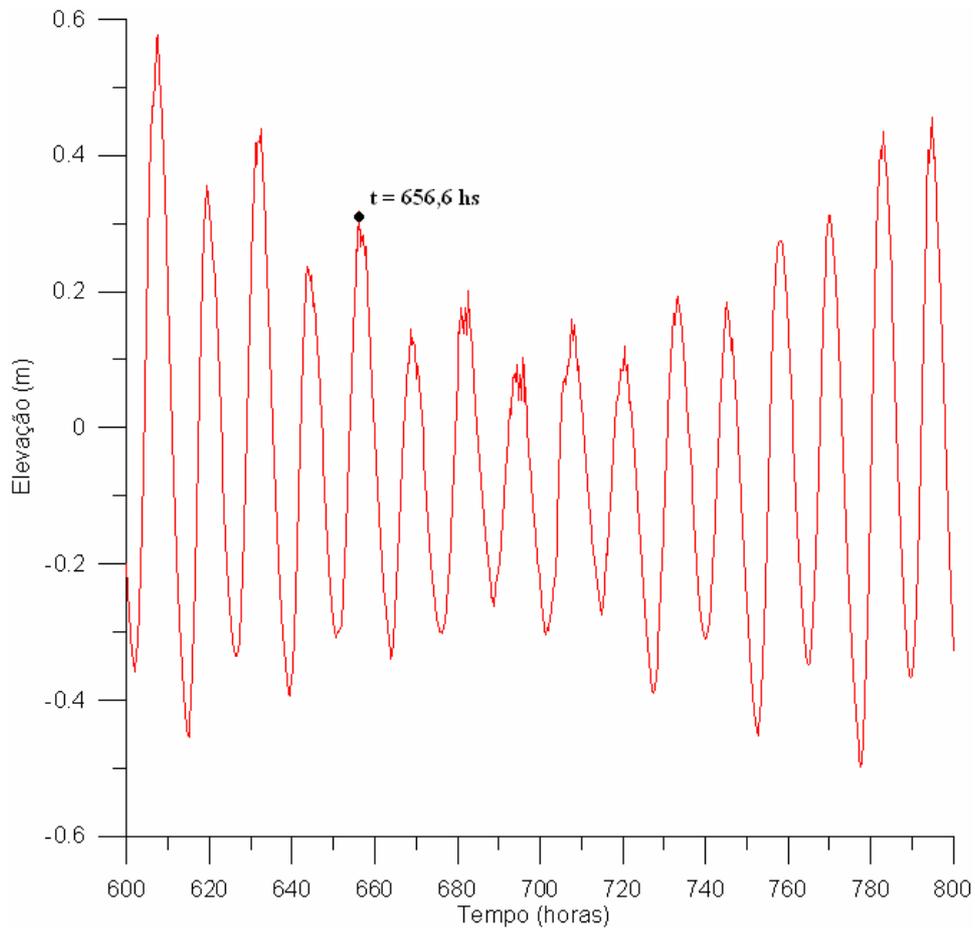


Figura 34: Elevação do nível do mar na Estação 4 para o Cenário 1.

A Figura 35 apresenta a distribuição espacial de salinidade no instante de tempo ($t = 656,6$ horas) em que a intrusão salina na estação 4 é máxima. O instante de tempo utilizado para a análise do Cenário 3, refere-se ao instante de tempo em que foi atingida uma estofa de preamar, ou seja, período de tempo em que a maré passa de enchente para vazante.

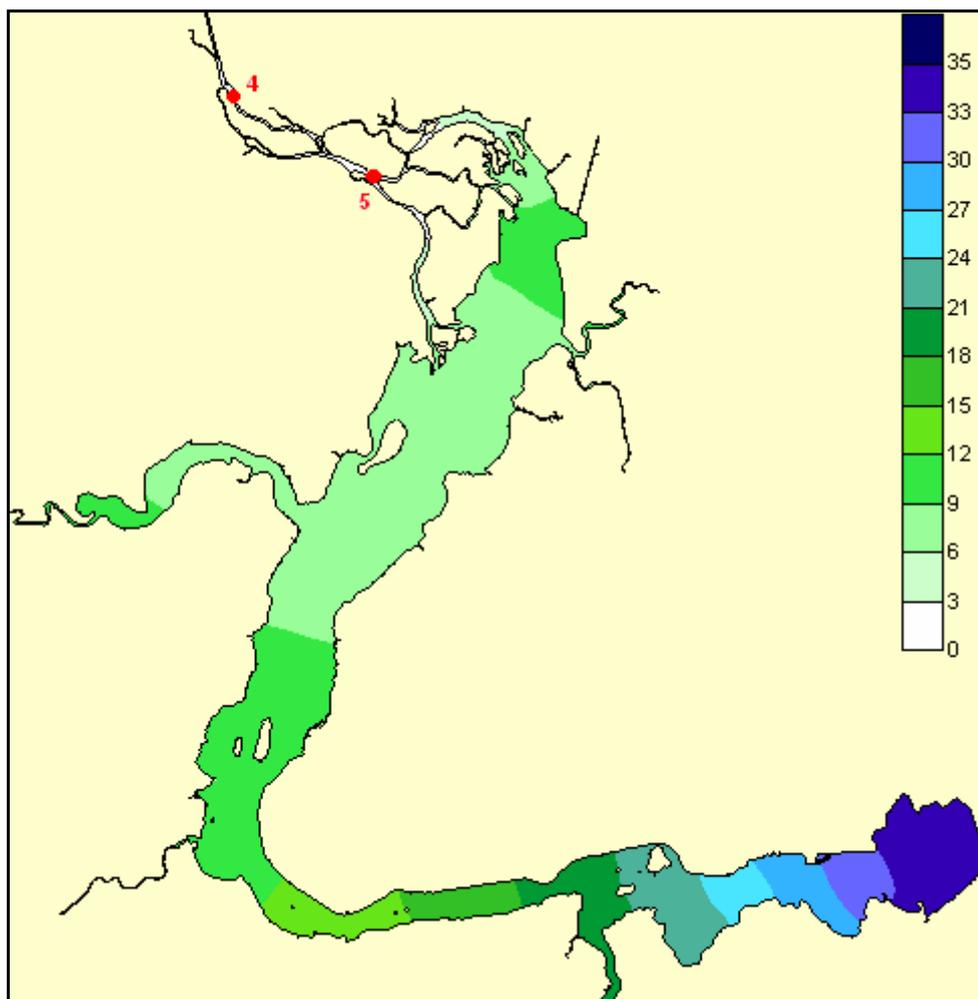


Figura 35: Distribuição de Salinidade obtidas no Cenário 3 no instante $t = 656,6$ h.

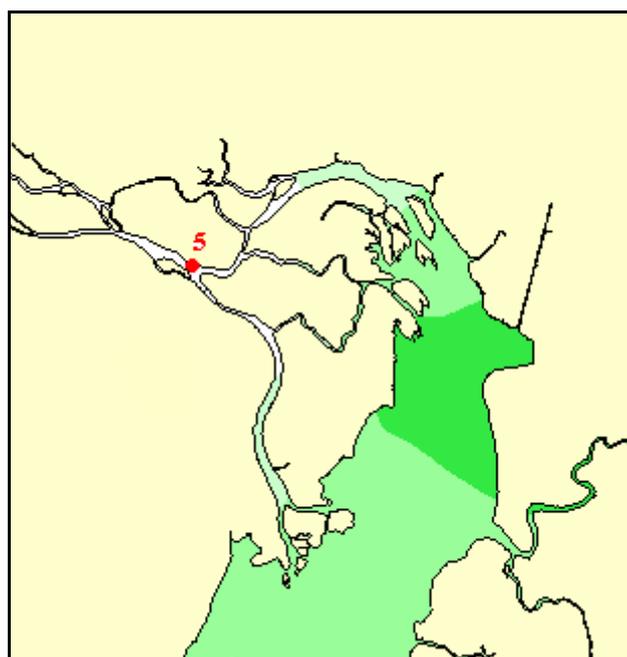


Figura 36: Detalhe da distribuição da salinidade obtidas no Cenário 3.

Para o Cenário 3 (maré de quadratura com vazões fluviais de estiagem), devido à baixa vazão fluvial, é possível verificar concentração de sal significativa na estação 5, localizada no Rio Santa Maria da Vitória.

Na Figura 37, observa-se que a salinidade máxima encontrada na estação 4 para este cenário foi de 0,0018, o que caracteriza água doce. No entanto, na estação 5, localizada no Rio Santa Maria da Vitória pode ser observada presença significativa de sal. De acordo com a Figura 38, a salinidade máxima encontrada na estação 5 para este cenário foi de 1,7, o que caracteriza água salobra (CONAMA, 357/2005).

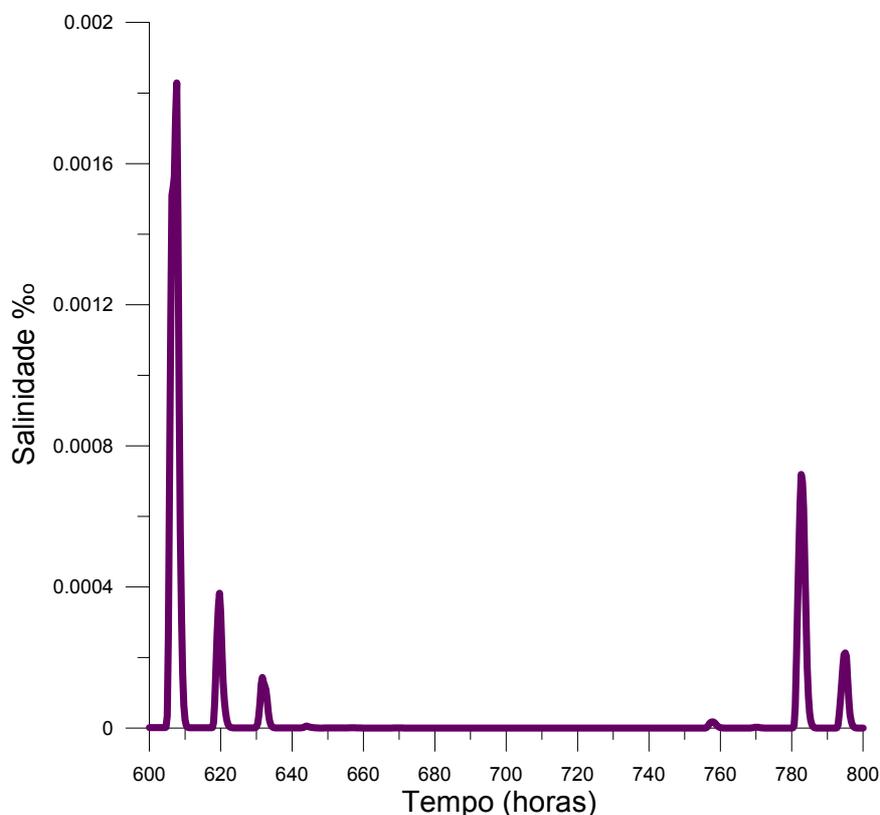


Figura 37: Distribuição da salinidade na Estação 4 para o Cenário 3.

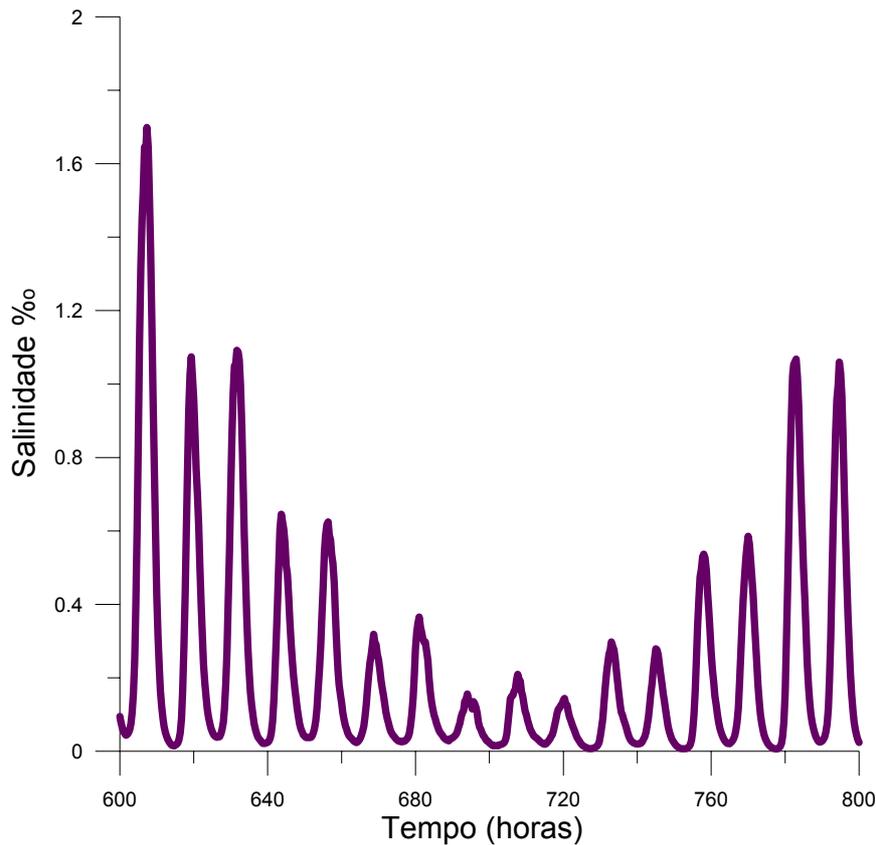


Figura 38: Distribuição da salinidade na Estação 5 para o Cenário 3.

Cabe ainda ressaltar que, quando considerados os cenários que utilizavam vazão fluvial de cheia a salinidade máxima encontrada na estação 5 não ultrapassa o limite máximo que classifica a água como doce. Para este cenário, que utiliza vazão fluvial de estiagem é possível verificar a existência de água salobra para a mesma estação.

As figuras 39 e 40 permitem classificar as águas da Baía de Vitória e do Rio Santa Maria da Vitória de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, quanto à sua concentração de sal. O instante de tempo analisado para obter esta classificação é o mesmo instante de tempo utilizado na análise da intrusão salina do cenário 3.

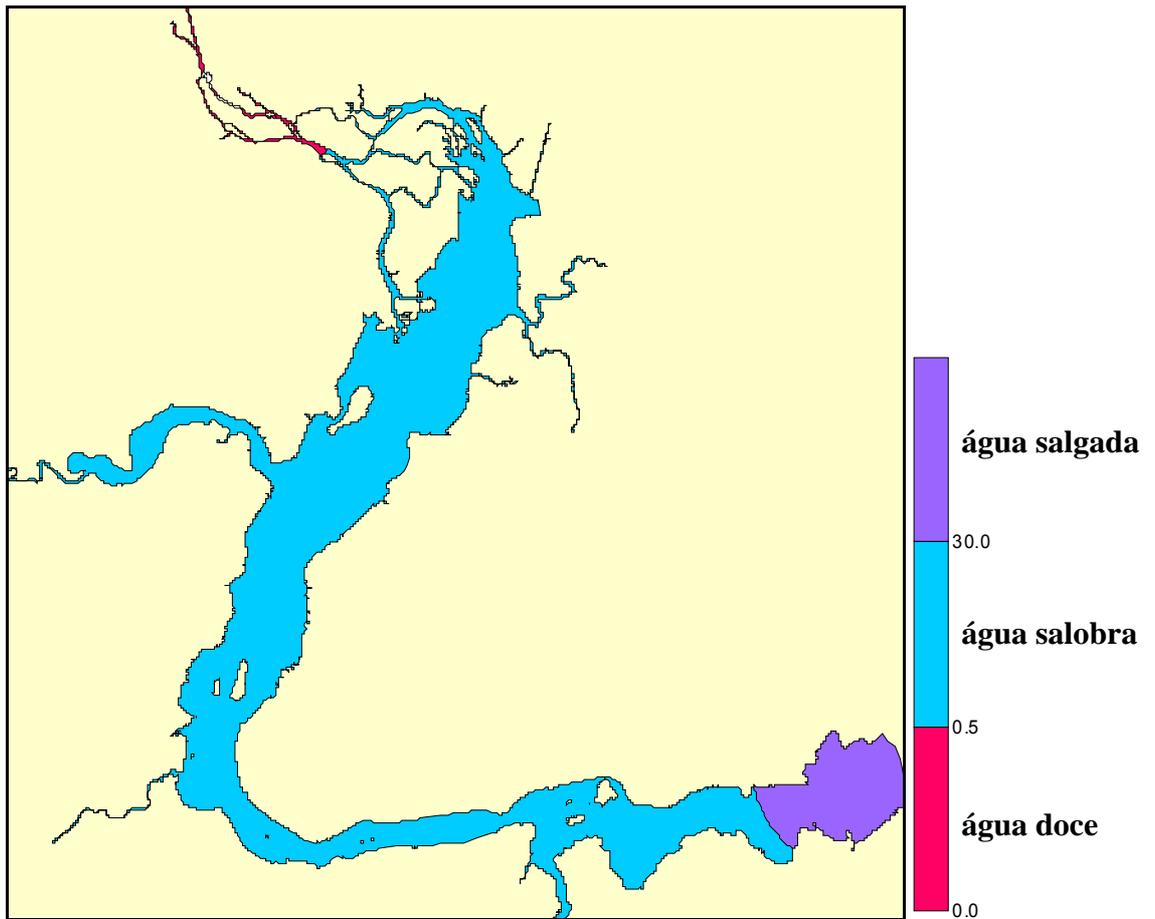


Figura 39: Classificação das águas do Cenário 3 de acordo com a Resolução CONAMA.

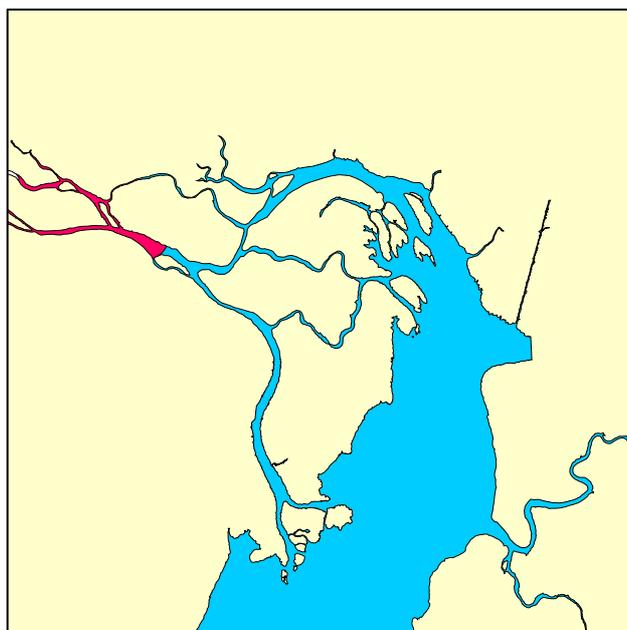


Figura 40: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Cenário 04 - Salinidade:

Para o Cenário 4 (maré de sizígia com vazões fluviais de estiagem), devido à baixa vazão fluvial e uma maior influência da maré, verifica-se uma concentração de sal significativa na estação 5, localizada no Rio Santa Maria da Vitória. Segundo a Resolução CONAMA a concentração de sal detectada nesta estação é suficiente para classificar a água como salobra.

Quando comparada com o cenário anterior, a salinidade máxima na estação 4 aumentou de 0,0018 para 0,065, enquanto que, para a estação 5, este valor passou de 1,7 para 3,1.

Dentre todos os cenários analisados, este foi o que apresentou uma maior penetração de sal para o rio Santa Maria da Vitória.

As figuras 41 e 42 permitem classificar as águas da Baía de Vitória e do Rio Santa Maria da Vitória de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, quanto à sua concentração de sal. O instante de tempo utilizado para a análise deste cenário, refere-se ao instante de tempo em que foi atingida a maior intrusão salina na estação 4 durante a maré de sizígia ($t= 906,5$ horas).

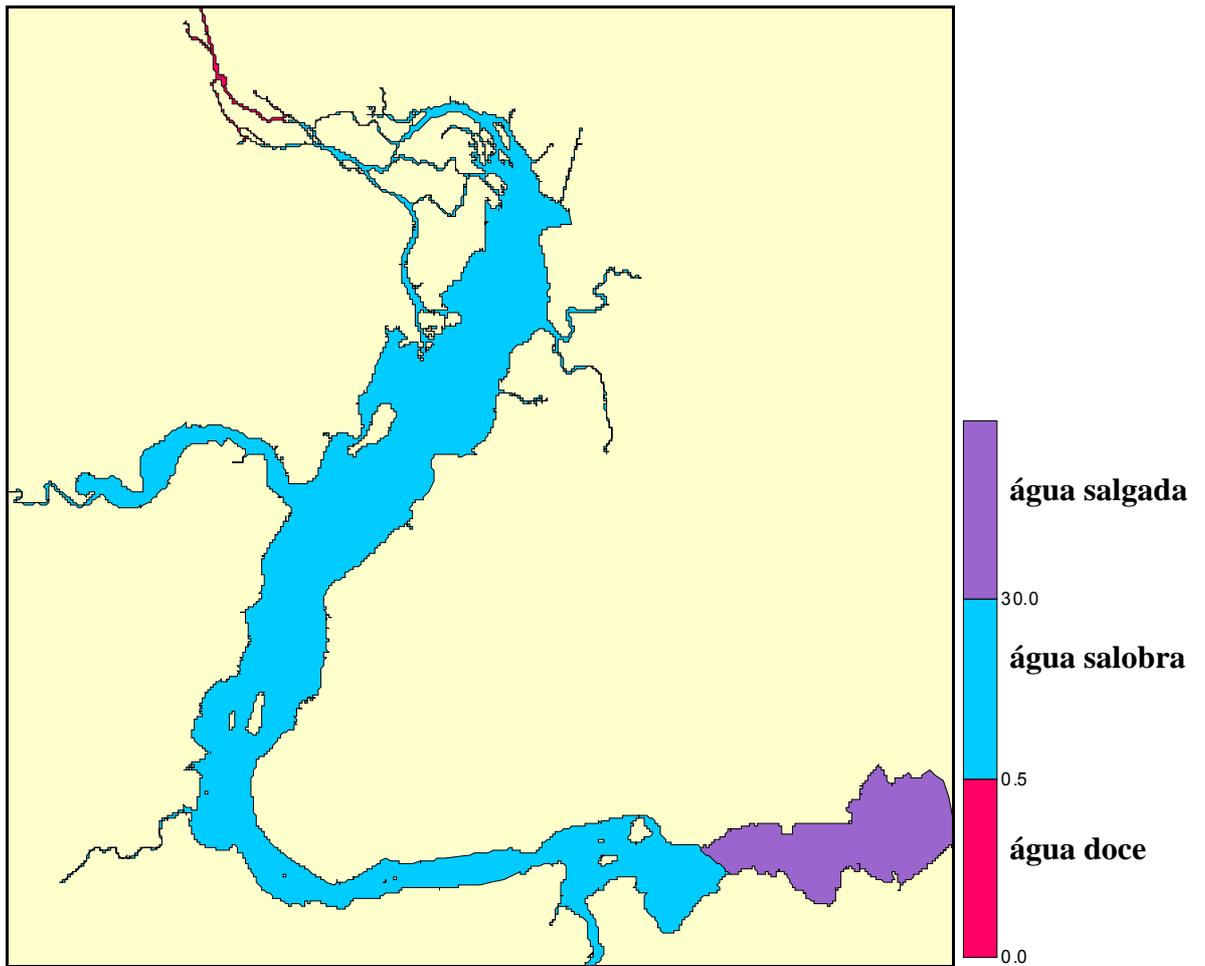


Figura 41: Classificação das águas do Cenário 4 de acordo com a Resolução CONAMA.

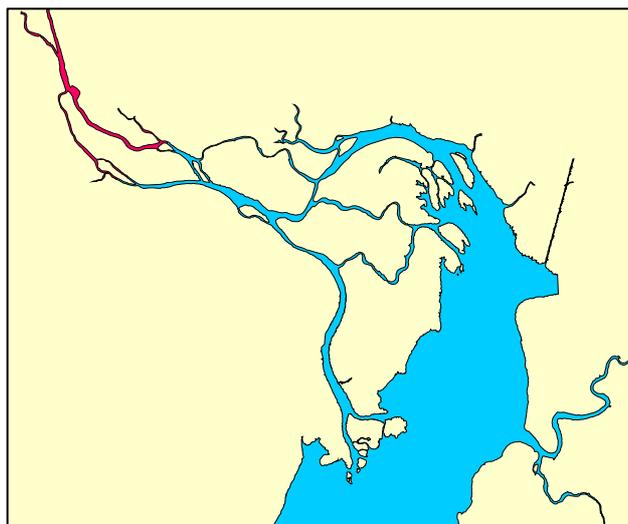


Figura 42: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Depois de realizada a análise dos diversos cenários observa-se que as maiores concentrações localizam-se próximas à entrada da baía e, como era de se esperar, as concentrações mais baixas de salinidade encontram-se na parte interior da baía, onde desemboca o rio Santa Maria da Vitória.

Ao deparar o Cenário 1 (maré de quadratura com vazão fluvial de cheia) com o Cenário 4 (maré de sizígia com vazão fluvial de estiagem), isto é, cenários que apresentam a menor e a maior intrusão salina, respectivamente, verifica-se que a vazão fluvial do rio associada as condições de maré determinam o limite da intrusão salina no rio Santa Maria da Vitória.

No entanto, ao comparar-se as figuras que permitem classificar as águas da Baía de Vitória e do Rio Santa Maria da Vitória, quanto à sua concentração de sal, de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, verifica-se que as águas da baía apresentam, para todos os cenários simulados, concentração referente a água doce apenas no rio Santa Maria da Vitória, água salobra desde sua desembocadura até o canal de acesso ao Porto de Vitória e água salgada apenas na entrada da Baía de Vitória, onde ocorre influência direta das águas oceânicas.

O acréscimo dos valores de salinidade em direção à foz do Rio Santa Maria mostram a crescente influência da cunha salina.

Além destas observações, verifica-se ainda que a cunha salina também penetra através do Canal da Passagem, considerada a segunda vertente de penetração da maré no estuário.

Como já citado anteriormente, as simulações cujos cenários visam analisar o limite da intrusão salina no estuário fizeram uso de concentração de 35 de sal na entrada da Baía de Vitória e 10 no Canal da passagem. No entanto, pode ocorrer uma variação deste parâmetro na entrada do Canal da Passagem ao considerarmos as diferentes condições hidrodinâmicas existentes.

Buscou-se então, variar a salinidade na entrada do Canal da Passagem, para avaliar a real influência de suas águas na intrusão salina das águas do rio

Santa Maria da Vitória, uma vez que os dados de salinidade para a região são escassos.

As figuras 43 e 44 apresentam simulações da intrusão salina que fizeram uso de salinidade com concentração de 10 e 20 na entrada do Canal da Passagem, respectivamente. Para tanto, utilizou-se as condições hidrodinâmicas do Cenário 4 (maré de sizígia com vazão fluvial de estiagem), de modo a representar a maior intrusão de sal nas águas da baía.

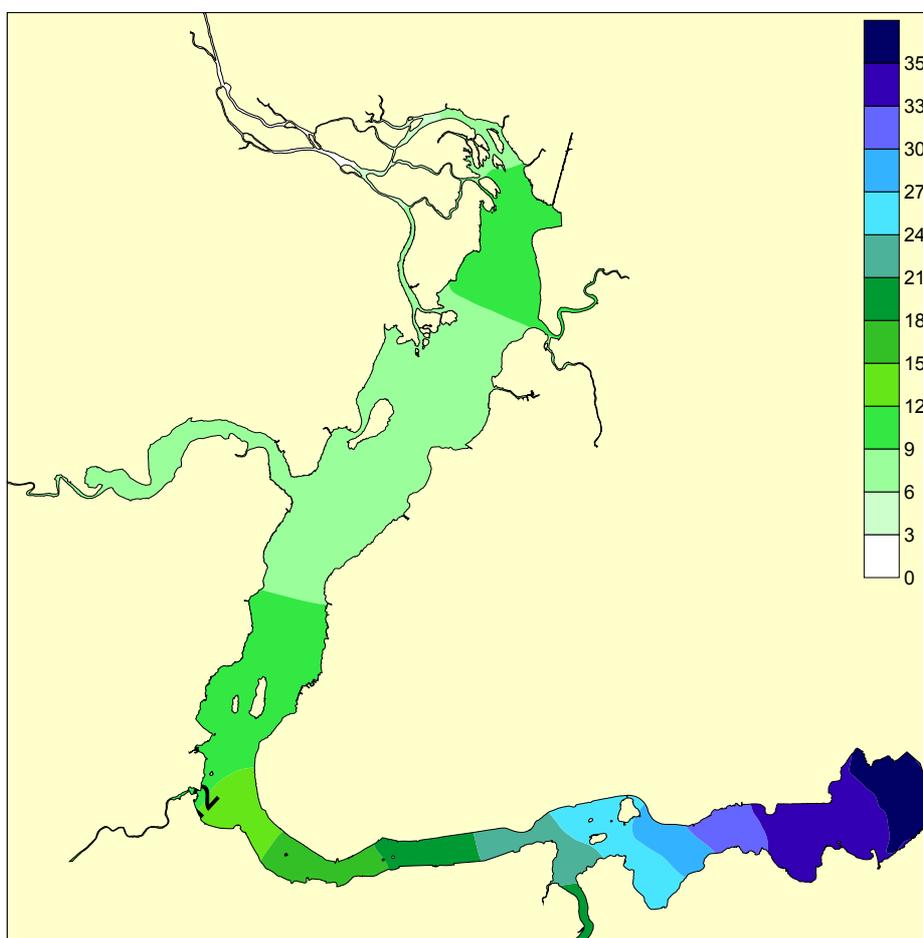


Figura 43: Distribuição da salinidade no Cenário 4 no instante de tempo $t = 906,5$ h. Concentração de sal no Canal da Passagem de 10.

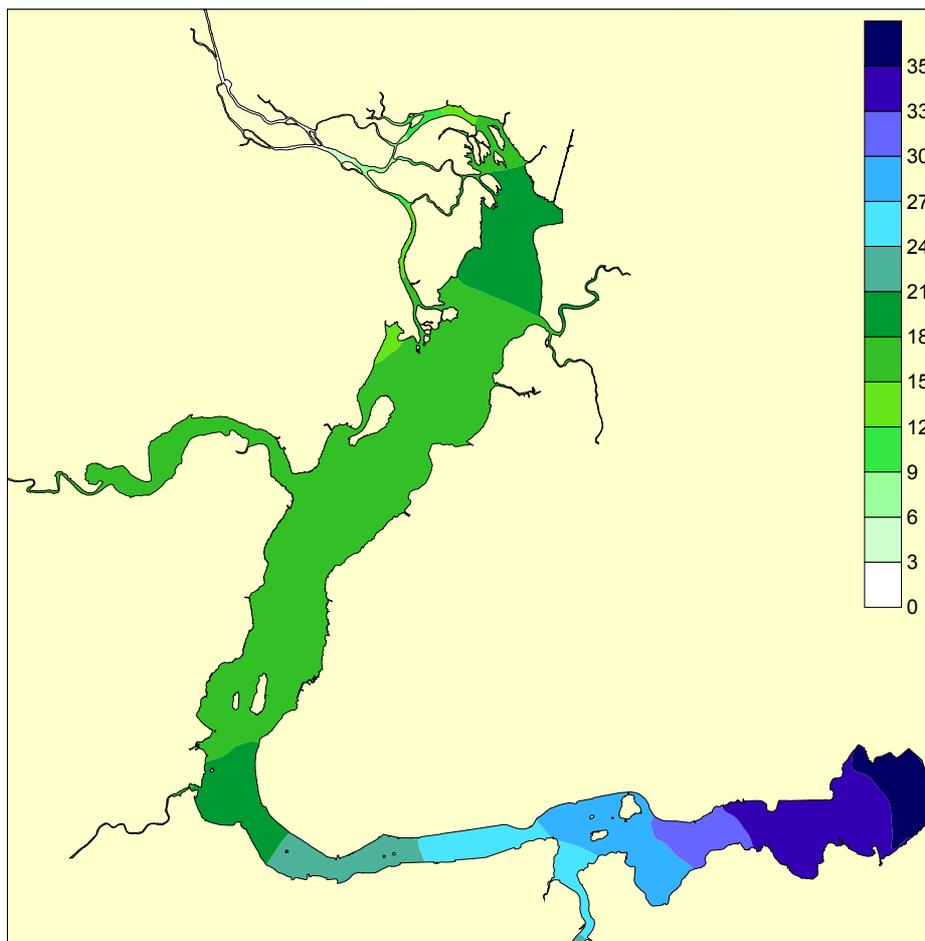


Figura 44: Distribuição da salinidade no Cenário 4 no instante de tempo $t = 906,5$ h.
Concentração de sal no Canal da Passagem de 20 .

A figura 45 permite classificar a figura acima (figura 44), de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005, quanto à sua concentração de sal.

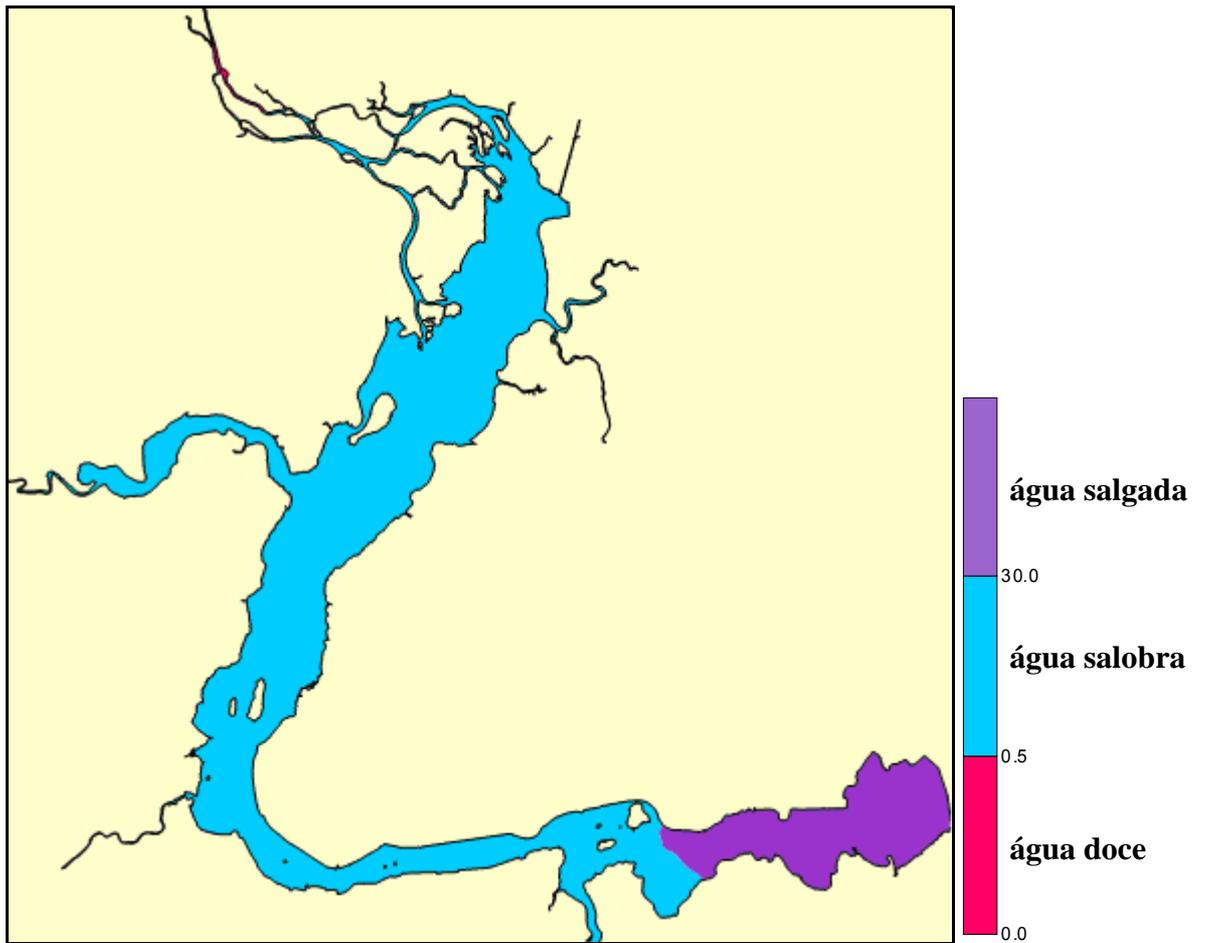


Figura 45: Classificação das águas do Cenário 4 de acordo com a Resolução CONAMA.



Figura 46: Detalhamento da classificação das águas na região próxima a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória.

Comparando os resultados das simulações obtidas considerando concentrações de 10 e 20 de sal na entrada do Canal da Passagem, observa-se que as águas advindas do Canal da Passagem exercem uma considerável influência sob as águas da Baía de Vitória. No entanto, ao contrário do que se previa, as águas provenientes do Canal da Passagem pouco ou nada influenciam no limite da intrusão salina no Rio Santa Maria da Vitória.

Verifica-se também que, a medida que ocorre um aumento na salinidade das águas provenientes desta região, eleva-se a concentração das águas no interior da Baía de Vitória até a foz do rio. No entanto, mostram mudanças quase que insignificantes na pluma do Rio Santa Maria da Vitória.

Cabe ressaltar que esta influência aumenta quando associada à períodos que contemplam maré de sizígia.

Comparando as figuras que classificam as águas de acordo com a concentração de sal, utilizando 10 e 20 de sal na entrada do Canal da Passagem, figura 41 e 45, respectivamente, observa-se que, mesmo aumentando os valores de salinidade no interior do estuário à medida que aumenta a concentração de sal na entrada do Canal da Passagem, não se observa mudanças relevantes na classificação das águas, uma vez que a água salobra é encontrada até a região da foz do rio Santa Maria da Vitória.

5.3.2. LANÇAMENTO DE CONSTITUINTE CONSERVATIVO NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

Além da análise do comportamento da intrusão salina, também foi simulada a pluma de um soluto conservativo lançado continuamente, para identificar os possíveis impactos sobre a qualidade de água da Baía de Vitória.

As simulações realizadas permitiram visualizar a pluma que representa o espalhamento do soluto lançado à partir da condição de contorno fechada do rio Santa Maria da Vitória, localizada a montante da estação 1 (Figura 24).

As figuras 47 a 55 apresentam a evolução temporal da pluma do constituinte conservativo lançado com concentração de 100 mg/l, fazendo uso de cenário que utiliza vazão afluyente de estiagem igual a 6 m³/s para o rio Santa Maria da Vitória.

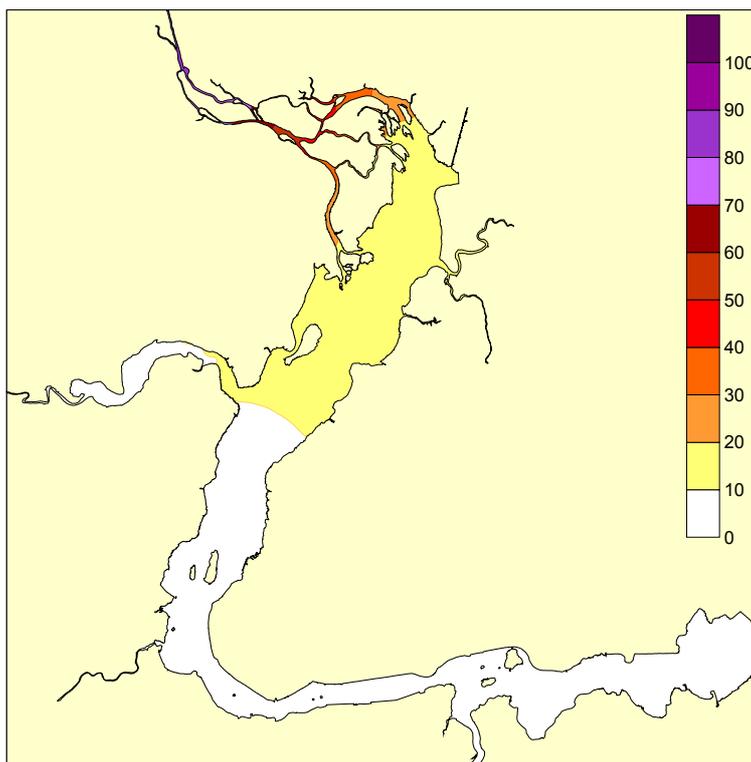


Figura 47: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 5 dias do início do lançamento.

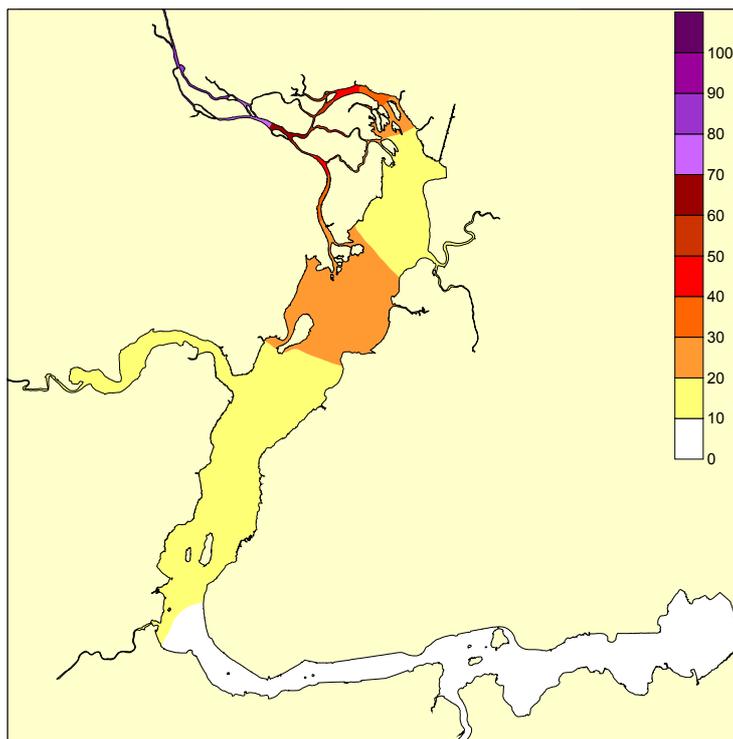


Figura 48: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 10 dias do início do lançamento.

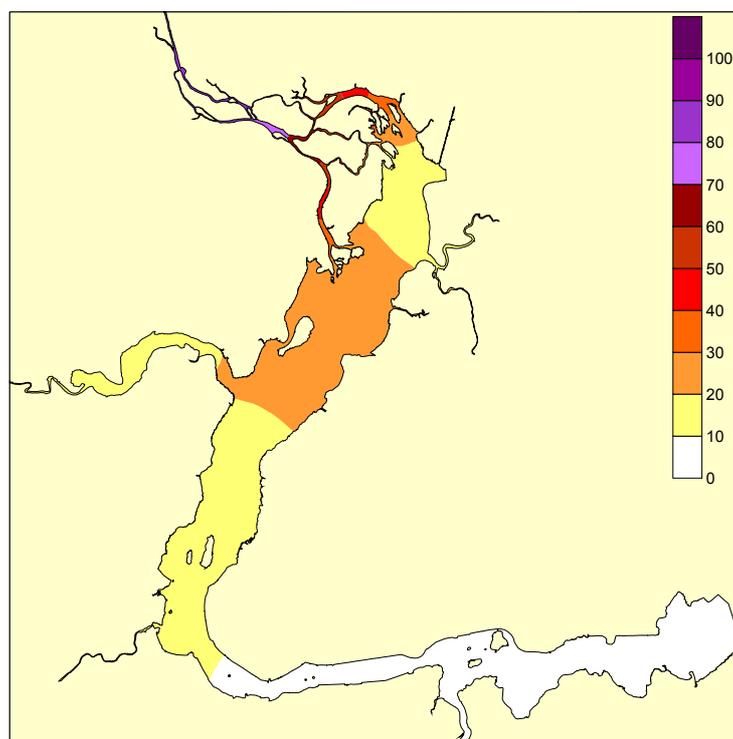


Figura 49: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 15 dias do início do lançamento.

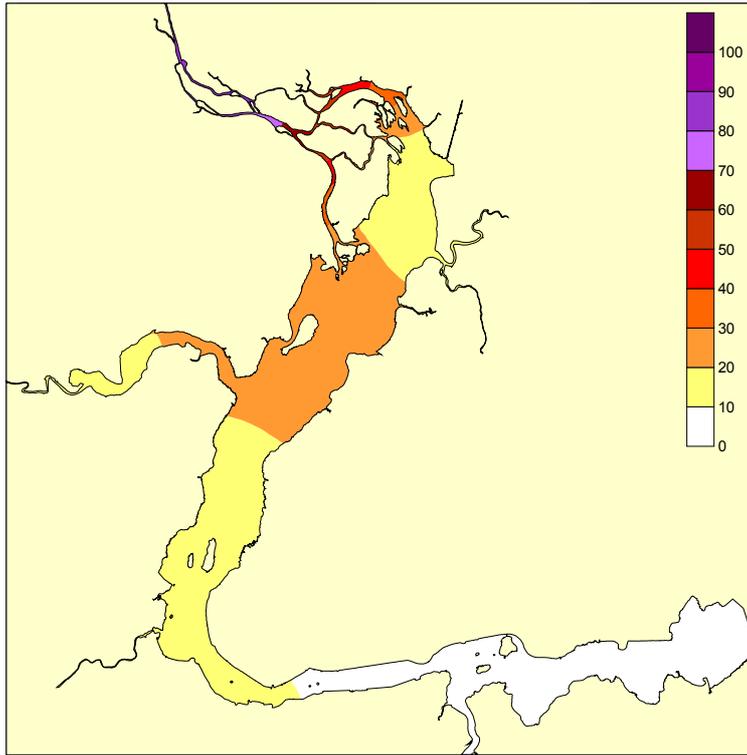


Figura 50: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 20 dias do início do lançamento.

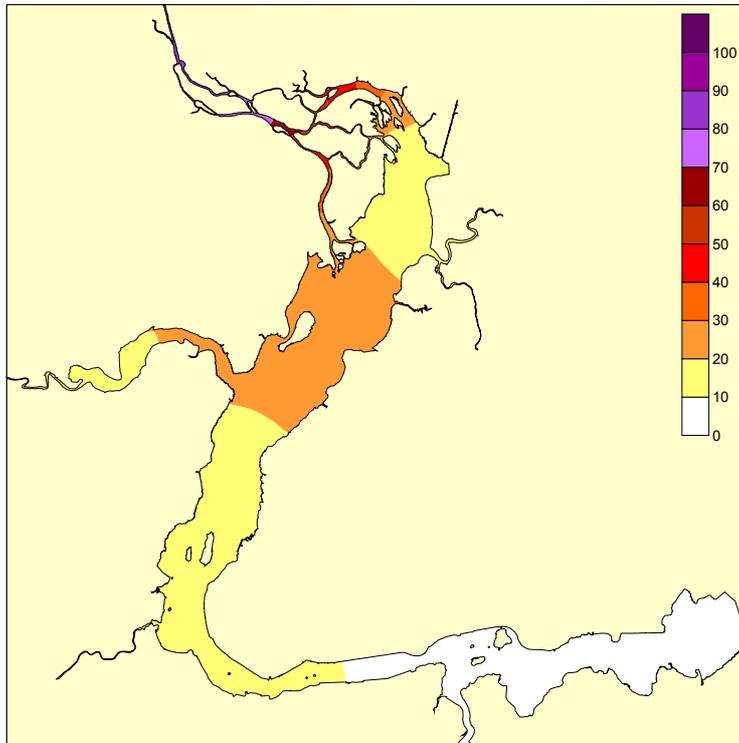


Figura 51: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 25 dias do início do lançamento.

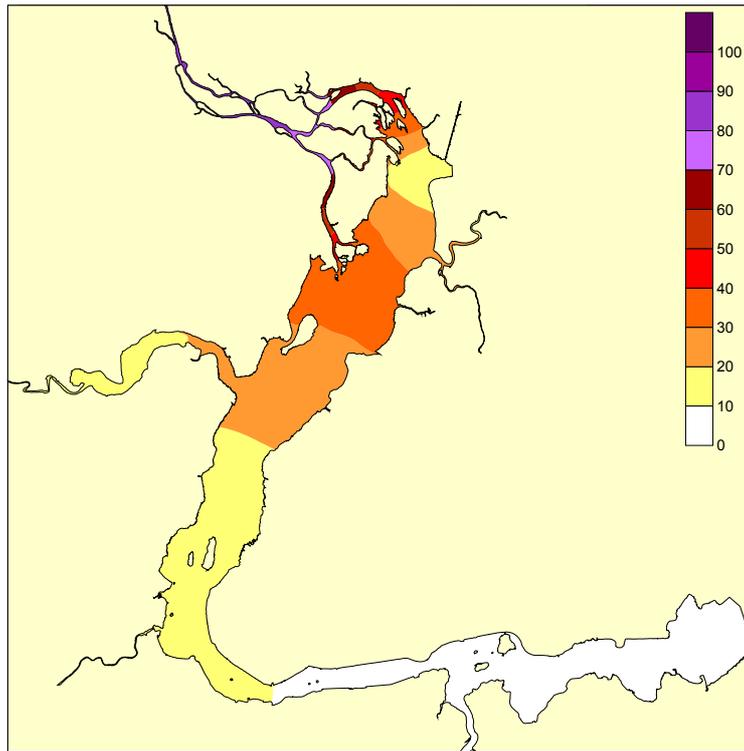


Figura 52: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 30 dias do início do lançamento.

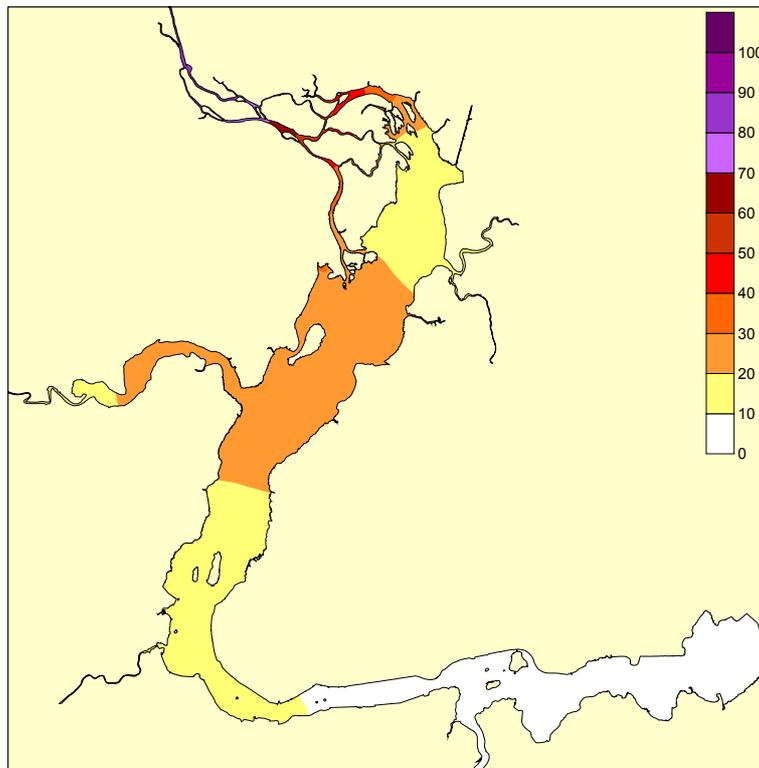


Figura 53: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 35 dias do início do lançamento.

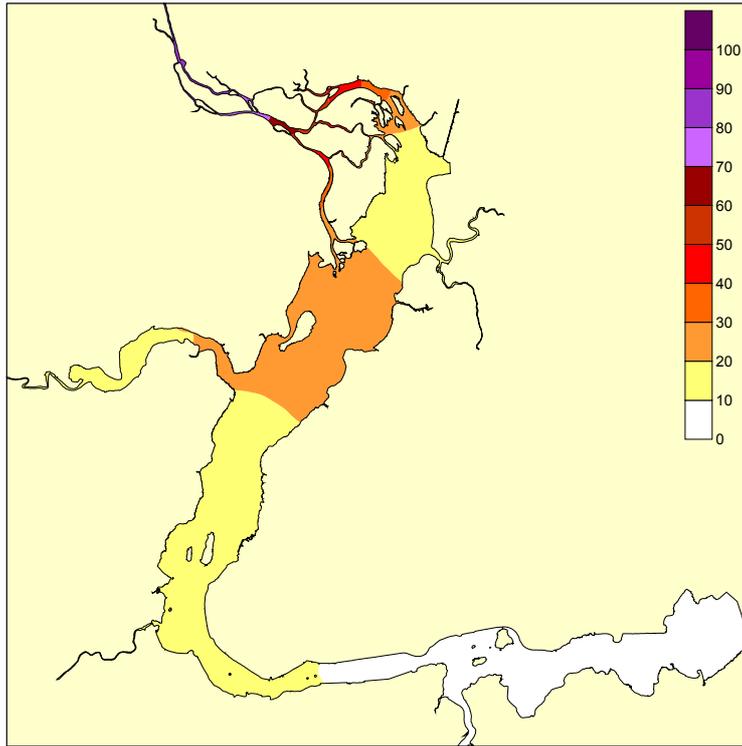


Figura 54: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 40 dias do após início do lançamento.

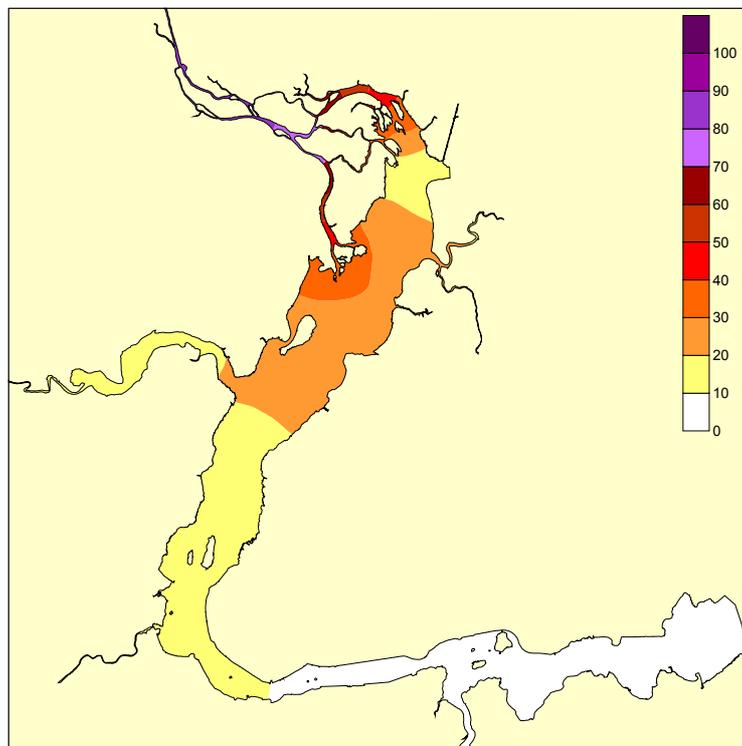


Figura 55: Concentrações (mg/l) obtidas para o final da maré enchente depois de decorrido aproximadamente 45 dias do início do lançamento.

Todos os instantes da onda de maré mostradas na evolução temporal acima, correspondem a períodos de preamar, isto é, o instante em que maré passa de enchente para vazante.

Foram feitas simulações durante 46 dias e verificou-se que, o espalhamento do soluto no interior da baía se estabiliza em torno de 15 a 20 dias, mostrando concentrações mais elevadas na parte interior da baía, onde desemboca o rio Santa Maria da Vitória. As menores concentrações de soluto são encontradas em direção ao mar.

A variação da concentração no interior do estuário, depois que o espalhamento do soluto se estabiliza, pode ser atribuída, principalmente, à variação da maré utilizada como condição de contorno, uma vez que o período simulado engloba períodos de maré de sizígia e quadratura.

5.3.2.1. CORRELAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS COM AS CONCENTRAÇÕES GERADAS NO INTERIOR DO ESTUÁRIO.

Ao realizar o lançamento contínuo de um constituinte conservativo, buscou-se também correlacionar as condições de vazão fluvial afluente e marés existentes com as concentrações geradas na região do estuário da Baía de Vitória.

Para tanto, foram realizadas simulações hidrodinâmicas utilizando os quatro diferentes cenários descritos no item 5.3.

Estas simulações consideraram o lançamento do constituinte conservativo à partir da condição de contorno implementada no rio, com concentração de 100 mg/l para os cenários que fizeram uso de vazão fluvial de estiagem igual a 6,0 m³/s e, concentração de 28,6 mg/l para os cenários que utilizaram vazão fluvial de cheia igual a 21,0 m³/s, de modo à manter o fluxo de massa constante, uma vez que a concentração é função da vazão. Na entrada do Canal da Passagem foi considerado para todos os cenários, concentração de 10 mg/l.

Foram simulados pelo modelo hidrodinâmico e pelo modelo de transporte euleriano períodos de 46 dias, a fim de representar períodos que englobam marés de sizígia e quadratura.

O início do lançamento coincidiu com o início da simulação do modelo hidrodinâmico, ou seja, a preamar.

A análise dos cenários é realizada considerando instantes de preamar e baixamar da maré utilizada como condição de contorno, uma vez que são estes os instantes de tempo que apresentam as concentrações mais significativas.

A escala de diluição apresentada corresponde a razão entre a concentração do constituinte observada sobre a concentração do constituinte lançado, subtraída da unidade e multiplicada por 100.

Cenário 01 – Constituinte Conservativo:

Neste cenário (maré de quadratura com vazões fluviais de cheia), observa-se que, durante a enchente (figura 56), a qualidade da água encontrada na Baía de Vitória nas proximidades da desembocadura do rio Santa Maria apresentou melhores condições, com diluição do soluto na ordem de 40%, enquanto que na maré vazante esta diluição não ultrapassou os 30% (figura 58).

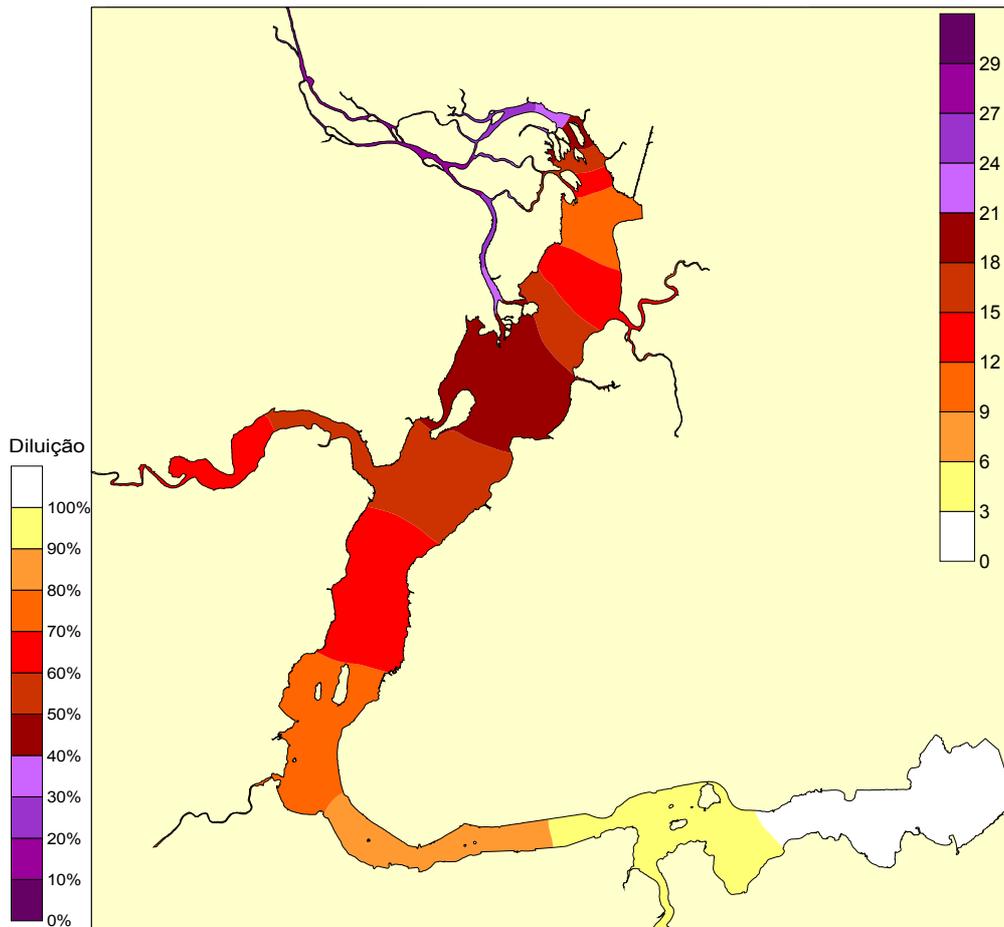


Figura 56: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de quadratura no Cenário 1 no instante de tempo $t = 782,33$ h (preamar).

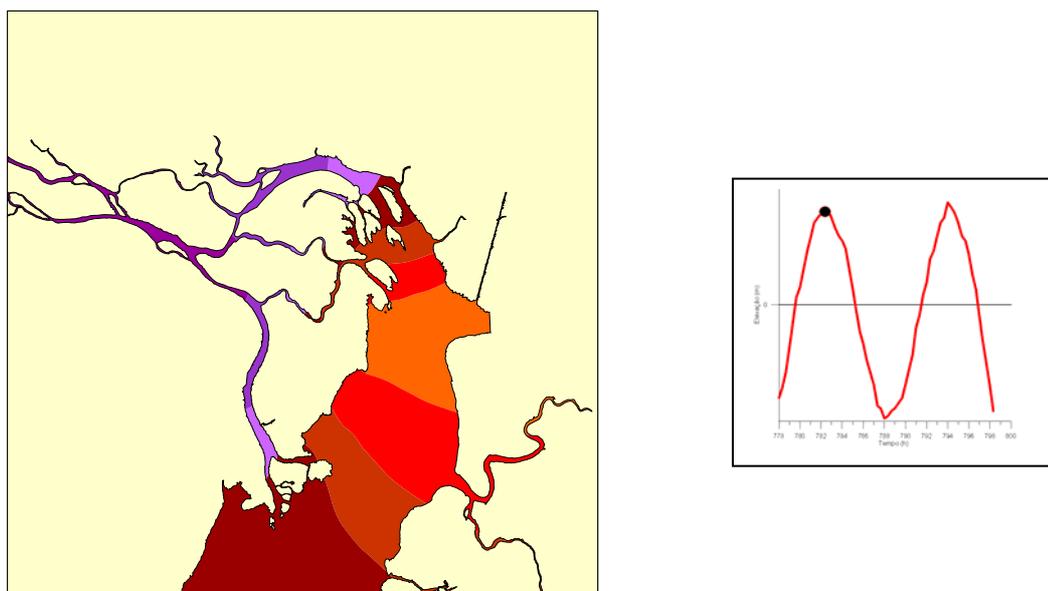


Figura 57: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 782,33$ horas (preamar).

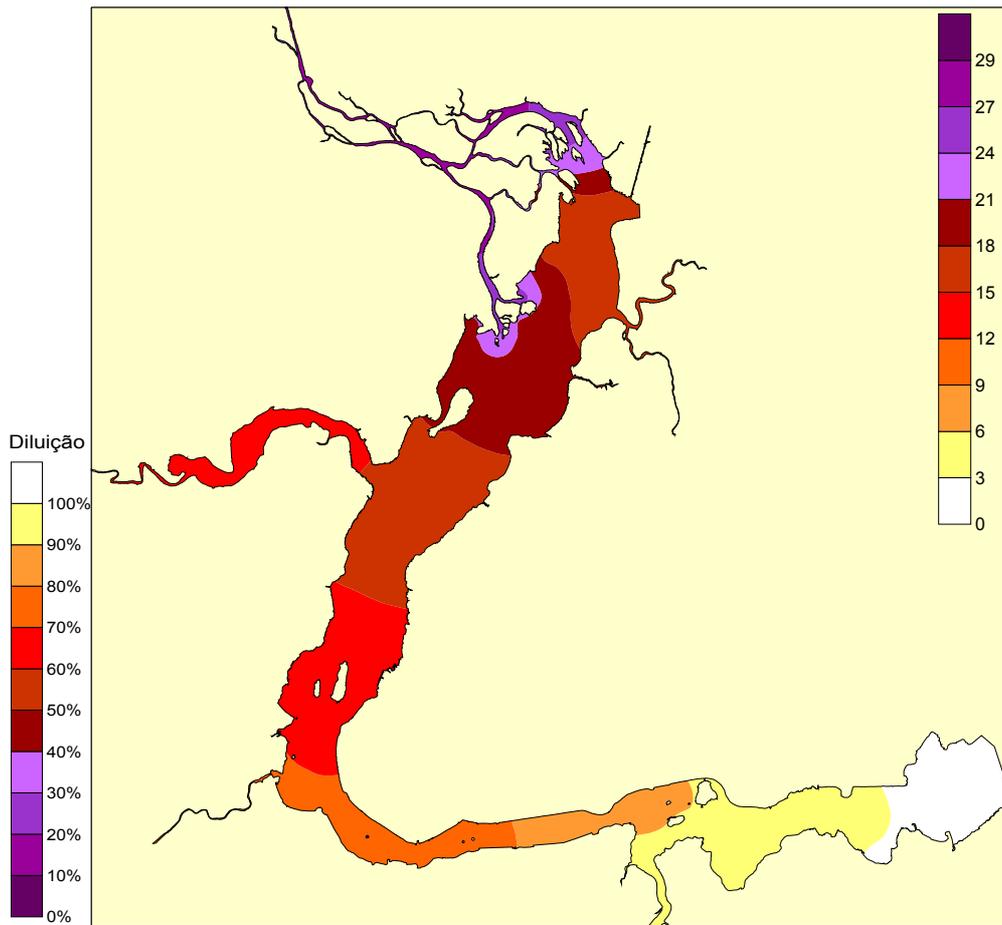


Figura 58: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de quadratura no Cenário 1 no instante de tempo $t = 788,00$ h (baixamar).

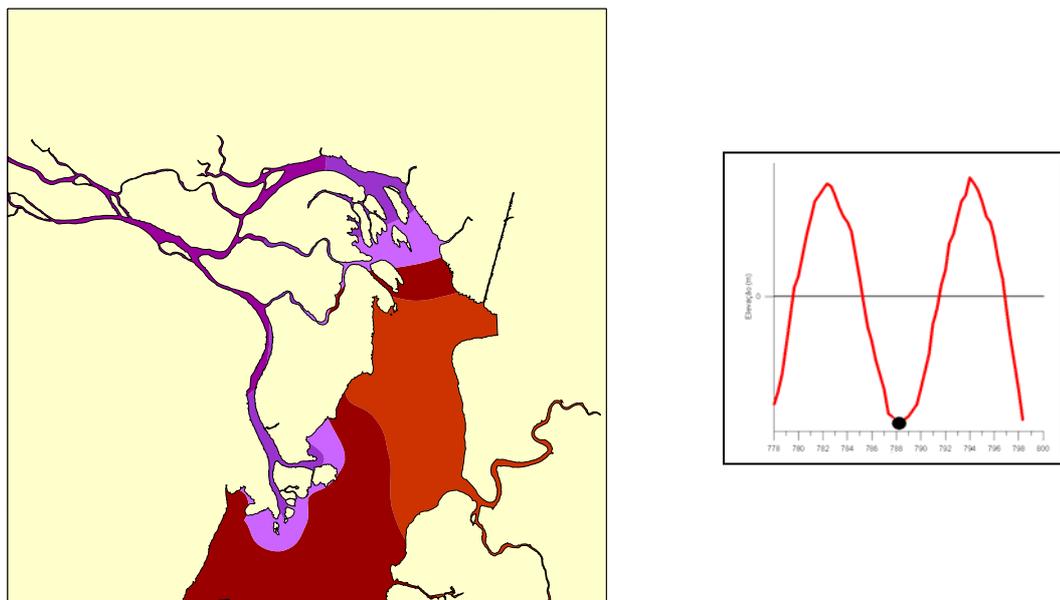


Figura 59: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 788,00$ horas (baixamar).

Cenário 02 – Constituinte Conservativo:

Este cenário (maré de sizígia com vazões fluviais de cheia) apresenta as melhores condições de qualidade da água encontrada para a Baía de Vitória dentre todos os cenários simulados (figura 60).

Quando comparada com o cenário anterior (figura 56), pode-se dizer que a qualidade da água encontrada durante a maré de sizígia apresenta melhores condições do que a verificada durante a maré de quadratura.

Isto se deve ao fato de que o volume de água armazenado dentro do estuário durante a sizígia é mais significativo do que na quadratura, além de apresentar velocidades mais expressivas, contribuindo assim, com a dispersão do soluto na baía.

A diluição do soluto na região da desembocadura do rio Santa Maria durante a maré enchente encontra-se em torno 50% (figura 60), enquanto que na maré vazante esta diluição é da ordem de 30% (figura 62).

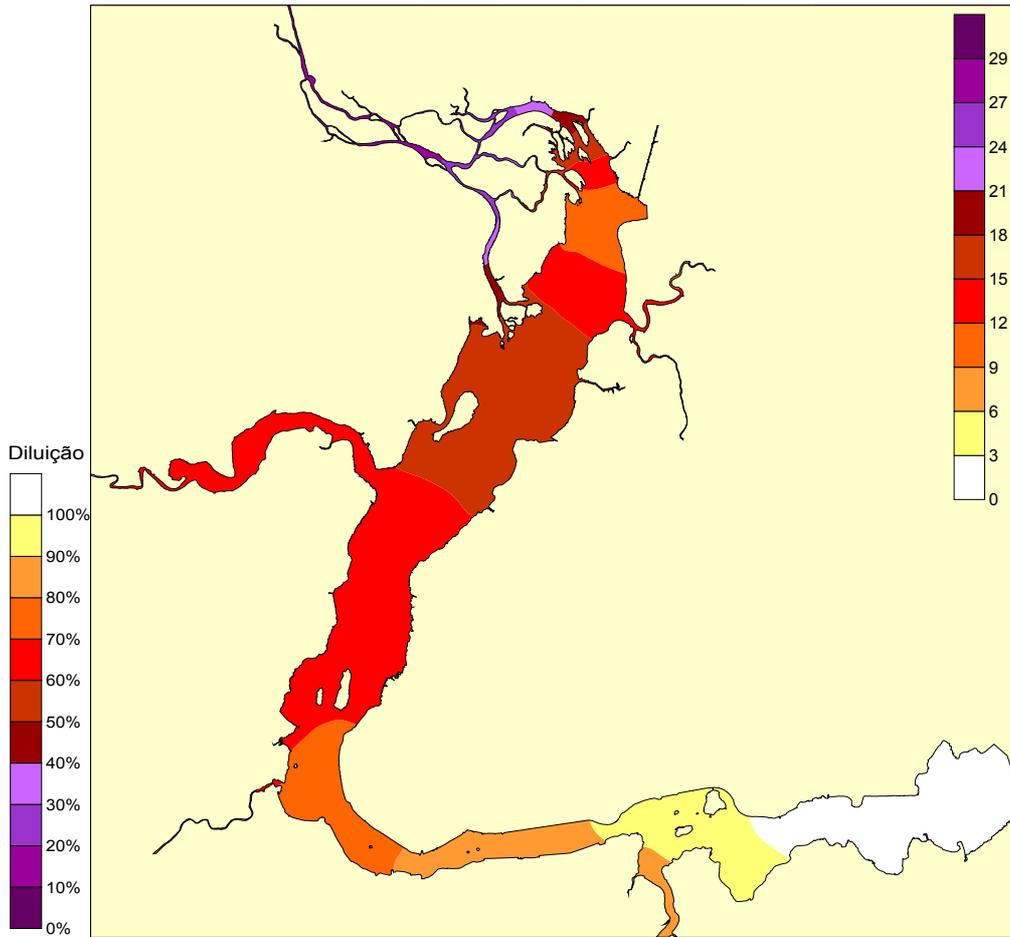


Figura 60: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de sizígia no Cenário 2 no instante de tempo $t = 917,0$ h (preamar).

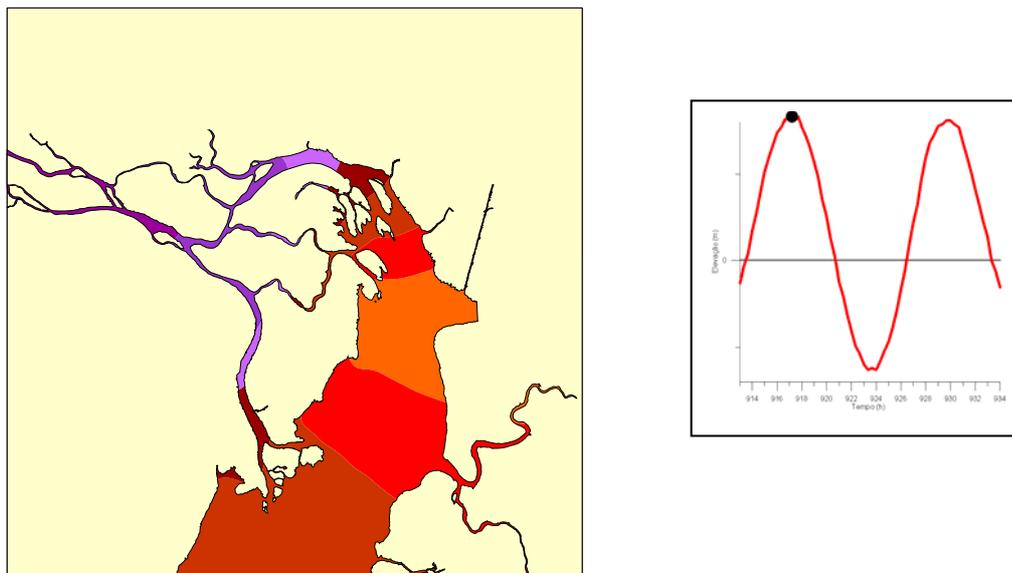


Figura 61: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 917,0$ horas (preamar).

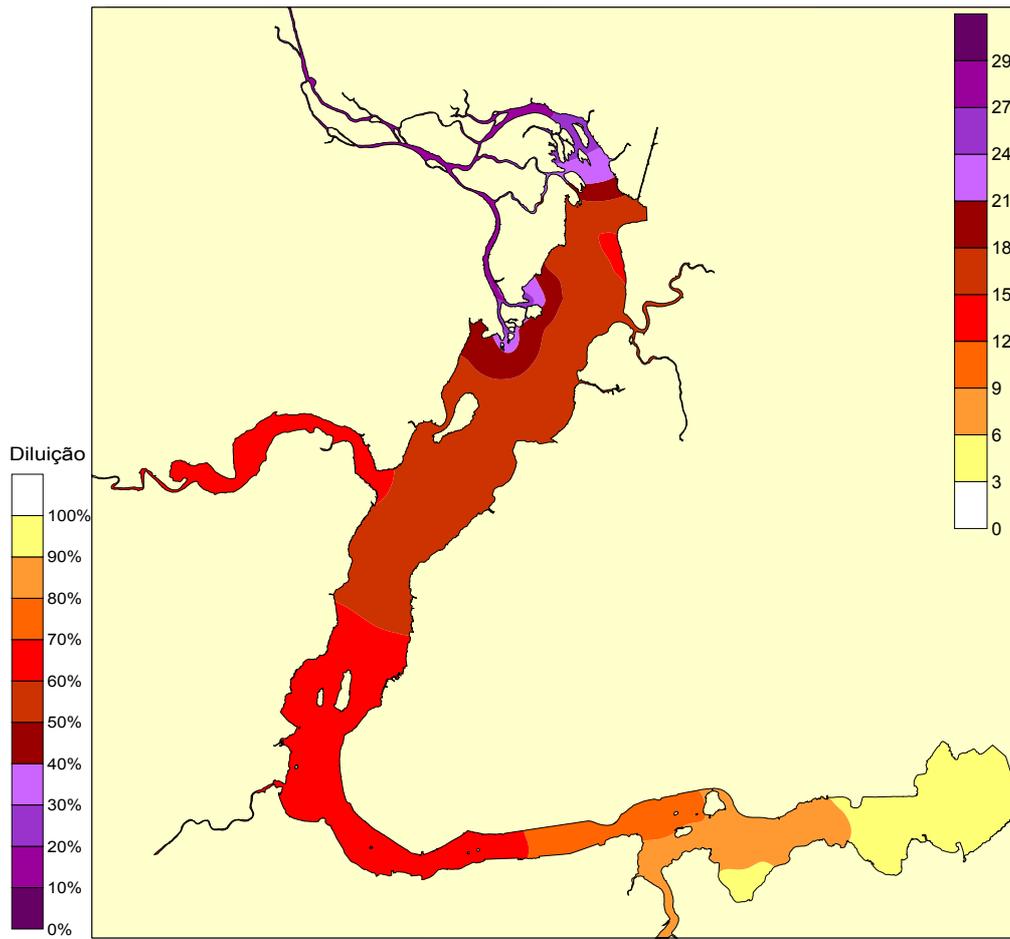


Figura 62: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de sizígia no Cenário 2 no instante de tempo $t = 923,33$ h (baixamar).

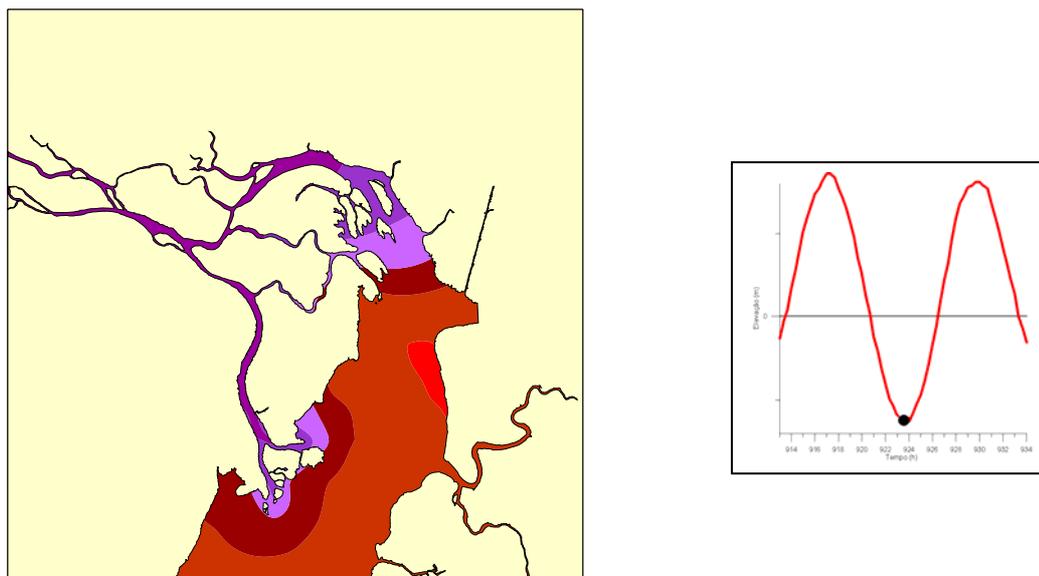


Figura 63: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 923,33$ horas (baixamar).

Cenário 03 – Constituinte Conservativo:

Neste cenário (maré de quadratura com vazões fluviais de estiagem), também se observa que, a qualidade da água encontrada na Baía de Vitória apresenta melhores condições durante a enchente (figura 64). Porém, quando comparada com o cenário 1 (figura 56), pode-se afirmar que a qualidade da água encontrada durante a maré de quadratura apresenta melhores condições quando associada a vazão fluvial de cheia.

A diluição do soluto na região da desembocadura do rio Santa Maria durante a maré enchente encontra-se em torno 70% (figura 64), enquanto que na maré vazante esta diluição é da ordem de 60% (figura 66).

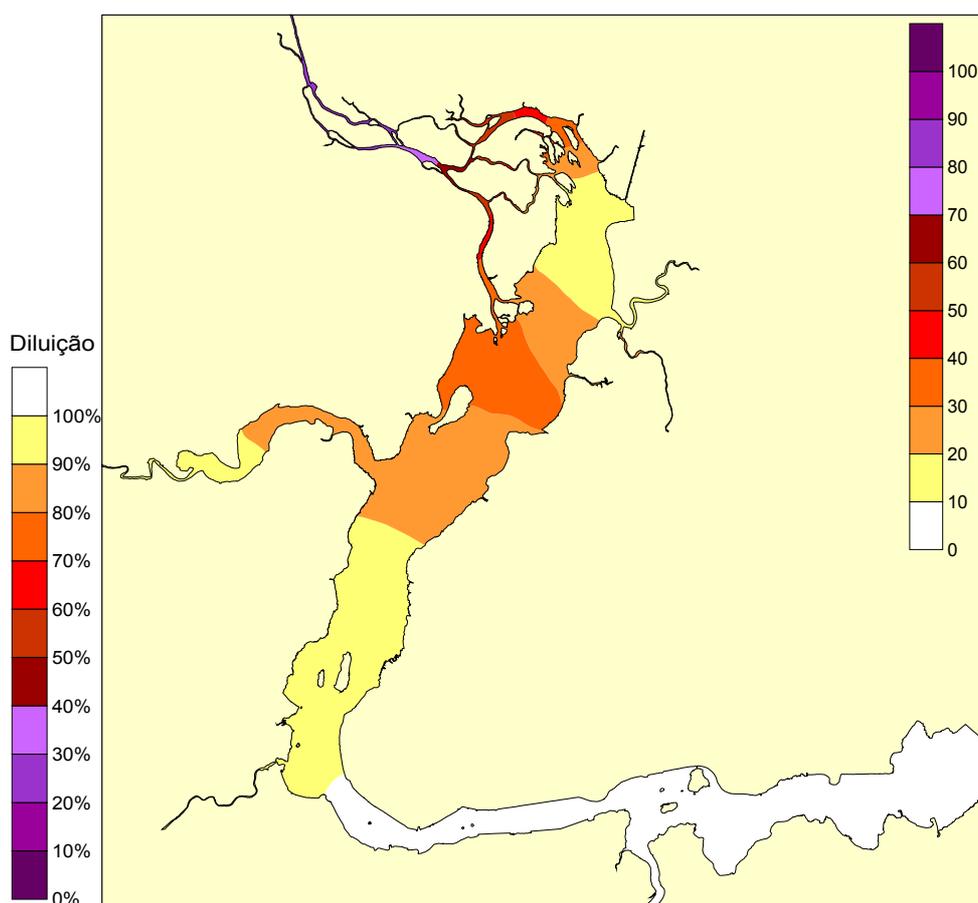


Figura 64: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de quadratura no Cenário 3 no instante de tempo $t = 782,33$ h (preamar).

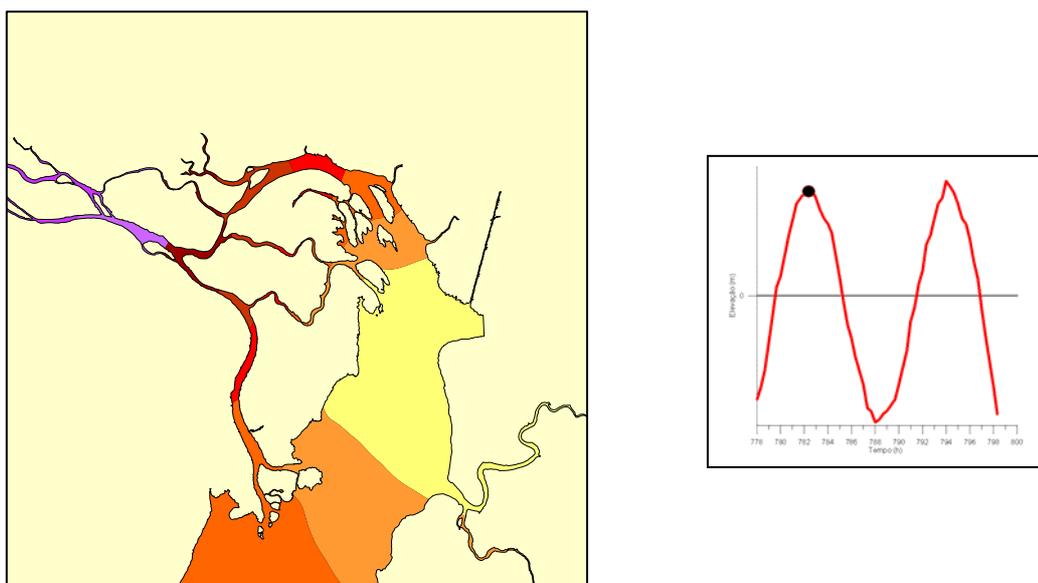


Figura 65: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 782,33$ horas (preamar).

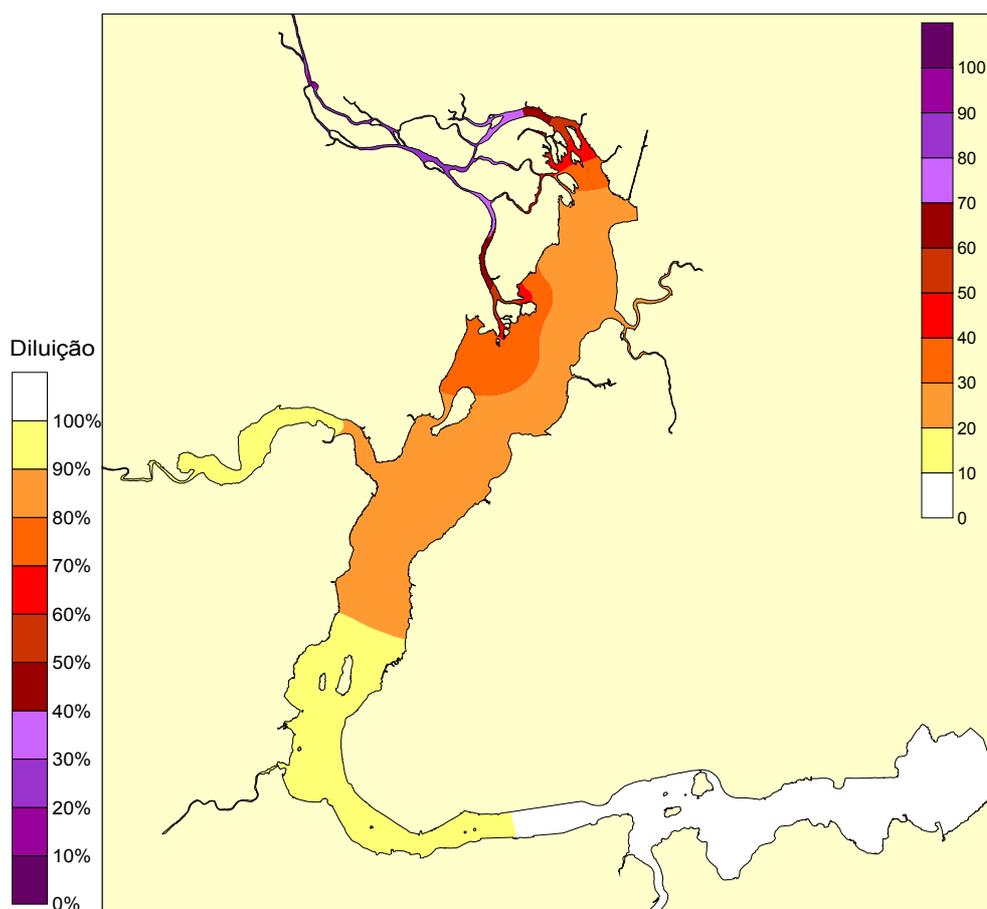


Figura 66: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de quadratura no Cenário 3 no instante de tempo $t = 788,00$ h (baixamar).

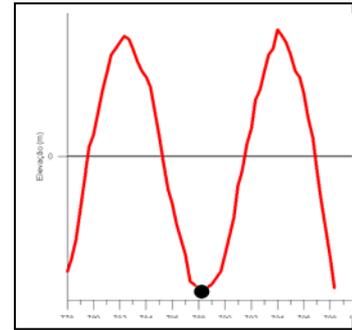
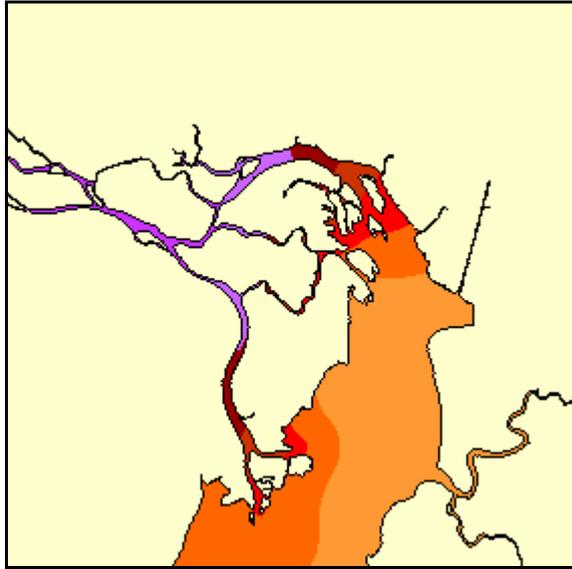


Figura 67: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 788,00$ horas (baixamar).

Cenário 04 – Constituinte Conservativo:

Ao realizar a análise deste cenário (maré de sizígia com vazões fluviais de estiagem), observa-se que, quando comparado com o cenário 3 (figuras 64 e 66), a qualidade da água encontrada durante a maré de sizígia apresenta melhores condições do que a verificada durante a maré de quadratura e, quando comparado com o cenário 2 (figuras 60 e 62), pode-se afirmar que a qualidade da água encontrada durante a maré de sizígia apresenta melhores condições quando associada a vazão fluvial de cheia.

Neste cenário, a diluição do soluto na região da desembocadura do rio Santa Maria durante a maré enchente encontra-se em torno 80% (figura 68), enquanto que na maré vazante esta diluição é da ordem de 60 a 70% (figura 70).

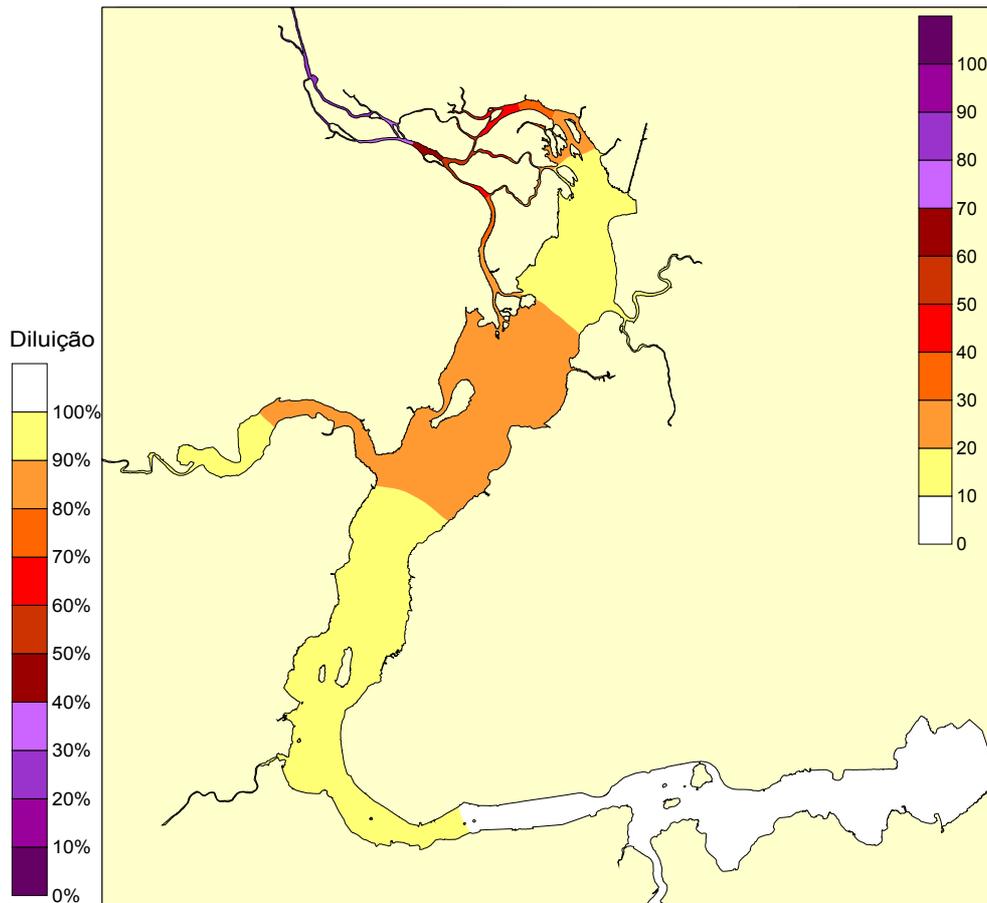


Figura 68: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de sizígia no Cenário 4 no instante de tempo $t = 917,0$ h (preamar).

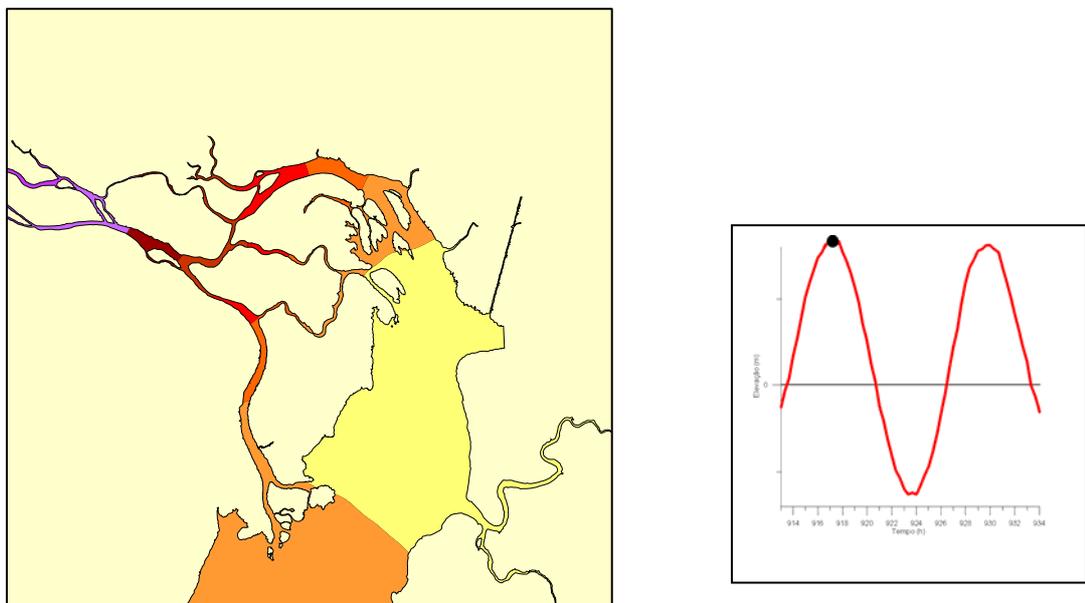


Figura 69: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 917,0$ horas (preamar).

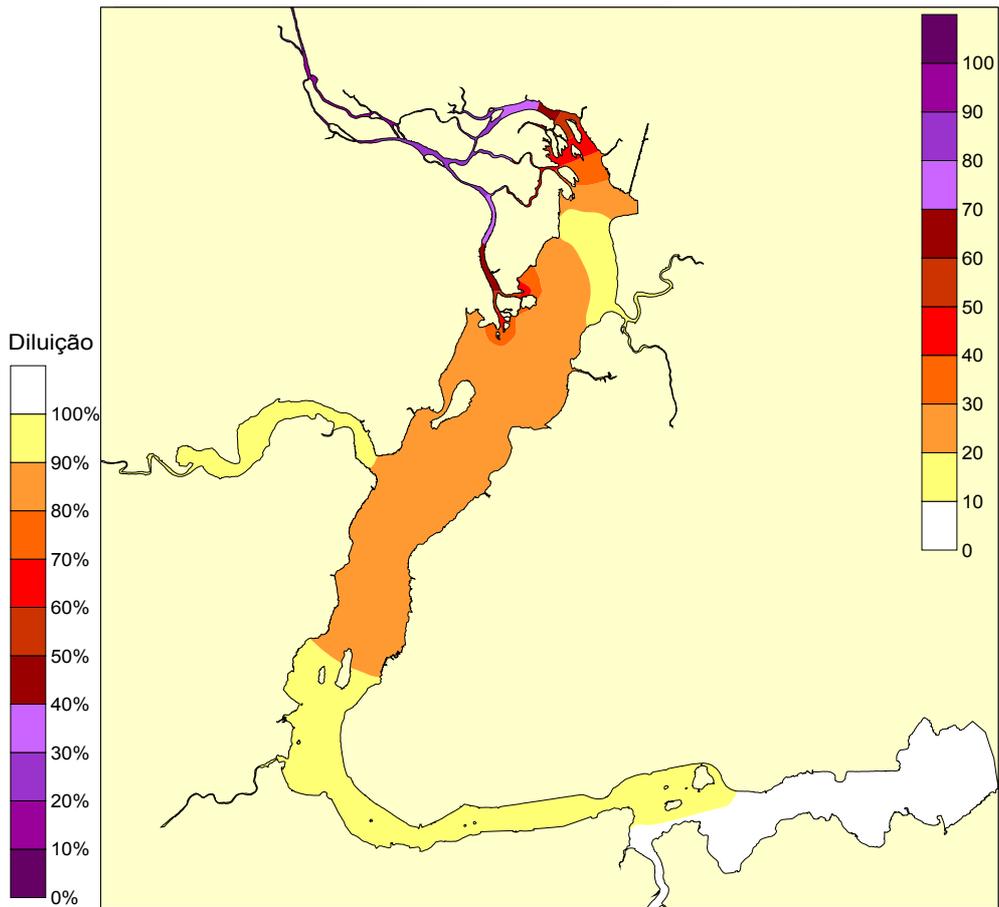


Figura 70: Concentrações (mg/l) obtidas para a maré de sizígia no Cenário 4 no instante de tempo $t = 923,33$ h (baixamar).

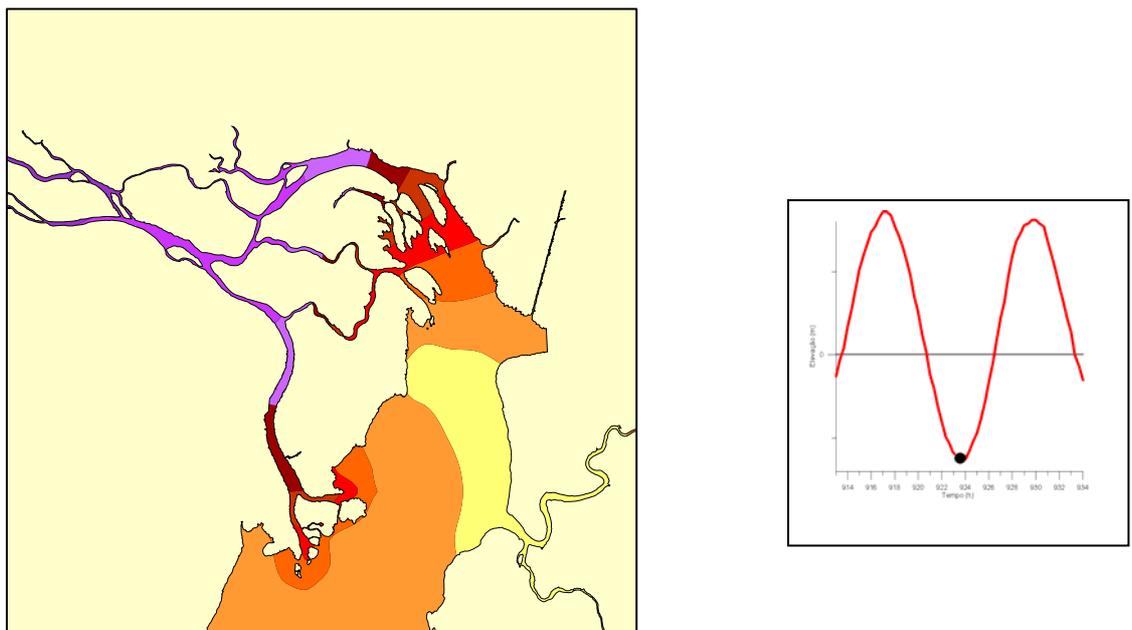


Figura 71: Detalhe do campo de concentrações obtido para o tempo $t = 923,33$ horas (baixamar).

Durante as simulações realizadas, o soluto lançado encontrou-se em menores concentrações na maré enchente do que os verificados durante a maré vazante em toda a baía. Isto se deve ao fato de que, na enchente, ocorre inversão de correntes, que significa a retenção do rio pela força da maré, enquanto que, na vazante, as velocidades de corrente são bem superiores, com a contribuição do rio represado durante a enchente, o que contribui com o espalhamento do soluto na baía.

As simulações mostraram que o espalhamento do soluto é dependente das condições de circulação de água existente na região.

No interior do estuário, pode ser verificada uma maior concentração do soluto lançado para os cenários que englobam maré de quadratura. Este fato pode ser atribuído a uma menor interação das águas provenientes do mar com as águas afluentes do rio Santa Maria da Vitória, uma vez que a carga ejetada é a mesma para ambos os cenários.

Também foi observada uma maior concentração do soluto lançado nos cenários que utilizaram vazão fluvial de estiagem, uma vez que ocorre maior diluição das concentrações nas maiores vazões.

Depois de realizada a análise dos diversos cenários, verifica-se que os resultados mais desfavoráveis, quanto à qualidade das águas, podem ser correlacionados a situações que englobam maré de quadratura associada a vazão fluvial de estiagem.

A diluição da concentração encontrada para os cenários que fizeram uso de vazão fluvial de estiagem, apresenta valores mais elevados se comparada aos cenários que utilizaram vazão fluvial de cheia, uma vez que a concentração inicial lançada é 3,5 vezes maior. No entanto, a concentração que chega ao estuário apresenta valores inferiores quando se utiliza cenários que fazem uso de vazão de cheia para o rio Santa Maria.

Vale ressaltar que, tanto os cenários que utilizam vazão fluvial de cheia como de estiagem apresentam uma maior diluição quando associados à períodos

que contemplam maré de sizígia e que, esse valor aumenta quando observado durante instantes de maré enchente.

5.3.3. LANÇAMENTO DE COLIFORMES NO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

Visando embasar atividades de gestão e políticas públicas que visem garantir a boa qualidade das águas, buscou-se simular o lançamento de um constituinte não conservativo (coliformes termotolerantes) e, compreender a influência deste lançamento nas águas da Baía de Vitória.

O lançamento do constituinte não conservativo se deu a partir da condição de contorno fechada do rio Santa Maria da Vitória, a montante da estação 01 (Figura 25). Foram lançadas diferentes concentrações na tentativa de conhecer a concentração máxima que poderia ser lançada sem comprometer as águas da Baía de Vitória, considerando-se o limite de enquadramento prescrito na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Foram simulados lançamentos com concentrações de 50.000, 10.000 e 4.000 NMP/100 ml, visando classificar as águas da região de estudo em classes de uso preponderante, de acordo com o parâmetro coliformes termotolerantes, indicador de qualidade previstos na resolução CONAMA.

Tabela 04: Valores do parâmetro coliformes termotolerantes, segundo as classes da resolução CONAMA 357/2005.

Coliformes Termotolerantes			
CONAMA 357/2005	Água doce	Água salobra	Água salgada
Classe 01	<200	<1000	<1000
Classe 02	<1000	<2500	<2500
Classe 03	<4000	<4000	<4000

O maior propósito destas simulações é subsidiar a classificação das águas da Baía de Vitória em áreas homogêneas quanto a qualidade de água, constituindo uma ferramenta efetiva no processo de enquadramento da Baía de

Vitória, uma vez que o modelo permite o prognóstico dos principais impactos gerados pelos lançamentos de efluentes sobre a qualidade da água, além de determinar a trajetória percorrida pelo soluto.

As simulações hidrodinâmicas fizeram uso de cenários que abrangem as condições mais desfavoráveis quanto à qualidade de água, ou seja, maré de quadratura associada a vazão afluyente de estiagem para o Rio Santa Maria da Vitória.

Um parâmetro importante na modelagem de coliformes é a taxa de decaimento das bactérias, T90. Este parâmetro varia devido a diversos fatores, sendo o principal a radiação solar (VON SPERLING, 2005).

Feitosa (2003) desenvolveu uma planilha na qual é calculado o valor do T90 a cada hora do dia, utilizando a formulação de Mancini (1978) que considera: latitude e longitude do local, temperatura, salinidade, profundidade local e profundidade de Secchi.

Com esta planilha, foi calculado o T90 para a região da foz do Rio Santa Maria. Os valores variaram de 6,77 h, durante o dia a 62,49 h, no período noturno. Como o modelo utilizado não permite variação do T90, utilizou-se um valor constante de 15 h, de modo à representar os valores de concentração encontrados por Correia Junior (2003), quando estudou à variação dos parâmetros de qualidade de água em pontos da região do estuário do rio Santa Maria da Vitória..

Para esta simulação de coliformes foi considerada contribuição somente do rio Santa Maria da Vitória, ou seja, concentração nula no Canal da Passagem, uma vez que o objetivo deste trabalho é avaliar a influência do rio Santa Maria na Baía de Vitória.



Figura 72: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 50.000 NMP/100ml, no instante de tempo $t = 675,33$ hs.

O cenário que contempla lançamento de coliformes na concentração de 50.000 NMP/100ml, permite obter concentrações para a água doce da região onde está localizada a estação 4, de acordo com as estabelecidas na classe 2 da resolução, enquanto que, a água salobra da região da desembocadura do rio Santa Maria da Vitória apresenta valores correspondentes à classe 1.

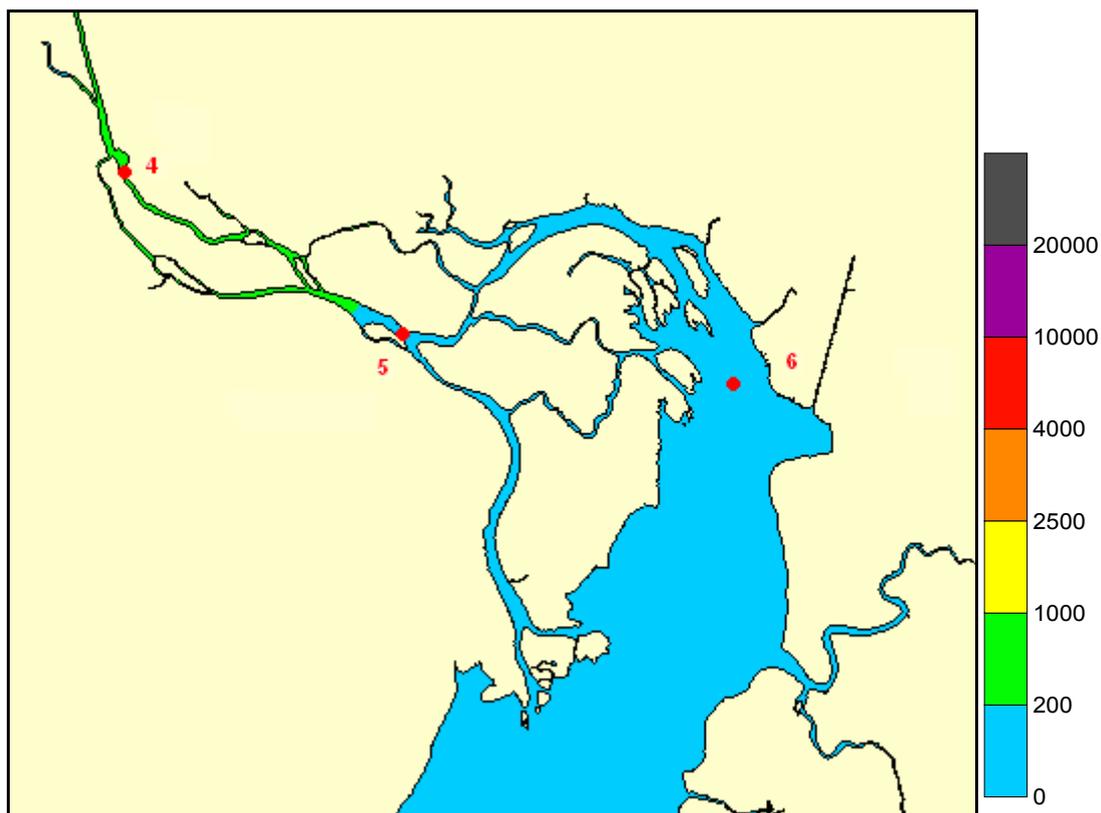


Figura 73: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 10.000 NMP/100ml, no instante de tempo $t = 675,33$ hs.

De acordo com o cenário que contempla lançamento de coliformes na concentração de 10.000 NMP/100ml, a água doce encontrada na região onde está localizada a estação 4, excederia o limite máximo permitido para ser considerada como classe 1. No entanto, a água salobra da região onde localiza-se a estação 5, apresenta valores equivalentes à classe 1. Como era esperado, é visível a redução da influência deste lançamento na qualidade das águas do rio Santa Maria quando comparada à simulação anterior (Figura 72).

As concentrações encontradas nesta simulação para o trecho final do rio e para a região da sua desembocadura satisfazem os padrões de enquadramento aceitos na resolução em vigor, a qual determina que as águas doces serão consideradas classe 2 e as águas salinas e salobras classe 1, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos.

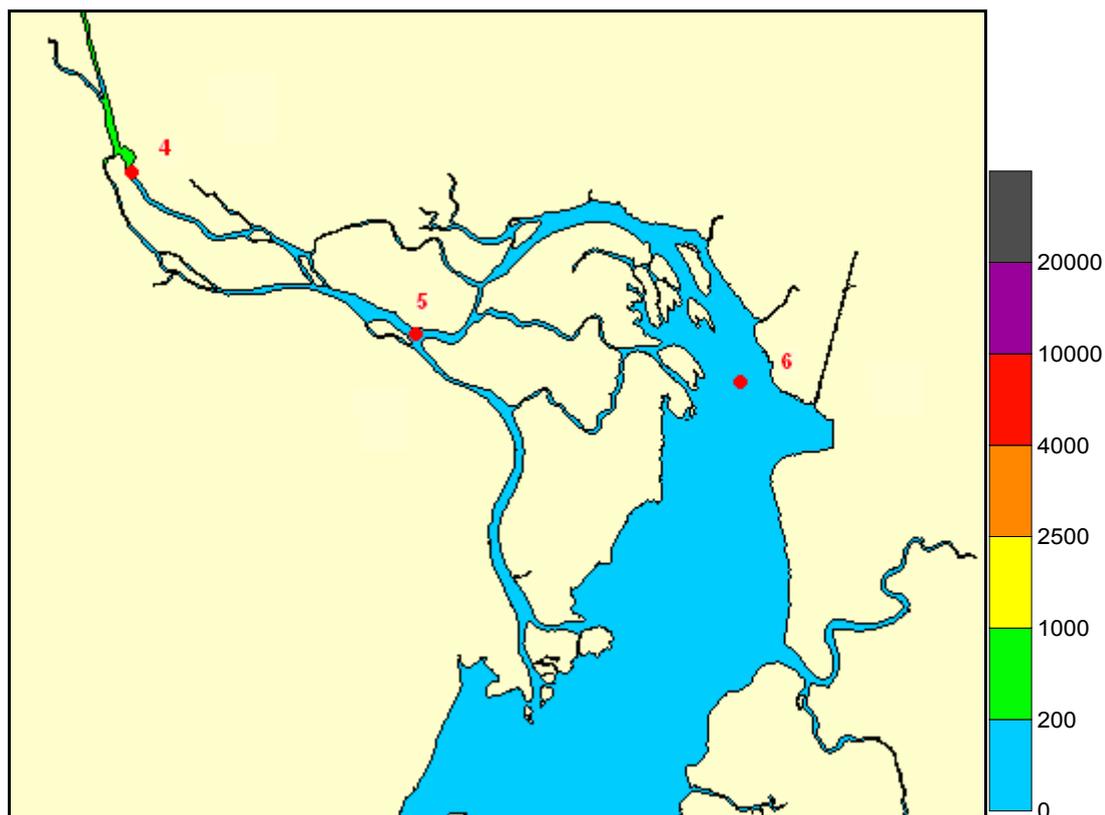


Figura 74: Concentração (NMP/100ml) de coliformes obtidas com o lançamento realizado com concentração de 4.000 NMP/100ml, no instante de tempo $t = 675,33$ hs.

Na simulação do lançamento de coliformes com concentração de 4000 NMP/100ml, tanto a água doce da região onde está situada a estação 4 como a água salobra encontrada nas estações 5 e 6, apresentam valores correspondentes a classe 1.

Os maiores valores encontrados no rio Santa Maria da Vitória podem ser explicados pela menor interação com as águas do estuário. O fato da região da desembocadura do rio apresentar valores equivalentes à classe 1 em todas as simulações evidencia a diluição das águas do rio com as águas da baía. A salinidade pode ser outro fator de influência para os números encontrados, uma vez que o aumento da concentração salina inibe a atividade microbiana através da plasmólise, tornando a célula inapta para metabolizar ou crescer, podendo acarretar até sua morte.

De modo geral, os valores encontrados mostram que qualidade da água na região do estuário é influenciada pelos lançamentos realizados na região da zona baixa do Rio Santa Maria.

Estes resultados possibilitam ainda estimar a capacidade de autodepuração do rio, uma vez que esta deve considerar, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura.

Os lançamentos realizados permitem conhecer a concentração máxima que poderia ser lançada sem comprometer as águas da Baía de Vitória, considerando-se o limite de enquadramento prescrito na Resolução CONAMA nº 357/2005. De acordo com a figura 74, qualquer lançamento de coliformes com concentração igual ou inferior a 4000 NMP/100ml, permite obter concentrações que possibilitam classificar toda a região do estuário do Rio Santa Maria da Vitória como classe 1, o que satisfaz as exigências prescritas pela resolução para manter a boa qualidade das águas, permitindo a utilização desta água ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado (água doce); à aqüicultura e atividades de pesca (água salobra); à proteção das comunidades aquáticas e à recreação de contato primário, uma vez que trata-se de uma região turística, com atividades de pesca e de sustentabilidade para comunidades locais.

Qualquer lançamento com concentração inicial de Coliformes Termotolerantes acima de 50.000 NMP/100 ml e T90 de 15 horas, excederia os limites estabelecidos para classificação das águas, para o estuário; Classe 1, e para o rio; Classe 2, de acordo com os padrões de enquadramento aceitos na resolução em vigor.

A realização de simulações, pode ainda identificar concentrações de coliformes passíveis de afetar as comunidades locais, interferindo em suas atividades tradicionais e a qualidade de vida.

Cabe ressaltar que a região de estudo é considerada uma área de preservação permanente com restrições de usos, pelo fato de compreender áreas de manguezal que se situam ao longo do rio Santa Maria da Vitória, do Canal da

Passagem e ao norte da Baía de Vitória, permitindo assim, estas regiões, receber apenas influência de águas que apresentem concentrações correspondentes à classe especial da resolução CONAMA nº 357/2005.

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentados alguns resultados de simulações que envolvem o transporte de constituintes. À partir da análise dos cenários que visam analisar a influência da vazão do rio no comportamento da intrusão salina e avaliar a qualidade das águas na região depois de realizado o lançamento de constituintes, pôde-se obter conclusões importantes que visam embasar atividades de gestão e políticas públicas, contribuindo para a efetivação do enquadramento das águas da Baía de Vitória.

No entanto, ressalta-se que o presente estudo serviu apenas como uma introdução à realização do enquadramento da região estuarina da Baía de Vitória. Para que se efetive o enquadramento de forma eficiente, necessita-se a implementação de mais realidade ao modelo, o qual deve traduzir com maior exatidão à região de interesse.

Para que o modelo possibilite o enquadramento da região de estudo com confiabilidade, recomenda-se que sejam realizadas campanhas que acrescentem os dados de batimetria fluvial, atualizem-se os dados contidos na Carta Náutica, além de campanhas para a medição da salinidade, parâmetros de qualidade d'água, maré e correntes em diferentes pontos da região do rio Santa Maria e da sua desembocadura, permitindo assim, uma melhor calibragem e validação do modelo hidrodinâmico e de transporte de constituintes, trazendo mais realidade aos resultados obtidos.

Cabe ressaltar que, além de resultados computacionais consistentes, verifica-se a necessidade de que estes resultados sejam superpostos a estudos que contemplem a análise multidisciplinar dos usos preponderantes da região, para que o enquadramento se realize de forma sustentável.

O enfoque dado na análise dos resultados do estudo foi o da Engenharia, no entanto, o ideal é que a utilização da modelagem não se restrinja a uma só

área quando da análise de uma outorga, mas que ela seja feita por um grupo multidisciplinar, visando a identificação dos impactos sob as diversas áreas que se interagem.

No entanto, os resultados da simulação computacional apresentados neste estudo, podem ser considerados bastantes satisfatórios e promissores, indicando que o modelo utilizado mostra-se útil na orientação de investigações futuras e, potencialmente poderoso para auxiliar a gestão do sistema estuarino.

6. CONCLUSÃO

A análise dos resultados alcançados através de simulações, permite conclusões sobre a região modelada e, também, para o gerenciamento das águas da Baía de Vitória.

Relativamente aos resultados obtidos a partir da realização do presente trabalho, concluiu-se:

- A aplicação do modelo SisBAHIA na região de estudo, mostrou resultados satisfatórios e promissores, indicando que o modelo utilizado mostra-se útil na orientação de investigações futuras, e no auxílio à gestão do sistema estuarino.
- O modelo conseguiu reproduzir de maneira satisfatória o padrão de variação das velocidades, além de representar bem a variação de maré para todo o domínio considerado. Os resultados encontrados para as direções de correntes também apresentaram uma boa aproximação, configurando uma adequada reprodutividade dos fluxos de corrente para o ponto considerado.
- Os resultados encontrados para as velocidades simuladas indicam boa concordância de fase, porém, com magnitudes inferiores às observadas em campo. Cabe ressaltar que, na simulação do sistema estuarino como um todo, foi feita uma série de simplificações, sendo a mais significativa a não inclusão das áreas de mangue e das planícies de maré no domínio modelado.
- De forma geral, os campos de velocidade encontrados para a Baía de Vitória foram caracterizados por apresentarem velocidades de vazante, em geral, superiores às de enchente. Para marés de sizígia as velocidades de vazante podem atingir o dobro das velocidades de enchente. Em marés de quadratura, entretanto, a diferença não se mostrou muito significativa.

Durante as simulações de transporte de constituintes, buscou-se associar, às características hidrodinâmicas da região, aspectos ligados à qualidade de suas águas.

Dentre os resultados encontrados na simulação da intrusão salina, pode-se evidenciar:

- Uma maior penetração da salinidade é verificada para o cenário que contempla maré de sizígia associada à vazão fluvial de estiagem para o rio Santa Maria da Vitória.
- Para os cenários que utilizam vazão fluvial de cheia, a presença significativa de sal não ultrapassa a região da foz do Rio Santa Maria da Vitória. No entanto, para os cenários que contemplam vazão fluvial de estiagem, a concentração de sal detectada no trecho final do rio é suficiente para classificar a água como salobra.
- Observa-se que as águas advindas do Canal da Passagem exercem uma considerável influência sobre as águas da Baía de Vitória. No entanto, ao contrário do que se previa, as águas provenientes do Canal da Passagem pouco influenciam no limite da intrusão salina no Rio Santa Maria da Vitória.
- Verifica-se que as águas da baía apresentam, para todos os cenários simulados, concentração referente a água doce apenas no rio Santa Maria da Vitória, água salobra desde sua desembocadura até o canal de acesso ao Porto de Vitória e água salgada apenas na entrada da Baía de Vitória, onde ocorre influência direta das águas oceânicas.

Dentre os resultados encontrados na simulação do lançamento de um constituinte conservativo, destaca-se:

- Depois de realizadas simulações durante 46 dias verificou-se que, o espalhamento do soluto no interior da baía se estabiliza em torno de 15 a 20 dias, mostrando concentrações mais elevadas na parte interior da baía, onde desemboca o rio Santa Maria da Vitória.

- As simulações realizadas mostraram que durante a maré enchente, o soluto lançado encontrou-se em menores concentrações que os verificados durante a maré vazante em toda a baía.
- Observa-se que os resultados dos lançamentos mais desfavoráveis, quanto a qualidade das águas, podem ser correlacionados a situações que englobam maré de quadratura associada a vazão fluvial de estiagem.
- A diluição da concentração encontrada para os cenários que fizeram uso de vazão fluvial de estiagem, apresenta valores mais elevados se comparada aos cenários que utilizaram vazão fluvial de cheia, uma vez que a concentração inicial lançada é 3,5 vezes maior. No entanto, a concentração que chega ao estuário apresenta valores inferiores quando se utiliza cenários que fazem uso de vazão de cheia para o rio Santa Maria.

Dentre os resultados encontrados na simulação do lançamento de um constituinte não conservativo (coliformes termotolerantes), destaca-se:

- Os lançamentos realizados com concentrações iniciais de 50.000, 10.000 e 4.000 NMP/100 ml e T90 de 15 horas indicam que os resultados obtidos no trecho final do rio e na sua desembocadura, satisfazem os padrões de enquadramento aceitos na resolução em vigor, a qual determina que as águas doces serão consideradas classe 2 e as águas salinas e salobras classe 1, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos.
- Os lançamentos realizados permitem conhecer a concentração máxima que poderia ser lançada sem comprometer as águas da Baía de Vitória, considerando-se o limite de enquadramento prescrito na Resolução CONAMA nº 357/2005. Verifica-se que, quaisquer lançamentos de coliformes com concentração igual ou inferior a 4000 NMP/100ml, permitem obter concentrações equivalentes à classe 1 da resolução, para toda a região do estuário do Rio Santa Maria da Vitória,

satisfazendo as exigências prescritas pela resolução para manter a boa qualidade das águas.

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que para a região do estuário da Baía de Vitória a vazão do Rio Santa Maria e a maré são forçantes significativos na hidrodinâmica e no transporte de constituintes. Essa influência resulta de interações entre forças advindas do escoamento fluvial e da variação do nível do mar, as quais apresentam uma maior ou menor contribuição, de acordo com o cenário estudado.

A modelagem também comprovou que as partes fluvial e estuarina não funcionam separadamente, mas estão interligadas, o que impossibilita a tomada de decisões de forma fragmentada. A modelagem apresenta-se então como uma ferramenta que pode fornecer subsídios dentro do processo de gestão integrada entre o Gerenciamento de Recursos Hídricos e o Gerenciamento Costeiro.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da experiência adquirida com a realização deste trabalho, algumas recomendações podem ser feitas, no sentido de nortear o desenvolvimento de futuras pesquisas:

No que diz respeito ao processo de calibração do modelo SisBAHIA para a região estudada neste trabalho, seria interessante a realização de monitoramento de velocidades e direção de correntes para outros pontos da malha, principalmente na região da foz do rio Santa Maria da Vitória, possibilitando assim, um melhor diagnóstico dos resultados fornecidos pelo modelo.

Introduzir no domínio computacional as regiões de planícies de maré, sujeitas a inundação periódica pelas marés, de forma a permitir uma melhor reprodução desses efeitos no campo de velocidades calculado.

Possibilitar análises mais precisas acerca do impacto de constituintes lançados nas águas do rio Santa Maria da Vitória, assim como a influência destes para a qualidade de água da Baía de Vitória , através da verificação dos resultados de modelo de transporte à partir de dados experimentais obtidos em pontos estratégicos da região de estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOT, M. B., BASCO, D. R., 1989, Computational Fluid Dynamics, an Introduction for Engineers. Logan Group, UK Limited.

Agência Nacional de Águas (ANA), Superintendência de Informações Hidrológicas, Superintendência de Tecnologia e Capacitação, Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste (RJ, ES, BA, SE), CD nº 4, Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH).

A. M. Riddle and R. E. Lewis. Dispersion Experiments in U. K.Coastal Waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science, n. 31, p. 243-254, 2000.

AMARAL, J. K., 2003, Estuário do rio Macaé: Modelagem Computacional como ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

BARBOSA, S. M. M, 2002. Educação Ambiental em Ação. In: O que é um estuário? Rev. Árvore, nº 1, Sociedade de Investigações Florestais - SIF. Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

BARROS FILHO, G. C., 2002, Identificação dos Processos Físicos na Hidrodinâmica das águas do Entorno da Ilha de Vitória-ES, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Espírito Santo, Vitória.

BRASIL. Decreto-lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BERNARDES, L.M.C. Tipos de clima do Estado do Espírito Santo. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, nº 4, pp 107-110, 1951.

CAIADO, M. A. C., MENDONÇA, A. S. F., LUPPI S. M., TEIXEIRA E. C., 1997, Desenvolvimento Regional e Qualidade das águas da Bacia do Rio Santa Maria da Vitória, XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

CARMO, T. M. S., 1987, “Os Manguezais ao Norte da Baía de Vitória, Espírito Santo”, Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, 1, Cananéia -SP.

CARMO, T. M. S., ABAURRE, M. G. B., MELO, R. M. S., XAVIER, S. Z., COSTA, M. B. & HORTA, M. M. M., 1995, “Os Manguezais da Baía Norte de Vitória, Espírito Santo: Um Ecossistema Ameaçado”, Revista Brasileira de Biologia, 55 (4): 801-818.

CASTRO, M. S.M., 2000, Análise da influência das águas do Canal da Passagem sobre o padrão de escoamento na baía do Espírito Santo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

CESAN. Uma análise sobre a disponibilidade hídrica dos rios Santa Maria da vitória e Jucu para suprimento de água da grande Vitória. Vitória, 1995.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL, 2002, Agenda 21 Brasileira – Ações Prioritárias, MMA/PNUD, Brasília.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL, 2002, Agenda 21 Brasileira - Resultado da Consulta Nacional, MMA/PNUD, Brasília.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR, 1990, Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro I (PNGC I), Ministério da Marinha, Brasília.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR, 1997, Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II), Ministério da Marinha, Brasília.

CONCEIÇÃO FILHO, C. A., 2003, Estudo do movimento de manchas de óleo a partir de pontos do canal de acesso ao porto de Vitória e estimativa de aporte ao manguezal do rio Aribiri na baía de Vitória-ES, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Espírito Santo, Vitória.

CONEJO, J. G. L., 2000. Considerações sobre a formulação de preços para a cobrança pelo uso da água no Brasil. In: O sistema de cobrança no estado de São Paulo. Coordenação e organização científica: THAME: A. C. São Paulo: IQUAL. Instituto de qualificação LTDA.

COSTA M. P., SILVA L. H. P. ,BUBEL A. P. M., BRANDÃO V. S., ACSELRAD M. V. , 2004, Proposta de Enquadramento dos Corpos d'água da Bacia do Rio São Francisco - VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1986.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 2005.

CORREA JUNIOR, Y., 2003 Estudo de variação de parâmetros de qualidade de água em pontos da região do estuário do rio Santa Maria da Vitória. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Espírito Santo, Vitória.

CSMJ. Expedição Técnica para Atualização do Diagnóstico Ambiental do Rio Santa Maria da Vitória e suas Adjacências. Vitória, Consórcio Intermunicipal para recuperação das bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu, 1995.

CSMJ. Diagnóstico e Plano Diretor das bacias dos rios anta Maria e Jucu. Vitória, Consórcio Intermunicipal para recuperação das bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Volume III. Rio de Janeiro, Habtec Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

DONATELLI, M.R, 1998. Modelagem Matemática da Hidrodinâmica e da Qualidade de Água da Baía de Vitória. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Espírito Santo, Vitória.

FALCONER, R.A . Flow and water quality modelling in coastal and inland water. Journal of Hydraulic Resesrch, v.30, n.04, p. 437-452, 1992.

FEITOSA, R.C, 2003. Modelagem da pluma do emissário submarino da Barra da Tijuca – RJ com T90 variável. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ocenânica - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

FEMAR, 2000. Catálogo de estações maregráficas brasileiras. Fundação de Estudos do Mar. Rio de Janeiro.

FERREIRA, R. D., 1989, Os Manguezais da Baía de Vitória (ES): Um Estudo de Geografia Física Integrada, Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.

FRENCH, P. W., 1997, Coastal and Estuarine Management, London, Routledge.

FISCHER, H.B., LIST, E.J., KOH, RCY. Mixing in inland and coastal waters, 1.Ed. California: Academic Press, 1979. Cap.7, p.229-278; Mixing in Estuaries.

GARRIDO R., 2000. Considerações sobre a formulação de preços para a cobrança pelo uso da água no Brasil. In: A cobrança pelo uso da água. Coordenação e organização científica: THAME: A. C. São Paulo: IQUAL. Instituto de qualificação LTDA.

GEARH, 2001, Medição de Salinidade na Baía de Vitória, Relatório Técnico, Vitória, Brasil.

GEARH, 2002a, Batimetria da Baía de Vitória entre a Ilha das Caieiras e a Desembocadura do Rio Santa Maria, Relatório, Vitória, Brasil.

GEARH, 2002b, Monitoramento de Correntes no Entorno da Ilha de Vitória, Relatório, Vitória, Brasil.

GEARH, 2002c, Batimetria do Canal de Acesso e do Porto de Vitória, Relatório, Vitória, Brasil.

GEO BRASIL, 2002 a. O estado do meio ambiente no Brasil. O estado das atividades nos ambientes marinhos e costeiros. IBGE, 2002.

Jay A .Austin, 2004, Estimating effective longitudinal dispersion in the Chesapeake Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, n. 60, p. 359-368.

LEWIS, Roy, 1997, Dispersion in Estuaries and Coastal Waters. 1. Ed. West Sussex: Wiley, 312p.

MACIEL, N.C., 1991. Alguns aspectos da ecologia do manguezal. In: CPRH, 1991. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife, Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos. Série Publicações Técnicas, Nº 003, 9-37.

MANCUSO, P.C.S, SANTOS, H.F., 2003, Reuso de Água. 1º Edição. Faculdade de Saúde Pública – USP. Ed. Manole.

MUÑOZ, H. R. (organizador), 2000, Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997,.2 ed, Brasília, Secretaria de Recursos Hídricos.

OLIVEIRA, R M. S., 2003. Distribuição de Sedimentos em Trechos do Rio Santa Maria da Vitória. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Espírito Santo, Vitória.

O'SULLIVAN, P. E., 1981, "The Ecosystem – Watershed Concept in the Environmental Sciences – A Review", Journal of Environmental Studies, v. 13, pp. 273 – 281.

OZMIDOV, R. V., 1990, Diffusion of contaminants in the ocean. Oceanographic sciences library. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

PAIVA, D. S. Estudo sedimentológico do material de fundo do Canal da Passagem e trecho da Baía de Vitória – ES. Monografia (Especialização em Ecologia e Recursos Naturais) Curso de Especialização “Lato Sensu” em Ecologia e Recursos Naturais . Universidade Federal do Espírito Santo. DERN. Vitória. 1999.

PAZ A. R., REIS L. G. M., LIMA H. V. C., 2003, Uso da Modelagem Hidrodinâmica visando a segmentação de Corpos d’água rasos para Enquadramento: O Caso do Lago Guaíba (RS).

PELLISSARI, V. B. , SARNENTO R., 2000, Vazão Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória - 5º Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, II 08.

PERILLO, G. M. E, 1995. Developments insedimentology, v. 53. Geomorphology and sedimentology of estuaries. Ed.Elsevier Science, p. 471.

PROENÇA, C. N. O., MEDEIROS Y. D. P., CAMPOS V. P., 2004, Metodologia para definição de parâmetros de Qualidade de Água visando o Enquadramento de Corpos d’água em região semi- árida - VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

RIGO, D. Levantamento topo-batimétrico dos manguezais e canais da Baía de Vitória. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2001.

RIGO, D., 2004, Análise do escoamento em Regiões Estuarinas com Manguezais – Medições e Modelagem na Baía de Vitória, ES, Dissertação de Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

RIGO, D. & SARMENTO, R., 1993, Determinação do Tombo da Maré no Canal da Passagem - Relatório Final, Laboratório de Hidráulica, UFES, Vitória, Brasil.

ROCHA, A. B, 2000, Estudo da hidrodinâmica e do transporte de solutos na baía do Espírito Santo através de modelagem computacional, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ROCHA, A. B, 1999, Avaliação do impacto do lançamento de coliformes na qualidade das águas da baía do Espírito Santo, através de modelagem numérica. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p. 1079-1087.

RODRIGUES, R. B., 2005, SSD-DB – Sistema de Suporte a decisão proposta para gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água, Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROSMAN, P.C.C, 1997. “Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos” – Capítulo 3 do livro Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 3, pp 231-343, ABRH, 11/97.

ROSMAN, P. A. e Paulo C. C. Rosman, 2000, Guia do Usuário do SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental”. Relatório COPPETEC-PENO-565, 08/2000. COPPE/UFRJ

ROSMAN, P. C. C., 2000, Referência Técnica do SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. Relatório COPPETEC-PENO-565, 08/2000. COPPE/UFRJ.

ROSMAN, P. C. C., 2001, “Os Modelos para Recursos Hídricos”. In: Magrini, A.. dos Santos, M. A. (eds). Gestão Ambiental em Recursos Hídricos (Vol. 3), Capítulo 2 (Parte III), Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, COPPE/UFRJ.

ROSMAN, P. C. C., 2001, “Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental”.In: ROSMAN, P. C. C., MASCARENHAS, F. C. B., MIGUEZ, M. G. et al., Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 5, 1 ed., capítulo 1, Rio de Janeiro, RJ, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

SANTOS, M. M., 1994, Aplicação da Modelagem Estocástica no Estudo de Riscos ao Abastecimento de Água da Grande Vitória. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES, Vitória, Brasil.

SEAMA. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Despoluição dos Ecossistemas Costeiros do Litoral do Espírito Santo – Estudos Complementares. Vitória, 1993.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., 1989. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. Publicação esp. Inst. oceanogr., S. Paulo, (7): 1-16.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., 1995, “Introdução”, In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y., Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar, Caribbean Ecological Research, São Paulo.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; 1998. Os Ecossistemas Costeiros. Capítulo X, In: CNIO, O Brasil e o Mar no Século XXI – Relatório aos Tomadores de Decisão do País. Rio de Janeiro, Comissão Nacional Independente sobre os Oceanos, 191-229p.

VON SPERLING, M., 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 1: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.