



		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 2/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	3
LISTA DE TABELAS .....	5
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO .....	6
2 TEORIA DO MODELO COMPUTACIONAL .....	7
2.1 Introdução .....	7
2.2 Considerações Gerais .....	7
2.3 Equações Governantes .....	9
2.4 Condições de Contorno .....	10
3 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA .....	10
3.1 Maré .....	10
3.2 Ventos .....	12
3.3 Ondas .....	15
3.4 Batimetria .....	16
4 MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....	19
4.1 Considerações sobre a Modelagem Hidrodinâmica .....	19
4.1.1 Dados de entrada .....	20
5 RESULTADOS DO MODELO HIDRODINÂMICO .....	28
5.1 Cenário Atual .....	28
5.2 Cenário Futuro .....	31
6 CONCLUSÕES .....	61
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 3/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grandezas físicas consideradas.....	8
Figura 2: Evolução da maré no Canal São Sebastião .....	12
Figura 3: Localização do ponto de medição de ventos.....	13
Figura 4: Série de ventos - verão 1992.....	14
Figura 5: Série de ventos - outono 1992.....	14
Figura 6: Série de ventos - inverno 1992.....	15
Figura 7: Modelagem bidimensional (2D) .....	17
Figura 8: Modelagem tridimensional (3D).....	18
Figura 9: Cópia parcial da carta náutica nº. 1614 (trecho canal de São Sebastião) .....	19
Figura 10: Malha de discretização do domínio do modelo .....	20
Figura 11: Configuração batimétrica do modelo .....	21
Figura 12: Elevação da maré para o período verão.....	22
Figura 13: Elevação da maré para o período outono.....	22
Figura 14: Elevação da maré para o período inverno.....	23
Figura 15: Área de ampliação .....	24
Figura 16: Localização do ponto de medição de correntes .....	25
Figura 17: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no verão 1992 .....	26
Figura 18: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no outono 1992 .....	26
Figura 19: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no inverno 1992 .....	27
Figura 20: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	28
Figura 21: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	29
Figura 22: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	29
Figura 23: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.....	32
Figura 24: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.....	32
Figura 25: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.....	33
Figura 26: Localização da estação de resultados para a região da enseada .....	34
Figura 27: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	35
Figura 28: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	35
Figura 29: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO. ....	36
Figura 30: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste - cenário atual.....	37
Figura 31: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste cenário atual – detalhe enseada .....	38
Figura 32: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste - cenário futuro.....	39
Figura 33: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada.....	40
Figura 34: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste - cenário atual.....	41
Figura 35: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste cenário atual - detalhe enseada.....	42
Figura 36: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste - cenário futuro.....	43
Figura 37: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada.....	44

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 4/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

Figura 38: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste - cenário atual.....	45
Figura 39: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste cenário atual - detalhe enseada.....	46
Figura 40: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste - cenário futuro.....	47
Figura 41: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada.....	48
Figura 42: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste - cenário atual.....	49
Figura 43: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste cenário atual - detalhe enseada.....	50
Figura 44: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste - cenário futuro.....	51
Figura 45: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada.....	52
Figura 46: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste - cenário atual.....	53
Figura 47: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste cenário atual - detalhe enseada.....	54
Figura 48: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste - cenário futuro.....	55
Figura 49: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada.....	56
Figura 50: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste - cenário atual.....	57
Figura 51: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste cenário atual - detalhe enseada.....	58
Figura 52: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste - cenário futuro.....	59
Figura 53: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada.....	60

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 5/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Constantes Harmônicas da estação maregráfica do Porto de São Sebastião.....	11
Tabela 2: Velocidades longitudinais médias de vento centro do Canal São Sebastião .....	15
Tabela 3: Velocidades médias e máximas levantadas no centro do Canal São Sebastião .....	27
Tabela 4: Distribuição das direções das velocidades levantadas no centro do Canal São Sebastião	27
Tabela 5: Comparação das velocidades medidas e simuladas no centro do canal São Sebastião ....	30
Tabela 6: Comparação da distribuição das direções das velocidades medidas e simuladas no centro do Canal São Sebastião.....	30

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 6/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O Porto de São Sebastião está localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, na cidade de São Sebastião, a 200 km da cidade de São Paulo, capital do Estado. Sua posição, no canal entre a cidade e Ilha Bela, o torna uma das melhores áreas portuárias do mundo. Segundo site da PRONAVE (Agentes de Comércio Exterior), graças à sua configuração natural, o canal de São Sebastião é considerado a terceira melhor região portuária do mundo. Isso faz das condições de calado e abrigo à navegação as mais confortáveis e seguras.

A Companhia Docas de São Sebastião pretende ampliar o porto para movimentação de granéis líquidos e sólidos, além de contêineres. Haverá grande área de laje apoiada sobre estacas, o que poderia alterar o padrão de circulação marinha e a sedimentação na região de entorno.

Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos da ampliação do porto de São Sebastião no padrão de circulação costeira, utilizando o Modelo Computacional de Circulação Hidrodinâmica, que exhibe o nível d'água além das velocidades (intensidades e direções) das correntes ao longo do tempo. Serão simulados os cenários atual e após a implantação de empreendimento. Em relatório posterior, RL-B00-M00-1204, serão analisadas possíveis mudanças na dinâmica deposicional ou erosiva dos sedimentos, através do Modelo de Evolução Morfodinâmica.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 7/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

## 2 TEORIA DO MODELO COMPUTACIONAL

### 2.1 Introdução

A aplicação da modelagem numérica para a determinação da circulação em corpos d'água costeiros justifica-se pelo fato de determinar o padrão de circulação em todo o corpo d'água além de permitir a previsão das alterações na circulação da água devido à introdução de obras. Para o diagnóstico do padrão de circulação em todo o corpo d'água seria necessária a medição da intensidade de corrente durante vários ciclos de maré em diversos pontos no interior do corpo d'água exigindo uma equipe de campo muito grande e diversos equipamentos, sendo, portanto, este método, caro e demorado. Com a utilização do modelo, basta a medição de corrente em alguns poucos pontos no corpo d'água para a sua calibração.

Modelos que possam descrever apropriadamente a hidrodinâmica em sistemas aquáticos são ferramentas poderosas, tanto no que se refere à sua contribuição na avaliação de impactos ambientais como na definição de estratégias para gerenciamento de corpos d'água. O conhecimento do padrão de circulação de um corpo d'água é, portanto, fundamental para diversos estudos ambientais. Pode-se citar, por exemplo, estudos de qualidade de água devido ao lançamento de poluentes no mar, em sistemas lagunares; bem como estudos de determinação de níveis de cheias e possibilidade de assoreamento em embocadura.

### 2.2 Considerações Gerais

A modelagem computacional da hidrodinâmica na região do Canal São Sebastião foi realizada através do SisBaHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental). Trata-se de um sistema profissional em ambiente Windows, registrado pela Fundação Coppetec (órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da COPPE/UFRJ), que se encontra continuamente em ampliação de capacidade de simulação e aperfeiçoamento pela COPPE/UFRJ desde 1987, através de várias teses de mestrado e doutorado, além de projetos de pesquisa. O sistema tem sido adotado em dezenas de estudos e projetos envolvendo modelagem de corpos de água naturais (para maiores detalhes sobre o SisBAHIA consulte Rosman (2001) ou [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br)). Foram utilizados os seguintes modelos do SisBAHIA:

Modelo Hidrodinâmico: é um modelo de circulação hidrodinâmica 3D/2DH, otimizado para corpos de água naturais nos quais efeitos baroclínicos sejam pouco importantes. Resultados podem ser tanto 3D quanto 2DH, dependendo dos dados de entrada. "Otimizado" é usado no sentido de um modelo planejado para ótima representação de escoamentos em domínios naturais com geometria complexa. Processos de calibração são minimizados devido a: discretização espacial via elementos finitos quadráticos e transformação  $\sigma$ , permitindo ótimo mapeamento de corpos de água com linhas de costa e batimetrias complexas, campos de vento e atrito do fundo podendo variar dinamicamente no tempo e no espaço, e modelagem de turbulência multi-escala baseada em Simulação de Grandes Vórtices (*Large Eddy Simulation*).

Para obtenção do padrão de circulação na região do Canal de São Sebastião selecionou-se a opção de descrição bidimensional na horizontal do escoamento, também chamada 2DH, do modelo hidrodinâmico SisBAHIA. As correntes obtidas são uniformes em toda a coluna d'água, incluindo-se aí a corrente no fundo, promotora do transporte de sedimentos.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	8/62
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

O modelo hidrodinâmico determina em cada ponto,  $(x, y)$ , do corpo d'água, os valores médios na vertical das componentes nas direções  $x$  e  $y$ , da velocidade de corrente,  $u(x, y, t)$  e  $v(x, y, t)$ , e a elevação do nível d'água, ou posição da superfície livre,  $z = \eta(x, y, t)$ .

O modelo matemático empregado tem como equações governantes a equação da continuidade e as equações da conservação da quantidade de movimento nas direções  $x$  e  $y$ . A rigor, o campo de velocidades é governado pelas equações de Navier-Stokes para escoamentos turbulentos (também conhecidas como equações de Reynolds) em três dimensões (3D). Do ponto de vista prático, estas equações são promediadas na vertical, resultando em um sistema de equações bidimensionais em planta, conhecidas como equações de águas rasas. Estes escoamentos ocorrem normalmente em baías, estuários, lagos e águas costeiras. Modelos tridimensionais são empregados somente em situações específicas, devido aos elevados requisitos computacionais.

Os valores médios na vertical da velocidade da corrente são definidos por:

$$U(x, y, t) = \frac{1}{d} \int_{-h}^{\eta} u(x, y, z, t) dz \quad \text{e} \quad V(x, y, t) = \frac{1}{d} \int_{-h}^{\eta} v(x, y, z, t) dz$$

onde:  $u$  = componente da velocidade na direção  $x$   
 $v$  = componente da velocidade na direção  $y$   
 $h$  = contorno do fundo  
 $\eta$  = superfície livre

A Figura 1 exibe as grandezas consideradas e os perfis de velocidade normal e promediado na vertical.

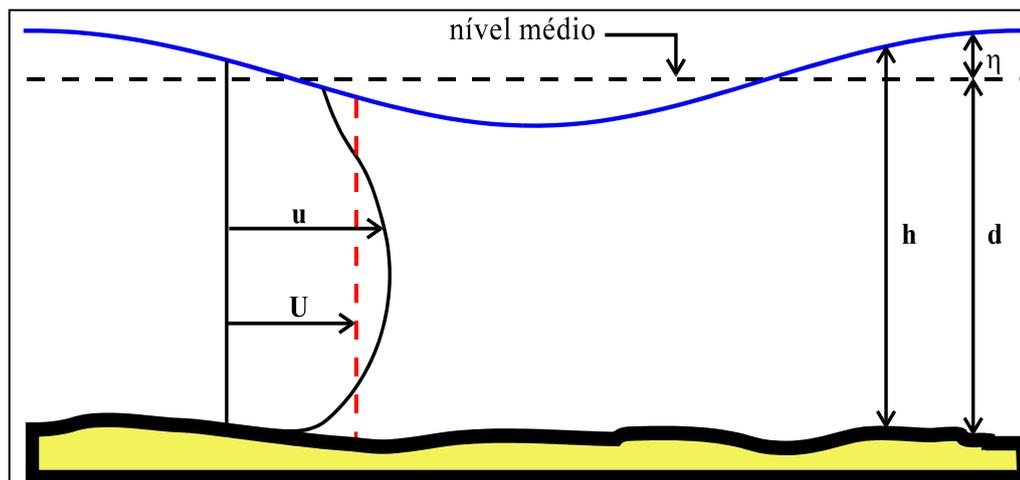


Figura 1: Grandezas físicas consideradas

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	9/62
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

### 2.3 Equações Governantes

Considerando as hipóteses de incompressibilidade, aproximação de Boussinesq, aproximação hidrostática e introduzindo o conceito de "velocidade média ao longo da profundidade" apresentado, é possível derivar o seguinte sistema de equações:

Equação da Conservação da Massa, ou Continuidade:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U d}{\partial x} + \frac{\partial V d}{\partial y} = 0$$

Equação de Momentum, ou Conservação de Quantidade de Movimento, na direção  $x_i$

$$\frac{\partial U_i d}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (d U_i U_j) = -g d \frac{\partial \eta}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} (d \tau_{ij}) + \tau_i^s - \tau_i^f \right] + f^i (1 - \delta_{ij}) U_j d$$

Nas equações anteriores  $\eta$  é a elevação do nível da água,  $h$  é a profundidade total ( $h = \eta + d$ ),  $d$  é a profundidade média.

O termo  $f$  é o coeficiente de Coriolis,  $f = 2\Omega \sin \theta$ ,  $\Omega$  a velocidade de rotação da Terra,  $\theta$  a latitude do local considerado (positivo no hemisfério Norte e negativo no Sul).

Os termos  $\tau_i^s$  e  $\tau_i^f$  são os termos de atrito na superfície e no fundo, respectivamente, sendo parametrizados da forma:

$$\begin{aligned} \tau_i^s &= \rho_{ar} C_D U_{10}^2 \cos \alpha_i \\ \tau_i^f &= \rho C_f (u^2 + v^2)^{1/2} u_i \end{aligned}$$

onde  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar,  $U_{10}$  a velocidade do vento a dez metros da superfície da água,  $C_D$  o coeficiente de arraste do vento na superfície livre, Wu J. (1982),  $\alpha_i$  o ângulo que o vento faz com a direção  $i$ , e  $C_f$  o coeficiente de atrito no fundo.  $C_f$  pode ser obtido via coeficiente de Chezy (C), como segue:

$$C_f = \frac{g}{C^2}; \quad \text{considerando } C = 18 \log \left( \frac{6H}{\varepsilon} \right)$$

sendo  $\varepsilon$  a amplitude da rugosidade equivalente do fundo; Abbot e Basco, (1989).

As tensões turbulentas laterais médias na vertical,  $\tau_{ij}$ , são fundamentais para a obtenção de modelos com boa capacidade de previsão. No caso presente, são modeladas do seguinte modo:

$$\tau_{ij} = (K_{Hf} + K_V) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\Lambda_k^2}{24} \left( \left| \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right| \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \left| \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right| \right)$$

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 10/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

$K_{Hf}$  é o coeficiente horizontal de difusão turbulenta de momentum;  $K_v$  é um coeficiente de dispersão de momentum que aparece devido à promediação na dimensão vertical.  $\Lambda$  é um parâmetro relativo à largura do filtro utilizado na filtragem (promediação) da turbulência, Rosman e Gobbi (1990).

## 2.4 Condições de Contorno

Definido o domínio de estudo, deve-se então especificar as condições de contorno do modelo, ou seja, as características do escoamento nas fronteiras entre a área modelada e a região externa a ela.

Nas fronteiras de terra sabe-se que não há fluxo de massas d'água perpendicularmente ao contorno, pois este é impermeável. Nestes casos então se especifica como condição de contorno que as velocidades perpendiculares à fronteira sejam nulas, com exceção das afluições fluviais onde se especifica a vazão. Porém, nos limites do modelo em que o lado do contorno é água, denominada fronteira aberta, o fluxo não é nulo. Usualmente especificam-se nas fronteiras abertas as velocidades de corrente ou a posição da superfície da água.

## 3 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA

### 3.1 Maré

A maré na região do Canal de São Sebastião é semi-diurna, isto é, ocorrem duas preamares e duas baixa-mares ao longo de um dia. Para a análise dos níveis de maré, foram utilizados dados da estação maregráfica do Porto de São Sebastião, fornecidas pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR, 2000), cujas coordenadas são de 23°48,6'S e 45°23,9'W. Foram também atribuídos dados de maré meteorológica a essas harmônicas. A Tabela 1 apresenta as constantes harmônicas selecionadas da referida estação e a Figura 2 demonstra a evolução temporal da maré, que foi gerada através da utilização das constantes harmônicas desta estação e a influência da maré meteorológica no nível do mar.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	11/62
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

Tabela 1: Constantes Harmônicas da estação maregráfica do Porto de São Sebastião

Constante	Período (s)	Amplitude (m)	Fase (grau)
M1	89399.7	0.007	36
Q1	96726.1	0.032	48
M2	44714.2	0.301	75
O1	92949.6	0.112	79
MS4	21972	0.031	88
S2	43200	0.169	89
K2	43082	0.046	89
T2	43259.2	0.01	89
MK3	29437.7	0.017	98
OO1	80301.9	0.001	98
N2	45570.1	0.027	102
nu2	45453.6	0.005	102
L2	43889.8	0.012	122
MSf	1275721	0.104	128
2N2	46459.3	0.004	129
K1	86164.1	0.061	135
P1	86637.2	0.02	135
mu2	46338.3	0.038	140
SN4	22176.7	0.002	181
MO3	30190.7	0.002	199
M3	29809.4	0.023	203
Mm	2380713	0.139	258
MN4	22569	0.023	307
J1	83154.5	0.003	312
M4	22357.1	0.051	352

Fonte: FEMAR, 2000

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	12/62

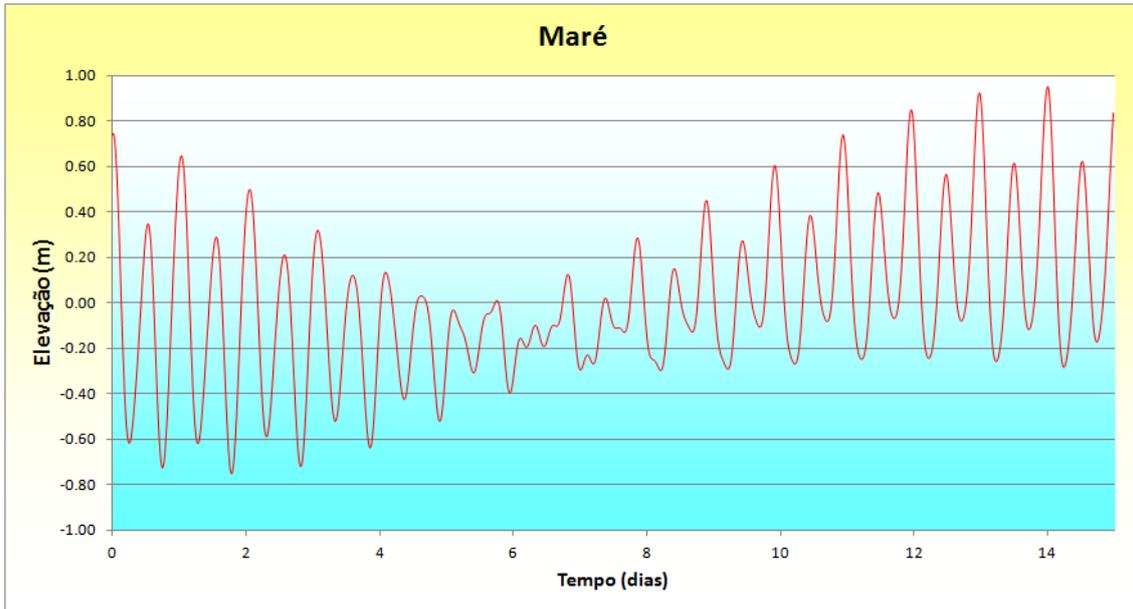


Figura 2: Evolução da maré no Canal São Sebastião

### 3.2 Ventos

De acordo com FONTES (1995), os ventos atuantes na região possuem direção alinhada com o canal de São Sebastião (NE-SO), sendo as magnitudes transversais muito inferiores as longitudinais. As medições foram realizadas no ano de 1992, na região central do Canal São Sebastião, imediatamente ao sul da enseada aonde se pretende implantar a ampliação do porto, nas coordenadas aproximadas 456890 E e 7364715 S como ilustra a Figura 3. Tais dados foram digitalizados e utilizados como variáveis meteorológicas na simulação. No intervalo da Figura 4 a Figura 6 são apresentados os registros de ventos longitudinais ao canal, que também foram utilizados na calibração do modelo hidrodinâmico. Os valores positivos se referem aos ventos vindos de NE, e os negativos vindos de SO. A partir desses valores foram ainda calculadas as velocidades médias para os diferentes, exibidas na Tabela 2.

Das figuras e tabelas, notam-se ventos de baixa intensidade no verão, chegando a máximas longitudinais de até 5,0 m/s e com média de 2,0 m/s em ambos os sentidos (NE e SO). No outono, observam-se picos isolados, com máximas de 11 m/s e médias de 2,7 m/s e 3,1 m/s para nordeste e sudoeste, respectivamente. As maiores intensidades longitudinais foram verificadas no inverno, onde foram registrados magnitudes de até 16 m/s. As velocidades médias nesse período também estiveram mais altas, sendo de 4,2 m/s para nordeste e 3,7 m/s para sudoeste.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 13/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	



Figura 3: Localização do ponto de medição de ventos

NOTA: os mapas do presente relatório são referenciados ao datum horizontal UTM WGS-84, e as informações de nível e batimetria possuem como datum vertical o Nível de Redução (NR) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, Marinha do Brasil), mesmo NR das cartas náuticas do Canal de São Sebastião.

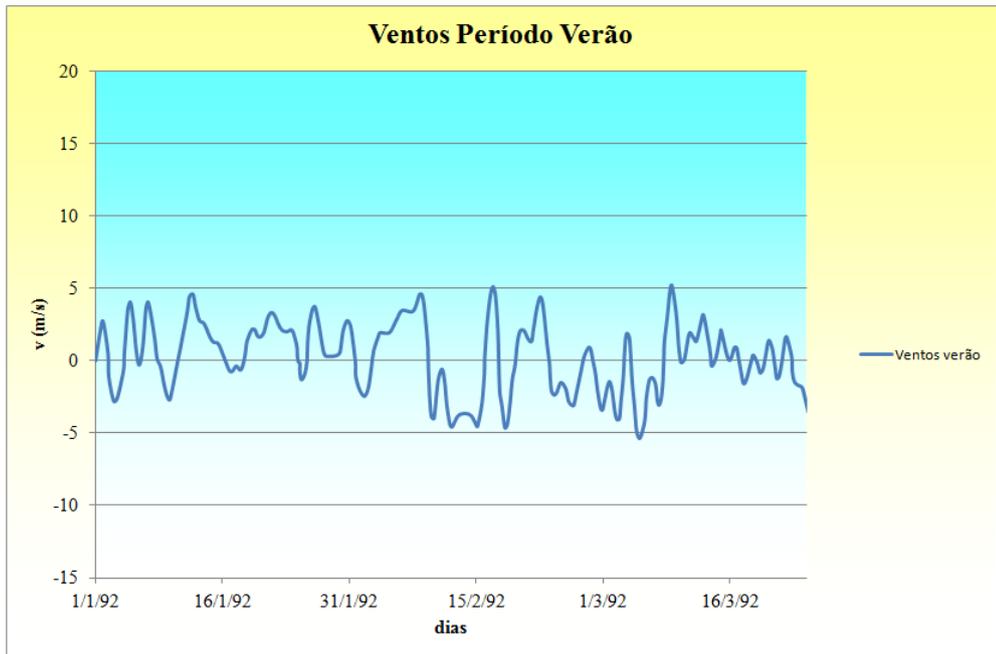


Figura 4: Série de ventos - verão 1992

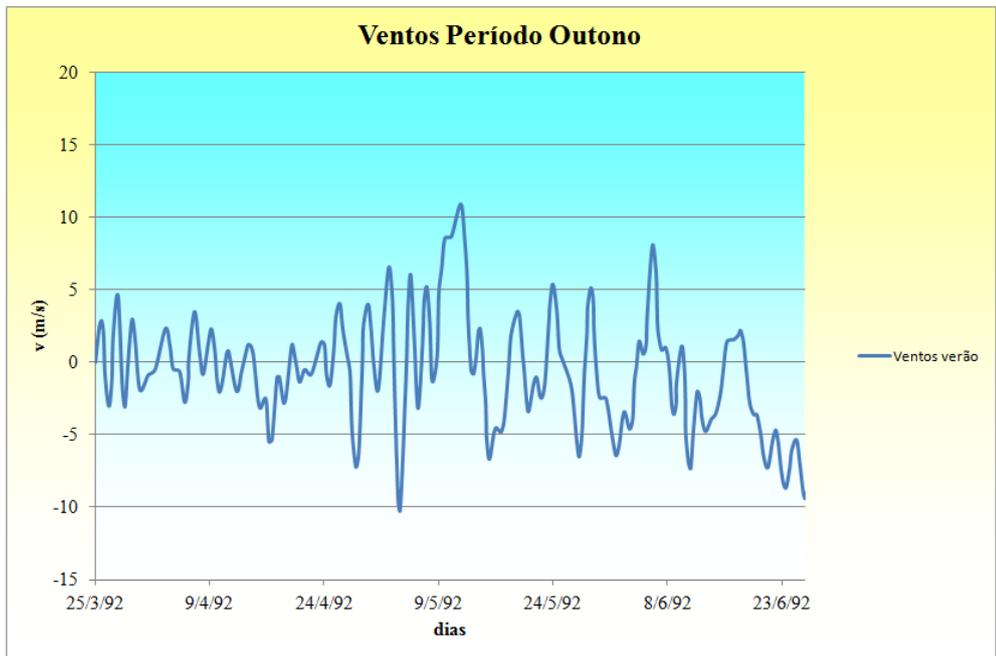


Figura 5: Série de ventos - outono 1992

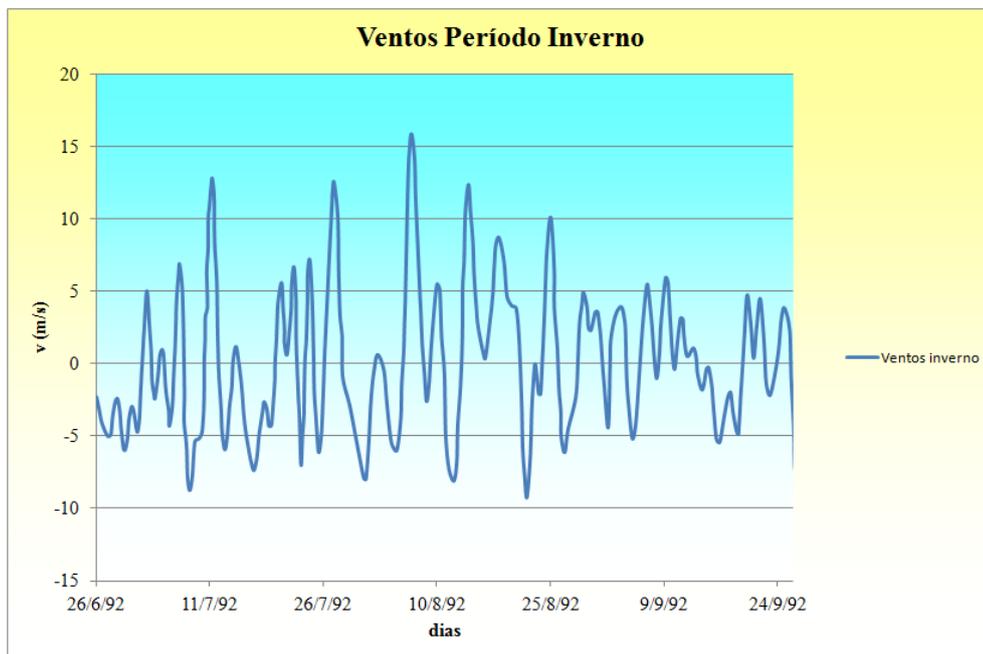


Figura 6: Série de ventos - inverno 1992

Tabela 2: Velocidades longitudinais médias de vento centro do Canal São Sebastião

	velocidades médias (m/s)	
	NE	SO
verão	2,0	2,0
outono	2,7	3,1
inverno	4,2	3,7

### 3.3 Ondas

É notável que a região em estudo se apresenta muito bem protegida da ação das ondas oriundas de mar aberto; assim como destacado por Souza (2012), atestando que a presença da Ilha de São Sebastião e do Canal de São Sebastião (municípios de São Sebastião e Ilhabela) resultou na formação de praias de muito baixa hidrodinâmica de ondas. De acordo com a autora, as ondas geradas em mar aberto praticamente não atuam neste setor e as ondas presentes seriam aquelas geradas pelos ventos locais, que variam de fracos a moderados. A corrente de fundo seria entre um dos principais agentes hidrodinâmicos. Por esse motivo a autora expõe que nesse trecho de linha de costa, as planícies costeiras são quase inexistentes e a plataforma continental é estreita e inclinada.

A atenuação a incidência direta de ondas devido à proteção da Ilha de São Sebastião e de ilhas menores, mesmo as ondas mais fortes, provenientes de sul e sudoeste, associadas às passagens de frentes frias, também é destacada por Barcellos & Furtado (1999). Tal proteção possibilitaria a deposição de sedimentos pelíticos na área. Na porção sul do canal,

 	Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 16/62
	Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
	-	-	
	1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

a incidência de ondas seria mais direta, estando esta área suscetível a movimentações mais efetivas junto ao fundo.

### 3.4 Batimetria

São duas as fontes de dados batimétricos para a região. Uma mais detalhada refere-se ao levantamento elaborado pela empresa PLANAVE S.A. entre os dias 15 a 19 de dezembro de 2012, bem como da carta náutica DHN nº. 1614, para as regiões mais afastadas do empreendimento.

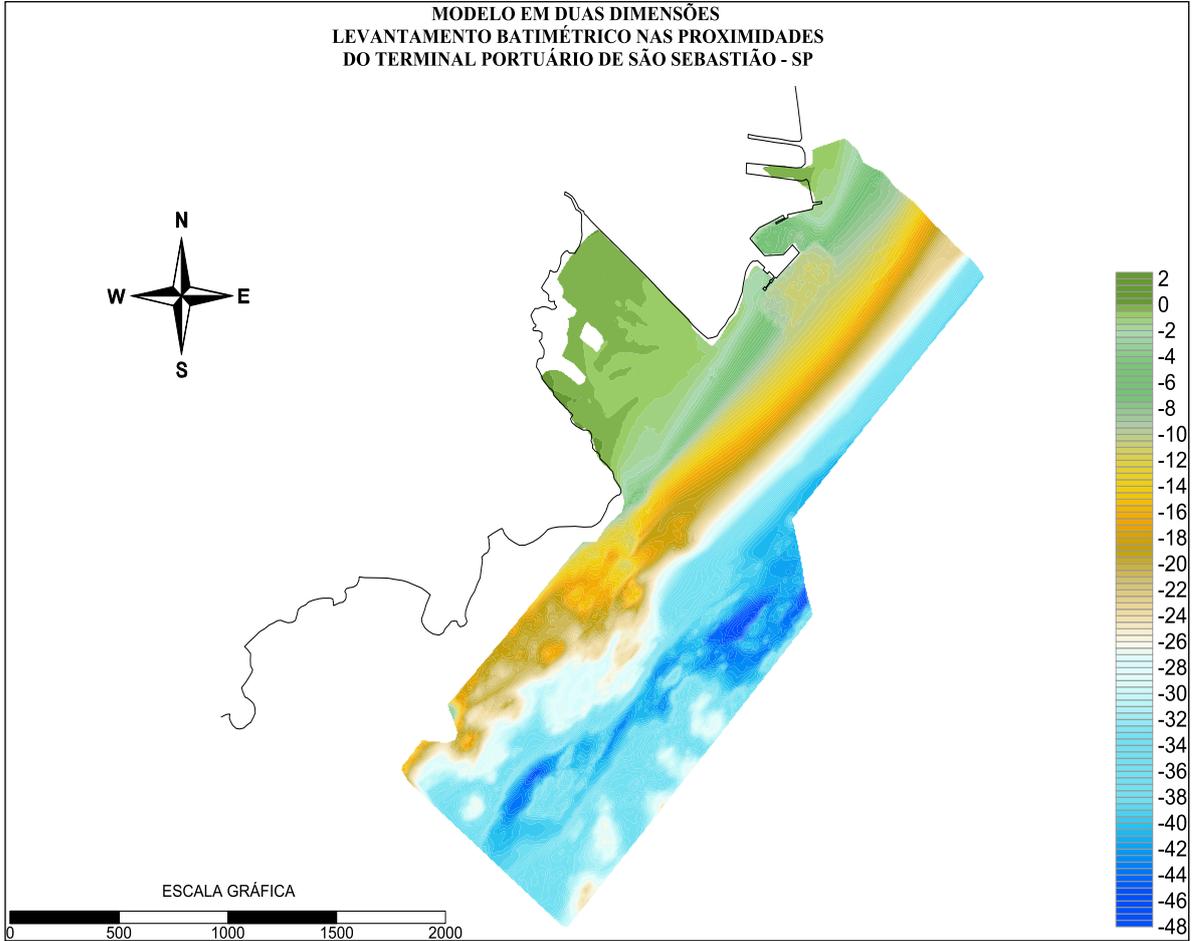
O relatório PLANAVE S.A, RL-B00-M02-0001, apresenta modelos dimensionais 2D e 3D gerados para caracterizar a batimetria da região levantada. As imagens obtidas a partir do levantamento hidrográfico citado podem ser vistas nas Figura 7 e Figura 8.

Segundo o referido relatório, que descreve também o canal de São Sebastião como um todo, a geomorfologia do fundo submarino da área de estudo demonstra a presença de um fundo subdividido em dois setores bem definidos, sendo o setor norte e o setor sul.

O setor norte apresenta uma morfologia homogênea, ou seja, sem a presença de obstáculos de fundo ou grandes feições de destaque. A distribuição dos valores de profundidade obtida foi a esperada para uma área de canal marinho, sendo o eixo central mais profundo e a margem mais rasa. Desta forma, foram encontradas no eixo central do canal as maiores profundidades do setor norte, de aproximadamente -35 m, enquanto que na margem sondada foram encontradas as menores profundidades, em torno de -0.5 m. Somente em um pequeno trecho ao norte é observada uma pequena depressão, originária de ação de dragagem na área frontal ao berço de atracação do Porto de São Sebastião.

Já o setor sul apresenta uma morfologia heterogênea, bem diferente daquela encontrada no setor norte. Apesar do fundo marinho apresentar uma morfologia de canal, onde as maiores profundidades se encontram no eixo e as menores se encontram na margem do canal de São Sebastião, este fundo é quase que completamente ornamentado de feições rugosas. Estas feições apresentam algumas características típicas de feições rochosas cristalinas, como a distribuição e formato caótico das rugosidades. O relatório menciona que, de acordo com Chiregati (*et al.* 1982) *apud* PLANAVE S.A (2013), esta área de caracteriza pela presença de importantes paredões rochosos mergulhando diretamente no mar, o que corrobora a teoria de submersão costeira e afogamento de costões.

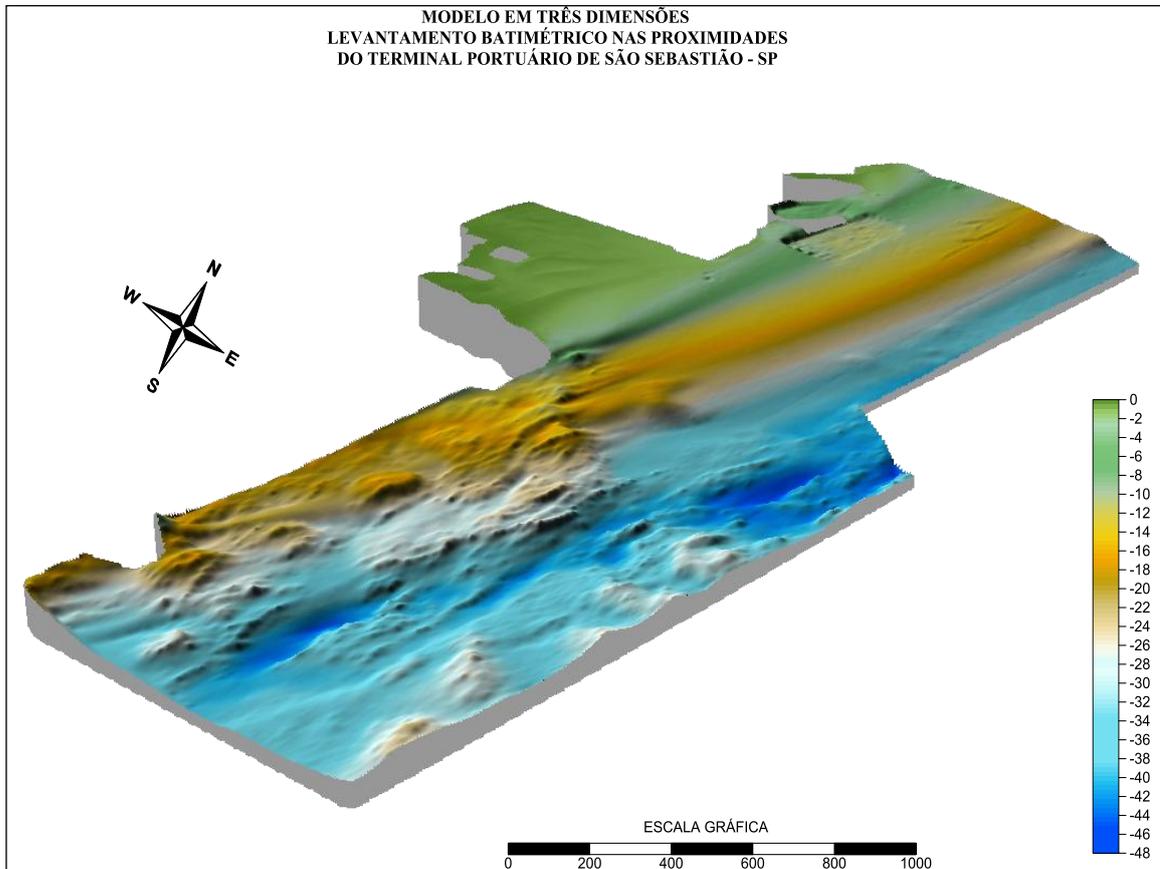
		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 17/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	



Fonte: PLANAVE S.A (2013)

Figura 7: Modelagem bidimensional (2D)

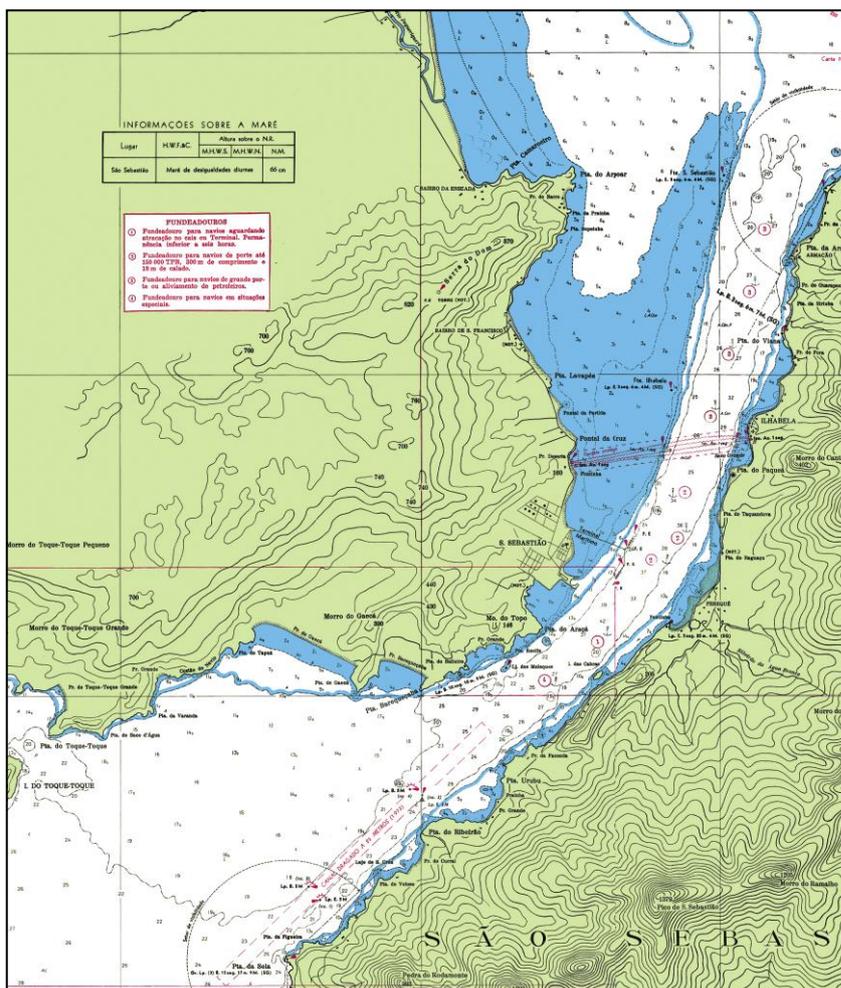
		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 18/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	



Fonte: PLANAVE S.A (2013)

Figura 8: Modelagem tridimensional (3D)

A outra fonte de batimetria do canal São Sebastião consiste na carta náutica nº. 1614 (escala 1:48.110) da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marina do Brasil (DHN, 1985), conforme ilustra a Figura 9. As informações contidas nessa carta foram utilizadas para definir os contornos de costa e as profundidades no interior do domínio, exceto na região em que o levantamento batimétrico recente da PLANAVE S.A foi realizado.



Fonte: DHN, 1985

Figura 9: Cópia parcial da carta náutica nº. 1614 (trecho canal de São Sebastião)

## 4 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A seguir, apresenta-se a metodologia e os resultados das simulações computacionais realizadas com o intuito de prever o padrão de circulação local, ocasionado pela ação combinada da maré e dos ventos, para modelagem hidrodinâmica no Canal de São Sebastião. O modelo foi calibrado com os dados de correntes medidos na região central do canal por FONTES (1995) em períodos disponíveis em diferentes estações do ano. Foram utilizados como dados de entrada a batimetria levantada na região e a evolução da maré gerada pelas constantes harmônicas, além dos ventos registrados no estudo do referido autor.

### 4.1 Considerações sobre a Modelagem Hidrodinâmica

Apresenta-se na sequência a malha de discretização do domínio modelado, os dados de entrada utilizados na simulação do padrão hidrodinâmico da região de interesse e, por fim, os resultados obtidos.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 20/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

#### 4.1.1 Dados de entrada

##### 4.1.1.1 *Discretização do Domínio:*

O domínio do modelo foi discretizado em 543 elementos finitos quadrangulares, totalizando 2358 pontos de cálculo com área total de 109,13 km<sup>2</sup>. O maior elemento finito gerado possui dimensões de 1000x1000 m, já o menor 90x85 m, maior refino foi dado à enseada aonde se dará a ampliação do porto. A Figura 10 ilustra todo o domínio.

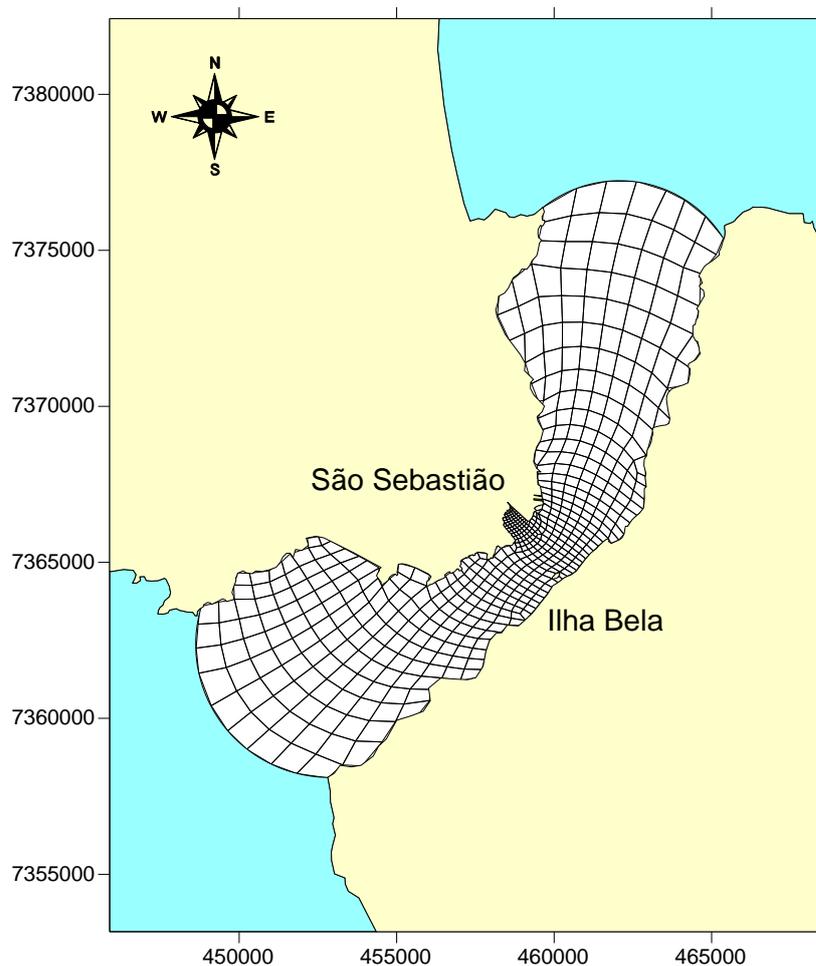


Figura 10: Malha de discretização do domínio do modelo

##### 4.1.1.2 *Batimetria:*

Os contornos terrestres e as informações batimétricas da região modelada foram extraídos da carta náutica DHN nº. 1614, bem como do levantamento batimétrico elaborado pela empresa PLANAVE S.A. já citado, para as regiões próximas ao empreendimento, como a enseada e parcela do canal.

A partir desses dados, foi realizada uma interpolação de forma a se obter valores de profundidade em cada nó da malha de elementos finitos, utilizada na modelagem computacional hidrodinâmica. A Figura 11, a seguir, demonstra a batimetria do canal de São

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 21/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

Sebastião conforme interpolada pelo modelo. As profundidades estão referenciadas ao N.R da DHN.

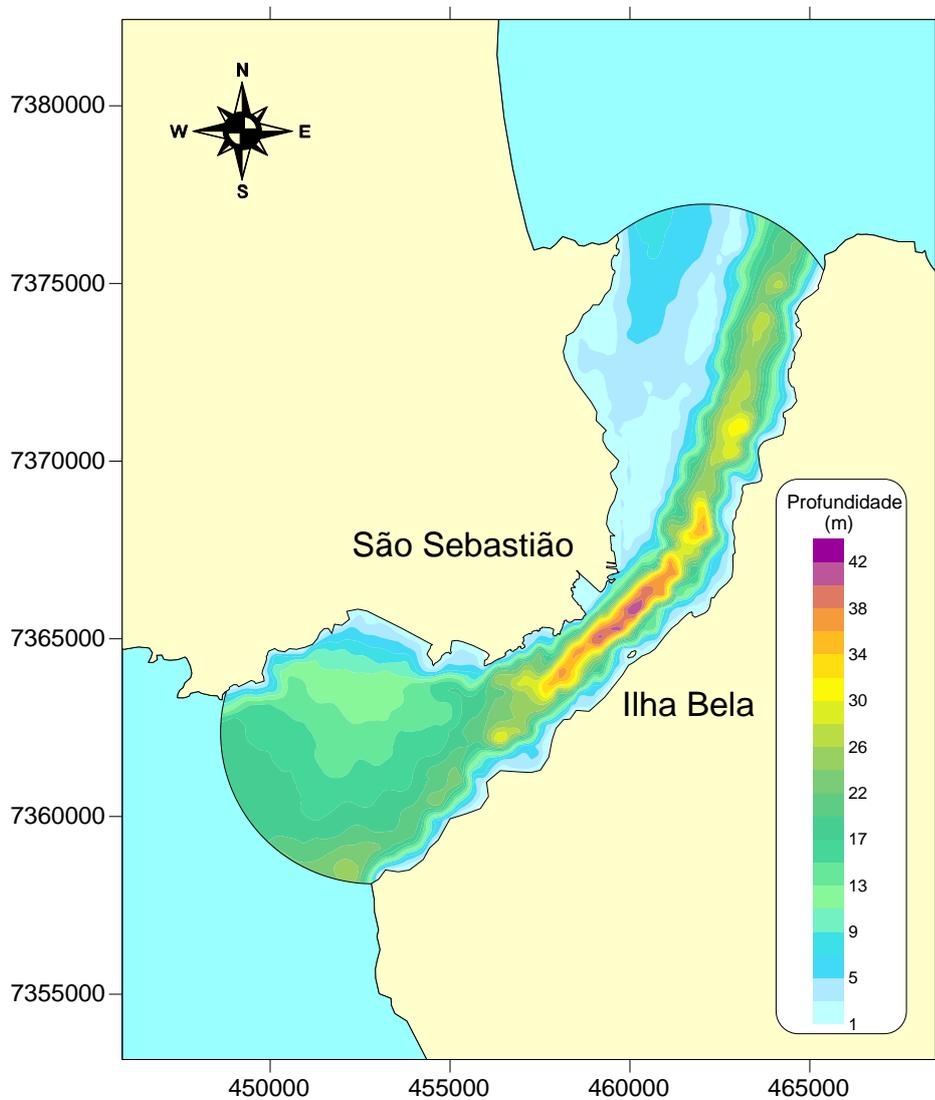


Figura 11: Configuração batimétrica do modelo

#### 4.1.1.3 Fronteira aberta:

A inserção dos efeitos da maré é feita através da prescrição de elevação do nível d'água na fronteira aberta do domínio. Neste modelo, foi considerada uma maré sintética gerada a partir das constantes harmônicas da estação maregráfica do Porto de São Sebastião fornecidas pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR, 2000), conforme apresentado no Item 3.1. As Figuras a seguir ilustram as elevações de marés utilizadas na simulação, por período suficientemente longo de forma a incluir a ocorrência de marés de sizígia e quadratura em todos os casos que serão simulados. Verificam-se ainda das figuras que as alturas das marés de sizíguas máximas são de cerca de 1,2 m, enquanto que quadraturas típicas têm alturas entre 0,4 e 0,6 m.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 22/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

Como dado de entrada para os nós que compõe as fronteiras abertas foi utilizado uma diferença de fase de 11 minutos entre o extremo sul e o norte, além de uma defasagem entre as elevações dos contornos abertos do canal com o objetivo de gerar o fluxo da corrente. Devido a alternância do sentido longitudinal do fluxo de correntes foi necessário que a defasagem entre as fronteiras oscilasse ao longo do tempo. Dessa forma foi possível simular a variação do sentido da corrente ao longo do canal.

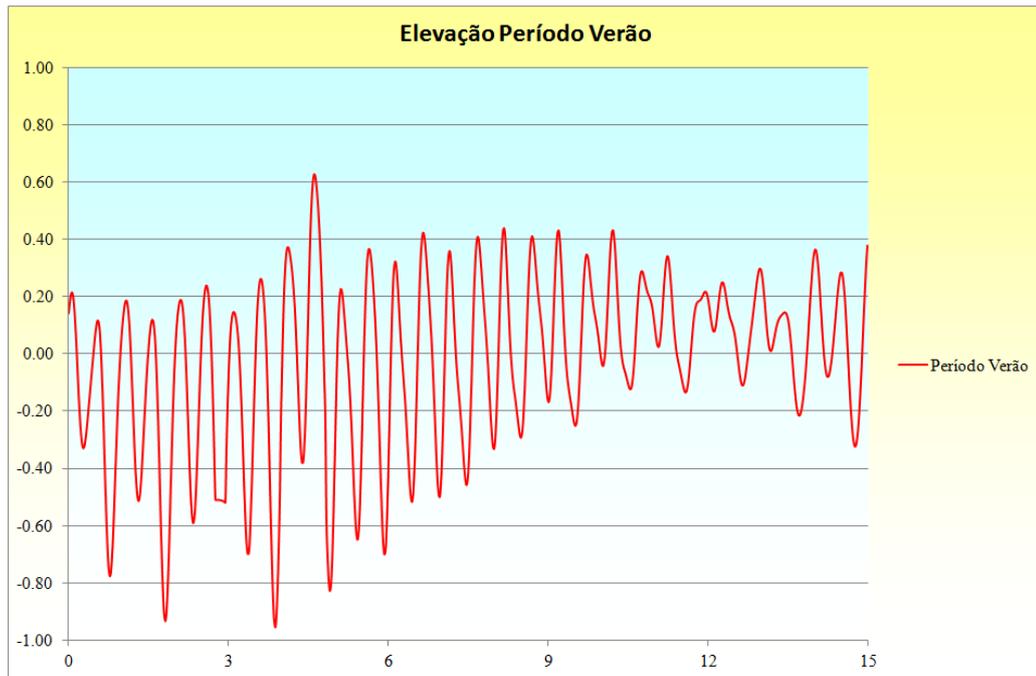


Figura 12: Elevação da maré para o período verão

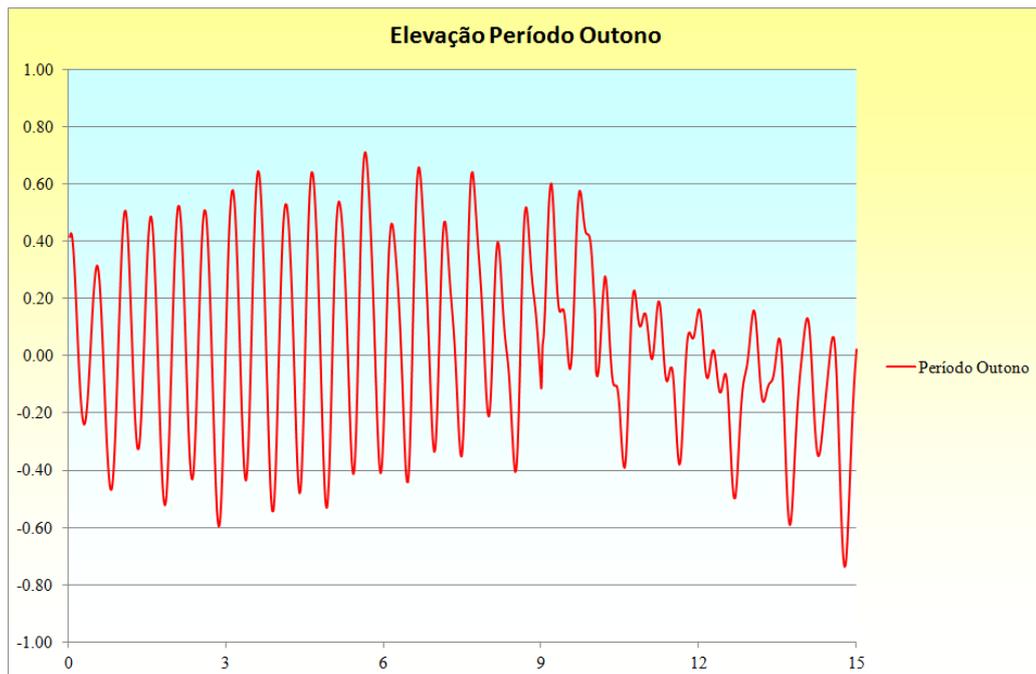


Figura 13: Elevação da maré para o período outono

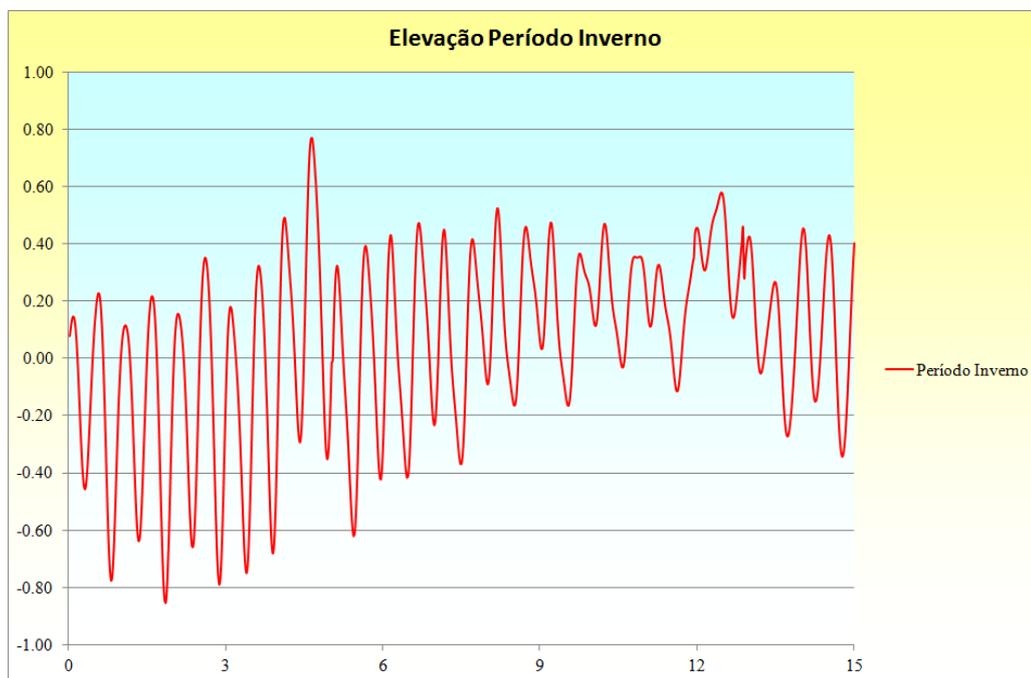


Figura 14: Elevação da maré para o período inverno

#### 4.1.1.4 Circulação Hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica nesta região foi realizada em duas etapas. Na primeira, foi simulado o cenário atual, utilizando a batimetria atual e os dados medidos de velocidades de correntes como parâmetros de calibração, como será apresentado no item 5. Na segunda etapa, foram introduzidas na simulação estacas no local onde haverá a ampliação do porto. O conjunto de estaqueamento consistirá em estacas de 0,8 m de diâmetro, espaçadas a cada 5 metros. A Figura 15 a seguir ilustra a região onde será inserida a laje sobre o estaqueamento.

Assim, o modelo hidrodinâmico terá como finalidade demonstrar as possíveis alterações geradas pela ampliação do porto, no que diz respeito à circulação de correntes, em relação à situação atual.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	24/62



Fonte: Google Earth, 2013.

Figura 15: Área de ampliação

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 25/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

Para a calibração do modelo, foram utilizados dados de medições de correntes extraídos de FONTES (1995). Os dados foram registrados ao longo do ano de 1992 e divididos por estações do ano; obtendo-se tendências de sazonalidade. Os dados de correntes utilizados foram obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo localizado no centro do canal nas coordenadas aproximadas 460200 E e 7365400 S, datum UTM WGS-84, como ilustra a Figura 16 a seguir.

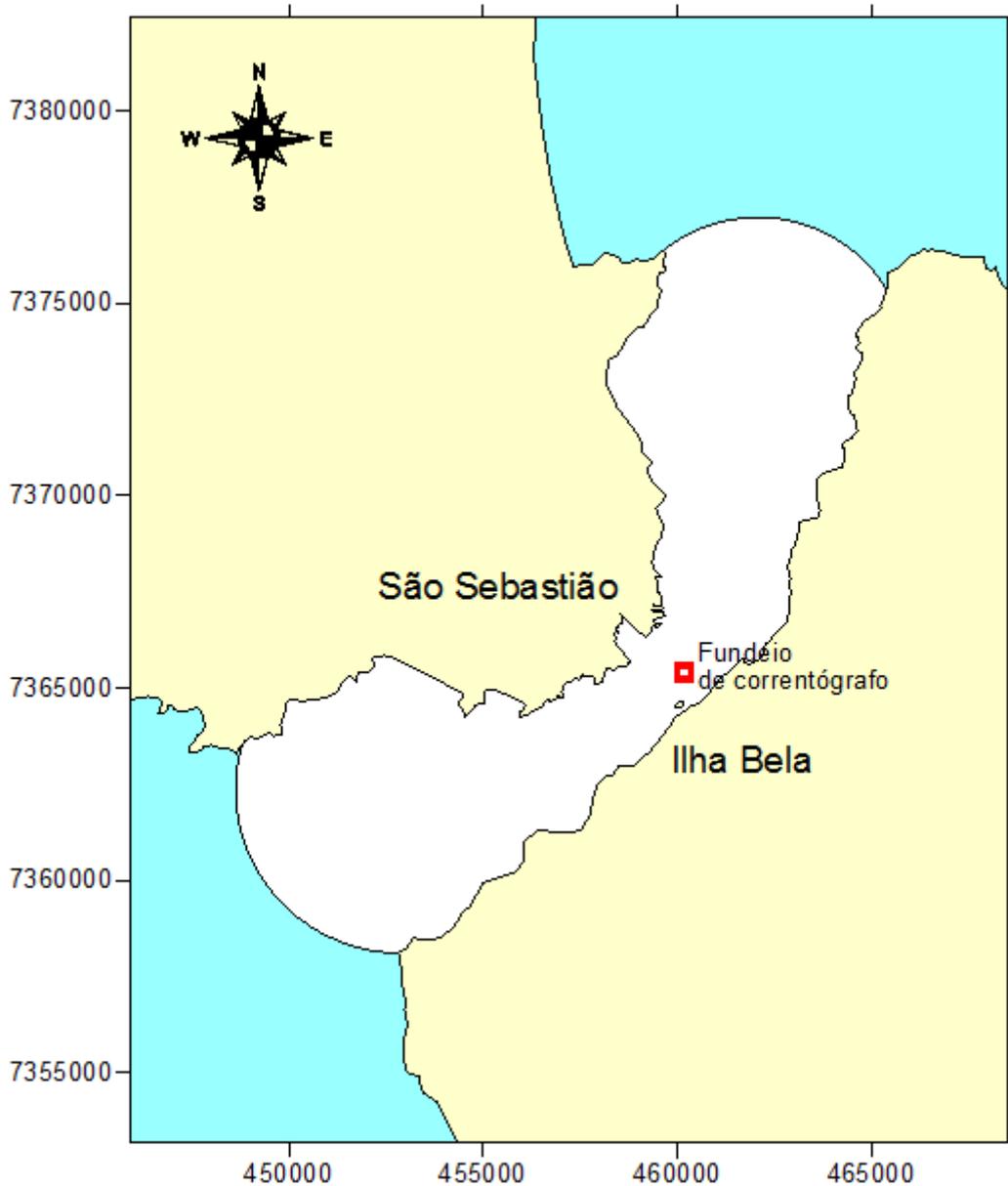


Figura 16: Localização do ponto de medição de correntes

A sequência da Figura 17 a Figura 19 representa as velocidades longitudinais das correntes de fundo (17 m) no centro do canal utilizados na calibração do modelo, que será percorrido na seção seguinte. Para guiar o leitor, as velocidades positivas se referem às correntes longitudinais direcionadas para NE, ao passo que as negativas estão no sentido contrário, se direcionando para SO.

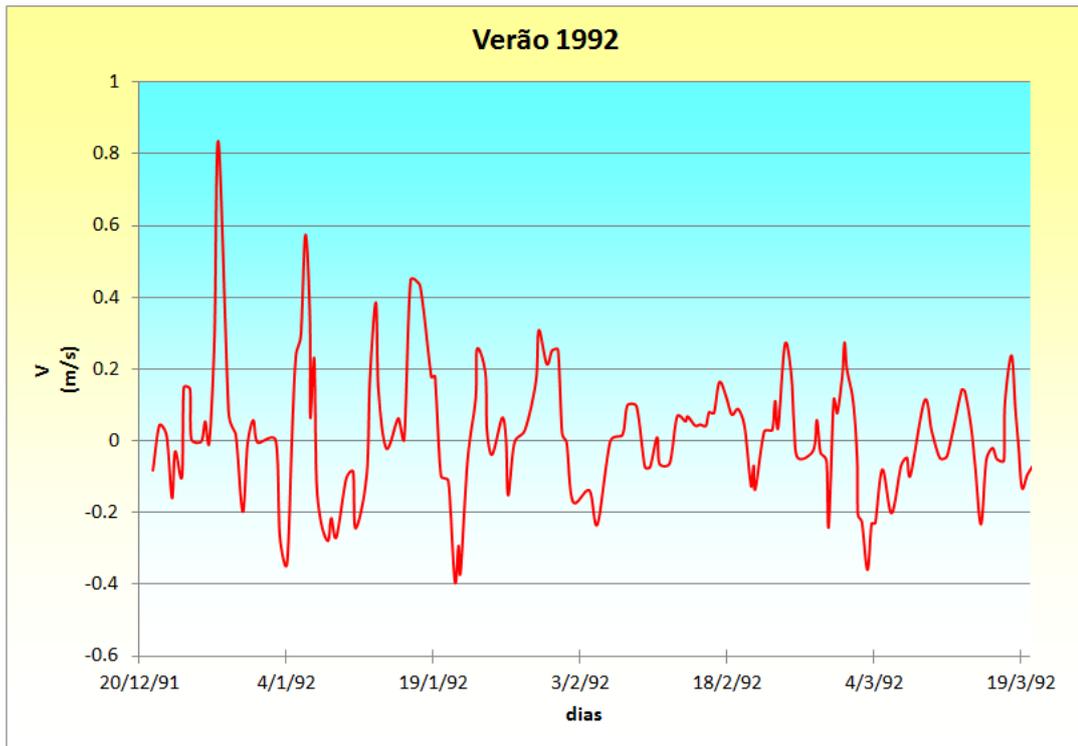


Figura 17: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no verão 1992

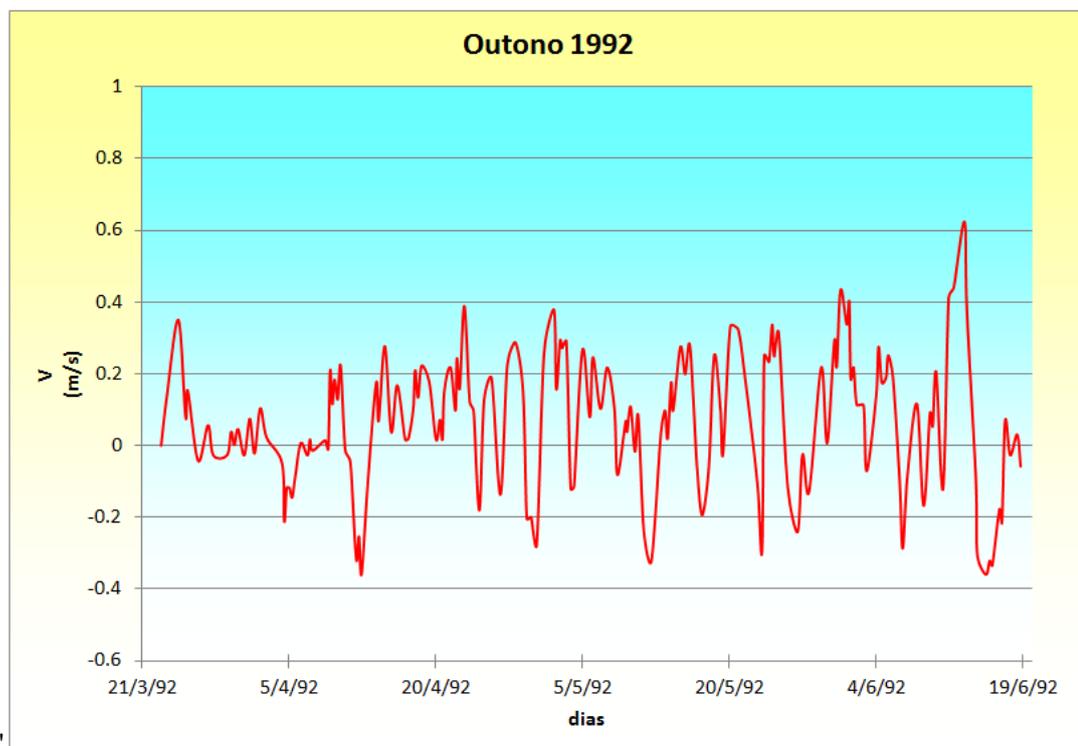


Figura 18: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no outono 1992

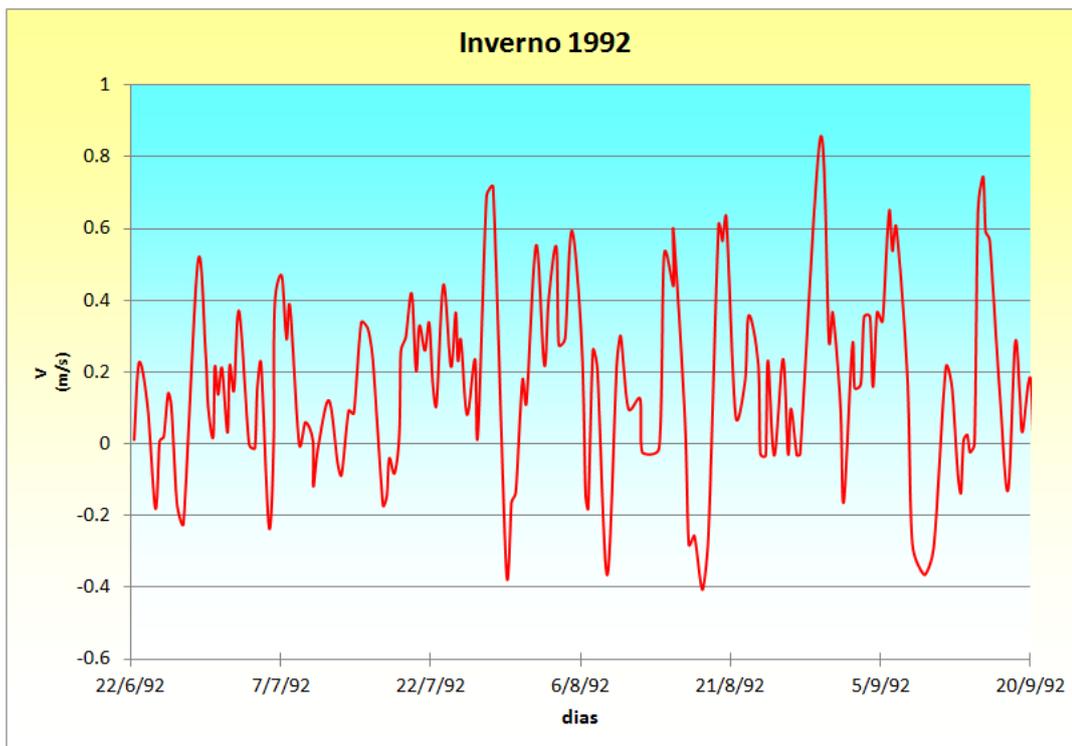


Figura 19: Velocidade longitudinal medida no centro do canal no inverno 1992

Na Tabela 3 a seguir são apresentados os valores médios e os máximos das velocidades de correntes, assim como o seu sentido, registradas no centro do canal, no ano de 1992, enquanto que na Tabela 4 estão dispostos os percentuais de tempo do sentido das velocidades longitudinais no eixo do canal, aqui representadas pelas direções nordeste (NE) e sudoeste (SO).

Tabela 3: Velocidades médias e máximas levantadas no centro do Canal São Sebastião

Estação do ano	VMédio (m/s)		VMáximo (m/s)	
	NE	SO	NE	SO
Verão	0,17	0,15	0,83	0,39
Outono	0,20	0,15	0,62	0,36
Inverno	0,30	0,16	0,85	0,40

Fonte: Adaptado FONTES (1995)

Tabela 4: Distribuição das direções das velocidades levantadas no centro do Canal São Sebastião

Estação do ano	Frequência (%)	
	NE	SO
Verão	57	43
Outono	77	23
Inverno	81	19

Fonte: Adaptado FONTES (1995)

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 28/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

Nota-se uma semelhança de velocidades médias e máximas de correntes no sentido sudoeste em todo o ano, porém, nas correntes de nordeste percebe-se uma maior intensidade da velocidade média no inverno em relação às outras épocas do ano. De maneira geral, ao analisar as velocidades, pode-se concluir uma maior intensidade e frequência da corrente para o sentido nordeste, o que ocorreu ao longo de todas as estações do ano registradas.

## 5 RESULTADOS DO MODELO HIDRODINÂMICO

A modelagem hidrodinâmica na região foi realizada em duas etapas: primeiramente foi considerado o cenário atual, juntamente com sua calibração, e posteriormente as intervenções da ampliação do porto, com os estaqueamentos, representando o cenário futuro.

### 5.1 Cenário Atual

A sequência da Figura 20 a Figura 22 representa a velocidade longitudinal de correntes na região central do Canal de São Sebastião geradas pelas simulações para o cenário atual, ao longo de um período de 15 dias, de forma a englobar a ocorrência marés de sizígia e quadratura. A partir dos dados de correntes e ventos apresentados por FONTES (1995) foi possível calibrar a simulação e assim gerar períodos de tempo representativos a cada estação do ano, considerando as suas características. Visando comparar os resultados obtidos pela simulação com os levantados, registraram-se os valores em uma estação situada nas mesmas coordenadas aonde foram realizadas as medições de correntes utilizadas na calibração.

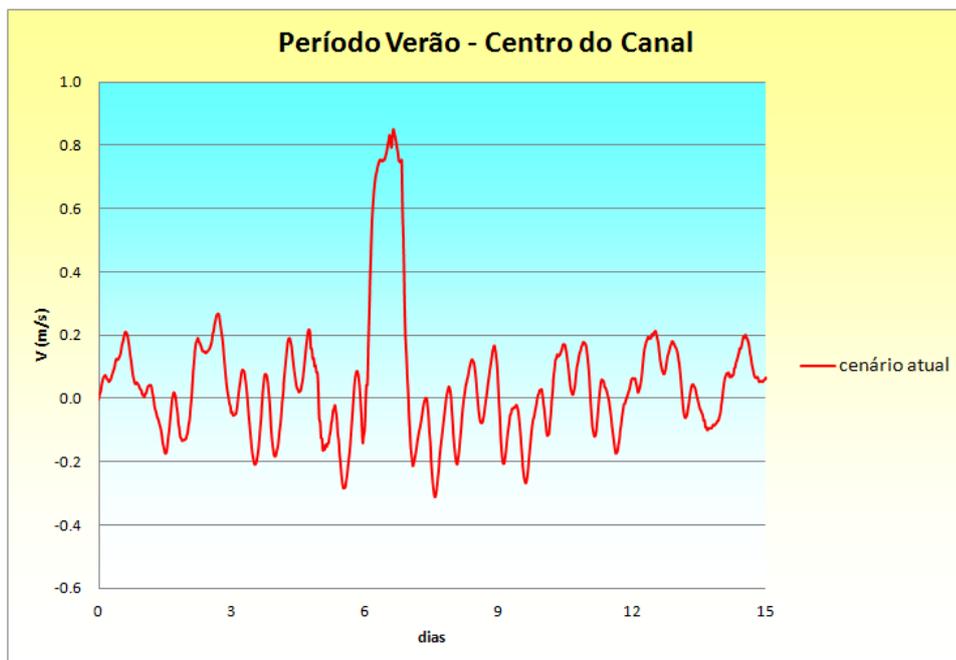


Figura 20: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

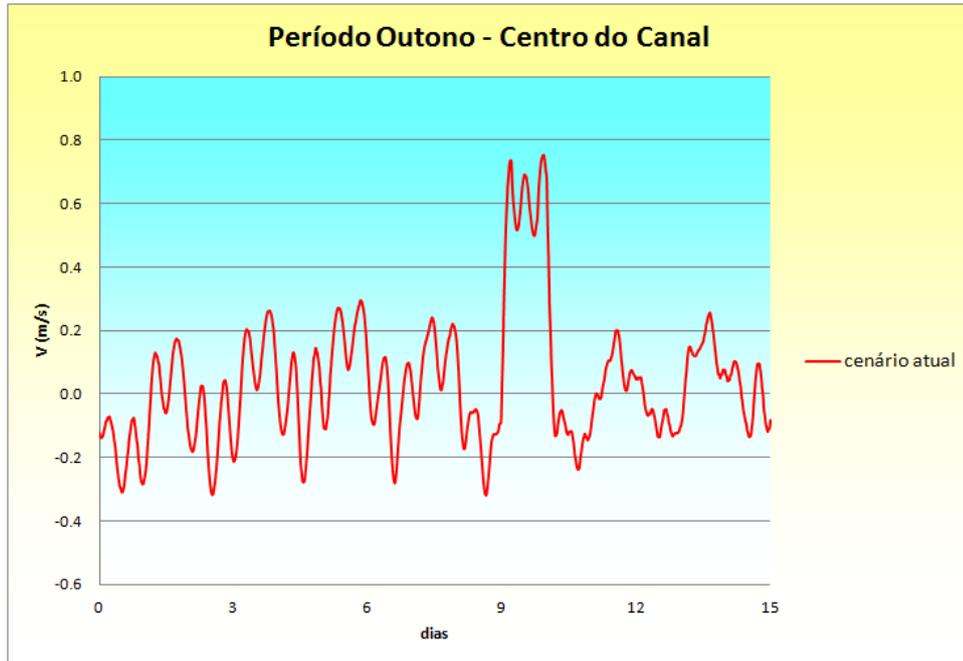


Figura 21: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

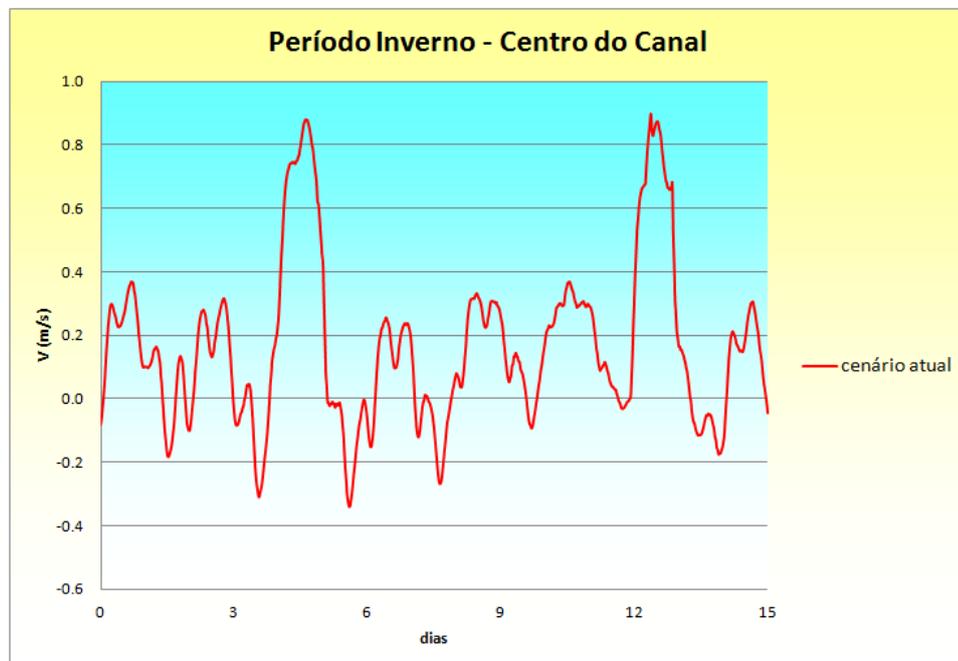


Figura 22: Resultados de velocidades no centro do canal São Sebastião período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

Ao comparar os dados de correntes medidos com as séries geradas pela simulação percebe-se uma similaridade de resultados. Nota-se, nos resultados simulados, uma maior frequência e intensidade para o nordeste, tal como visto nas medições. Além disso, as

 	Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 30/62
	Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

velocidades máximas e médias geradas pelo modelo foram similares com aquelas levantadas em campo, como pode ser observado nas Tabela 5 e Tabela 6 a seguir.

Tabela 5: Comparação das velocidades medidas e simuladas no centro do canal São Sebastião

Estação do ano	Registrados				Simulados			
	VMédio (m/s)		VMáximo (m/s)		VMédio (m/s)		VMáximo (m/s)	
	NE	SO	NE	SO	NE	SO	NE	SO
Verão	0,17	0,15	0,83	0,39	0,15	0,10	0,89	0,31
Outono	0,20	0,15	0,62	0,36	0,18	0,12	0,75	0,32
Inverno	0,30	0,16	0,85	0,40	0,29	0,10	0,89	0,35

Tabela 6: Comparação da distribuição das direções das velocidades medidas e simuladas no centro do Canal São Sebastião

Estação do ano	Frequência (%)			
	Registrados		Simulados	
	NE	SO	NE	SO
Verão	57	43	56	44
Outono	77	23	52	48
Inverno	81	19	71	29

Para o Verão, as simulações geraram velocidades médias, no centro do canal, de 0,15 m/s para sentido nordeste e 0,10 m/s para sudoeste, chegando a valores máximos de 0,89 m/s e 0,31 m/s, respectivamente. Estes valores obtidos foram semelhantes aos registrados neste mesmo local, cujas médias foram de 0,17 m/s e 0,15 m/s, chegando a picos de 0,83 m/s e 0,39 m/s para os sentidos nordeste e sudoeste respectivamente.

No período Outono as simulações forneceram, no centro do canal, velocidades médias de 0,18 m/s e 0,12 m/s, com valores máximos de 0,75 m/s e 0,32 m/s, direcionadas para o nordeste e sudoeste, respectivamente. Assim como verificado no Verão, as simulações referentes ao Outono foram similares aos valores levantados em campo, sendo as velocidades médias de 0,20 m/s (NE) e 0,15 m/s (SO), com valores extremos de 0,62 m/s e 0,36 m/s, para as mesmas direções.

Para o período do Inverno também não foi diferente, pois os valores gerados pela simulação estiveram muito próximos aos obtidos em campo. Os valores médios de velocidade simulados foram de 0,29 m/s e 0,10 m/s, com máximas de 0,89 m/s e 0,35 m/s, direcionados para o nordeste e sudoeste. Já os valores de velocidade média registrados nesta estação foram de 0,30 m/s e 0,16 m/s, com máximas de 0,85 m/s e 0,4 m/s, nos sentidos nordeste e sudoeste, respectivamente.

Verifica-se que as maiores velocidades das correntes marinhas seguem o alinhamento do canal de São Sebastião, localizando-se na porção central e centro norte do mesmo, aonde as profundidades são maiores (vide batimetria Figura 11). Tal situação pode ser observada

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA:
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	31/62
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

na sequência da Figura 30 a Figura 43, que apresenta o mapeamento das correntes em todo o domínio modelado para as situações atual e futura.

No que tange ao direcionamento das correntes, o sentido nordeste é o mais frequente em todas as estações do ano registradas, sendo mais equilibrado somente no verão, onde praticamente os mesmos percentuais medidos e simulados foram obtidos. No inverno, o desequilíbrio para nordeste também é verificado, com 81% do tempo nas medições e 71% do tempo nas simulações; por conseguinte, as correntes se direcionam para sudoeste, em cerca de 20 e 30% do tempo, de acordo com as medições e a simulação, respectivamente. O outono foi o único período mais destoante, pois as medições indicam um direcionamento para nordeste em 77% do tempo e 23% do tempo para sudoeste, ao passo que as simulações, apesar de também mostrarem maior frequência para nordeste, fornecem um maior equilíbrio entre as direções NE e SO.

Ainda sobre o direcionamento das correntes, verifica-se que estas se alinham com a maior dimensão do canal (vide Figura 30 a Figura 43), o que já era de se esperar, dada a própria geografia deste corpo d'água, bem alongado nessa direção e que possui duas entradas de maré (NE e SO). Além disso, os ventos medidos atuam sempre nesse sentido, conforme já discorrido anteriormente, no item 3.2.

## 5.2 Cenário Futuro

Para o cenário futuro, no qual se insere o estaqueamento já descrito, os resultados obtidos na região central do Canal São Sebastião foram muito semelhantes aos gerados para o cenário atual. Na sequência da Figura 23 a Figura 25 é possível comparar os valores de velocidades longitudinais gerados para a situação futura com aqueles obtidos no cenário atual, para os diferentes períodos simulados.

O mapeamento das velocidades em toda a área modelada, que é apresentado pela sequência da Figura 30 a Figura 53, também atestam insignificantes mudanças no padrão de circulação de todo o Canal de São Sebastião. Estas figuras ilustram os momentos de velocidades máximas no centro do canal para os sentidos nordeste e sudoeste, referentes a ambos os cenários. As maiores velocidades persistem na porção central e centro norte do canal. Pode-se verificar ainda que as correntes em toda a área modelada sempre se alinham com a maior dimensão do canal, tal como verificado na situação atual.

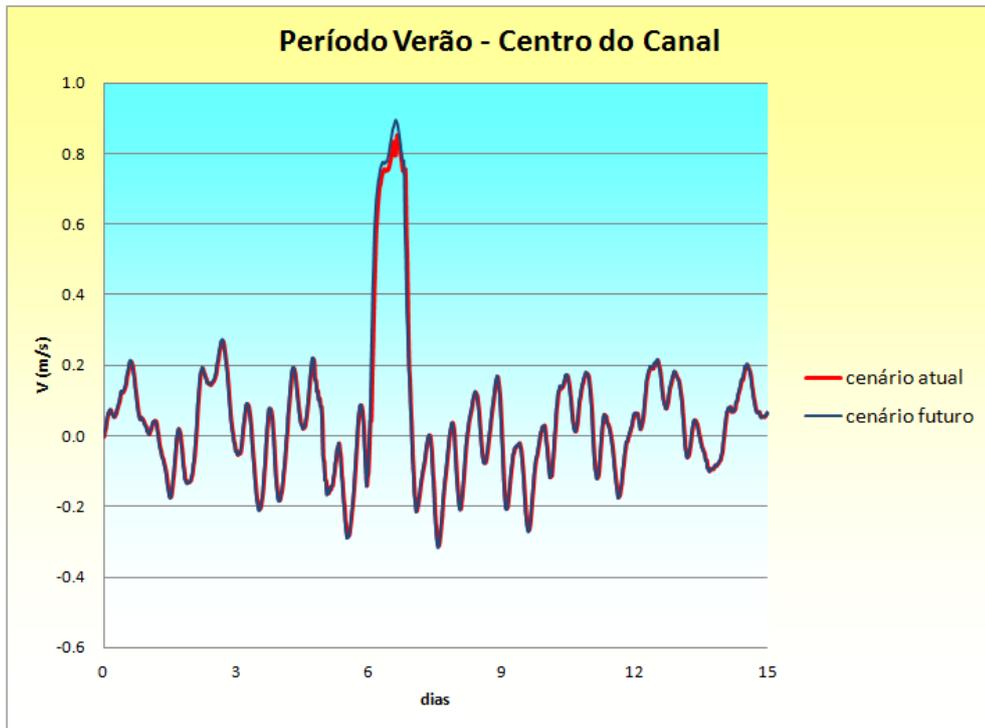


Figura 23: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

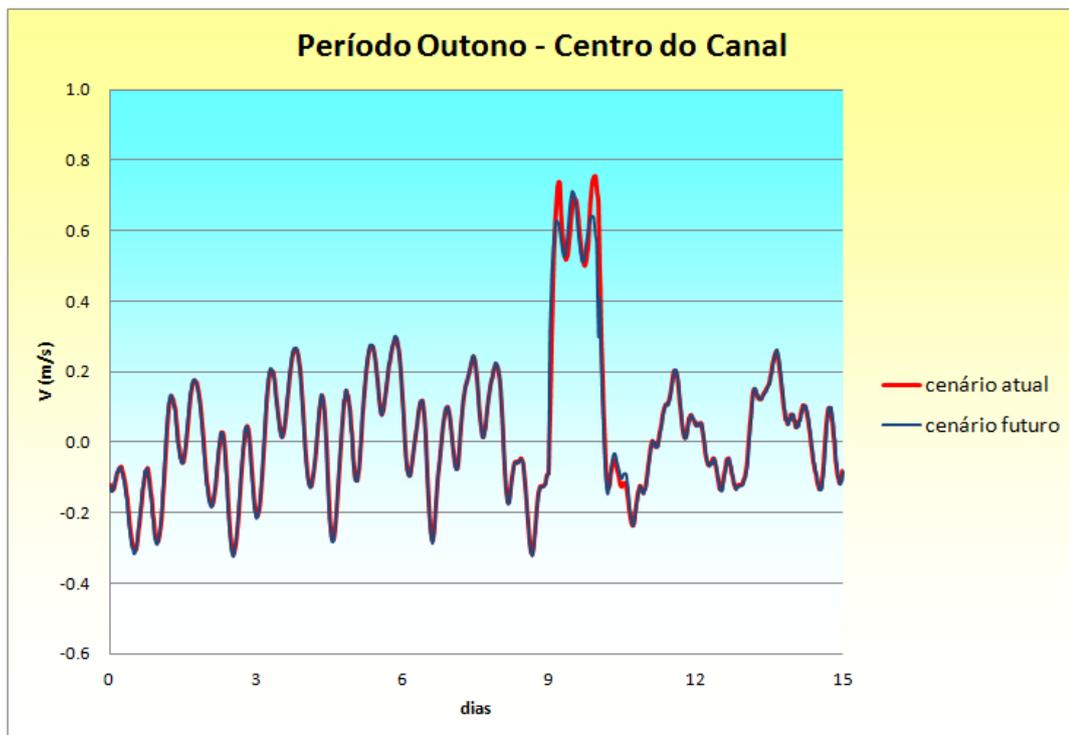


Figura 24: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

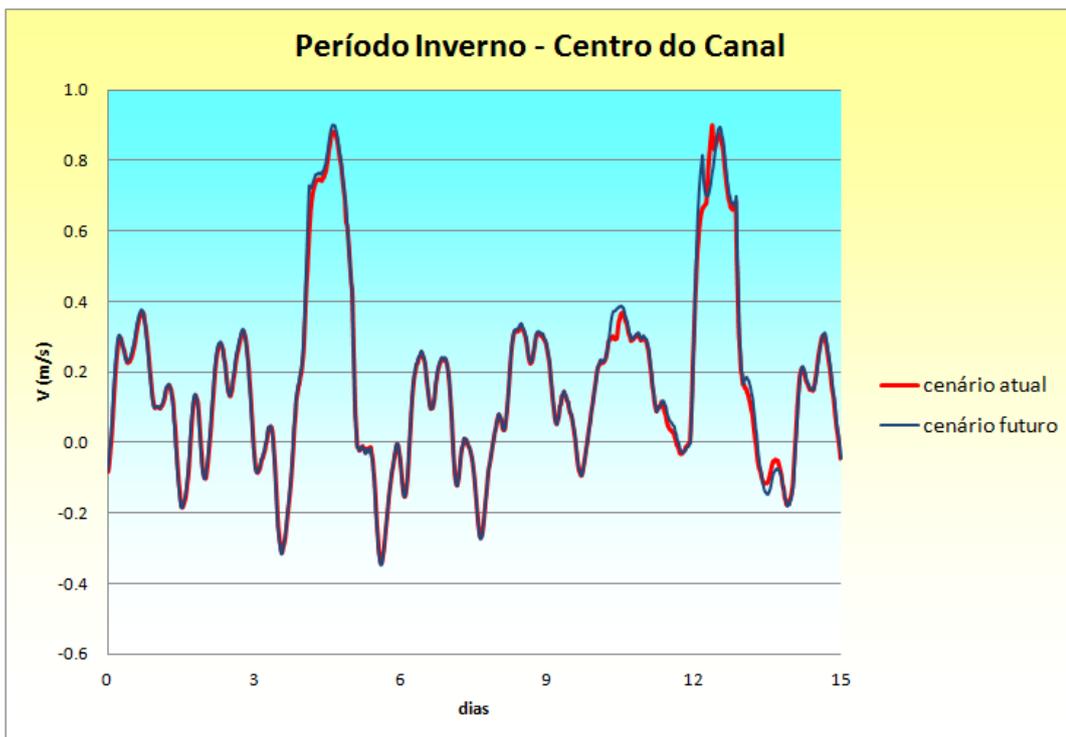


Figura 25: Velocidades simuladas no centro do canal São Sebastião do cenário atual e futuro para o período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

Para analisar a circulação hidrodinâmica na região da enseada, onde será realizada a ampliação do empreendimento, foi posicionada uma estação no local, para obtenção dos resultados simulados, conforme mostra a Figura 26. Assim foi possível comparar a influência dos cenários atual e futuro pra esta região específica.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 34/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

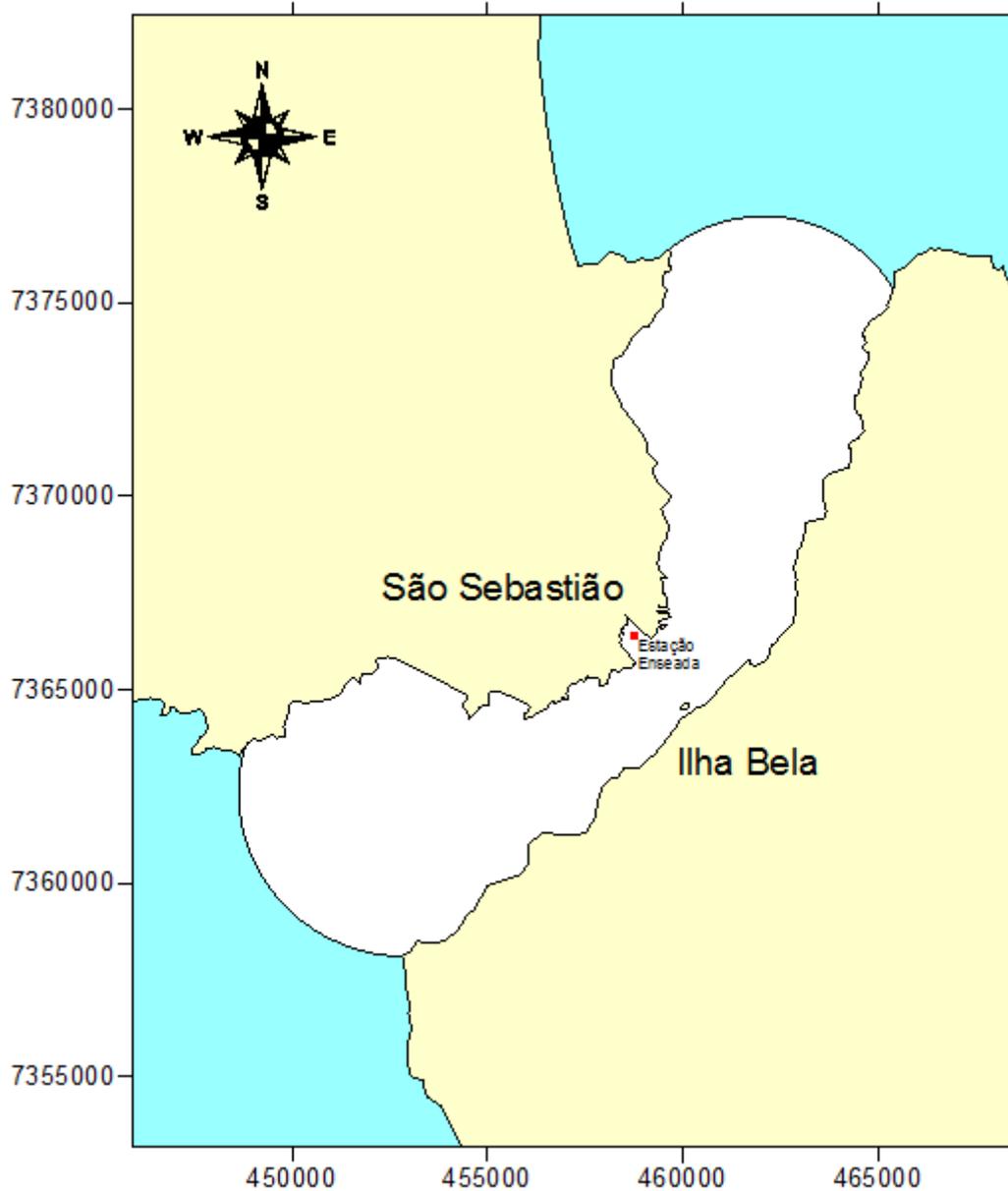


Figura 26: Localização da estação de resultados para a região da enseada

Na sequência da Figura 27 a Figura 29, pode-se observar a variação dos resultados de velocidades longitudinais para a situação atual e futura na enseada onde haverá a ampliação do porto. Percebe-se que a velocidade longitudinal na enseada se mantém, de modo geral, no intervalo de  $-0,05$  m/s e  $0,05$  m/s tanto para o cenário atual quanto a condição futura, e os picos não alcançam  $0,10$  m/s em ambos os cenários, não ocorrendo, portanto, diferenças significativas entre ambas.

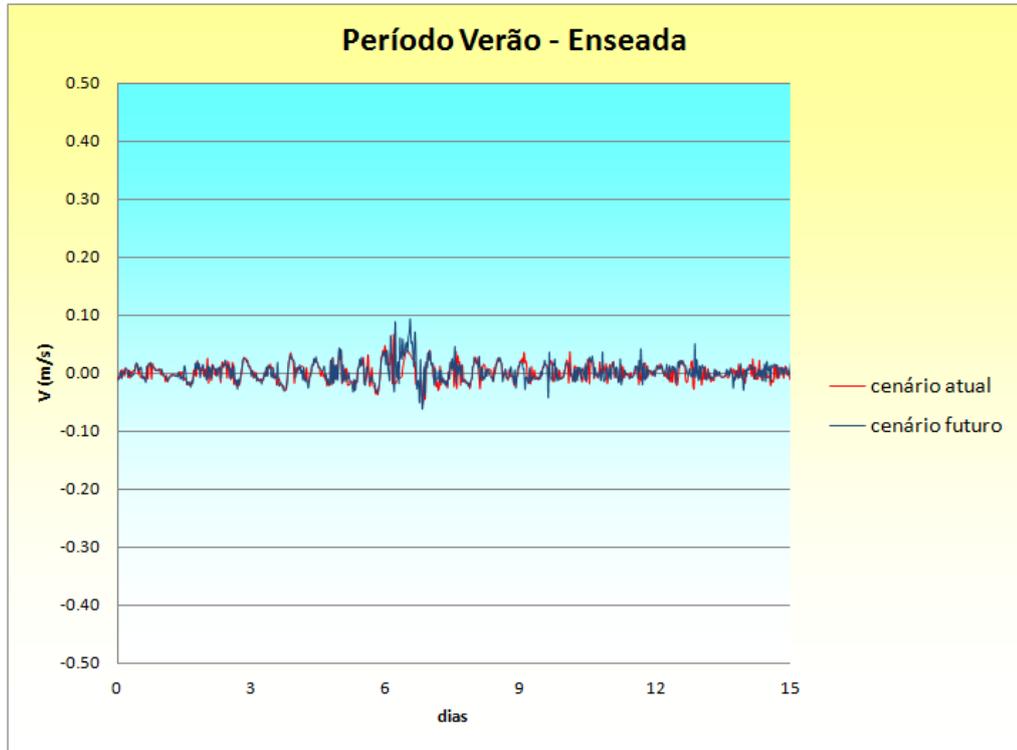


Figura 27: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período verão. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

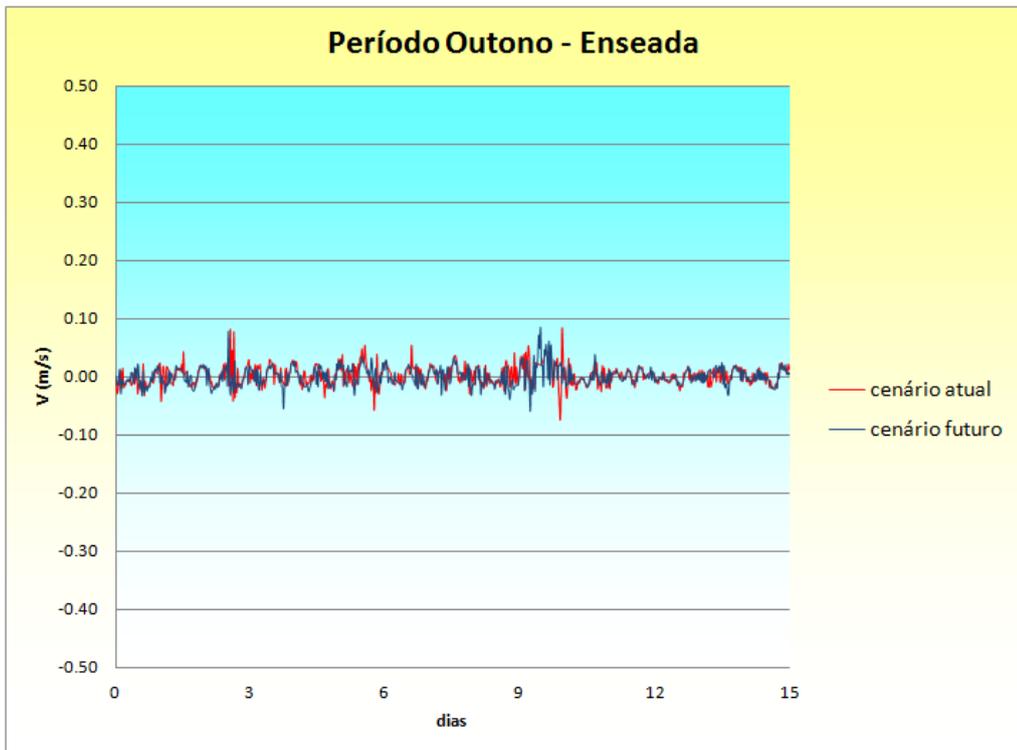


Figura 28: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período outono. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 36/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

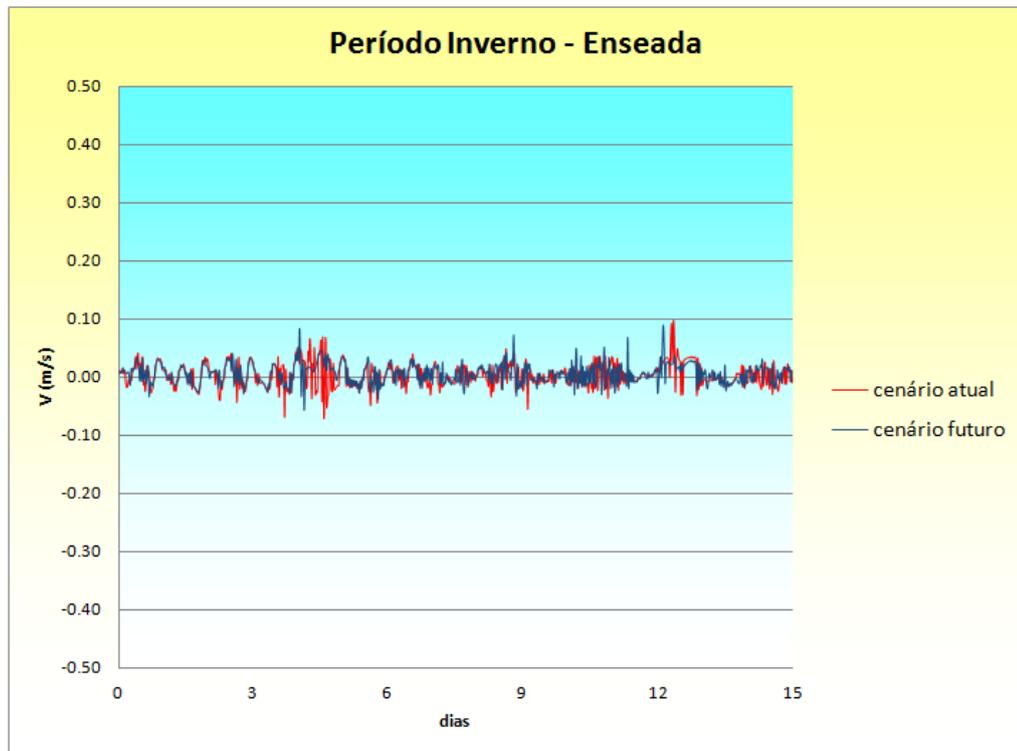


Figura 29: Velocidades simuladas na estação enseada para os cenários atual e futuro no período inverno. vel(+) direcionada para NE, vel(-) direcionando para SO.

Como já descrito, a sequência da Figura 30 a Figura 53, a seguir, ilustram os momentos de velocidades máximas no centro do canal e o comportamento hidrodinâmico na enseada para os sentidos nordeste e sudoeste referentes a ambos os cenários. Apesar da alteração nas magnitudes das correntes serem imperceptíveis no canal como um todo, foi possível observar uma mudança do comportamento hidrodinâmico somente na região da enseada para as diferentes situações, no que diz respeito ao direcionamento das correntes. No cenário atual, foi observada uma maior tendência na formação de vórtices na enseada, o que ocorre com maior dificuldade no cenário futuro devido à presença do estaqueamento, ou seja, as velocidades nesse cenário apresentaram um direcionamento mais homogêneo. Ainda assim, verificou-se que as velocidades de correntes são muito pequenas para ambas as situações na região da enseada.

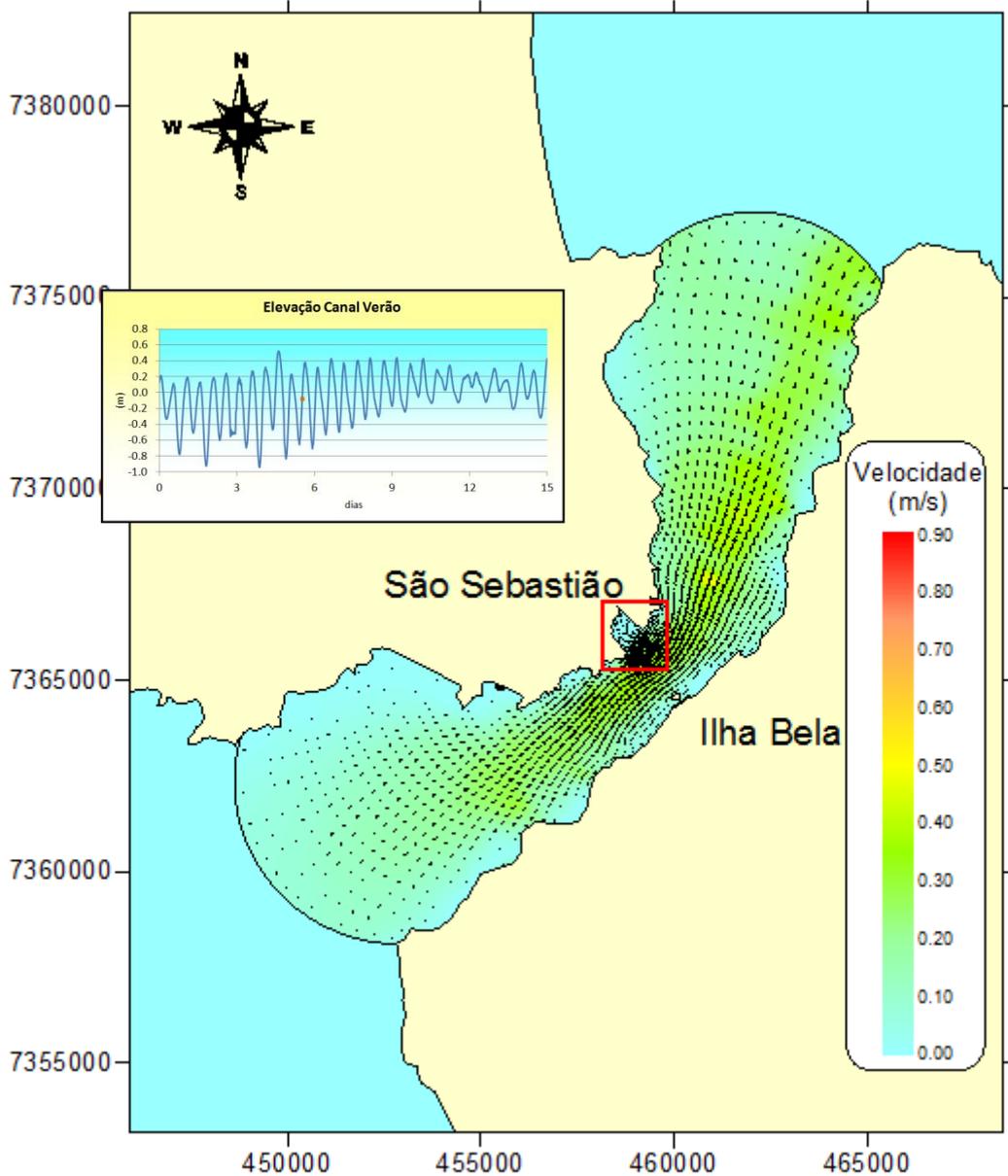


Figura 30: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste - cenário atual

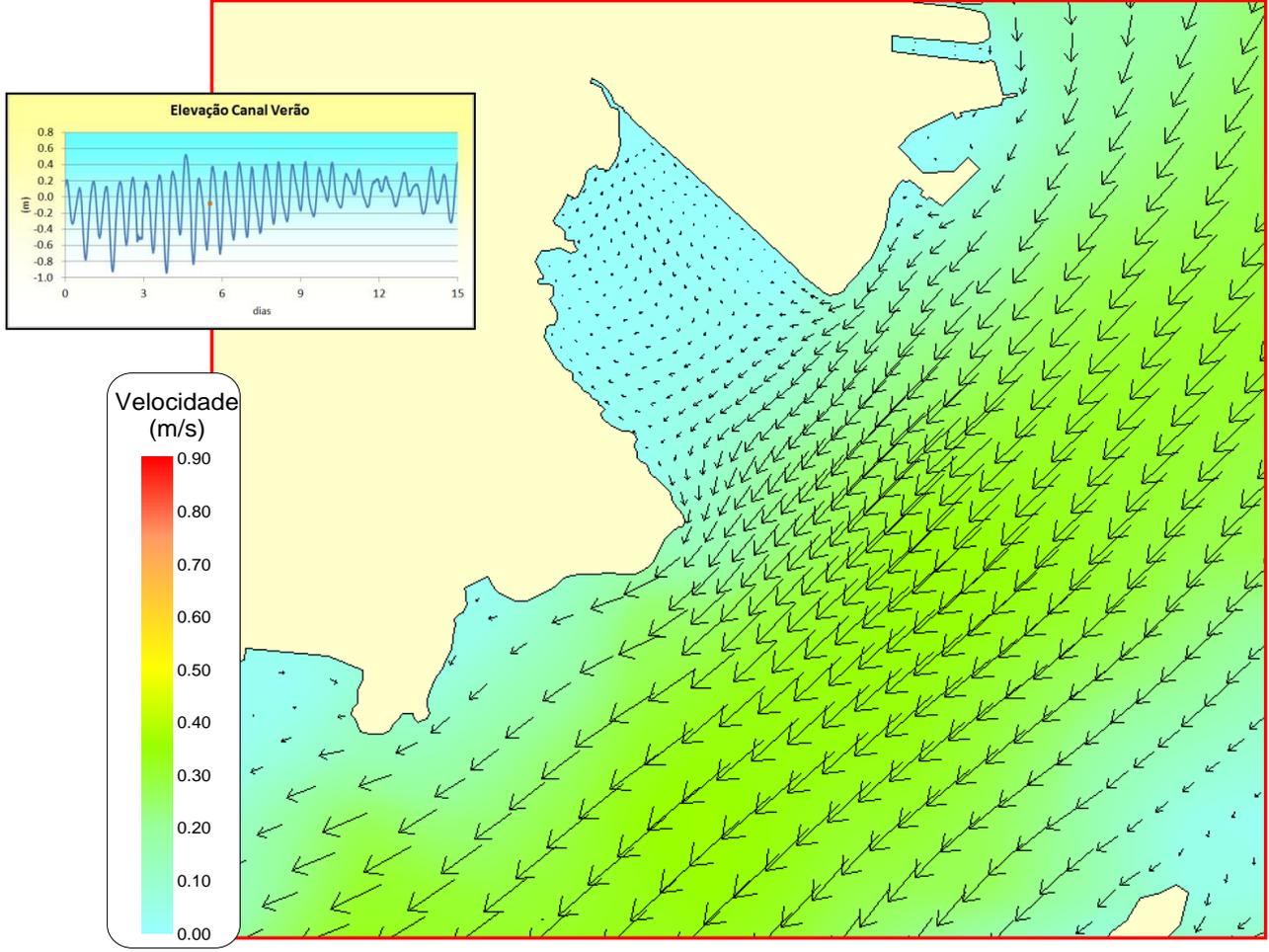


Figura 31: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste cenário atual – detalhe enseada

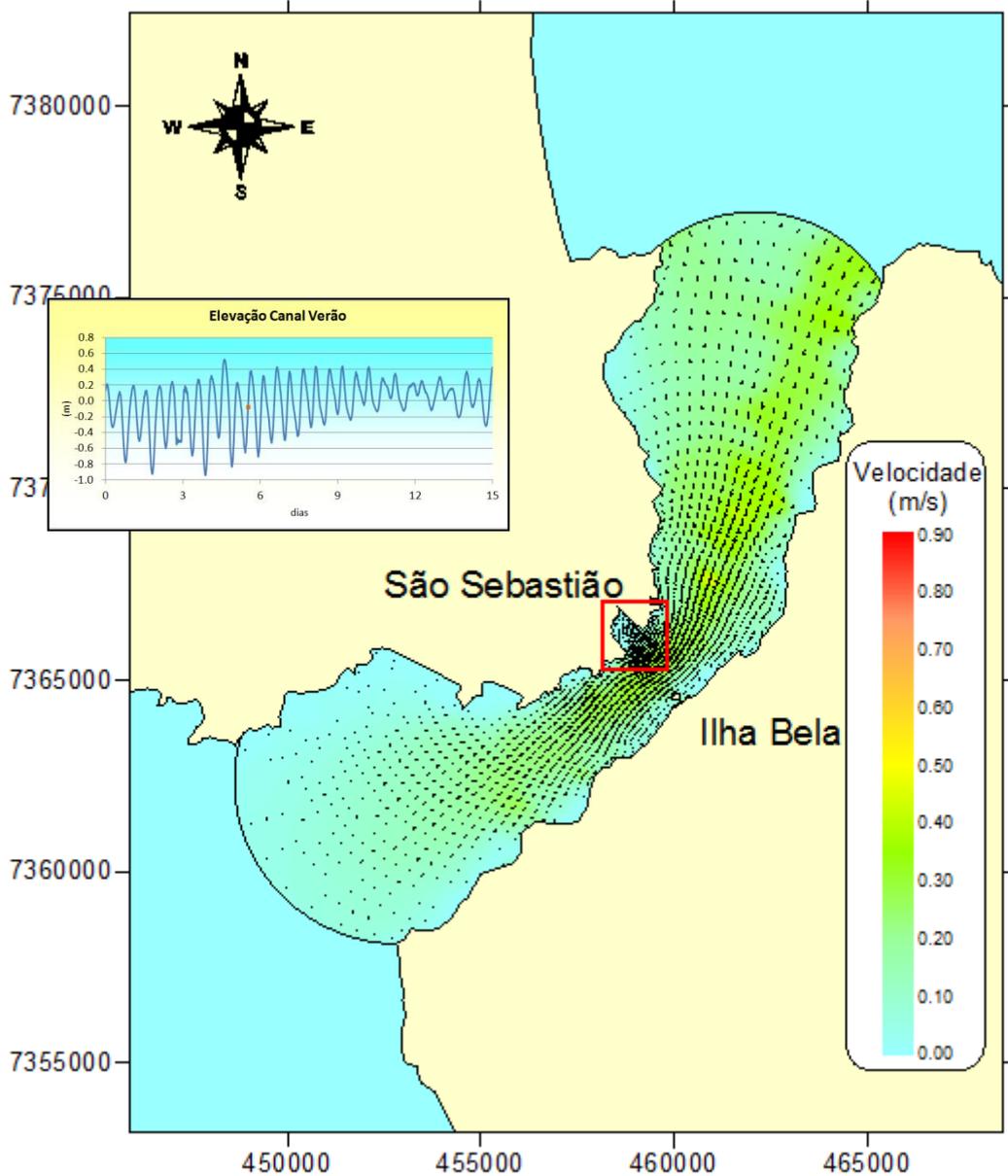


Figura 32: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste - cenário futuro

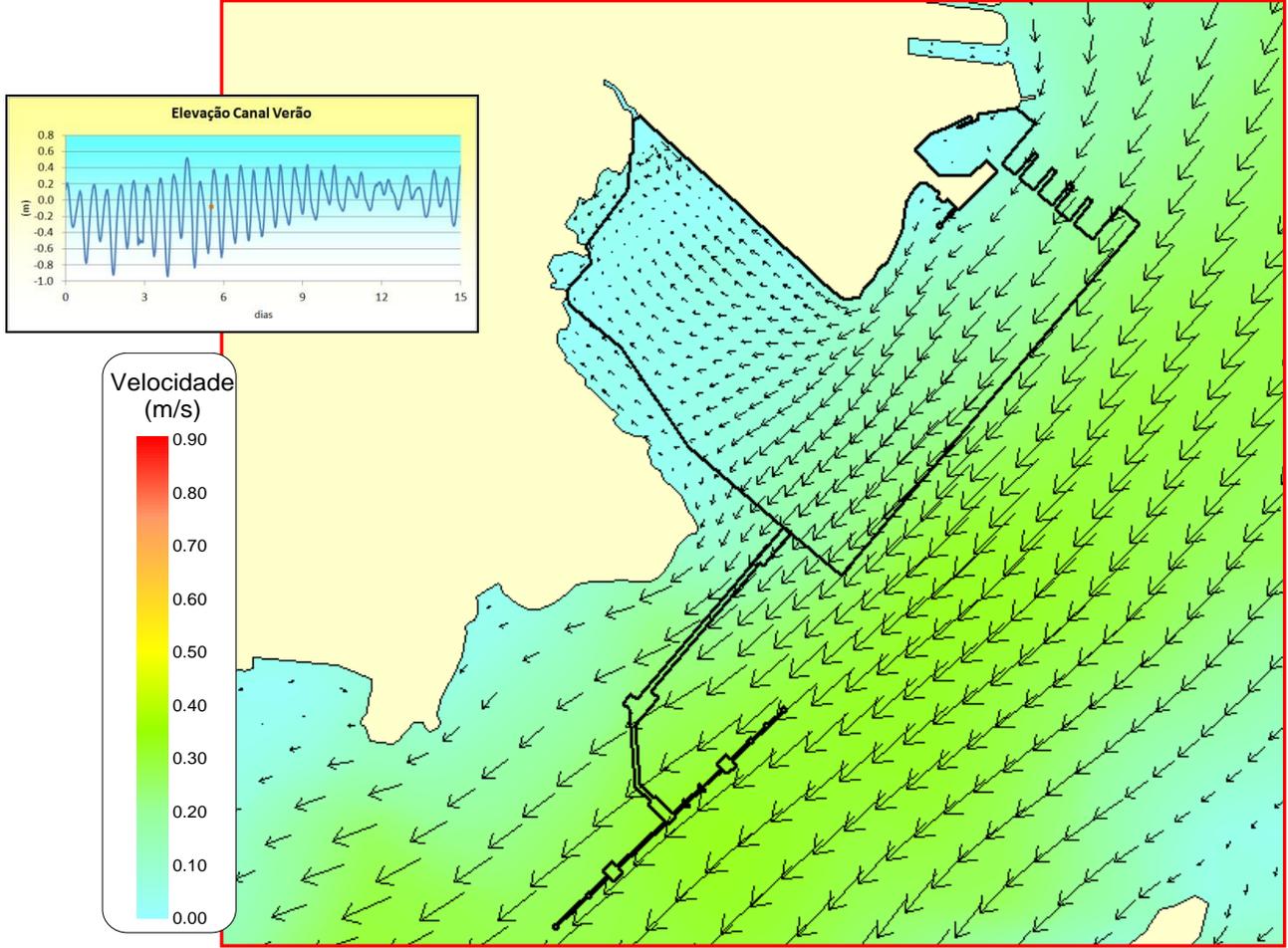


Figura 33: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada

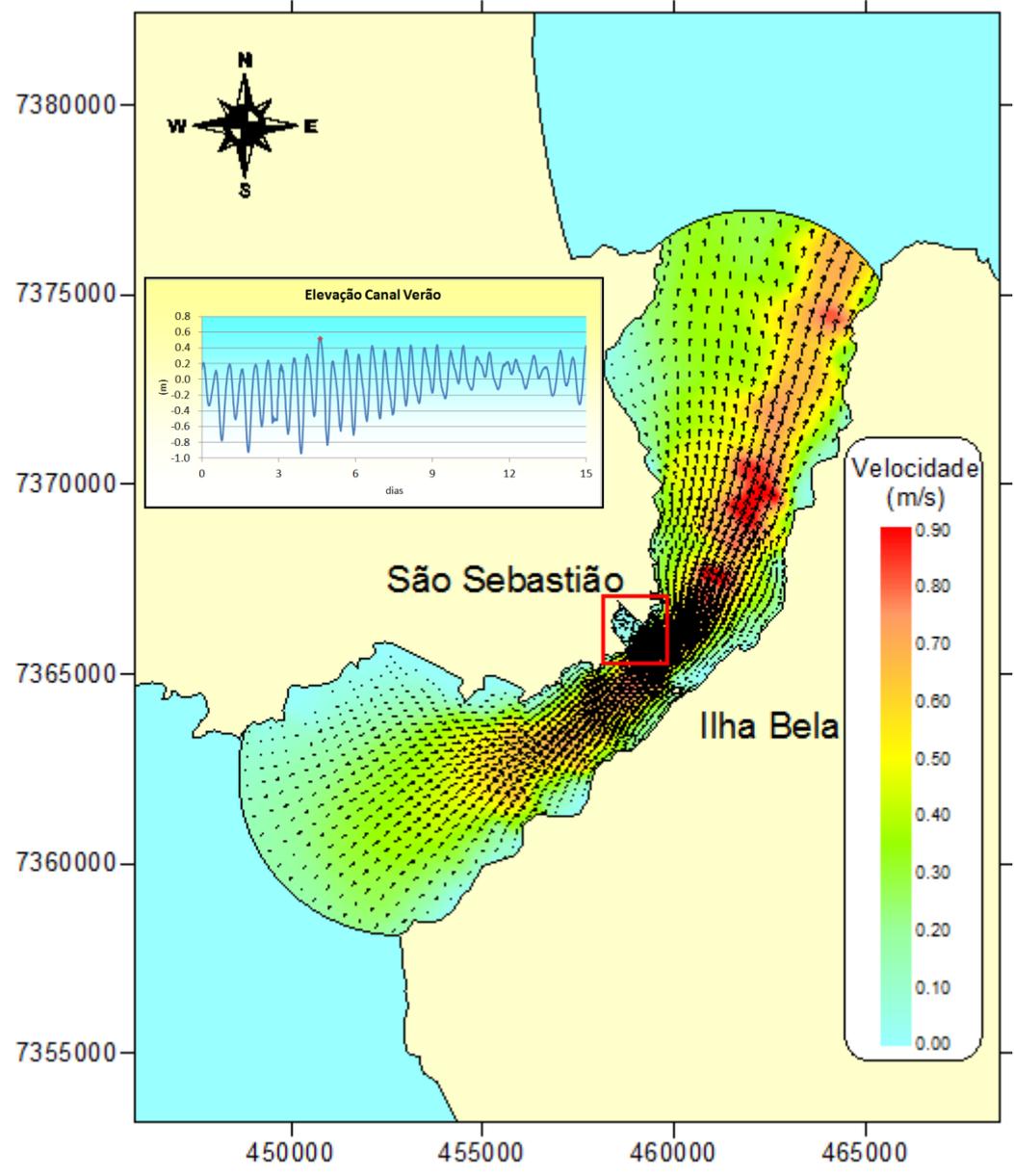


Figura 34: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste - cenário atual

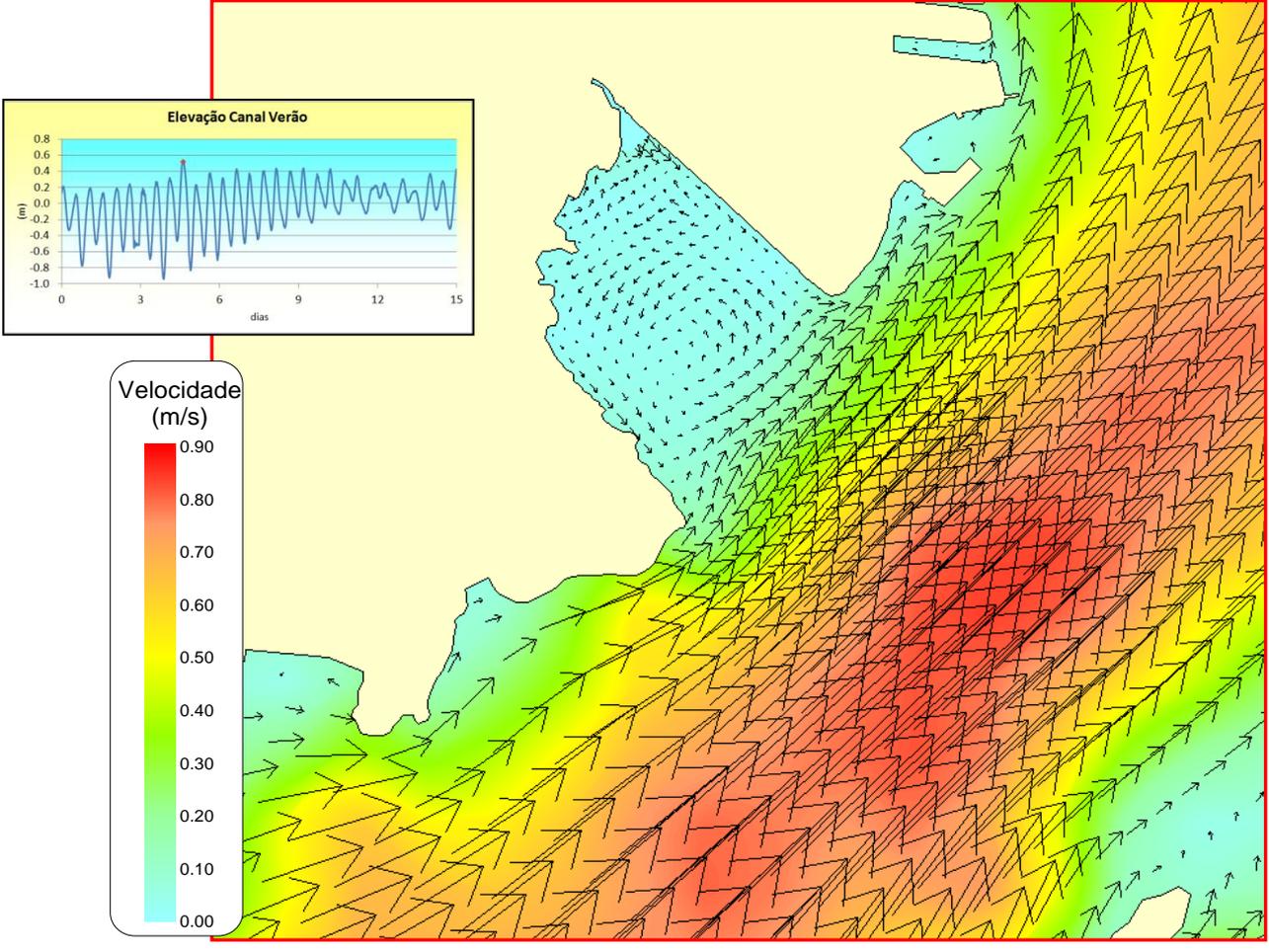


Figura 35: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste cenário atual - detalhe enseada

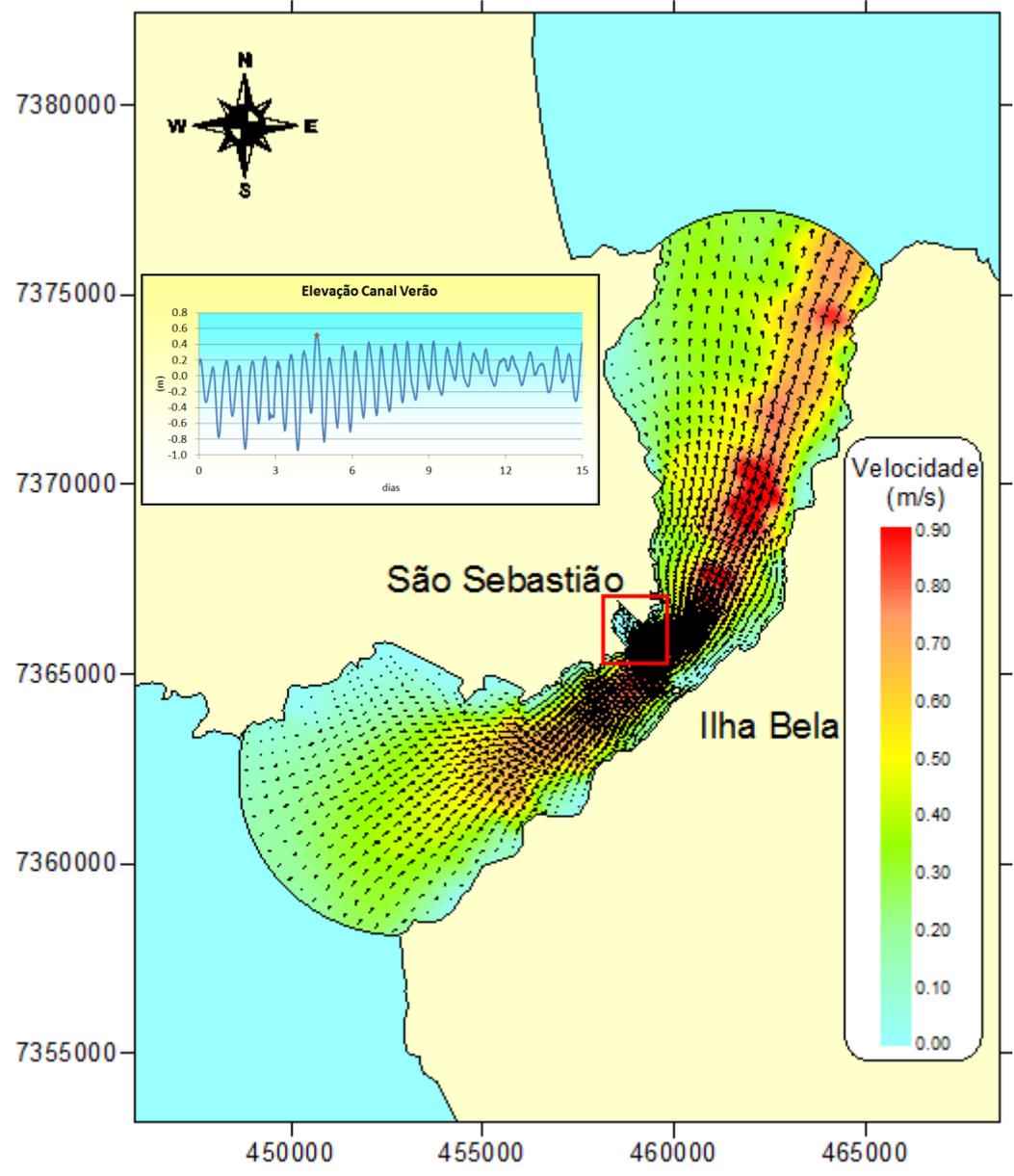


Figura 36: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste - cenário futuro

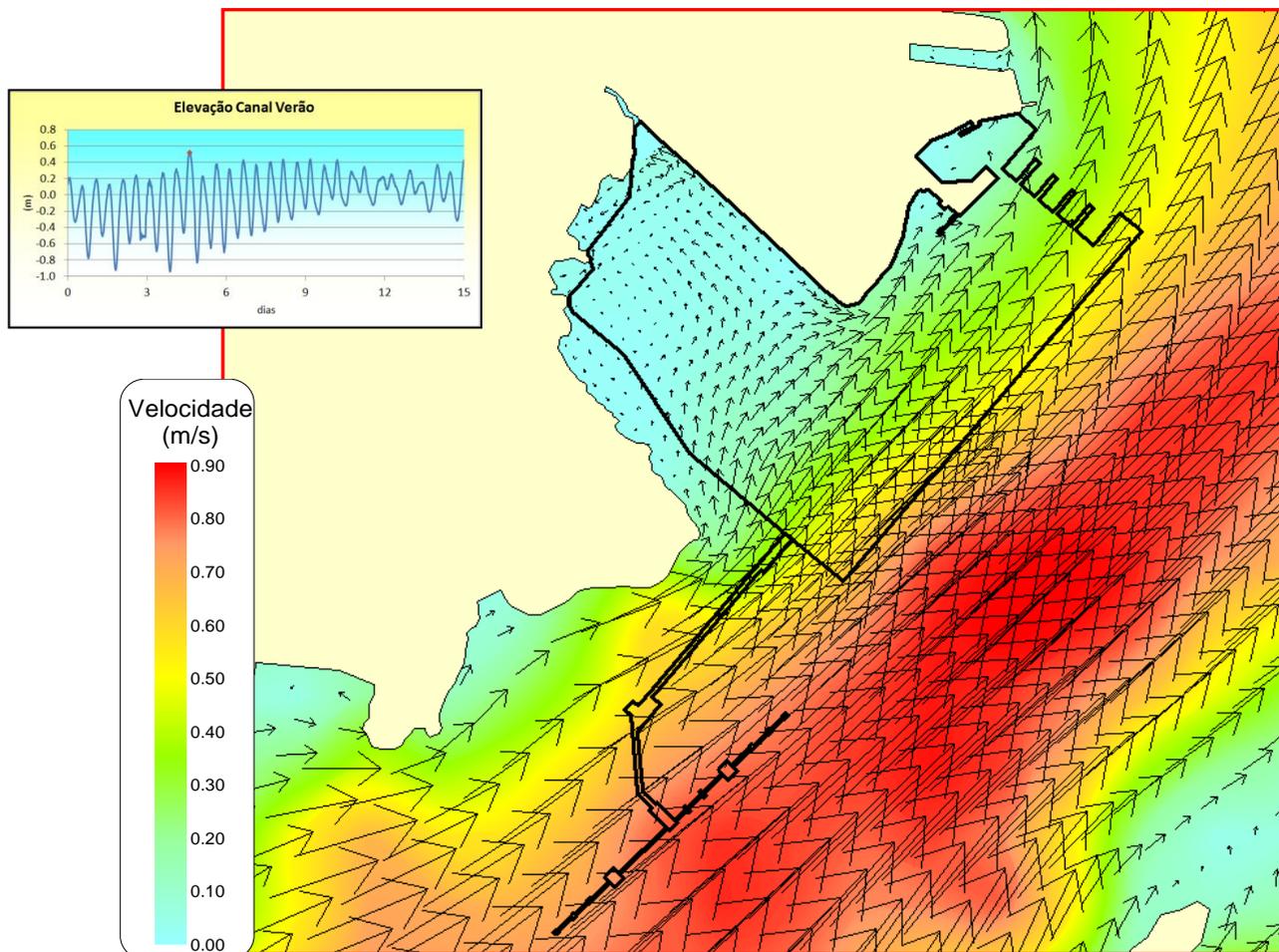


Figura 37: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período verão sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada

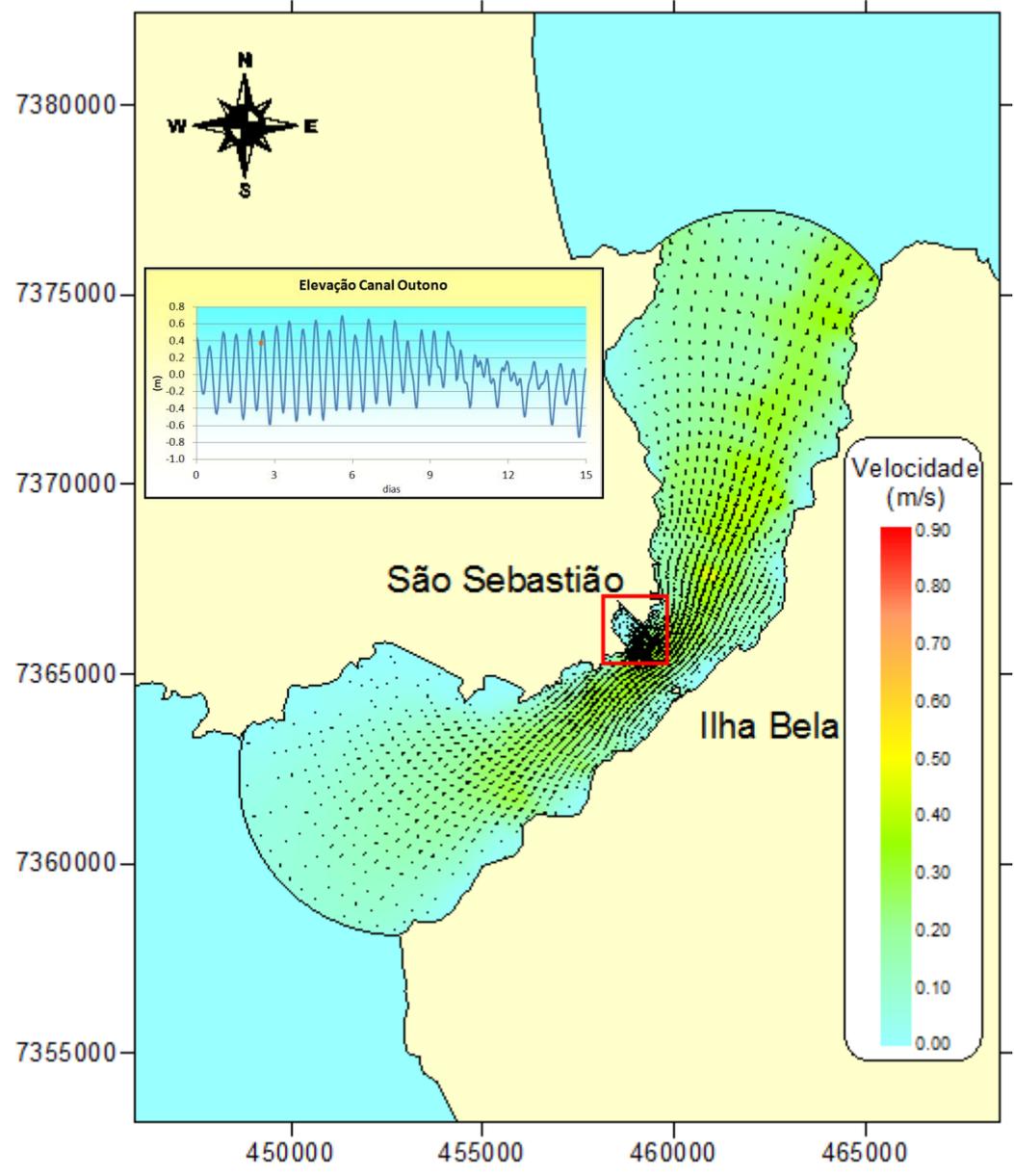


Figura 38: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste - cenário atual

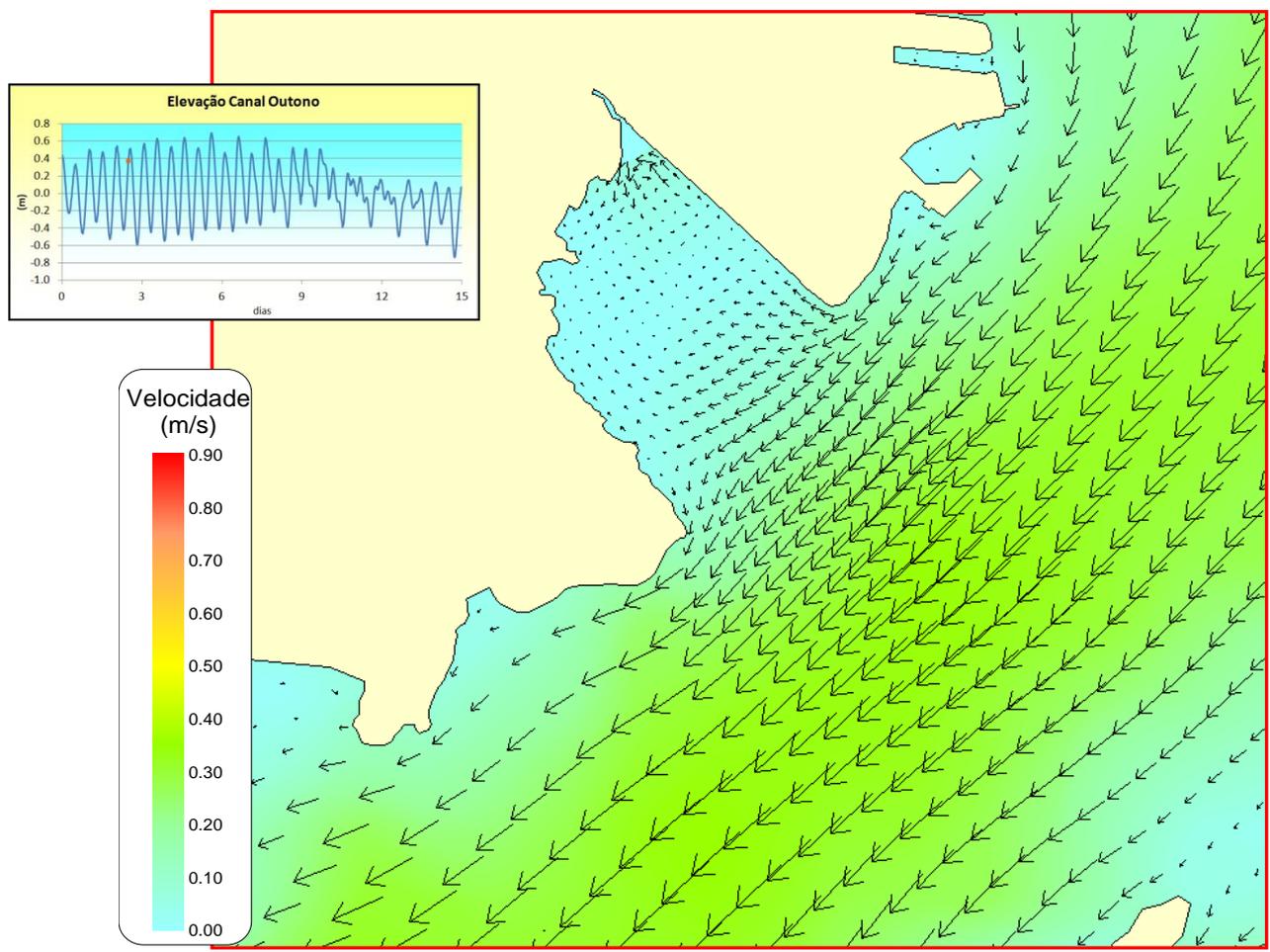


Figura 39: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste cenário atual - detalhe enseada

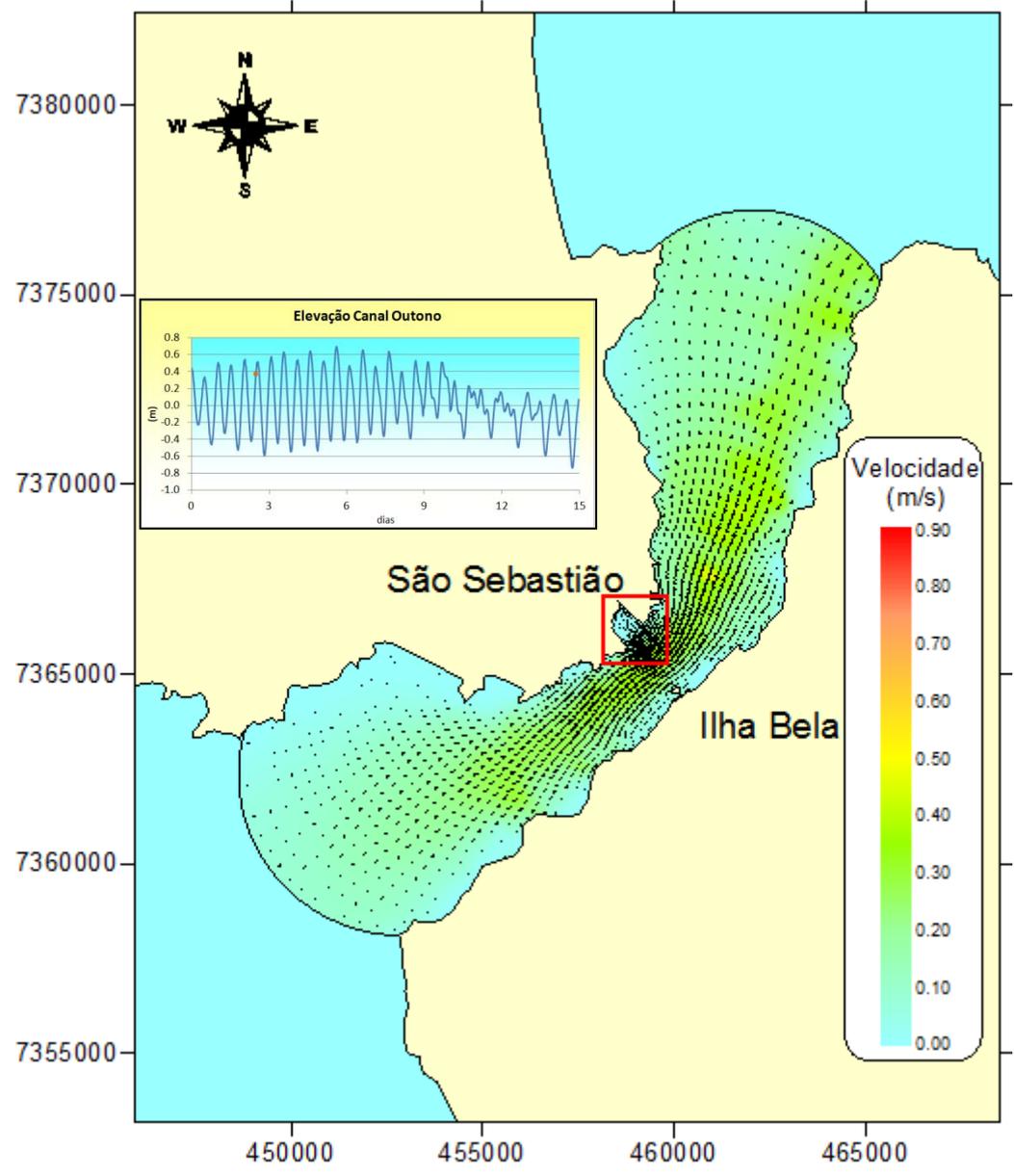


Figura 40: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste - cenário futuro

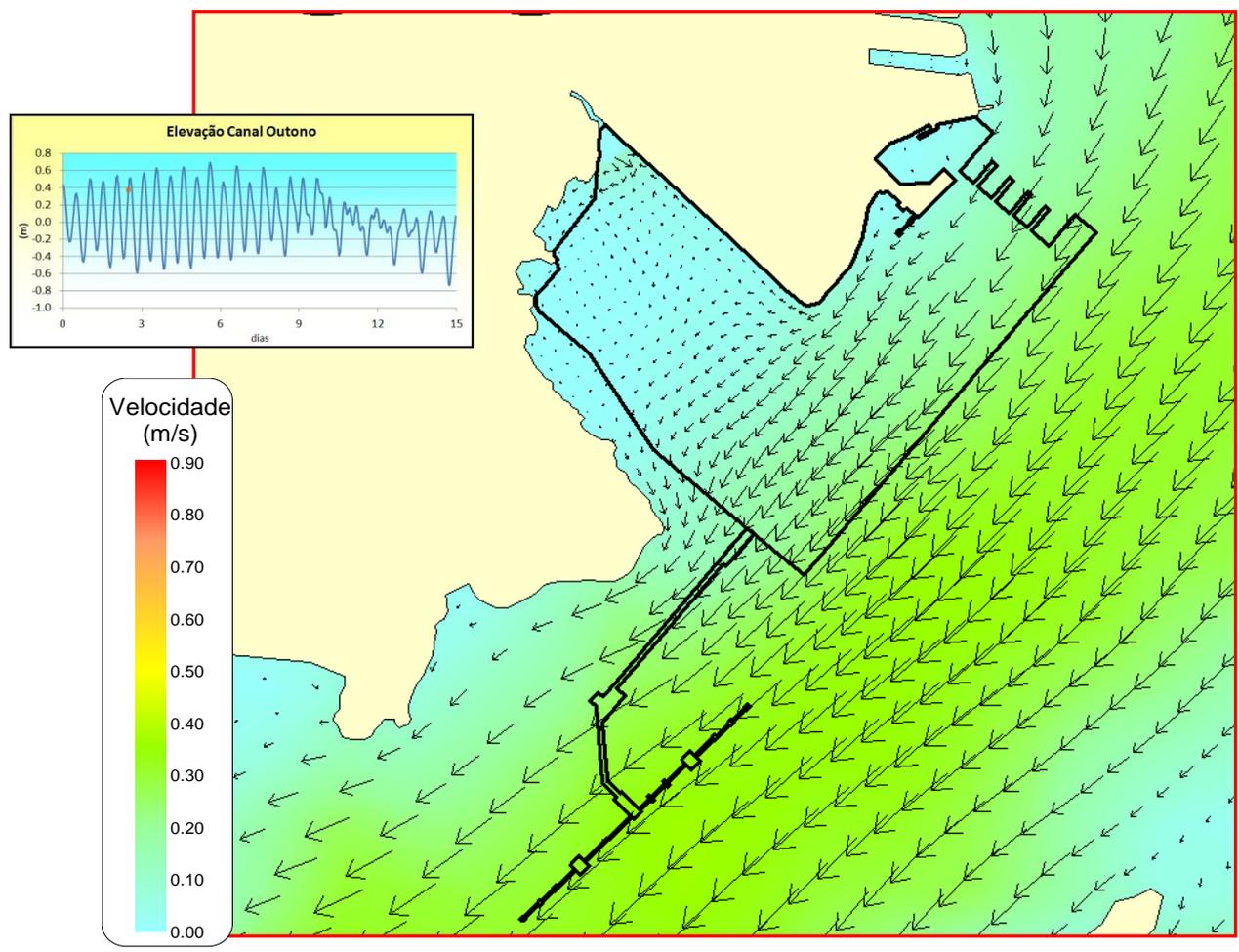


Figura 41: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada

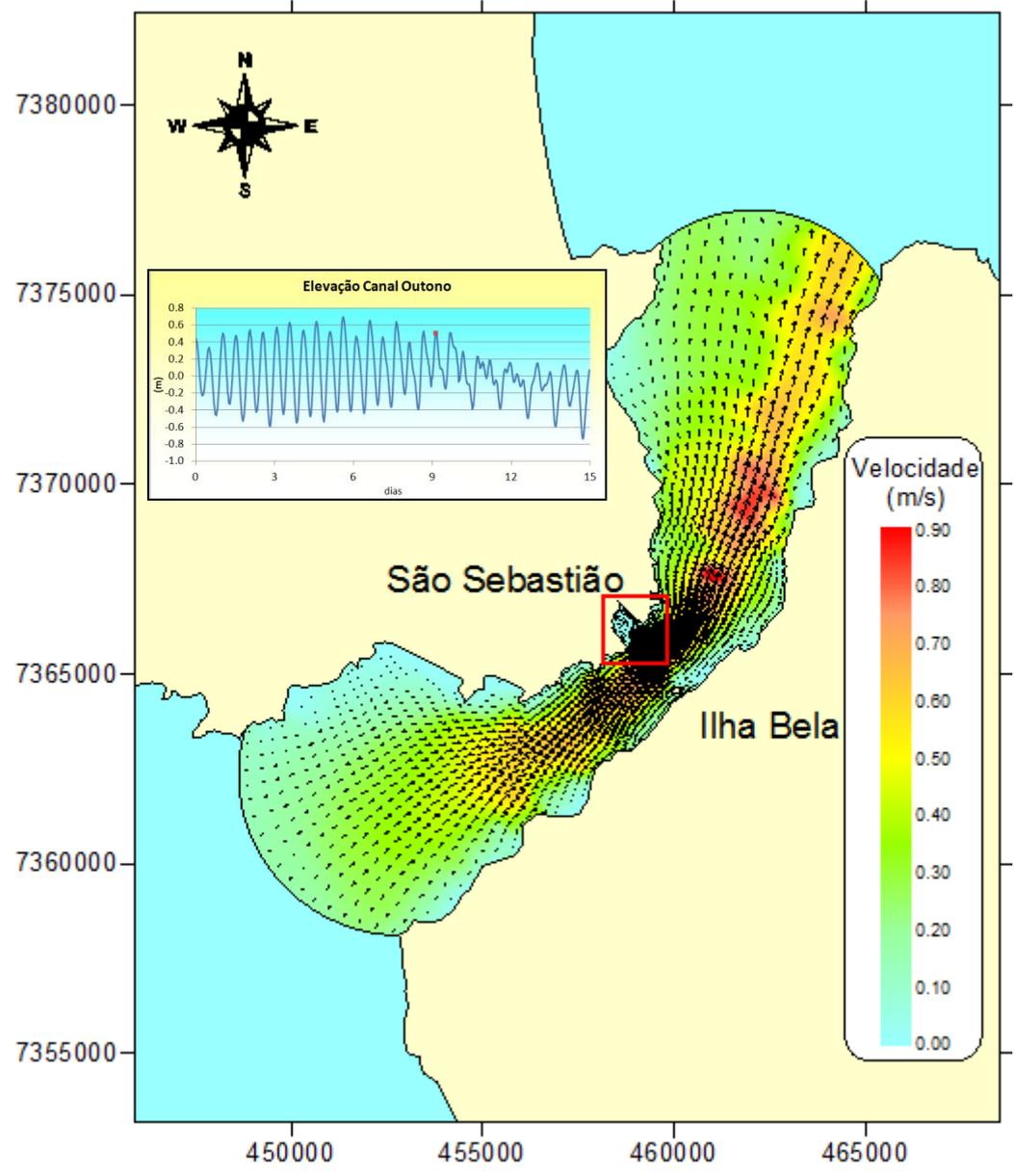


Figura 42: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste - cenário atual

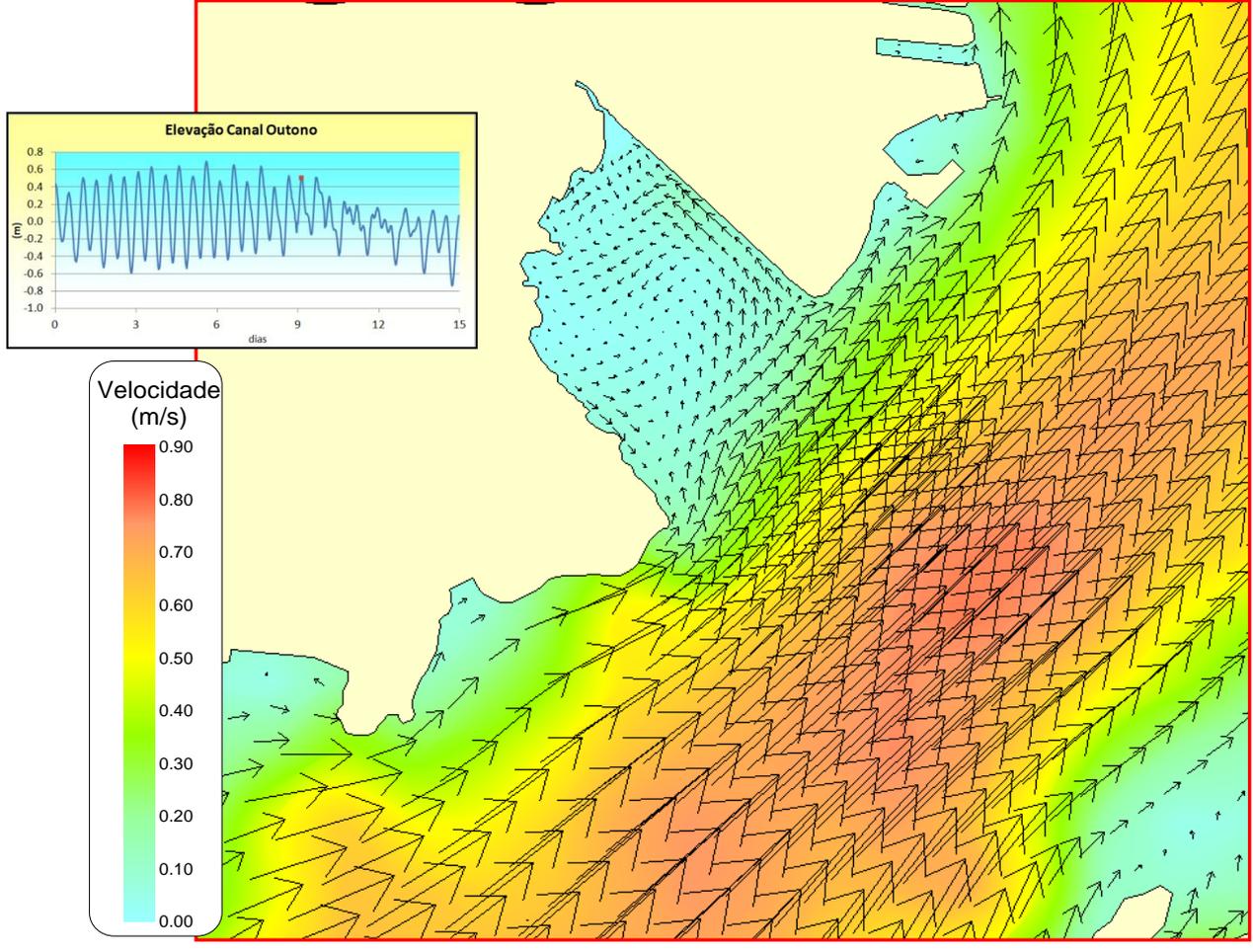


Figura 43: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste cenário atual - detalhe enseada

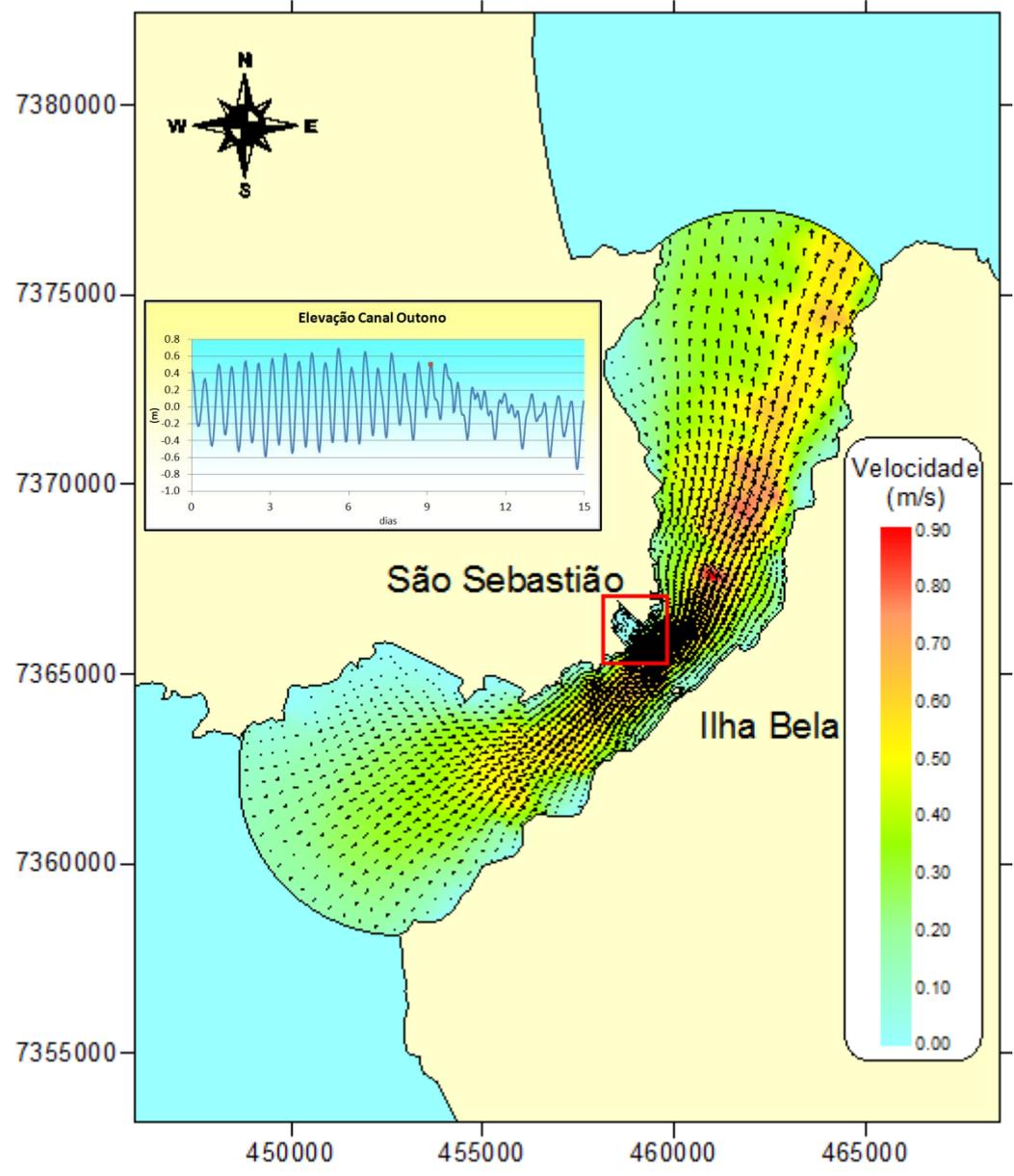


Figura 44: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste - cenário futuro

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 52/62
		Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

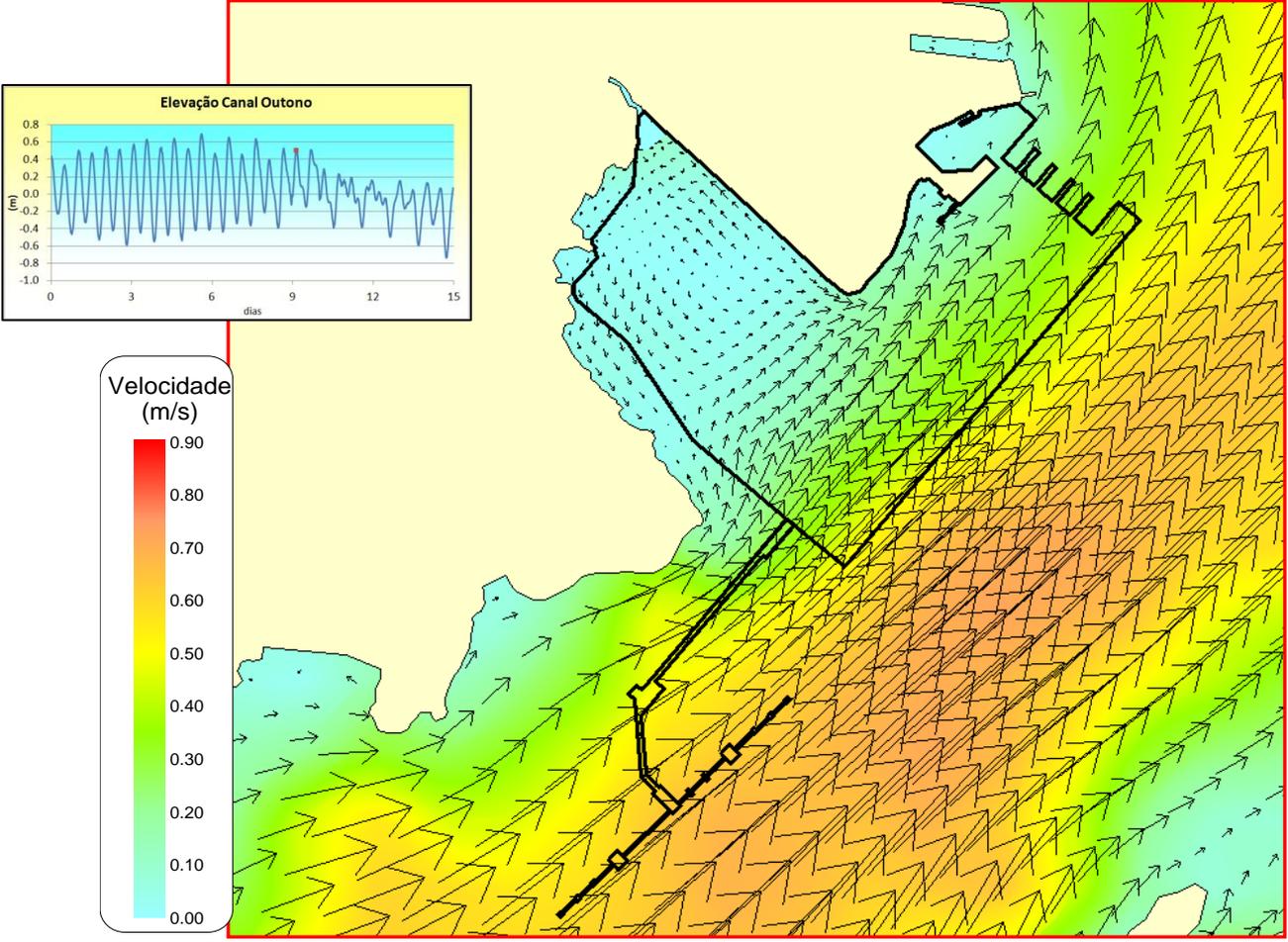


Figura 45: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período outono sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada

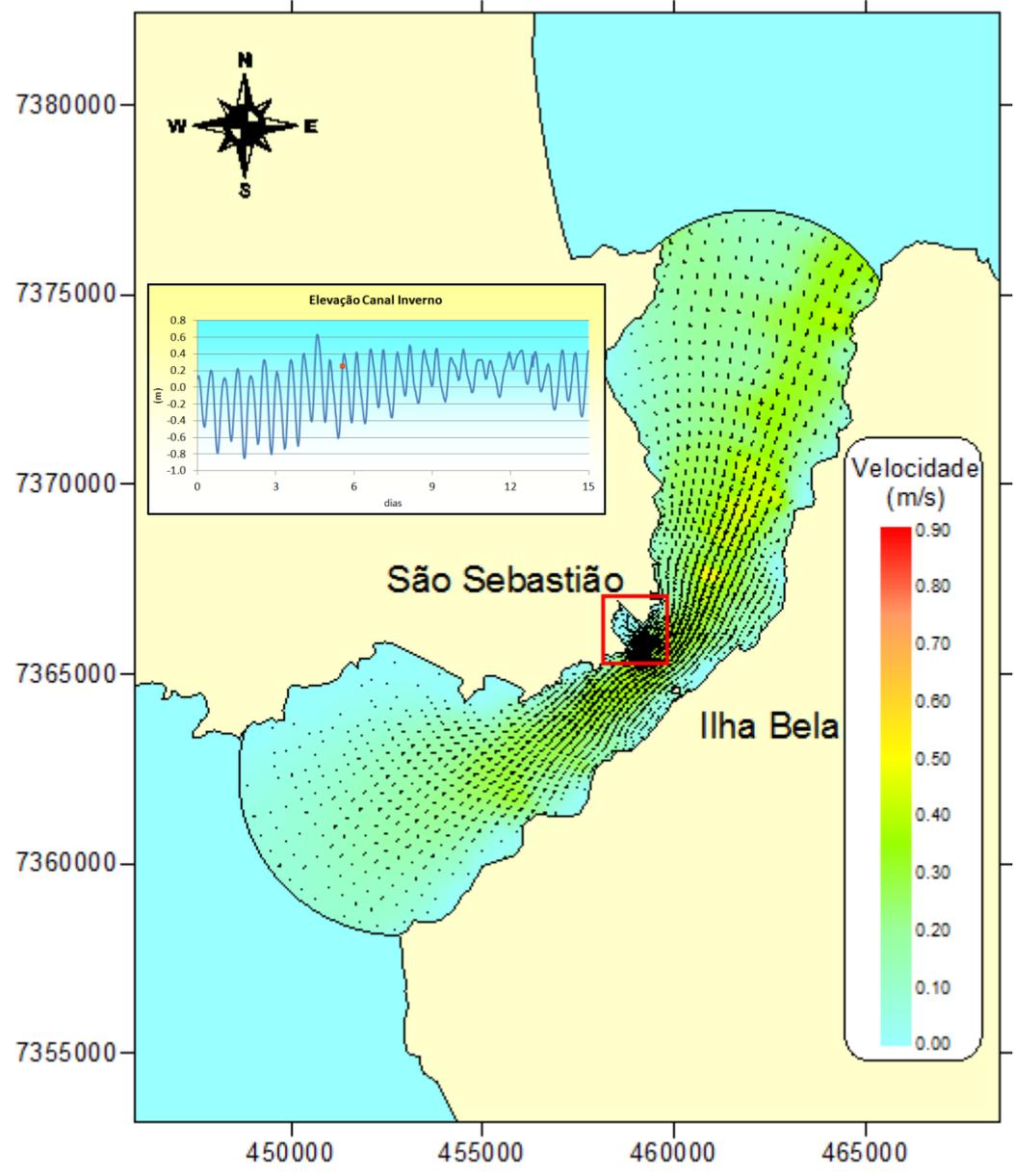


Figura 46: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste - cenário atual

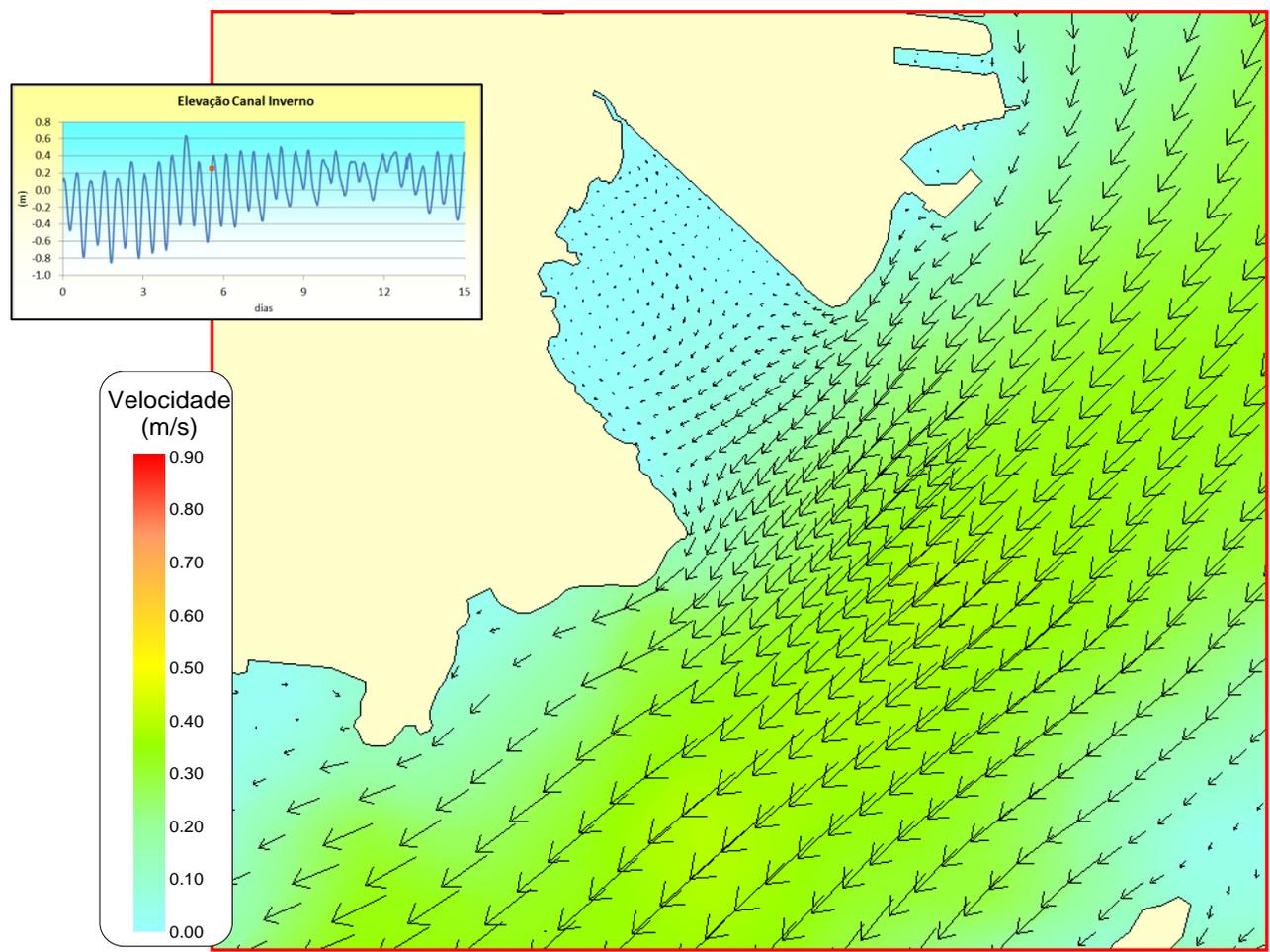


Figura 47: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste cenário atual  
- detalhe enseada

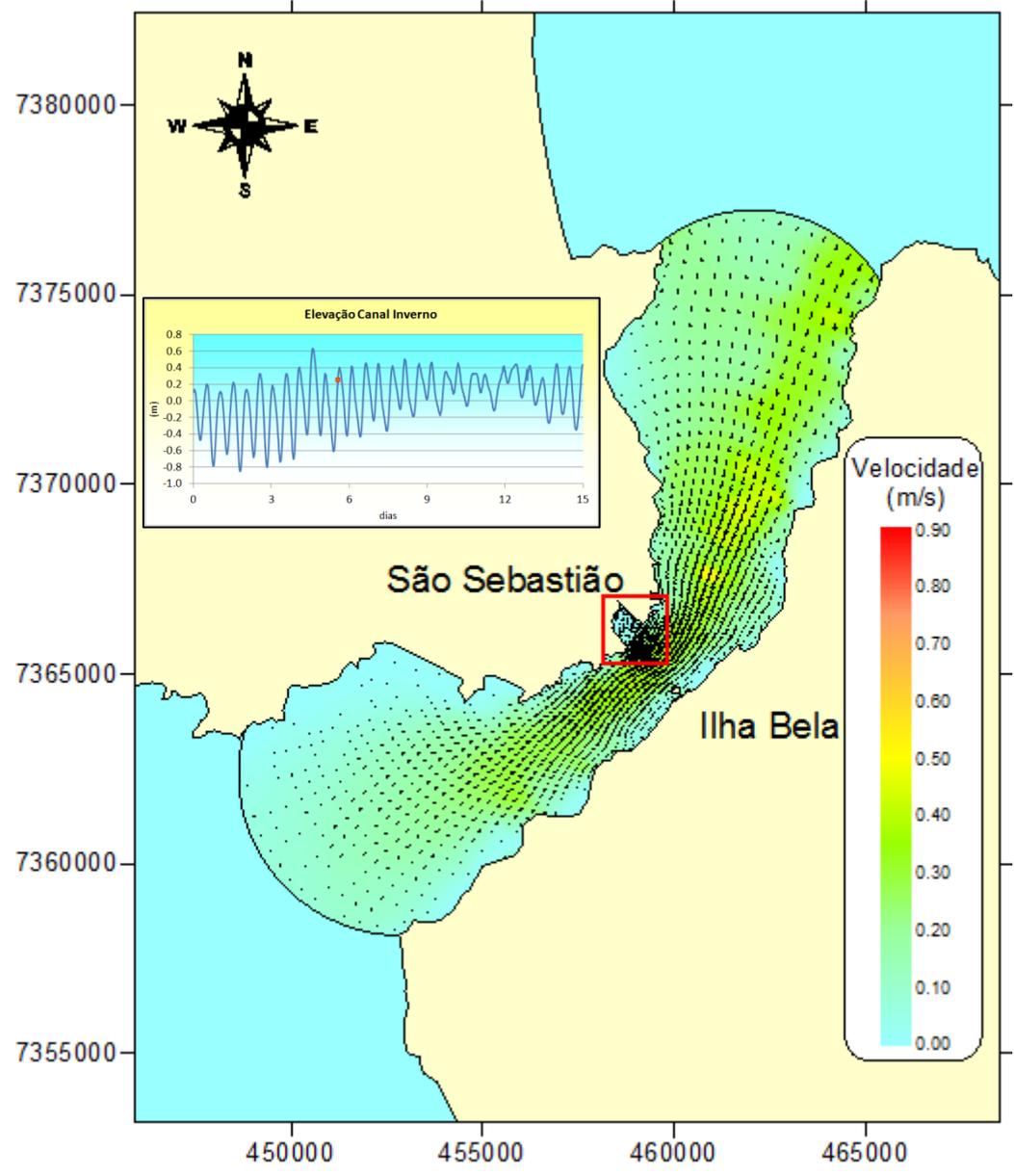


Figura 48: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste - cenário futuro

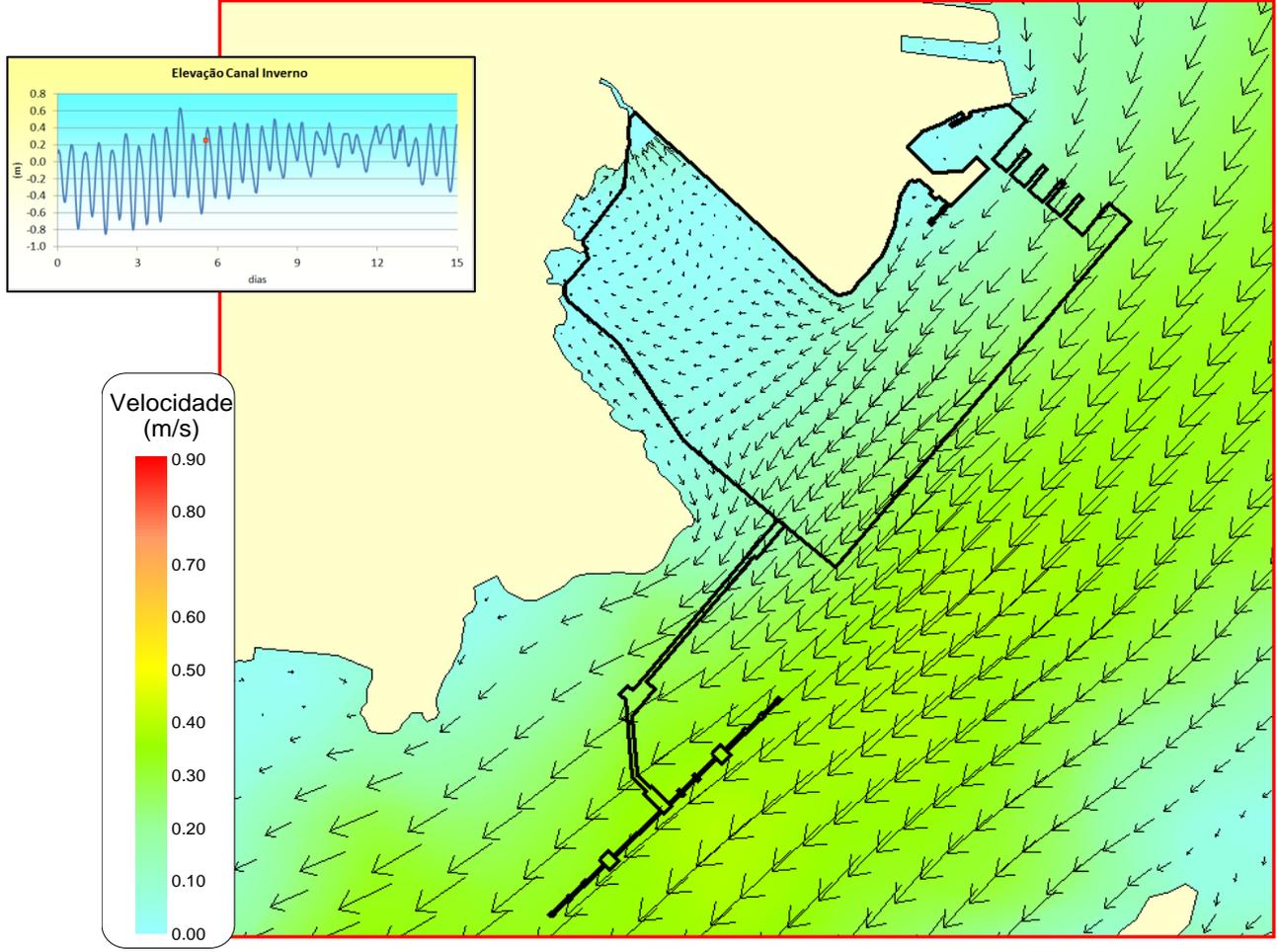


Figura 49: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido sudoeste cenário futuro - detalhe enseada

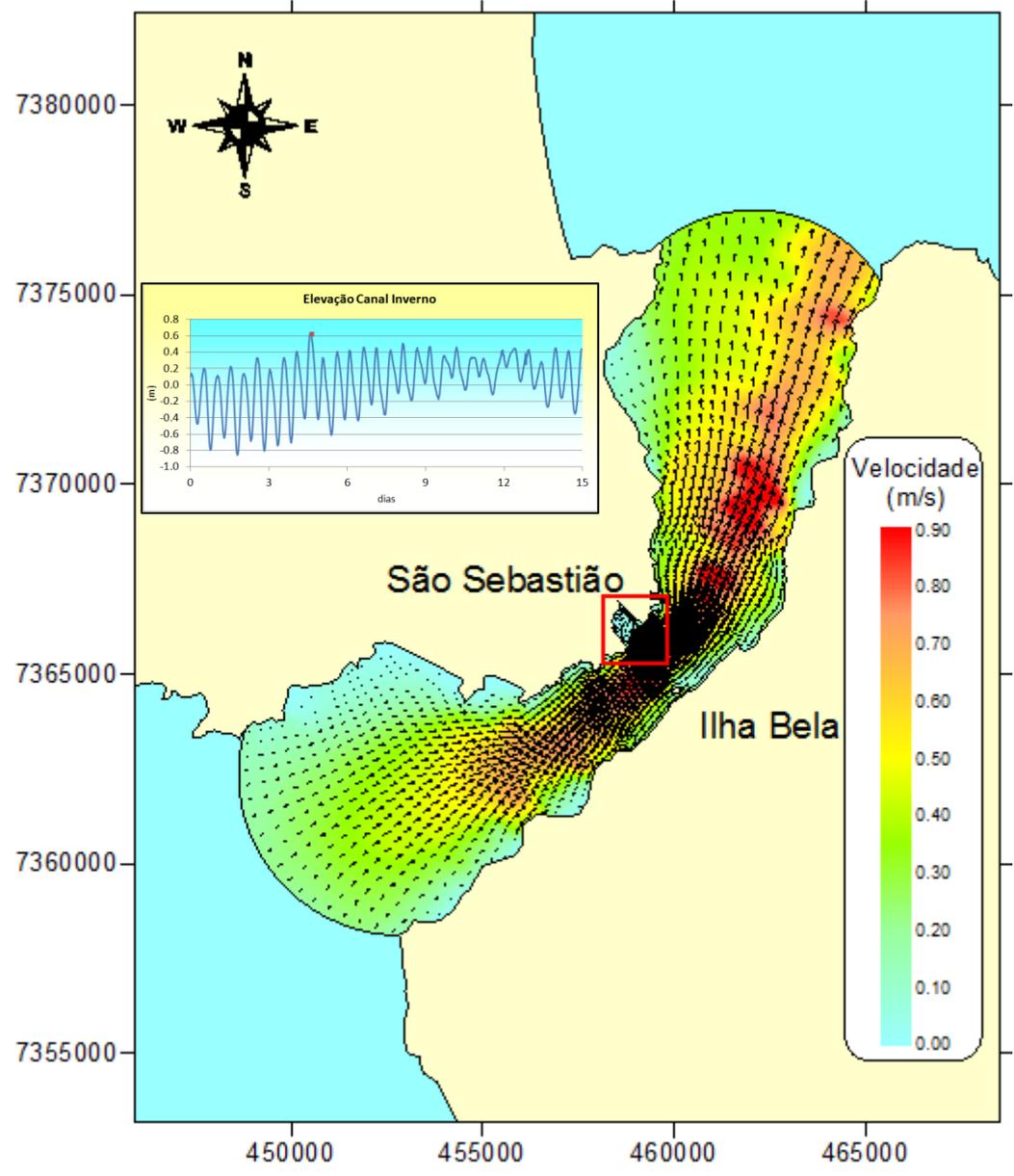


Figura 50: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste - cenário atual

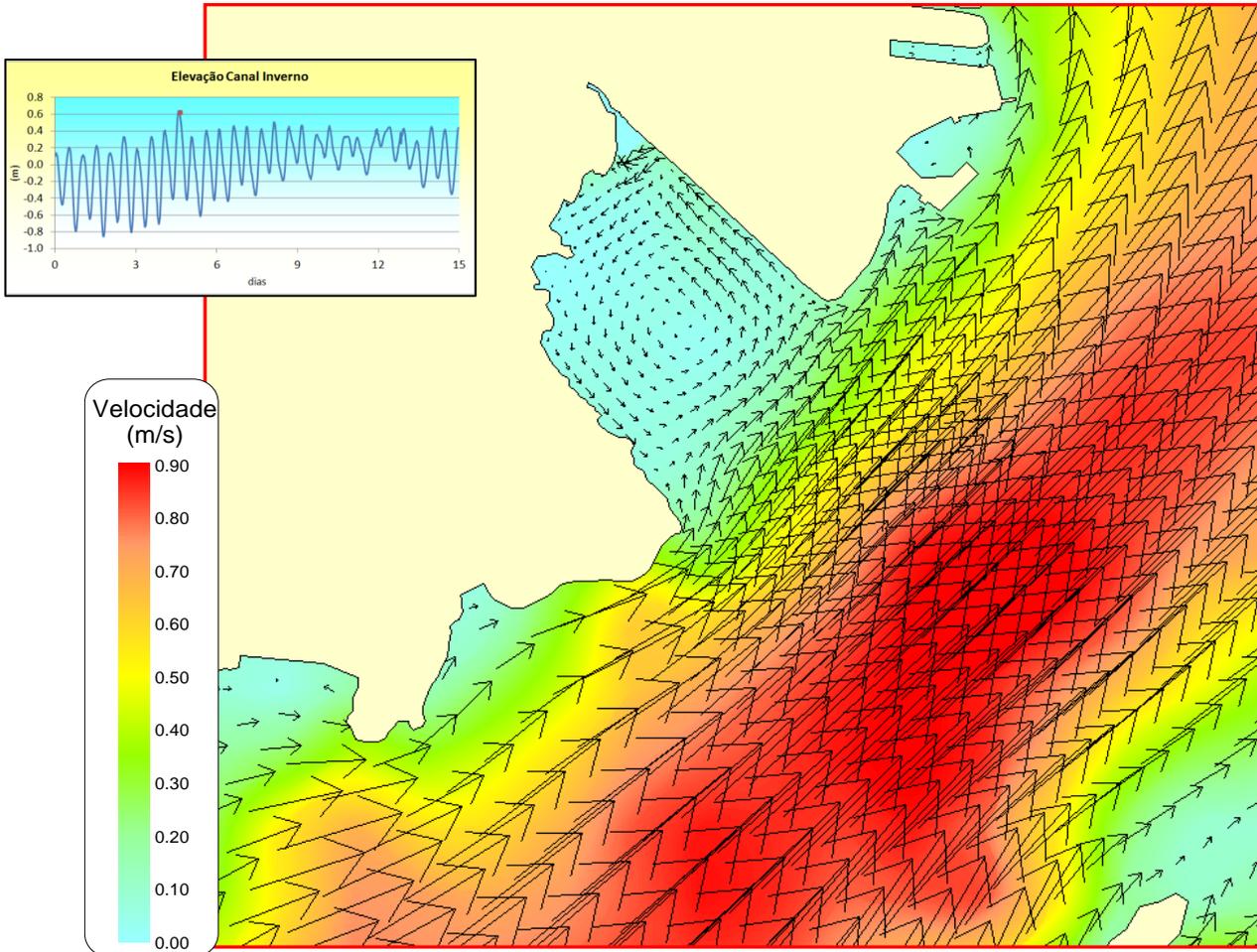


Figura 51: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste cenário atual  
- detalhe enseada

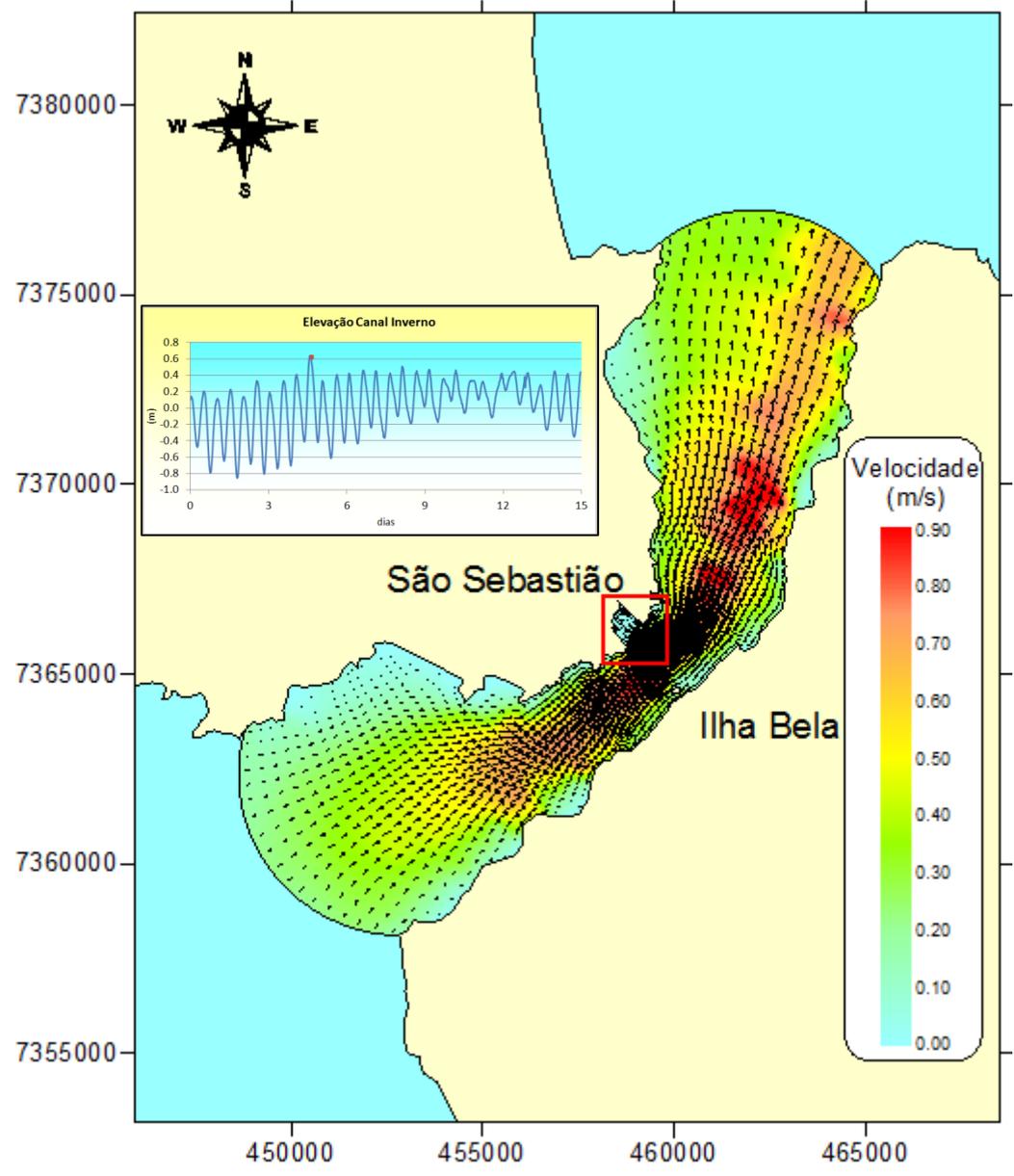


Figura 52: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste - cenário futuro

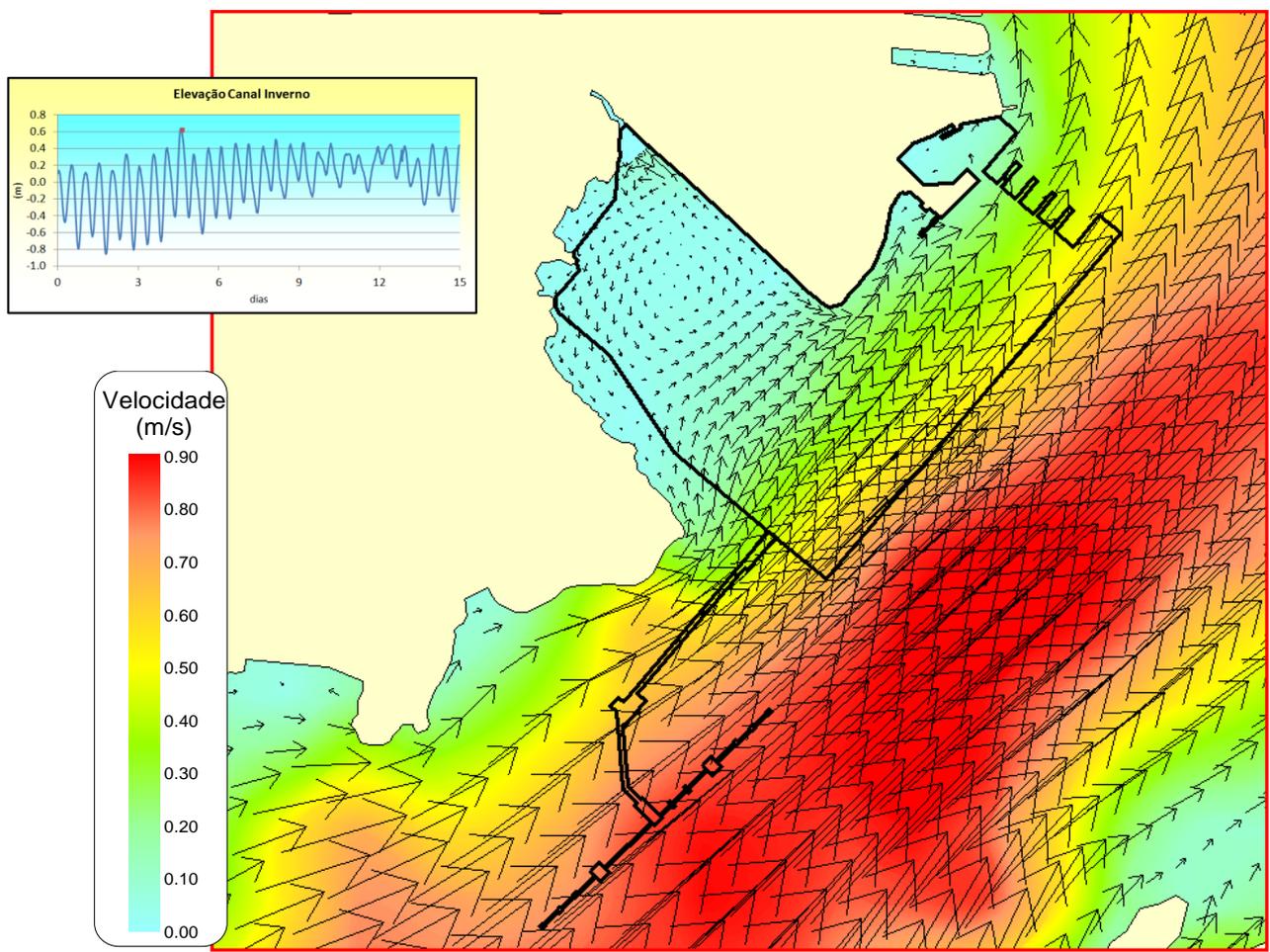


Figura 53: Velocidade máxima no centro do Canal São Sebastião período inverno sentido nordeste cenário futuro - detalhe enseada

		Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 61/62
		Nº PLANAVE	REV. PLANAVE	
		-	-	
		1.12.149-RL-B00-M00-1201	A	

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar possíveis alterações hidrodinâmicas geradas pela ampliação do Porto São Sebastião. Para isso foi utilizado Modelo de Computacional de Circulação Hidrodinâmica, através do SisBaHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) que exibe o nível d'água além das velocidades (intensidades e direções) das correntes ao longo do tempo.

Após as simulações, pode-se concluir que os comportamentos hidrodinâmicos para ambas situações atual e futura (com a ampliação) foram muito similares. Para todos os períodos simulados, os resultados não demonstraram mudanças significativas em todo o canal, mantendo equivalência nas magnitudes das correntes marinhas, assim como foi mantido o seu sentido preferencial e também sua permanência nas estações do ano. ao longo do ano e permanência.

Somente dentro da enseada, foram observadas diferenças no comportamento da corrente entre os cenários atual e futuro, isto porque, devido à presença do estaqueamento no cenário futuro, as direções das velocidades são modificadas, em algumas ocasiões. Por outro lado, dentro dessa região, as velocidades de corrente se mantiveram pequenas, da ordem de para ambos os cenários estudados.

Portanto pode-se concluir, que a ampliação do Porto São Sebastião não alterará de forma significativa a circulação hidrodinâmica do Canal São Sebastião.

 	Nº CLIENTE	REV. CLIENTE	FOLHA: 62/62
	Nº PLANAVE 1.12.149-RL-B00-M00-1201	REV. PLANAVE A	

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BARCELLOS & FURTADO, 1999, "Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono orgânico no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente", Revista Brasileira de Oceanografia no47, vol 2, pp. 207-221.

FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. 1ª Edição. Rio de Janeiro.

FONTES, R. F., As correntes no Canal de São Sebastião. São Paulo: USP, 1995. 159 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995

MARINHA DO BRASIL. Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN). Carta Náutica No 1614– Canal de São Sebastião. 1985.

PLANAVE S.A. Relatório de consolidação dos dados - Levantamento batimétrico. Companhia Docas de São Sebastião. RL-B00-M02-0001, 2013

PRONAVE. Disponível em: < <http://www.pronave.com.br/pt-br/porto-de-sao-sebastiao/porto-de-sao-sebastiao.php>>. Acesso em 28 de jun. 2013

SOUZA, C. R. G., 2012. "Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira". Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume Especial 30 Anos, p. 307-371.

ROSMAN, P. C. C. & GOBBI, E. F., 1990. "A Self-Adjusting Subgrid "Turbulence" Model for Shallow Water Flow". XI Congresso Latino Ibero Americano sobre Métodos Computacionais para Engenharia, Rio de Janeiro, Out/1990.

ROSMAN, P. C. C., 2001, "Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental". In: Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 5, Capítulo 1, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.

WU, J., 1982, "Wind Stress Over Sea Surface from Breeze to Hurricane", Journal of Geophysical Research, 87 (C12), pp. 9704-9706.