



II WORKSHOP DE ENERGIAS OCEÂNICAS E FLUVIAIS

Desenvolvimento de um modelo
computacional hidráulico para o Complexo
Estuarino de São Marcos- MA, Brasil

Palestrante: Msc. Júlio César Martins Ribeiro Júnior

ÁREA DE SIMULAÇÃO

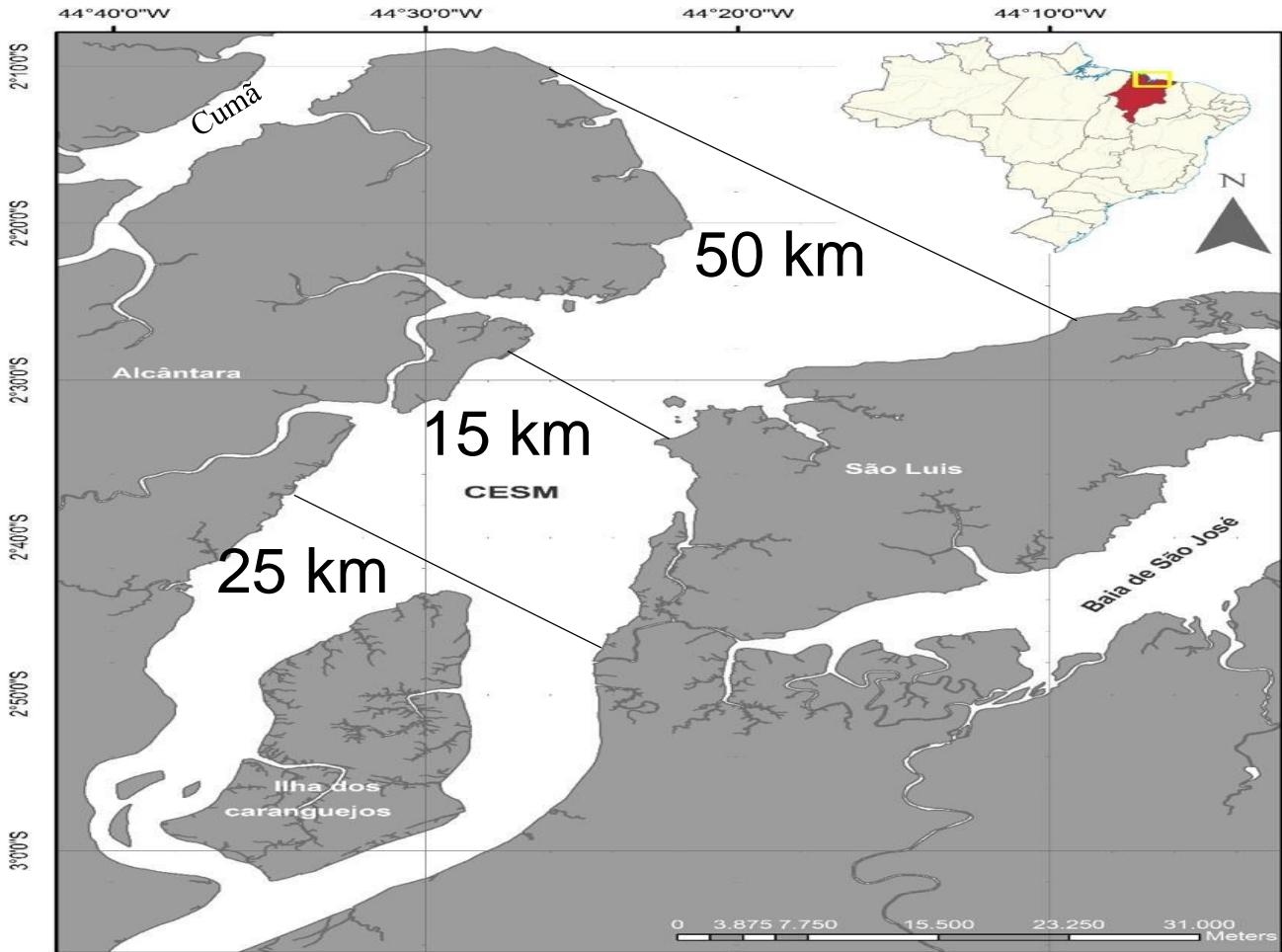


Figura 1: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

ÁREA

3100 km²

PROFOUNDIDADE

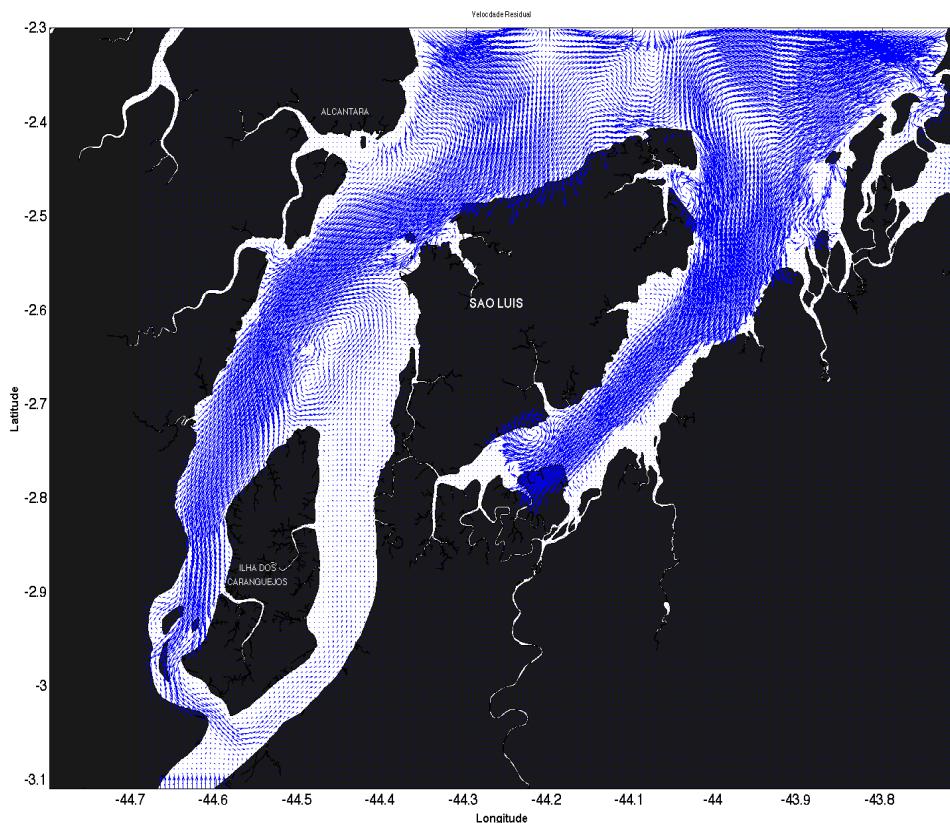
até 55 metros

MARÉ

Semi-diurna

Amplitudes: 3,3 metros

Descrição do Modelo Computacional Hidráulico



- **EQUAÇÕES GOVERNANTES**
- **DISCRETIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES GOVERNANTES**
- **SISTEMA DE COORDENADAS**
- **APROXIMAÇÕES**
- **DOMÍNIO ESPACIAL**
- **CONDIÇÃO DE CONTORNO**

DESCRIÇÃO DO MODELO

EQUAÇÕES GOVERNANTES

Continuidade

Navier-Stokes

DISCRETIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES

Métodos de Diferenças Finitas

SISTEMA DE COORDENADAS

Plano Ortogonal Tridimensional

ESQUEMAS	
Temporais	Espaciais
Matsuno	Leonard
Filtro de Asselin	Smagorinsky

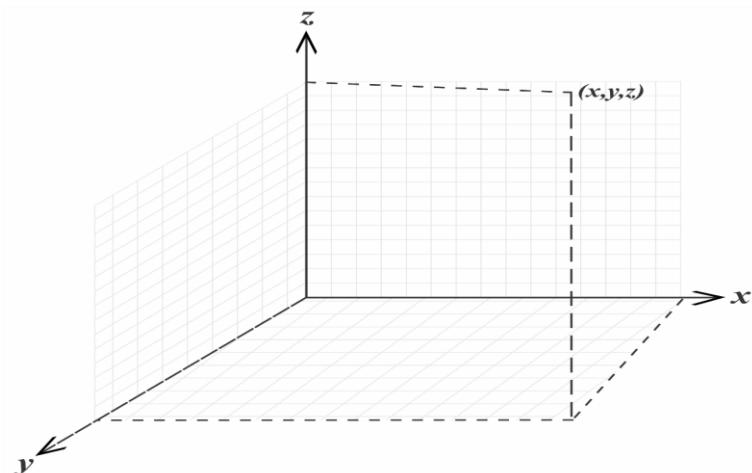


Figura 2: Plano cartesiano ortogonal

DESCRIÇÃO DO MODELO

APROXIMAÇÕES

Hidrostática

Boussinesq

Barotropia

DEFINIÇÕES

$$P = \rho_0 g H$$

$$dP = \rho_0 g H dz$$

$\rho = \bar{\rho} + \tilde{\rho}$ Não interfere no campo de escoamento inercial
Afeta o fluxo de flutuabilidade

Não há variação vertical de nenhuma grandeza em relação à profundidade

DESCRIÇÃO DO MODELO

EQUAÇÕES GOVERNANTES

CONTINUIDADE:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left(\frac{\partial (H U)}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial (H V)}{\partial y} \right) = 0$$

$$H = h + \eta$$

DESCRIÇÃO DO MODELO

EQUAÇÕES GOVERNANTES

MOMENTUM: Navier Stokes

Direção Zonal:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\gamma_T (U_a - U)}{H} - \frac{C_d U \sqrt{U^2 + V^2}}{H} \right) + f V$$

Direção Meridional:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\gamma_T (V_a - V)}{H} - \frac{C_d V \sqrt{U^2 + V^2}}{H} \right) - f U$$

DESCRIÇÃO DO MODELO

DOMÍNIO ESPACIAL

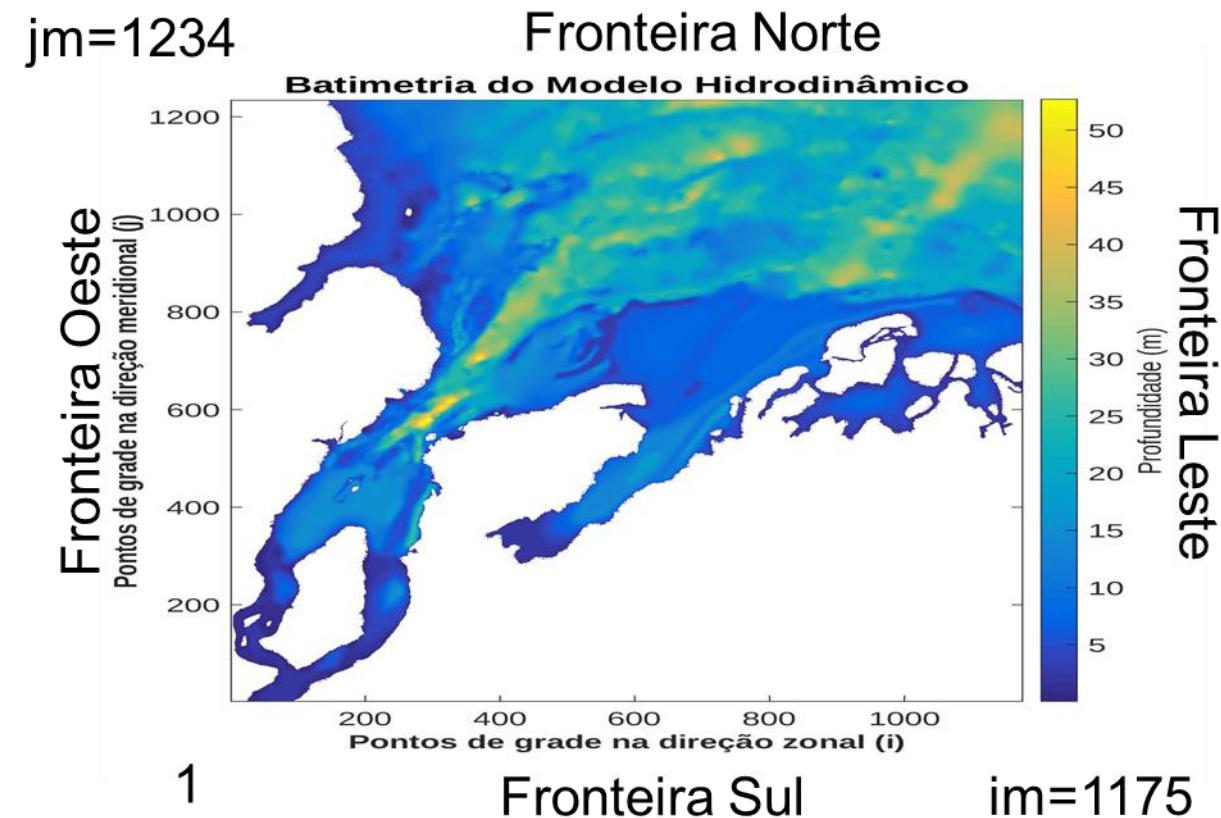
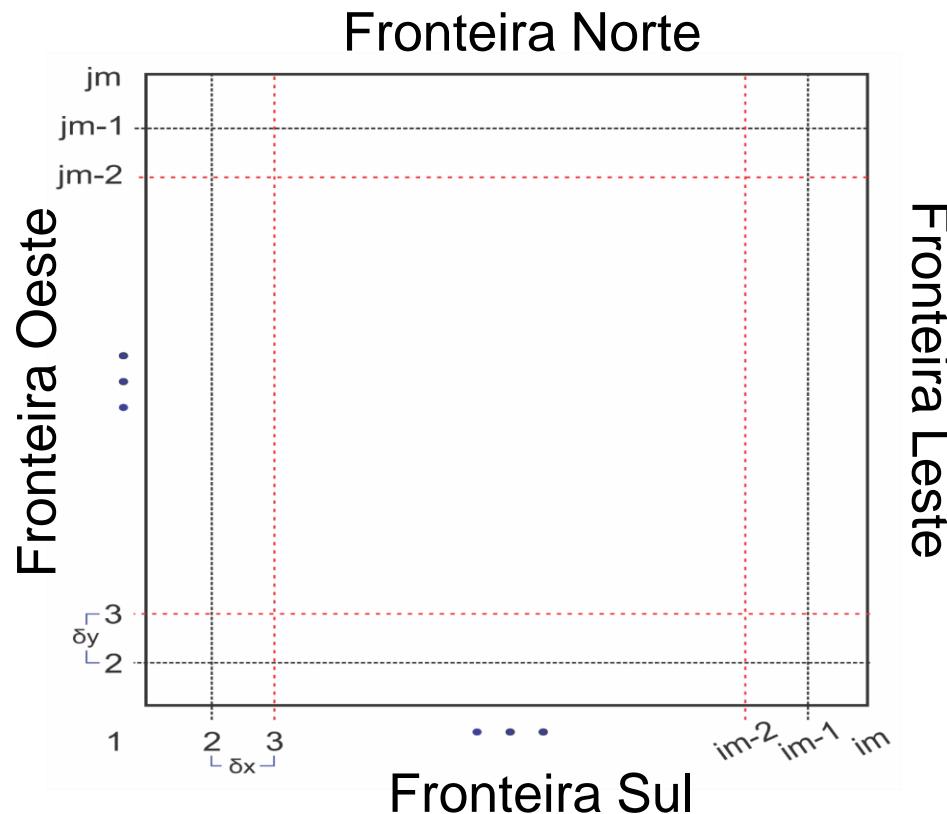


Figura 3: Domínio Espacial da Solução do Modelo para o CESM

PROCEDIMENTOS PARA A SOLUÇÃO DO MODELO

CONDIÇÃO DE CONTORNO

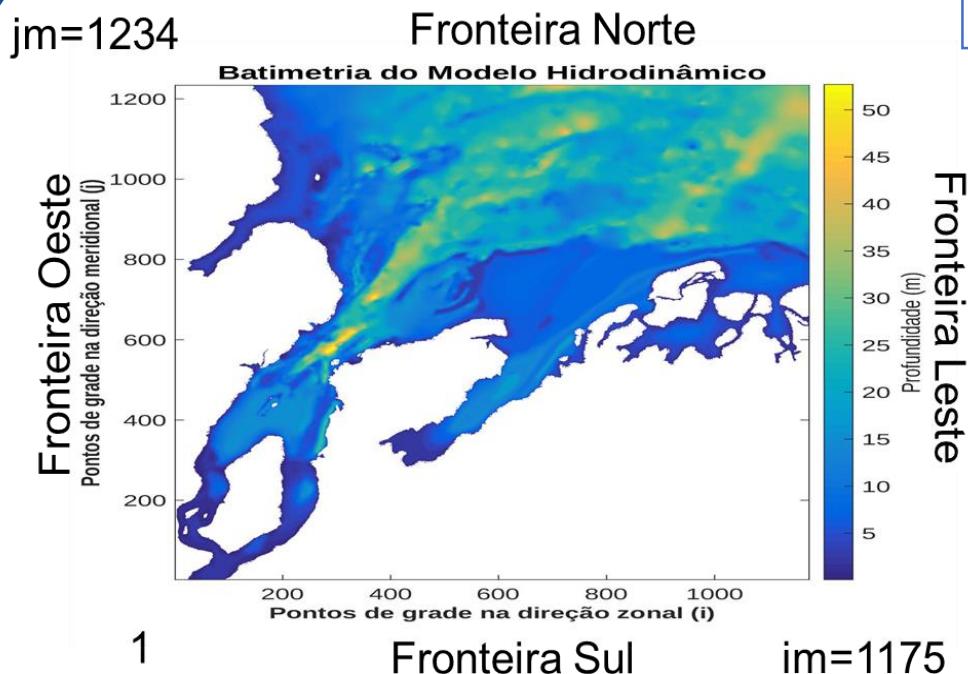


Figura 4: Domínio Espacial da solução numérica

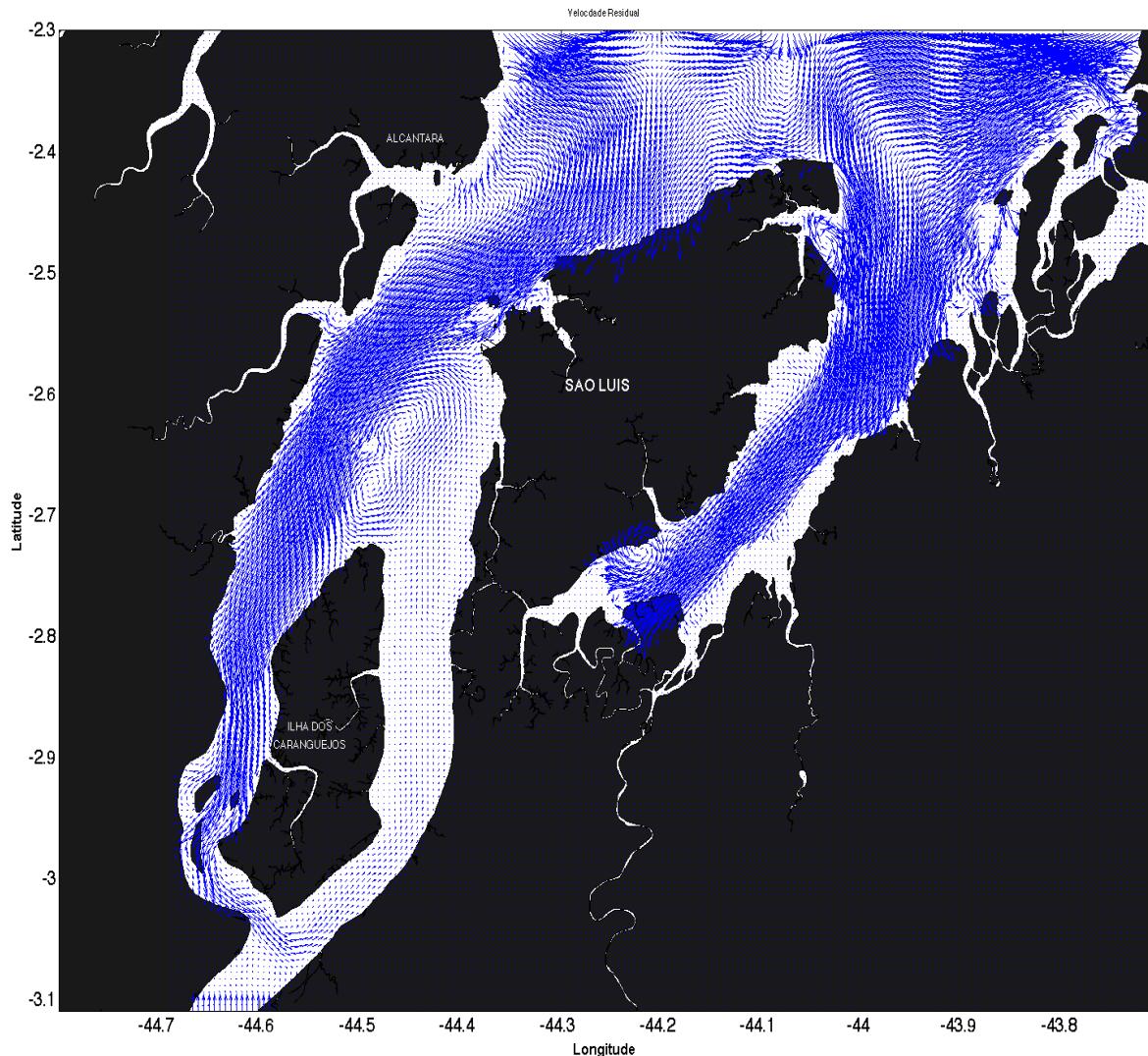
ABERTA

{ FLATHER
RADIACIONAL DE ORLANSKY

$$V_i^n = V_{ext,i}^n \pm \sqrt{\frac{g}{H}} (\eta_{i+1}^n - \eta_{ext,i}^n)$$

$$\phi_{jm}^{n+1} = \frac{1 - c(\delta t / \delta y)}{1 + c(\delta t / \delta y)} \phi_{jm}^{n-1} + 2 \frac{c \cdot (\delta t / \delta y)}{1 + c \cdot (\delta t / \delta y)} \phi_{jm}^n$$

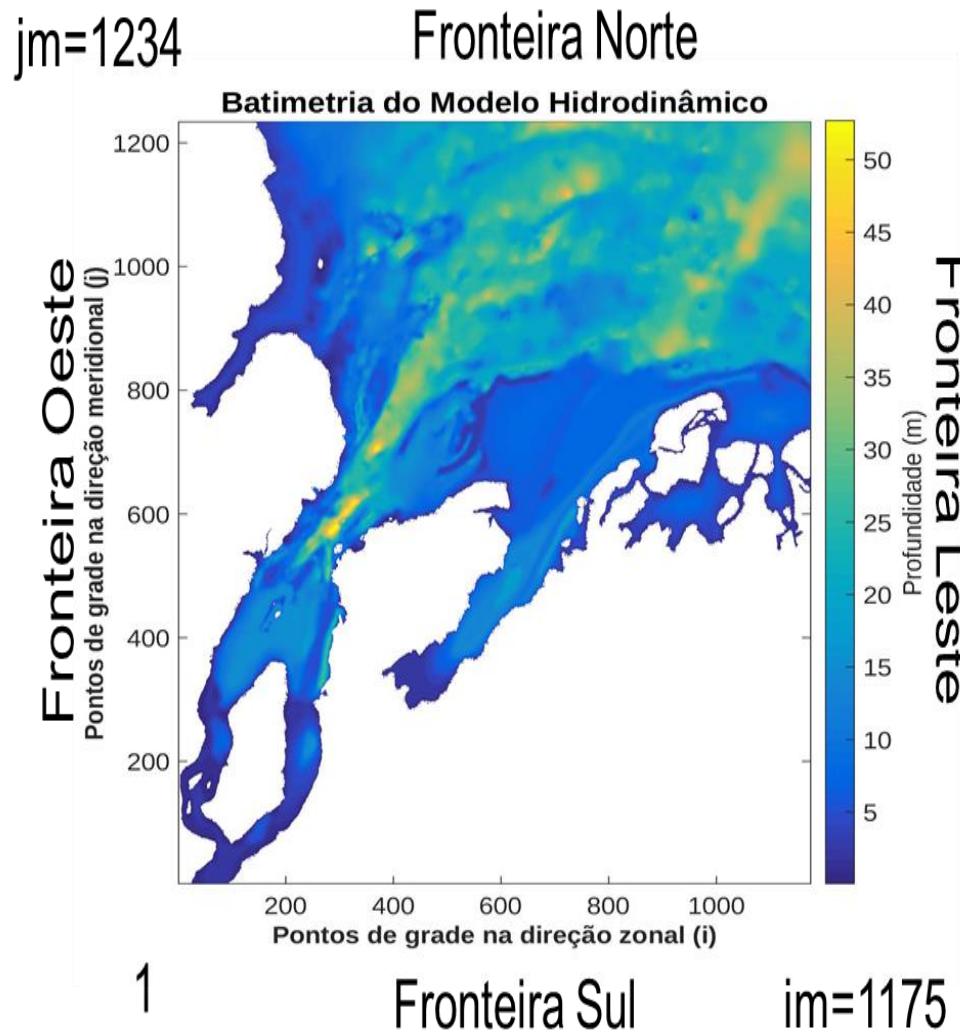
$$c = -\frac{\partial \phi}{\partial t} / \frac{\partial \phi}{\partial y}$$



SIMULAÇÃO

- 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017
- ✓ Termos Advectivos
- ✓ Gradiente de pressão
- ✓ Termos difusivos
- ✓ Tensão do vento
- ✓ Tensão no fundo

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017



FORÇANTES:

1. VARIAÇÃO DA SUPERFÍCIE LIVRE:
 - TPXO-7.2
2. CAMPO DE VELOCIDADE:
 - Corrente Norte do Brasil
 - Vazão Média do Rio Mearim

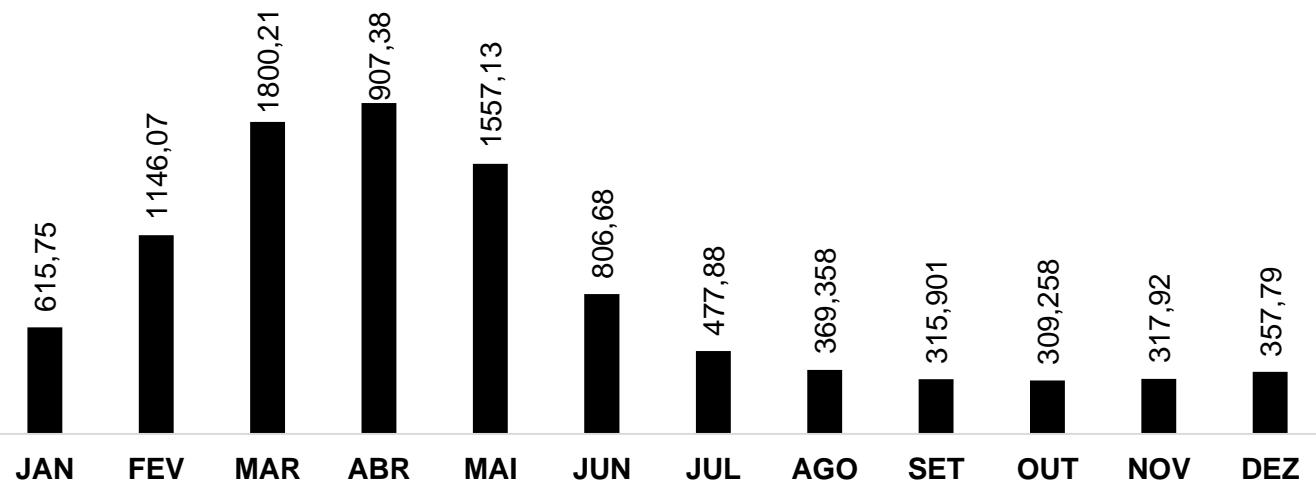


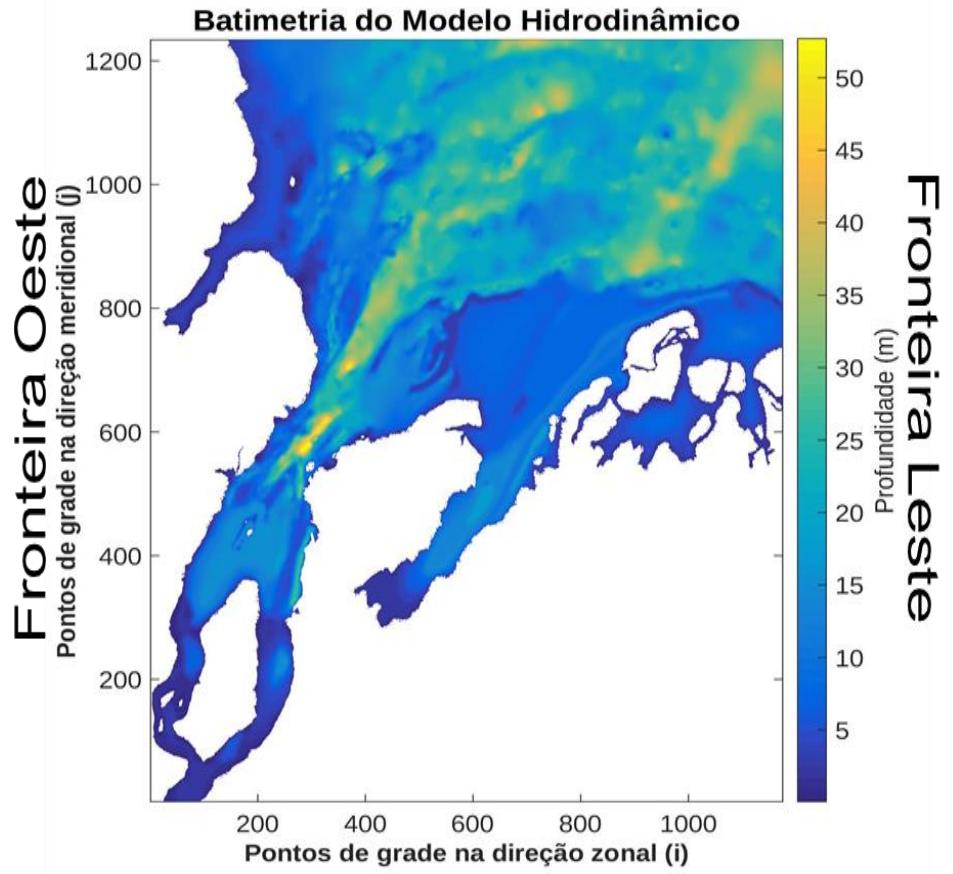
Figura 5: Domínio Espacial da solução numérica

Figura 6: Vazão Média Rio Mearim. Fonte: IBGE (1997).

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

jm=1234

Fronteira Norte



FORÇANTES:

- 1. VARIAÇÃO DA SUPERFÍCIE LIVRE:**
 - TPXO-7.2
- 2. CAMPO DE VELOCIDADE:**
 - Corrente Norte do Brasil
 - Vazão Média do Rio Mearim
 - Vento

RESOLUÇÃO:

- **ESPACIAL**
- **TEMPORAL**

Figura 5: Domínio Espacial da solução numérica

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO MARCOS

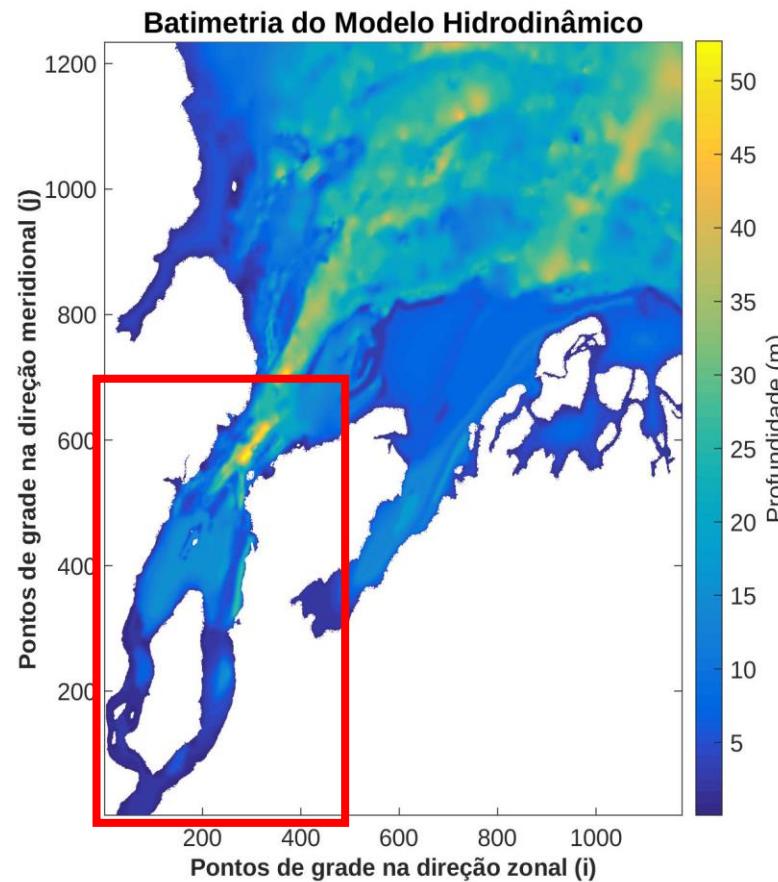


Figura 7: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO MARCOS

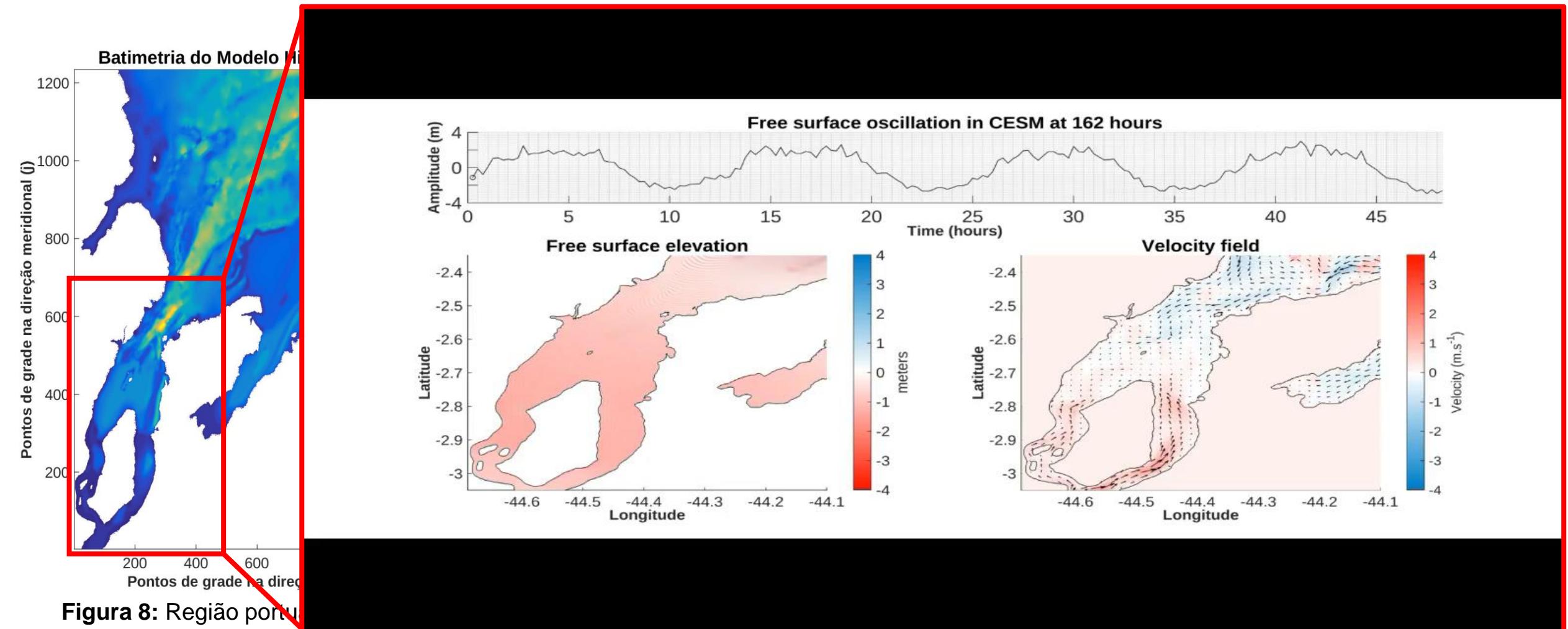


Figura 8: Região portuária

Vídeo 2: Hidráulica do CESM.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO MARCOS

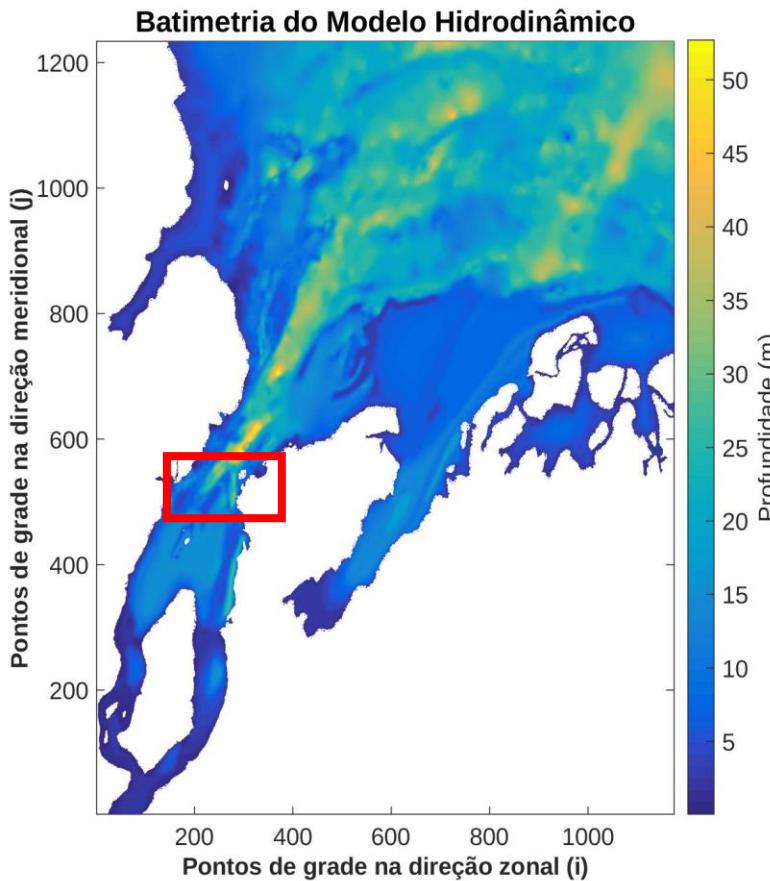
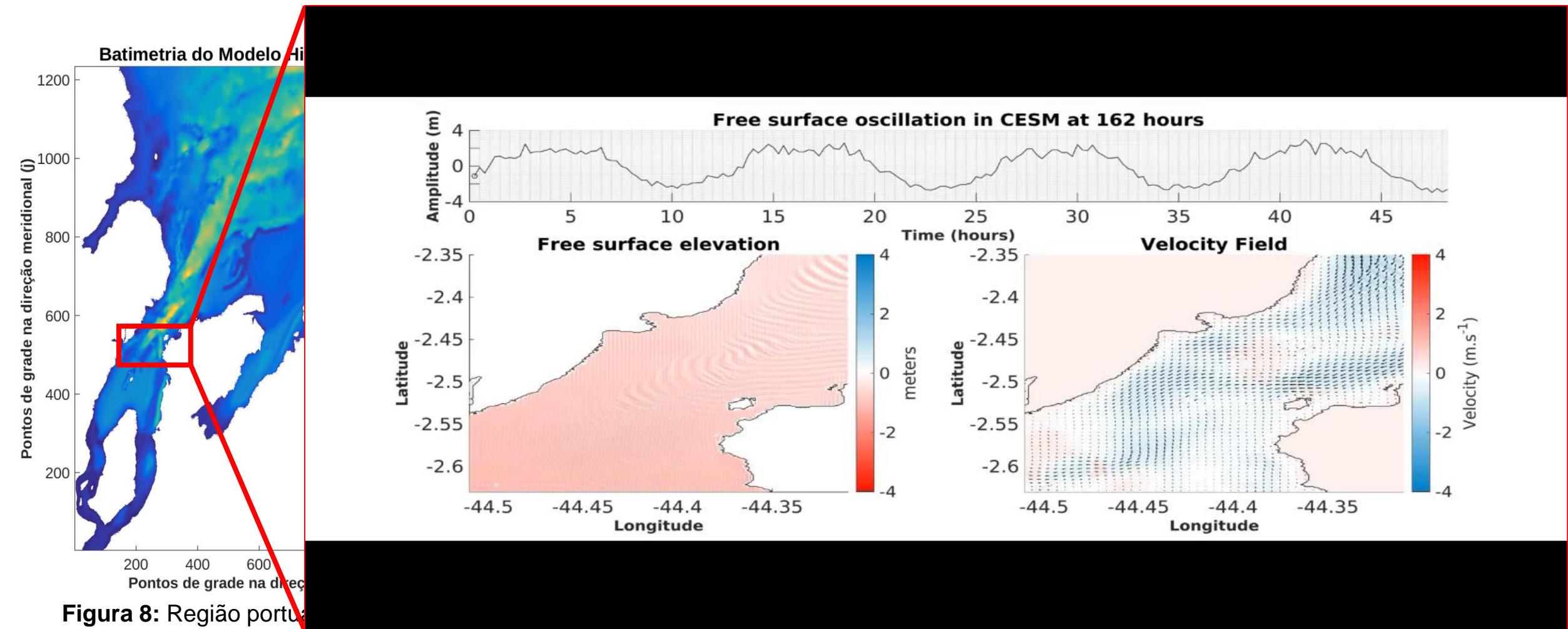


Figura 7: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA PARA REGIÃO PORTUÁRIA



Vídeo 2: Hidráulica do CESM.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

VALIDAÇÃO

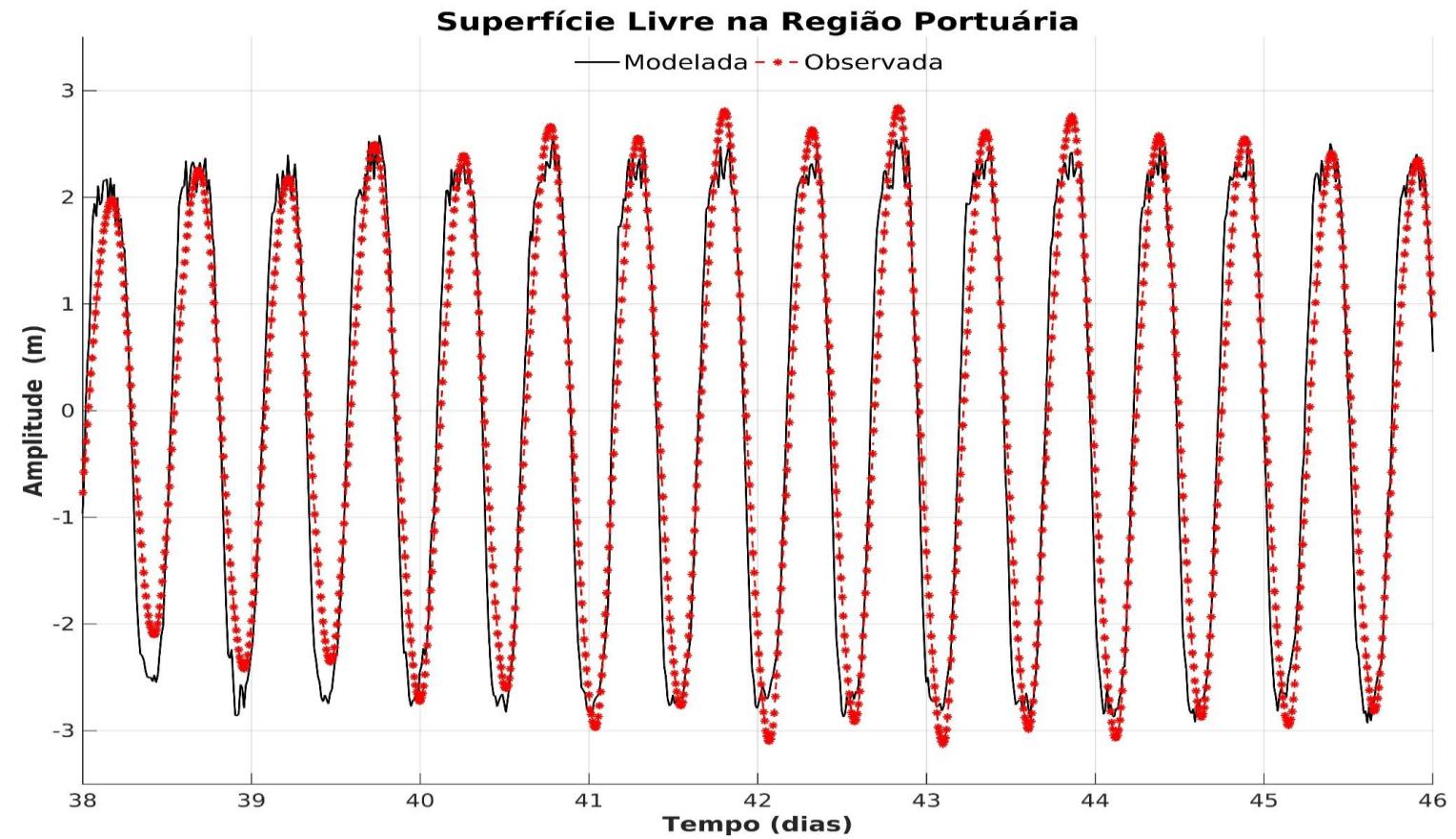
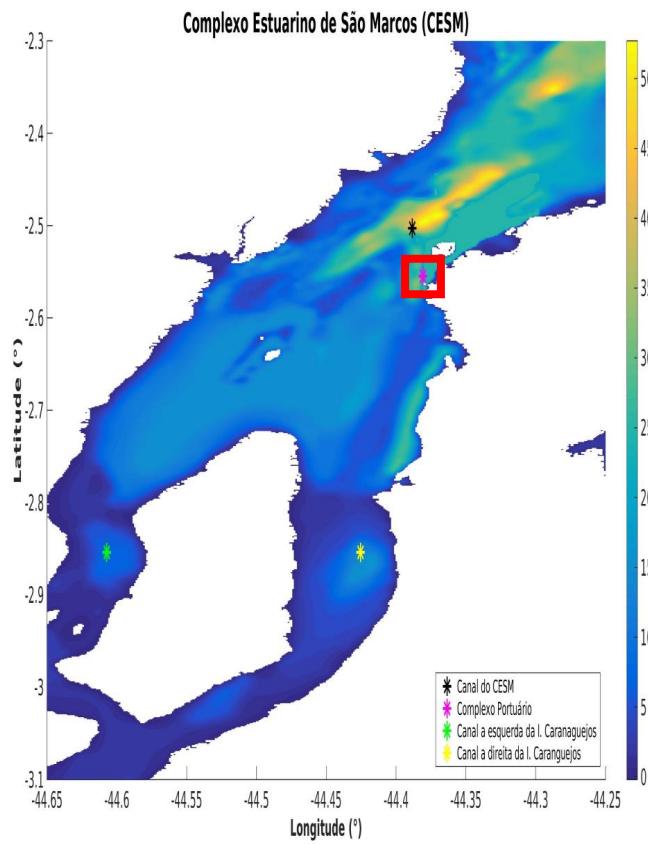


Figura 9: Variação da Superfície Livre na região Portuária do CESM.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

TERMOS DA EQUAÇÃO DE MOMENTUM

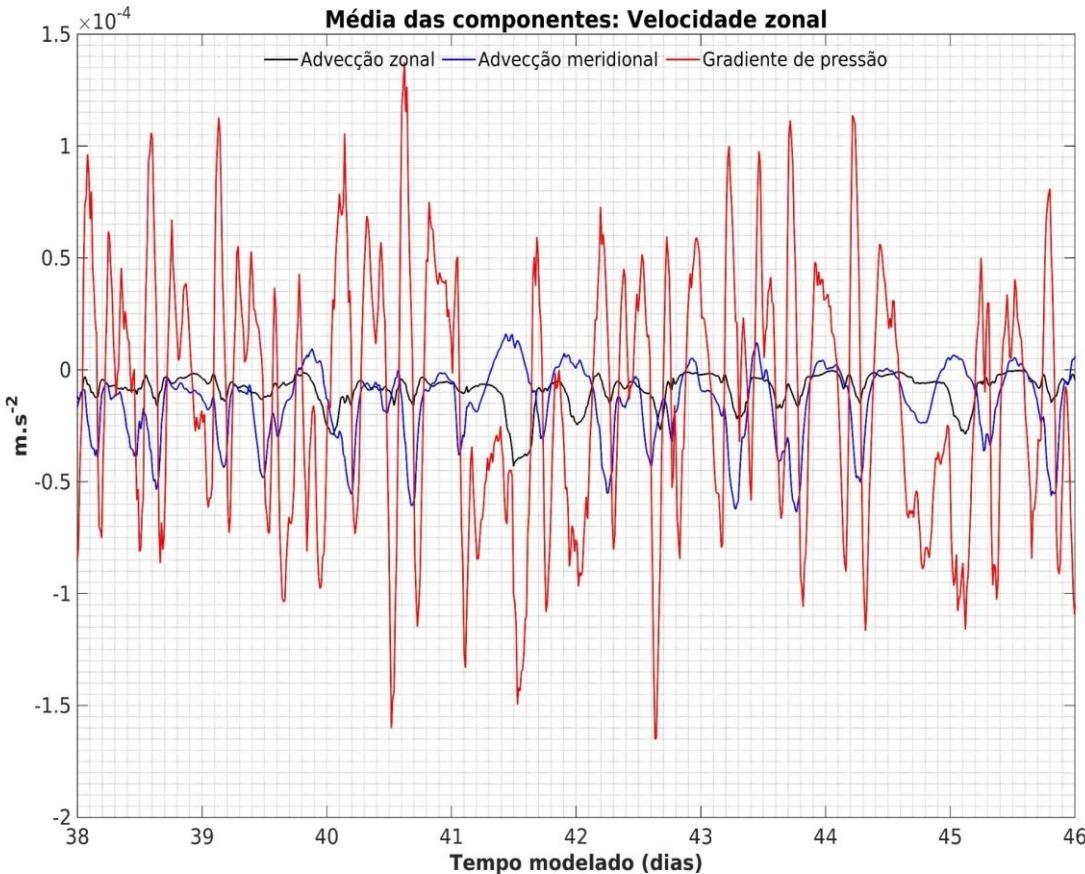


Figura 10: Termos médios no sentido zonal.

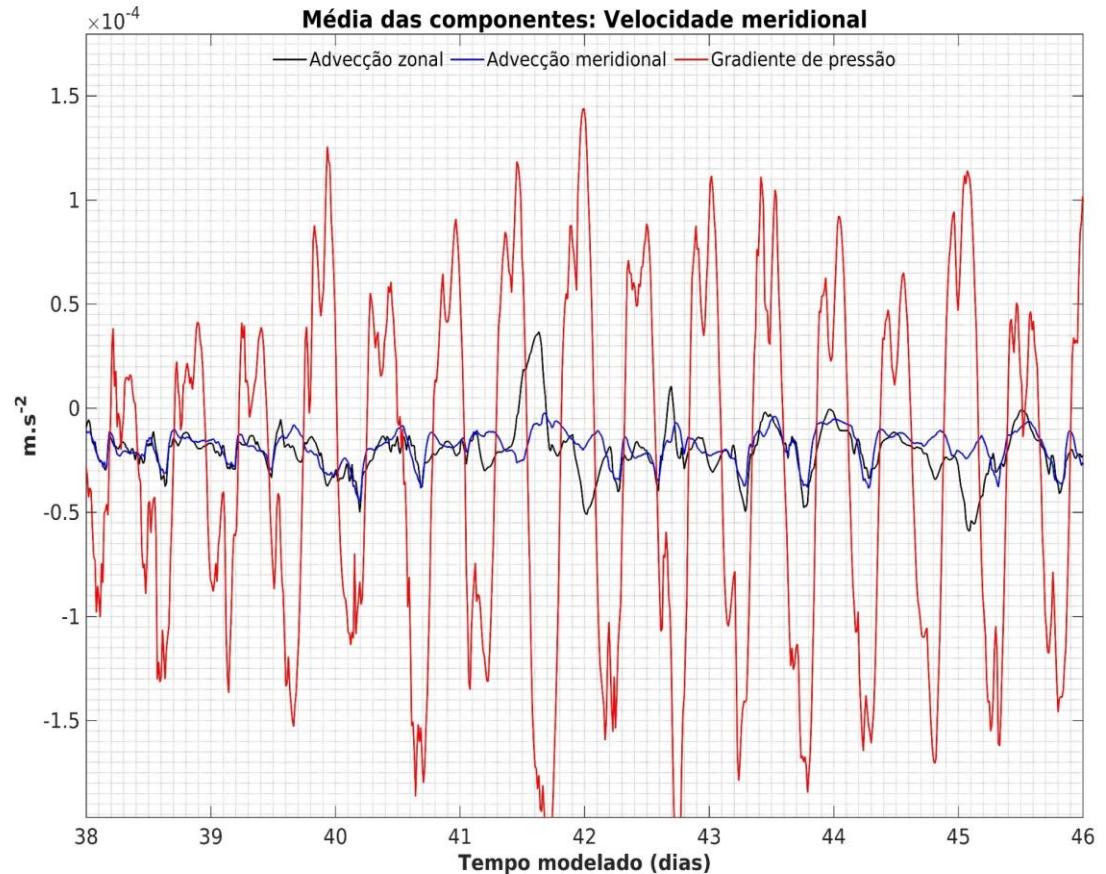


Figura 11: Termos médios no sentido Meridional.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

TERMOS DA EQUAÇÃO DE MOMENTUM

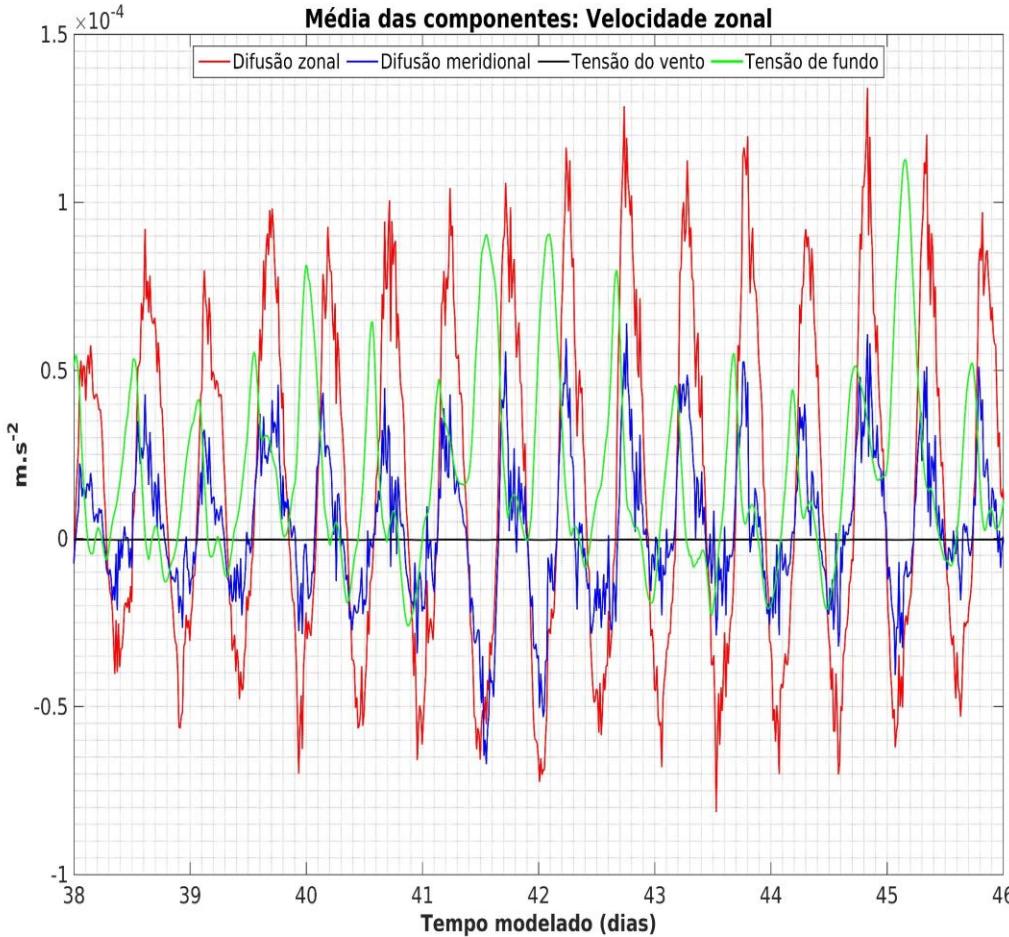


Figura 12: Termos médios no sentido zonal.

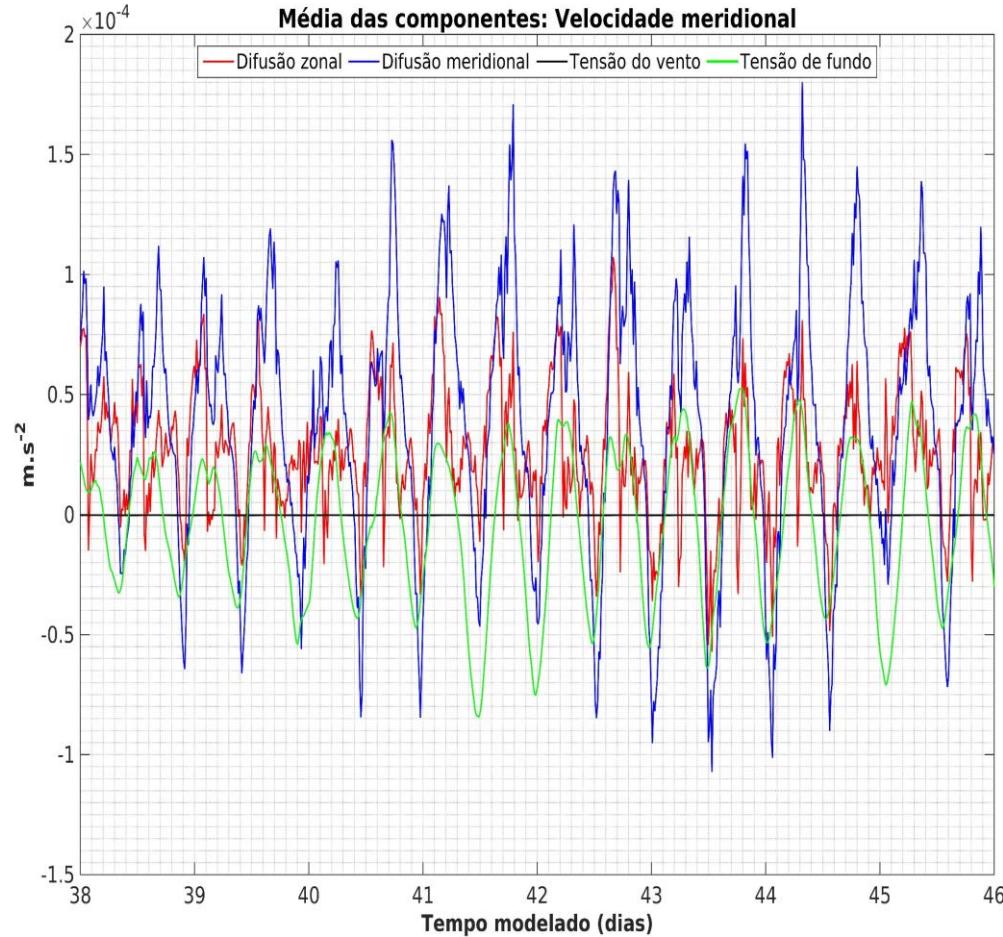


Figura 13: Termos médios no sentido Meridional.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA: CANAL CESM

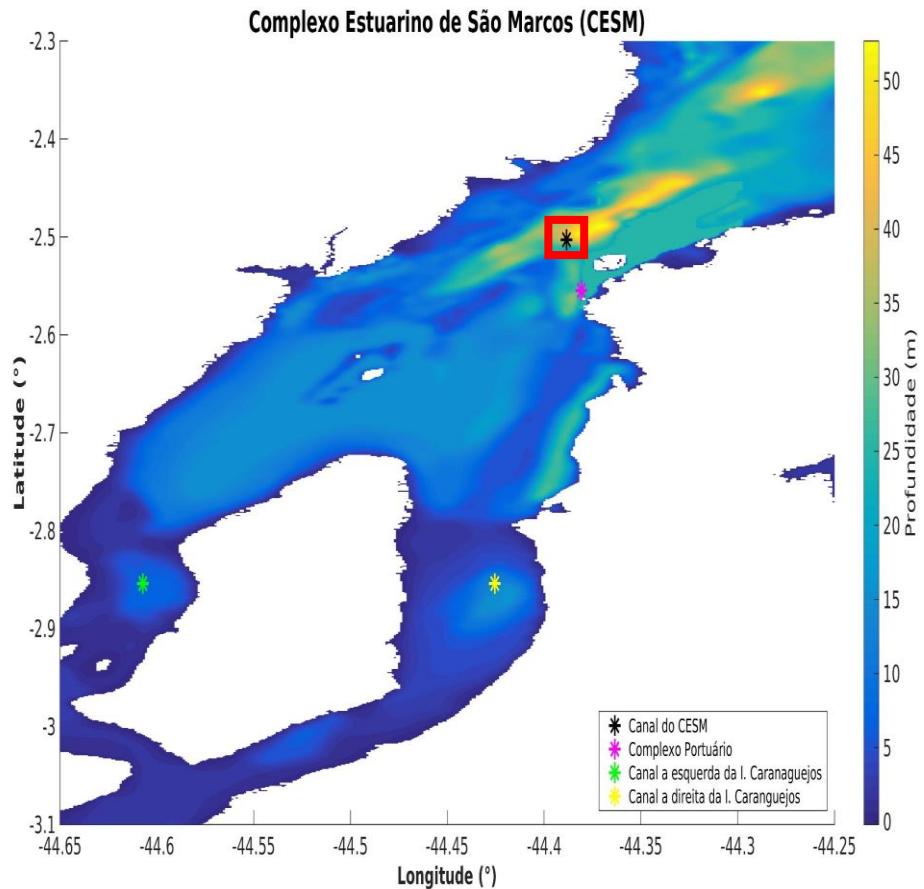


Figura 14: Canal do CESM.

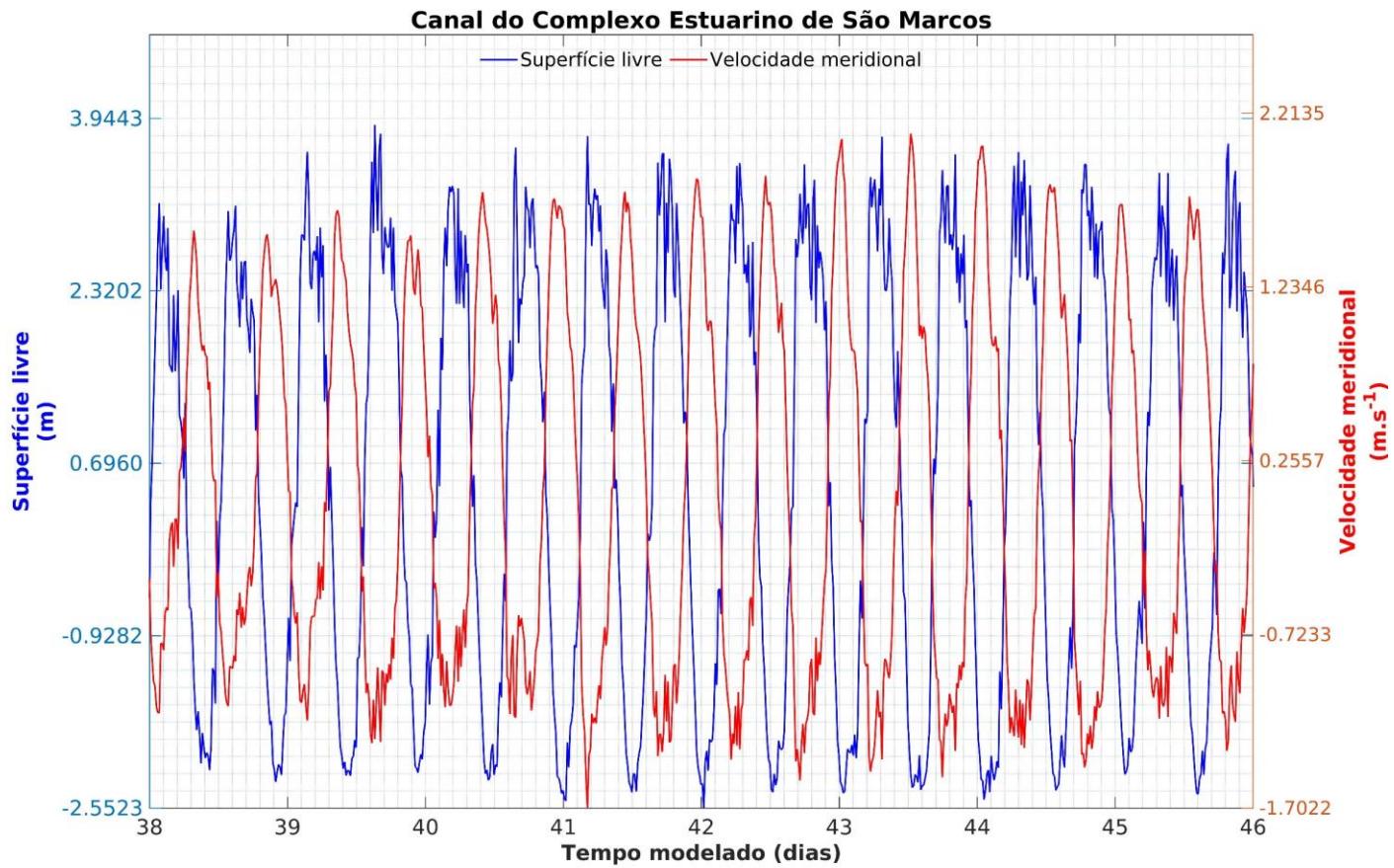


Figura 15: Hidráulica do CESM.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA: REGIÃO PORTUÁRIA

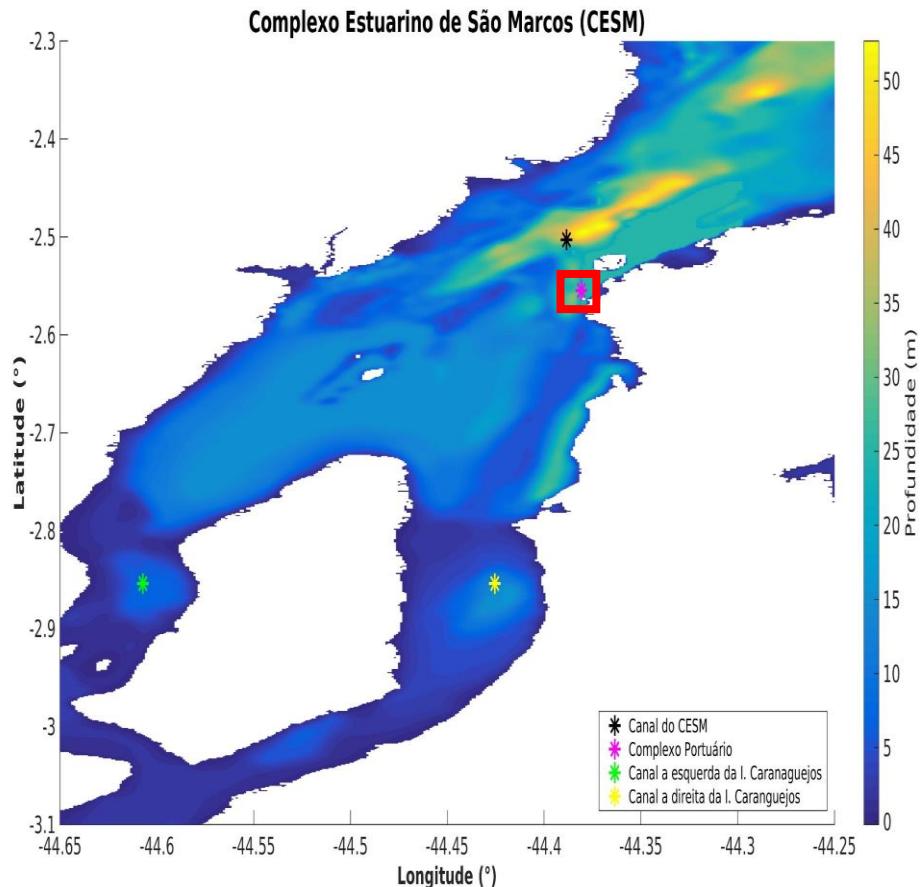


Figura 16: Região portuária.

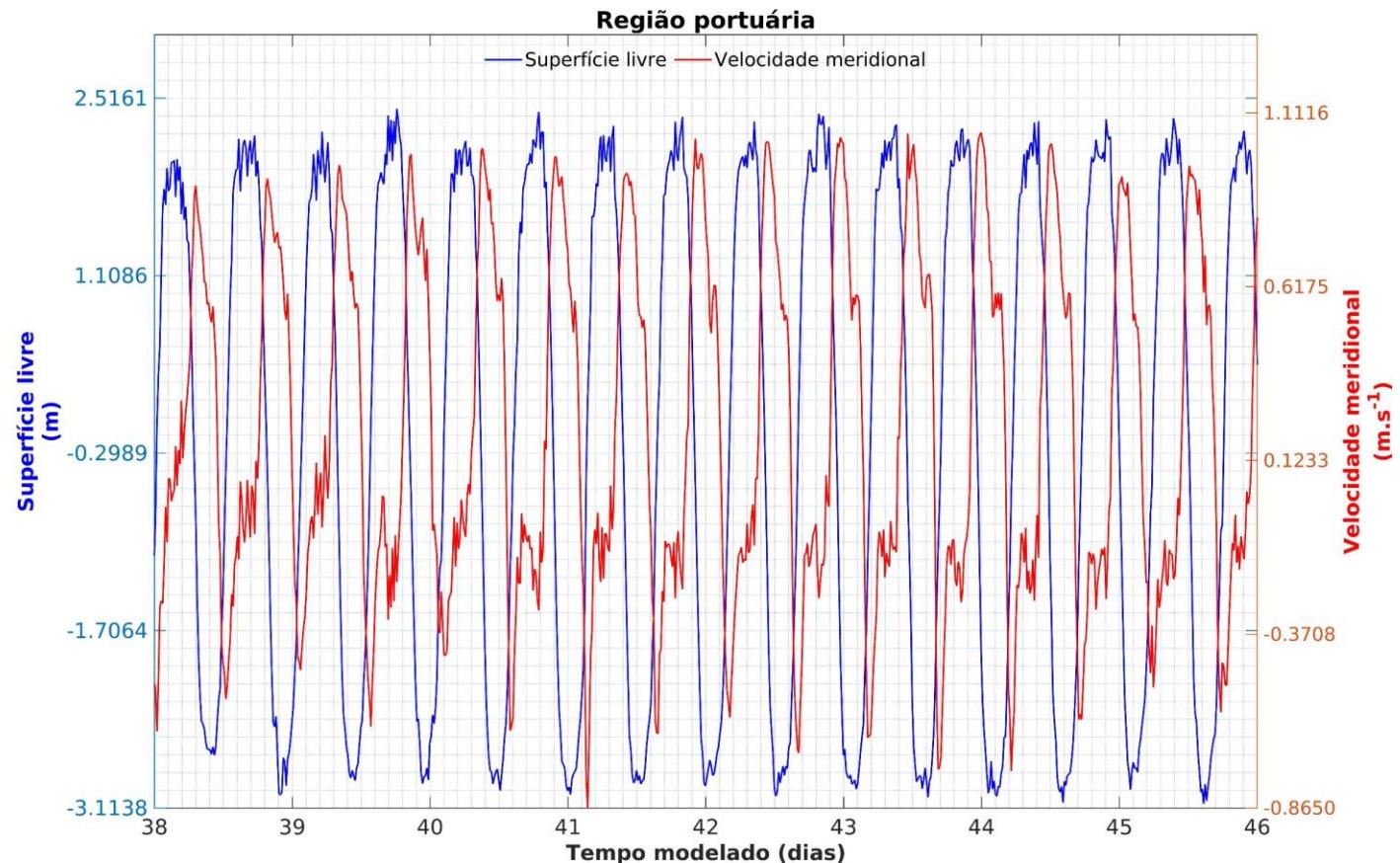


Figura 17: Hidráulica da região portuária.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA: OESTE ILHA DOS CARANGUEIJOS

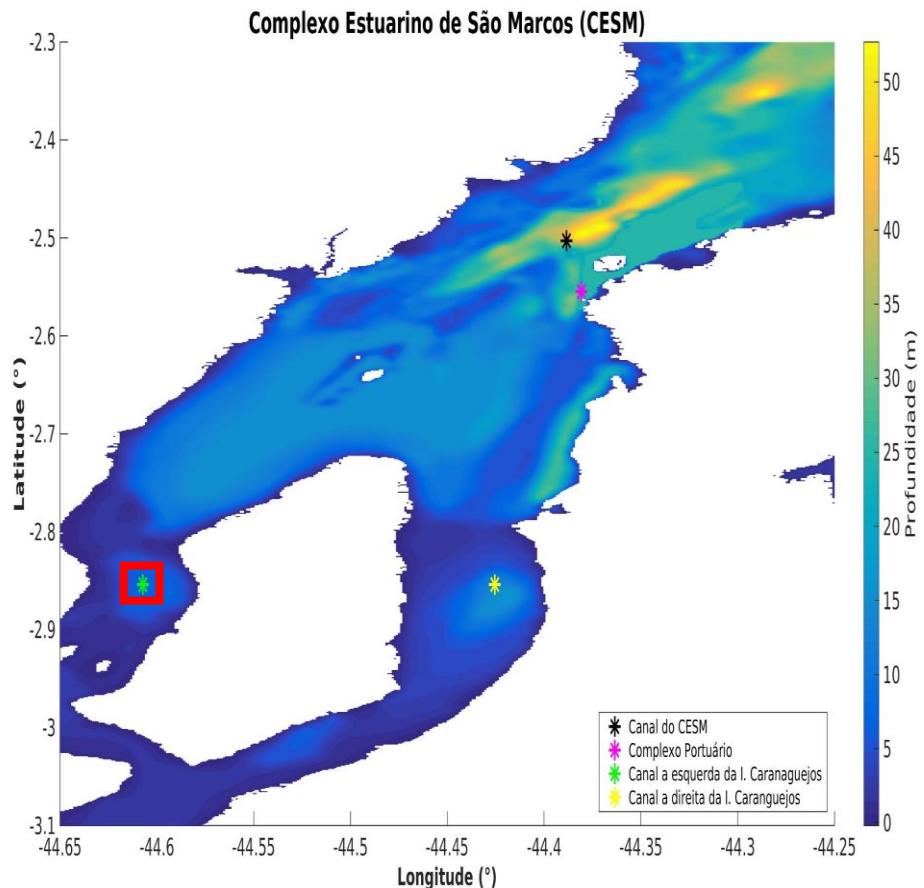


Figura 18: Oeste da ilha dos caranguejos.

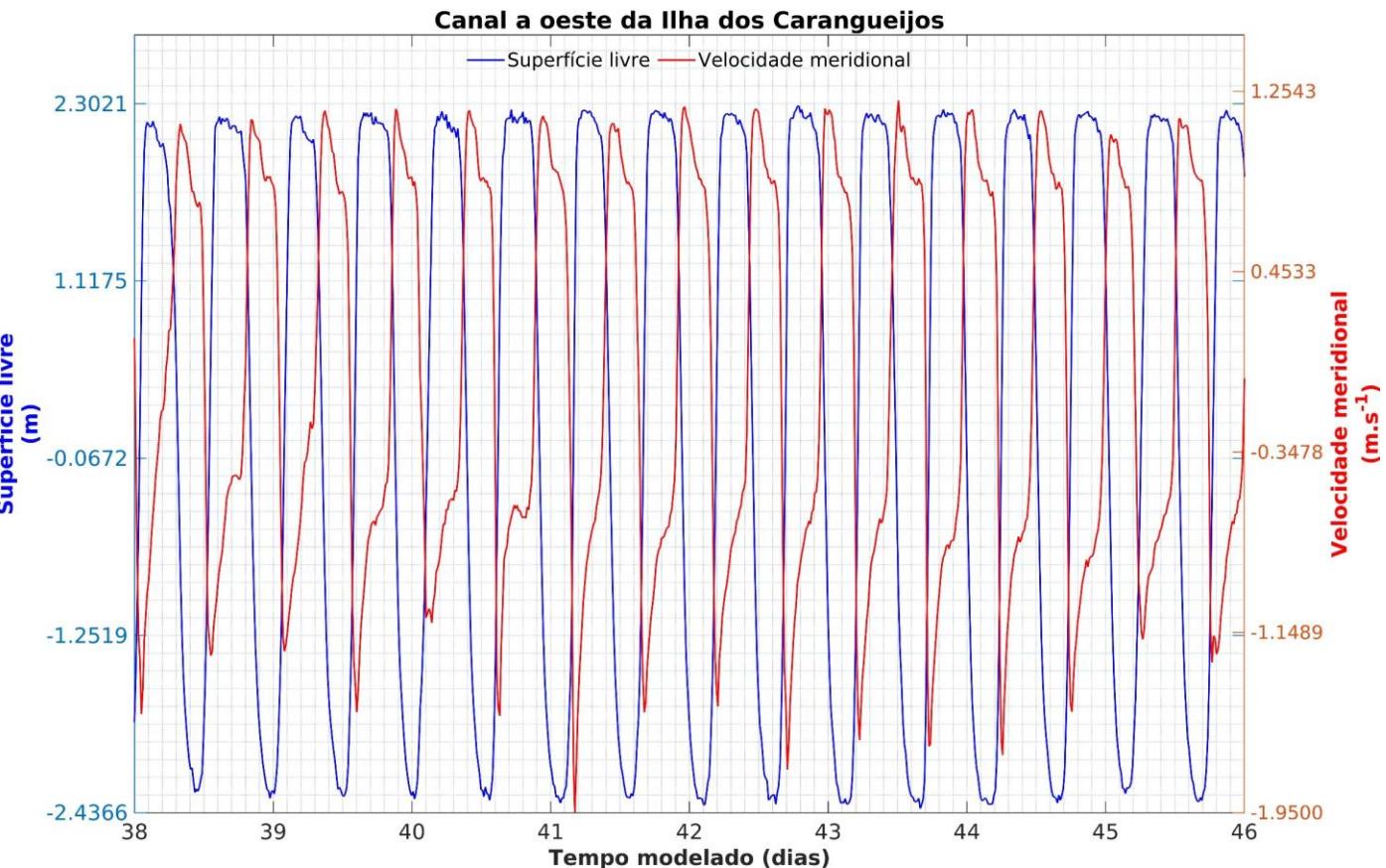


Figura 19: Hidráulica do oeste da ilha dos caranguejos.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

HIDRÁULICA: LESTE ILHA DOS CARANGUEIJOS

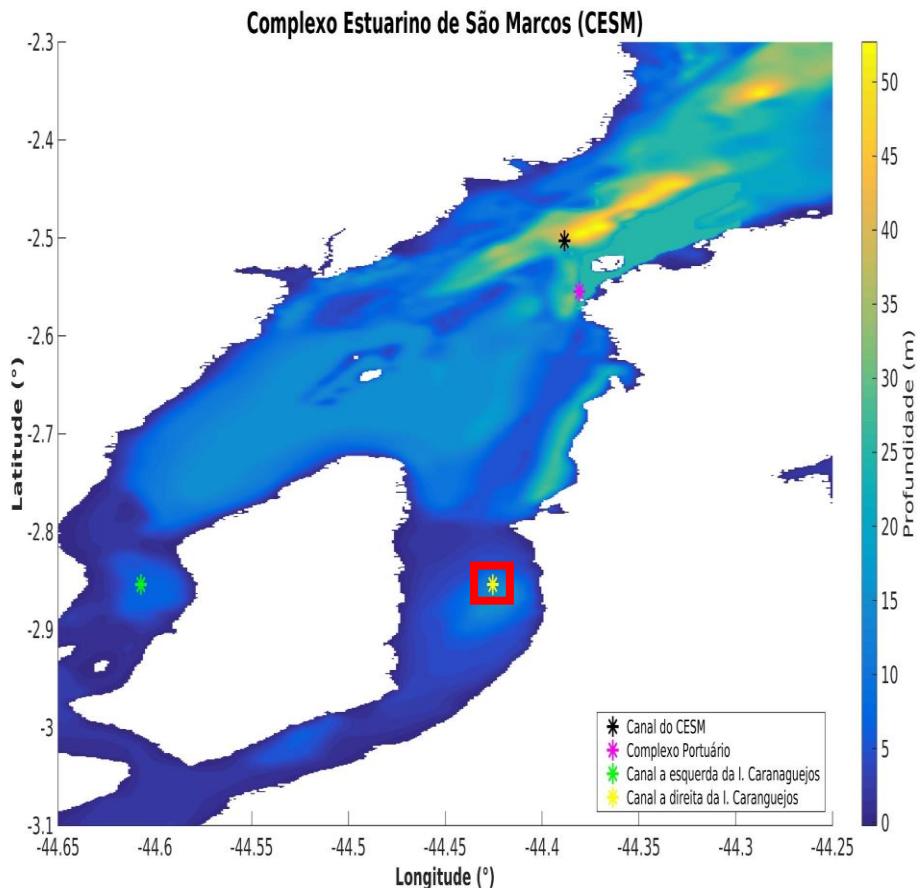


Figura 20: Leste da ilha dos caranguejos.

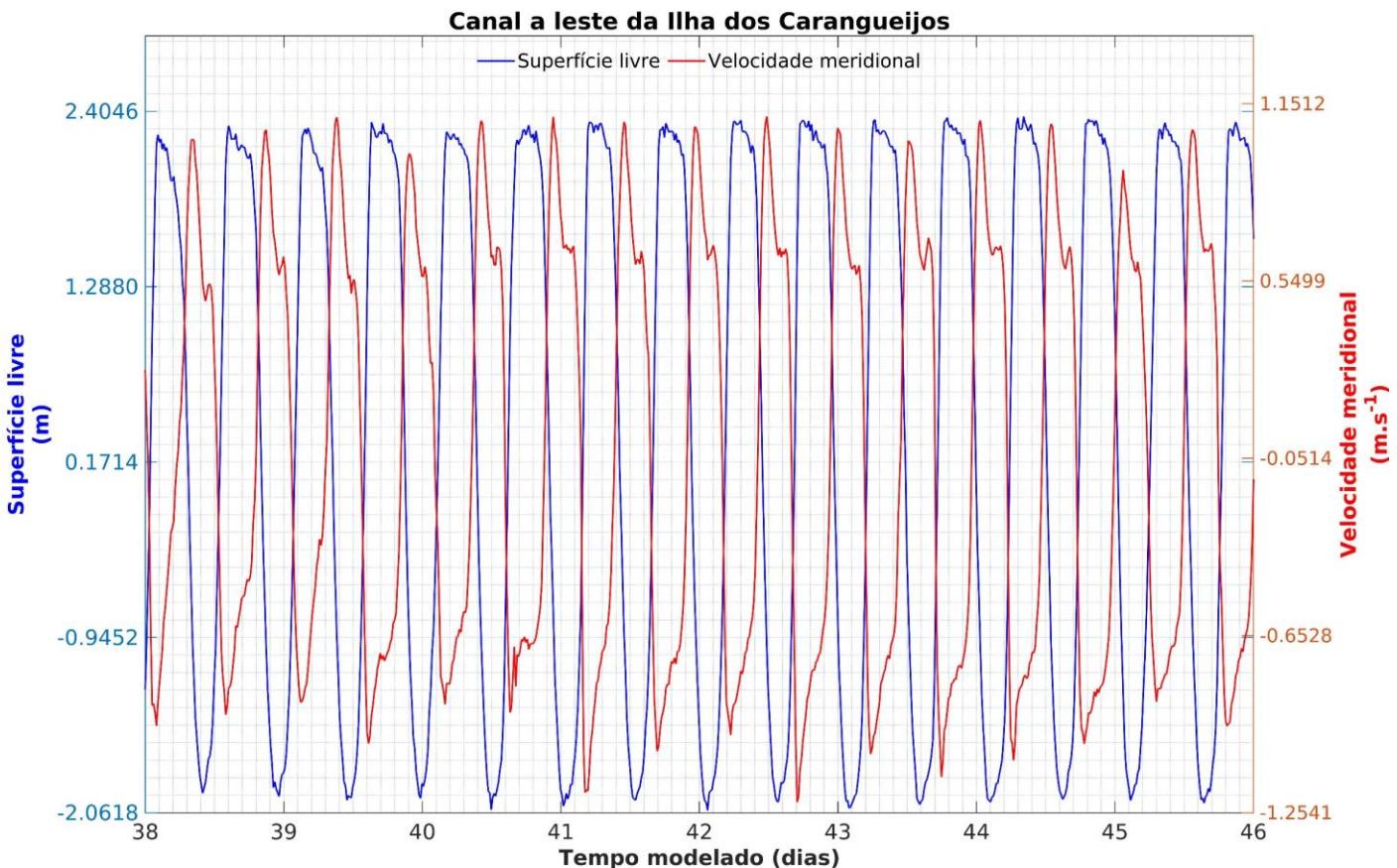


Figura 21: Hidráulica do Leste da ilha dos caranguejos.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

**NÍVEL NO MAR NA FRONTEIRA NORTE E
ENERGIA CINÉTICA**

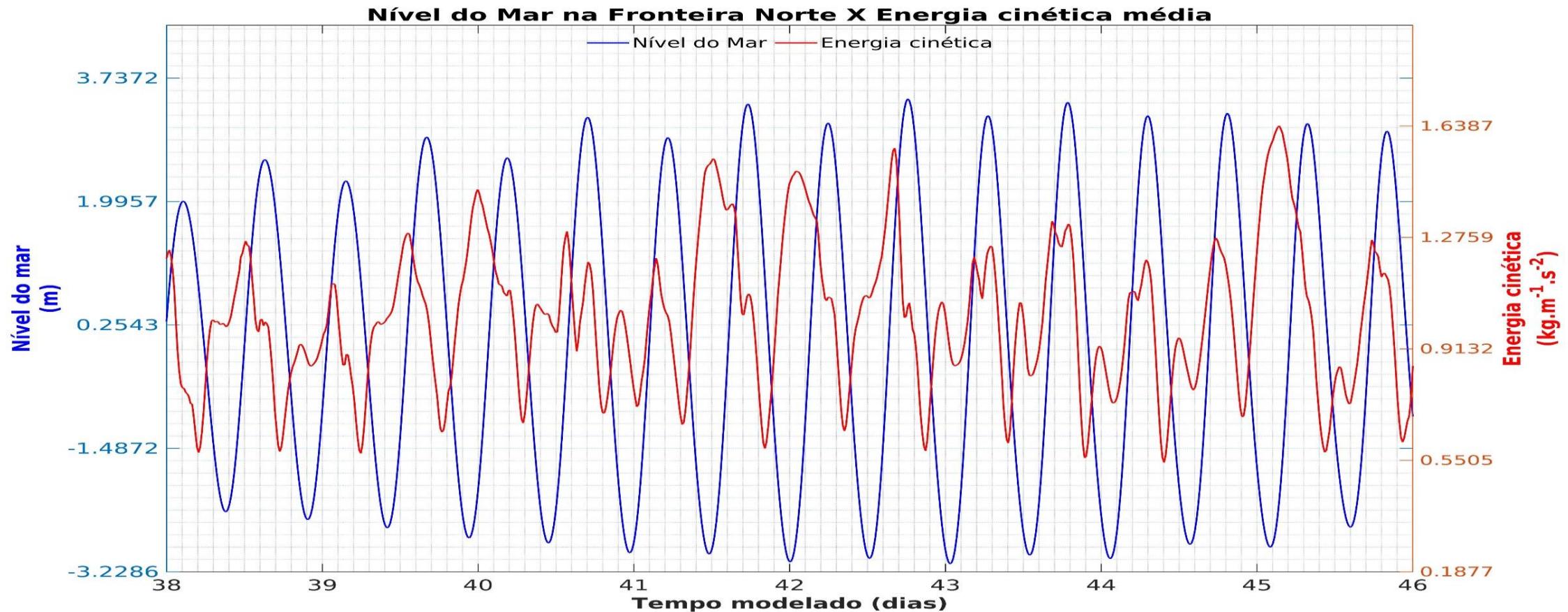


Figura 22: Variação do nível mar e energia cinética.

SIMULAÇÃO: 31 de janeiro à 02 de maio do ano de 2017

GRADIENTE DE PRESSÃO ABSOLUTO E ENERGIA CINÉTICA

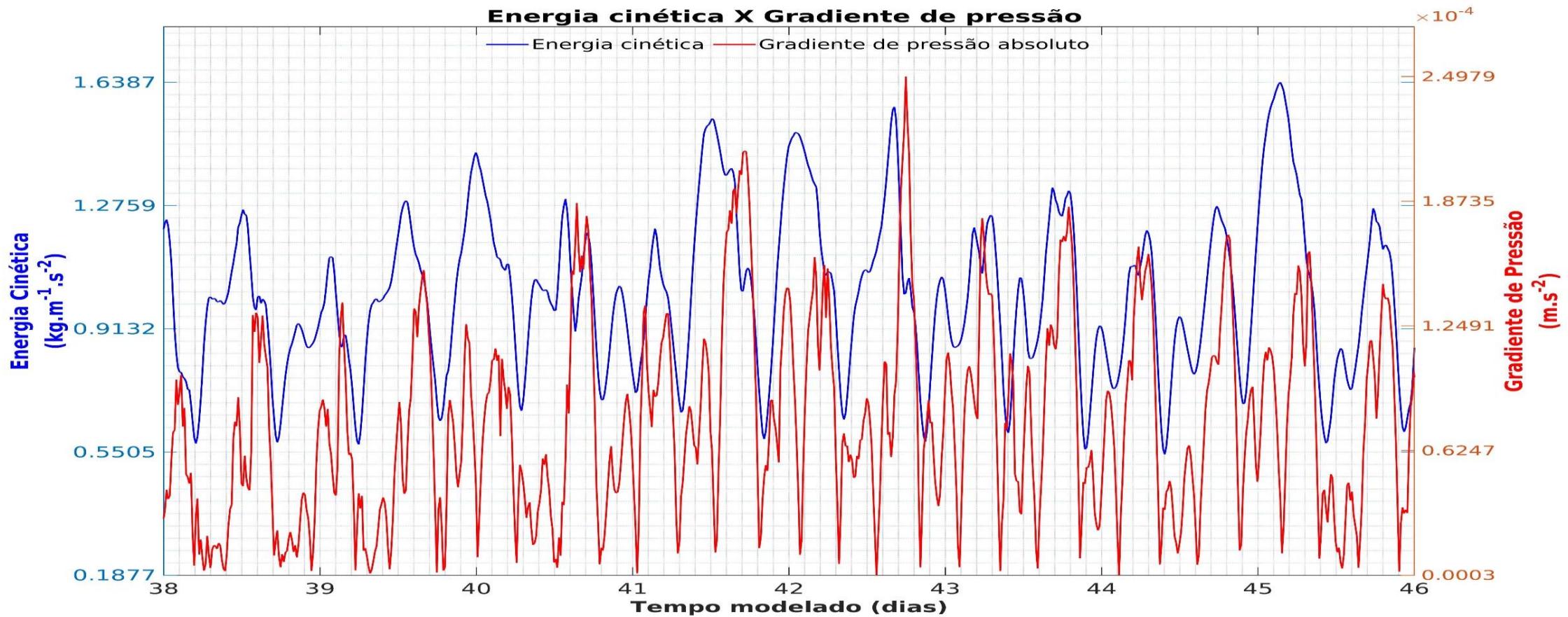


Figura 23: Variação do nível mar e energia cinética.



OBRIGADO!

