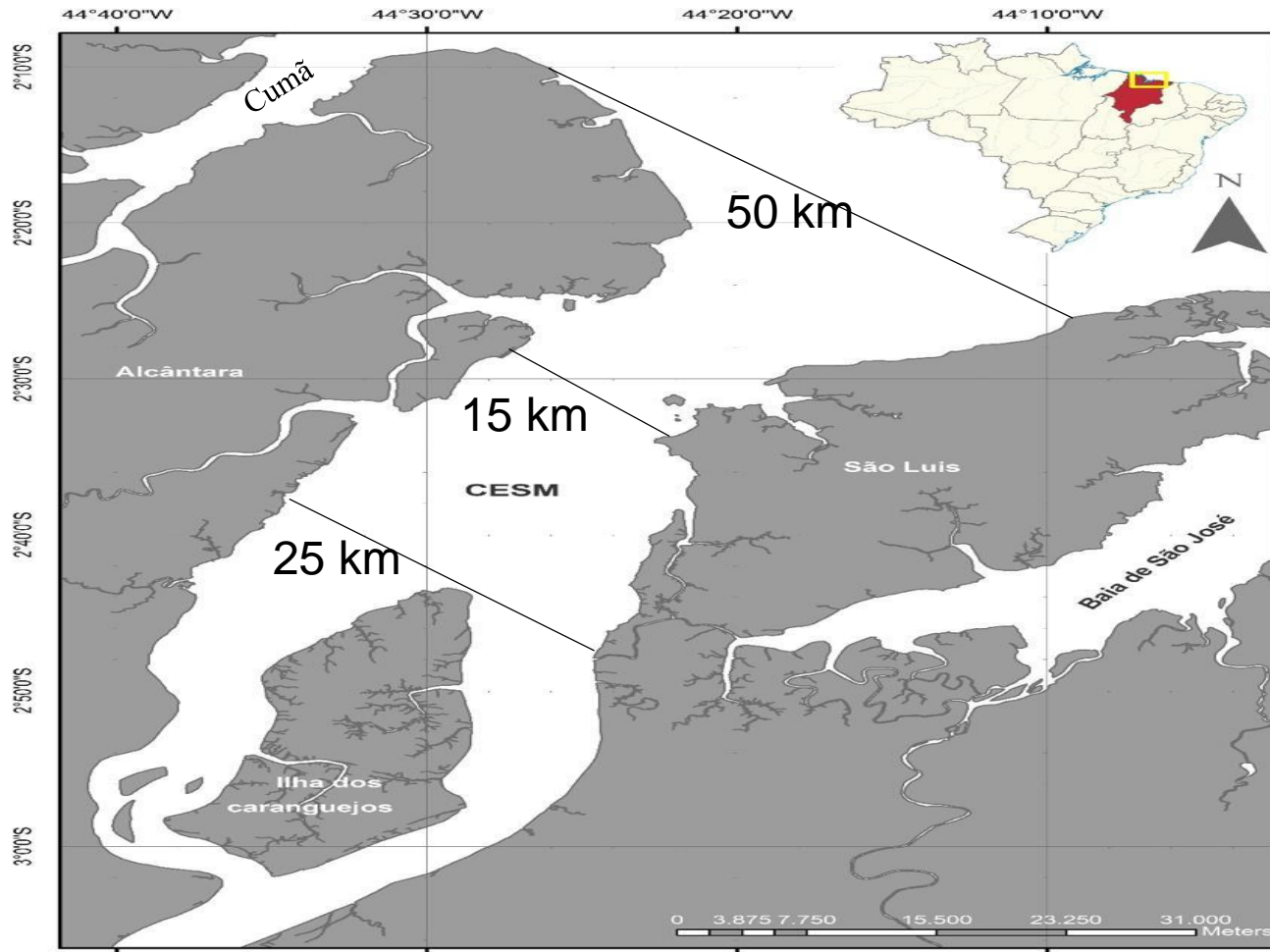


Desenvolvimento de Modelo Computacional Hidrodinâmico

Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

Júlio César Martins Ribeiro Júnior

ÁREA DE ESTUDO



ÁREA

3000 km²

PROFUNDIDADE

até 55 metros

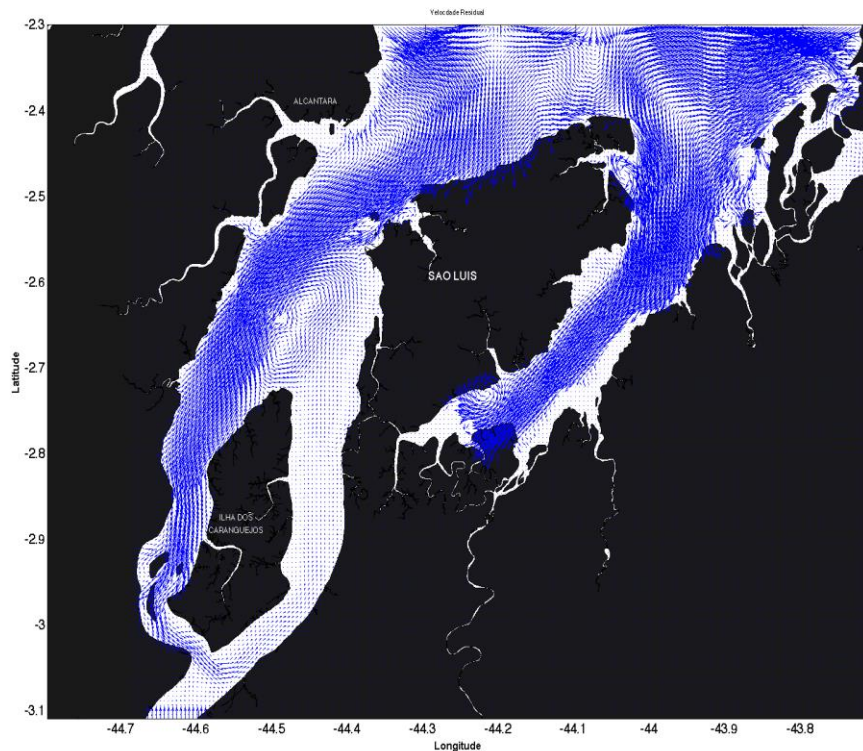
MARÉ

Semi-diurna

Amplitudes de até 3,3 metros

Figura 1: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

Descrição do Modelo Computacional Hidrodinâmico



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

DESCRIÇÃO DO MODELO

EQUAÇÕES GOVERNANTES

Continuidade
Navier-Stokes
Transporte Advectivo e Difusivo

DISCRETIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES

Métodos de Diferenças Finitas

SISTEMA DE COORDENADAS

Plano Cartesiano Ortogonal Tridimensional

ESQUEMAS DE SOLUÇÃO

Temporal

Corretor
de Milne

Matsuno

Filtro de
Asselin

Espacial

Lax
Friedrichs

Leonard

Smagorinsky

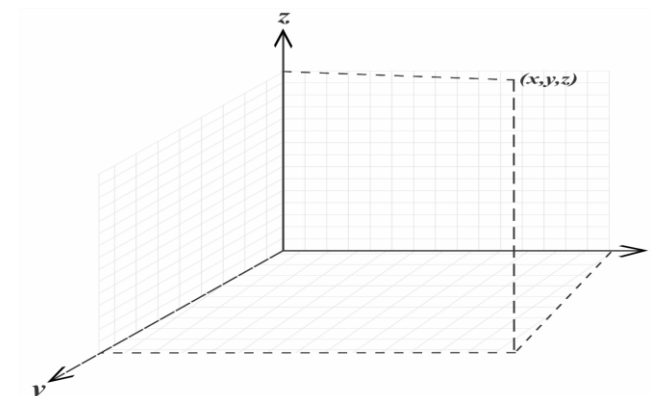


Figura 2: Plano cartesiano ortogonal

DESCRIÇÃO DO MODELO

APROXIMAÇÕES

Hidrostática

Boussinesq

Plano β

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

Variação linear do parâmetro de Coriolis
de acordo com a latitude

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

Zonal

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_m \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\gamma_T (Ua - U)}{H} - \frac{g \sqrt{U^2 + V^2}}{Cz^2 H} U \right) + fV$$

Meridional

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_m \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\gamma_T (Va - V)}{H} - \frac{g \sqrt{U^2 + V^2}}{Cz^2 H} V \right) - fU$$

DESCRIÇÃO DO MODELO

EQUAÇÕES GOVERNANTES

EQUAÇÃO DE TRANSPORTE ADVECTIVO E DIFUSIVO

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = A_m \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) - \left(u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)$$

DESCRIÇÃO DO MODELO

DOMÍNIO ESPACIAL

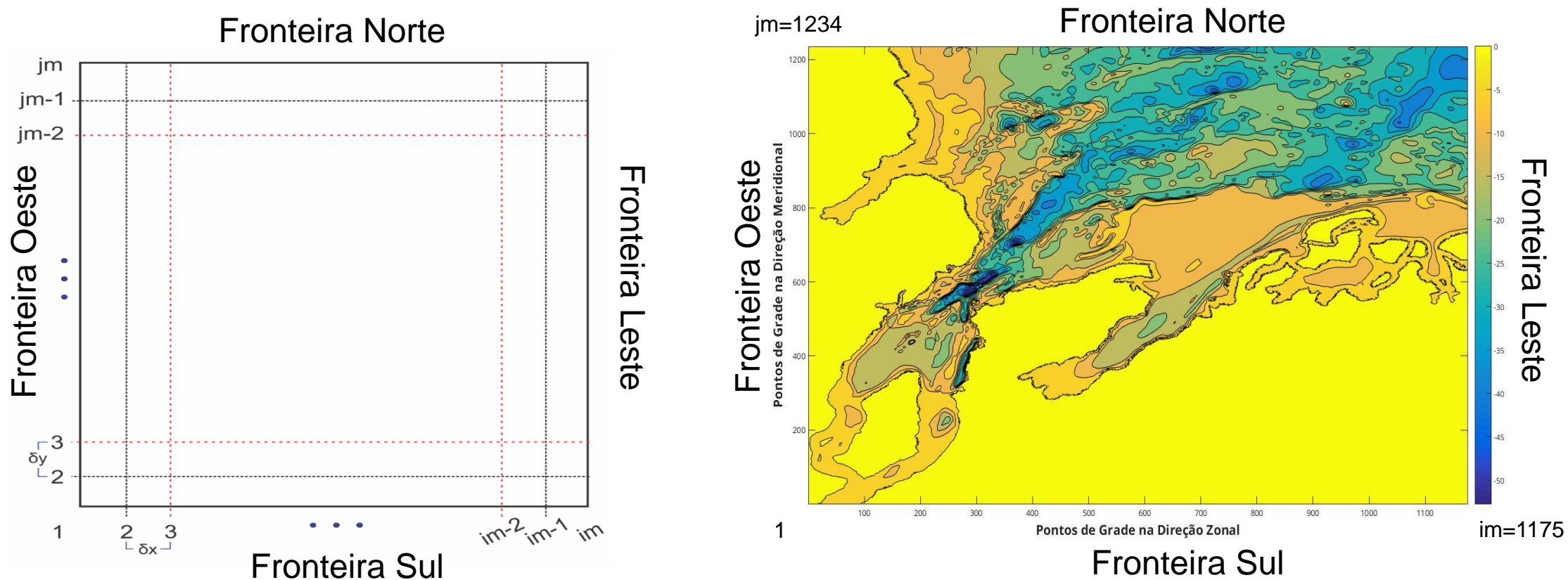


Figura 3: Domínio Espacial da Solução do Modelo para o CESM

PROCEDIMENTOS PARA A SOLUÇÃO DO MODELO

CONDIÇÃO DE CONTORNO

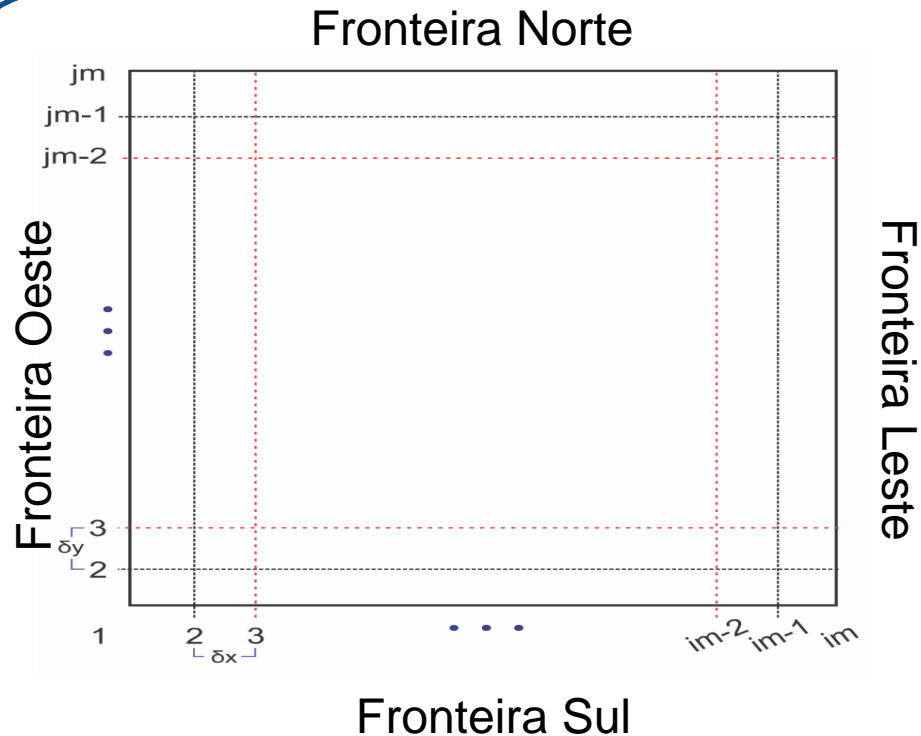


Figura 4: Domínio Espacial da solução numérica

ABERTA

FLATHER

RADIACIONAL DE ORLANSKY

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

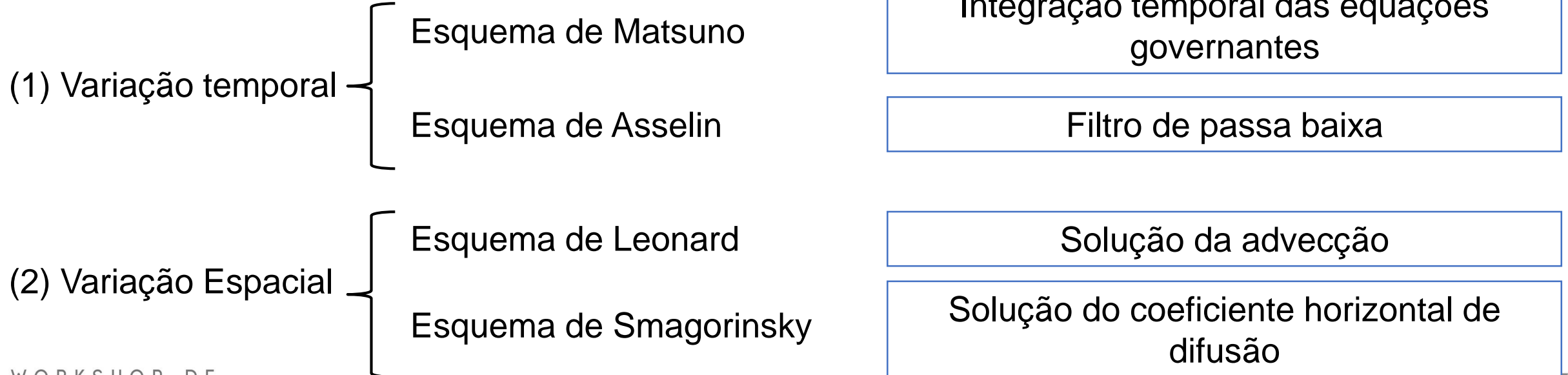
$$c = -\frac{\partial \phi}{\partial t} / \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

DESCRIÇÃO DO MODELO

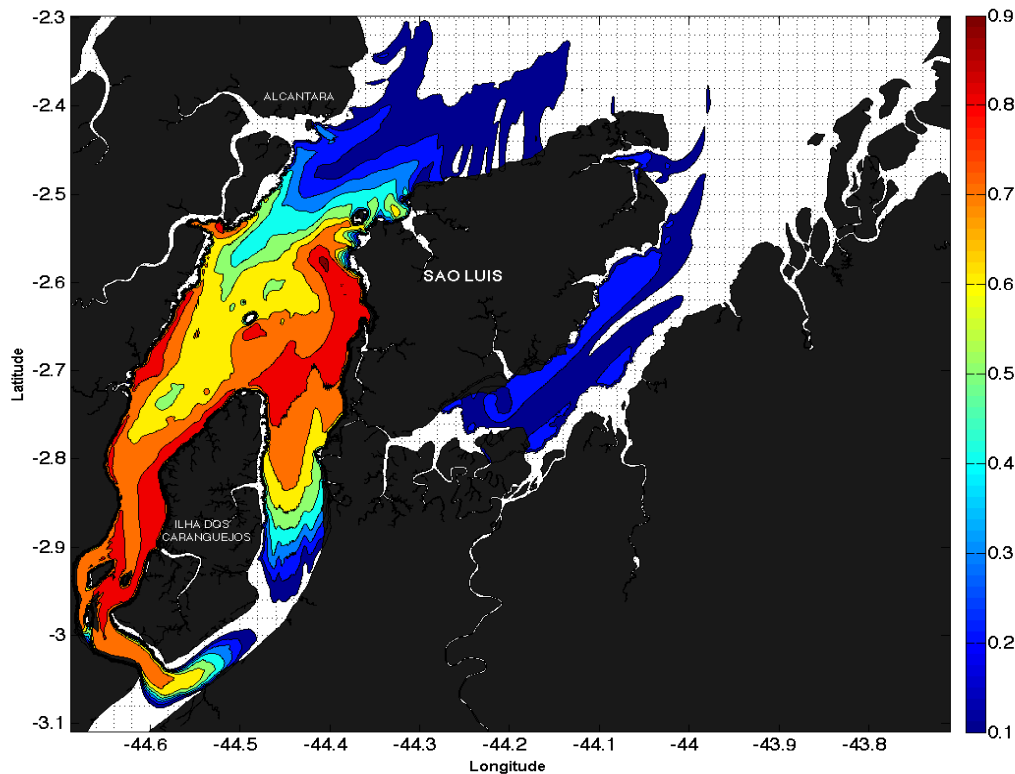
MÉTODO DE SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES GOVERNANTES PARA O CESM

EQUAÇÃO DE TRANSPORTE ADVECTIVO E DIFUSIVO 2-D

$$\underbrace{\frac{\partial \varphi}{\partial t}}_{(1)} = A_m \underbrace{\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right)}_{(2)} - \left(u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)$$



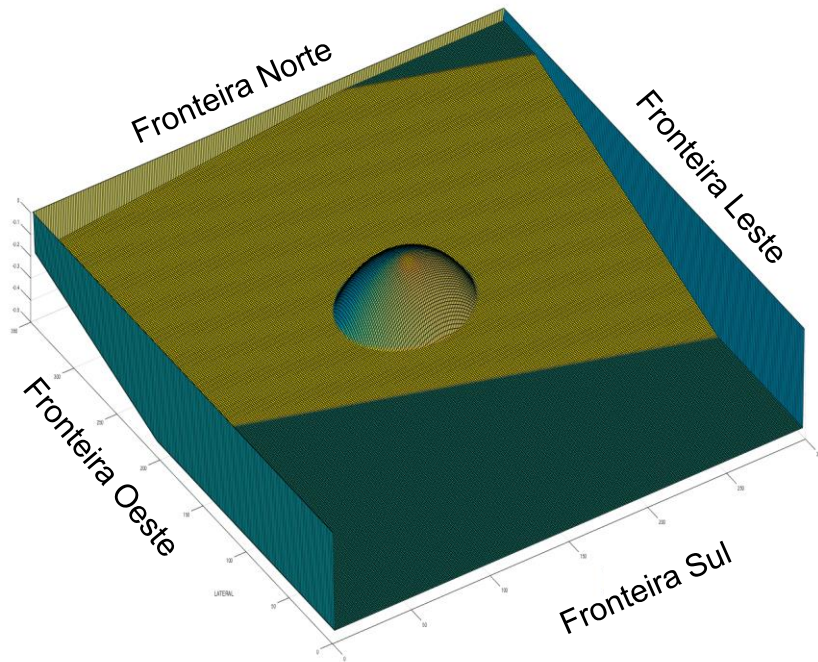
APLICAÇÕES



- EXPERIMENTO BERKHOFF (1982)
- CAMPOS DE CORRENTE PARA O CESM
- DISPERSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
- TRANSPORTE DE ICTIOPLANCTON PARA O CESM
- INFLUÊNCIA DO DESLOCAMENTO DE UM NAVIO EM UM FLUIDO EM ESCOAMENTO PERMANENTE

APLICAÇÕES

EXPERIMENTO BERKHOFF (1982)



Propagação de onda em um tanque (35x30m)

Batimetria do tanque

Desnível de 1:50

Inclinação de 20°

Prof. Max 0,45

Calota de 0,2 m

FRONTEIRAS	CONDIÇÃO DE CONTORNO
Norte, Oeste e Leste	Fechada
Sul	Batedor de onda

Figura 5: Experimento de Berkhoff 3-D.

APLICAÇÕES

EXPERIMENTO BERKHOFF (1982)

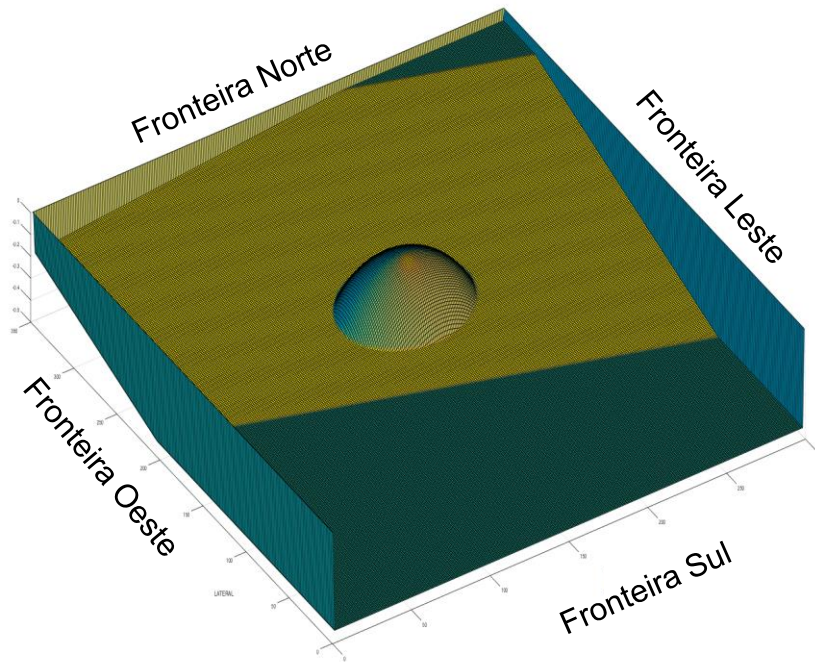
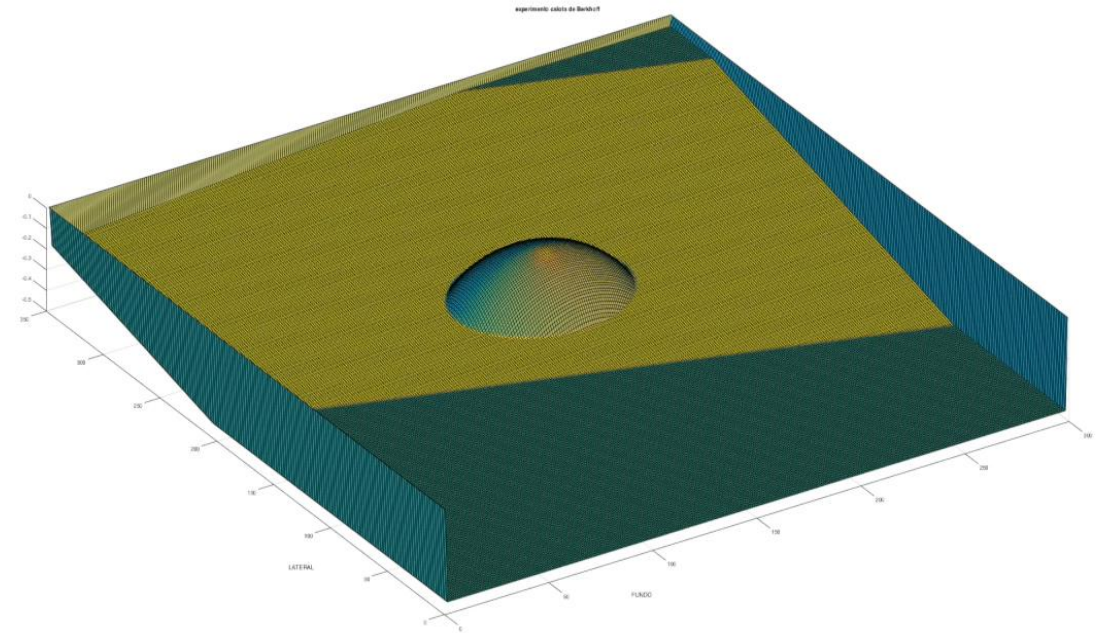


Figura 5: Experimento de Berkhoff 3-D.



Vídeo 1: Experimento de Berkhoff 3-D.

APLICAÇÕES

PROPAGAÇÃO DA ONDA NO TANQUE

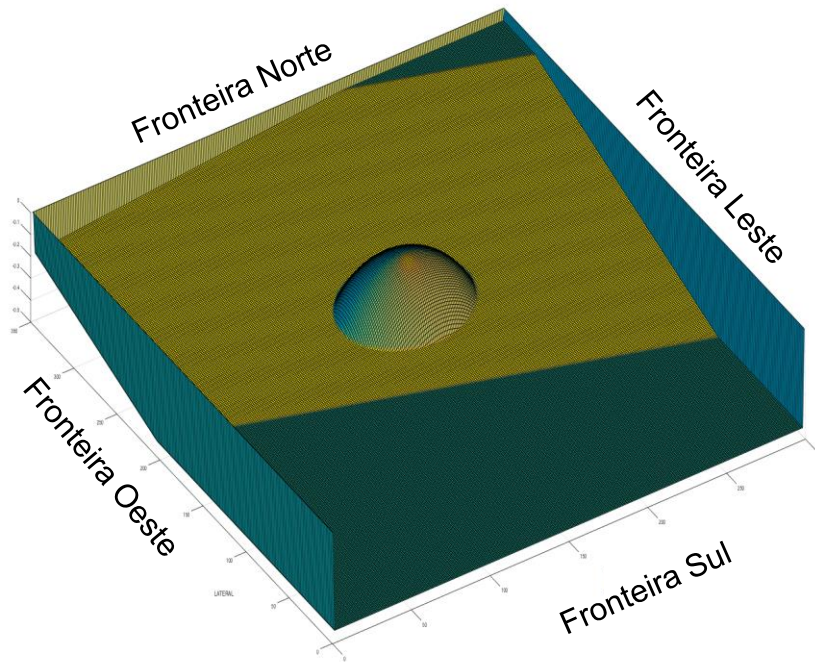
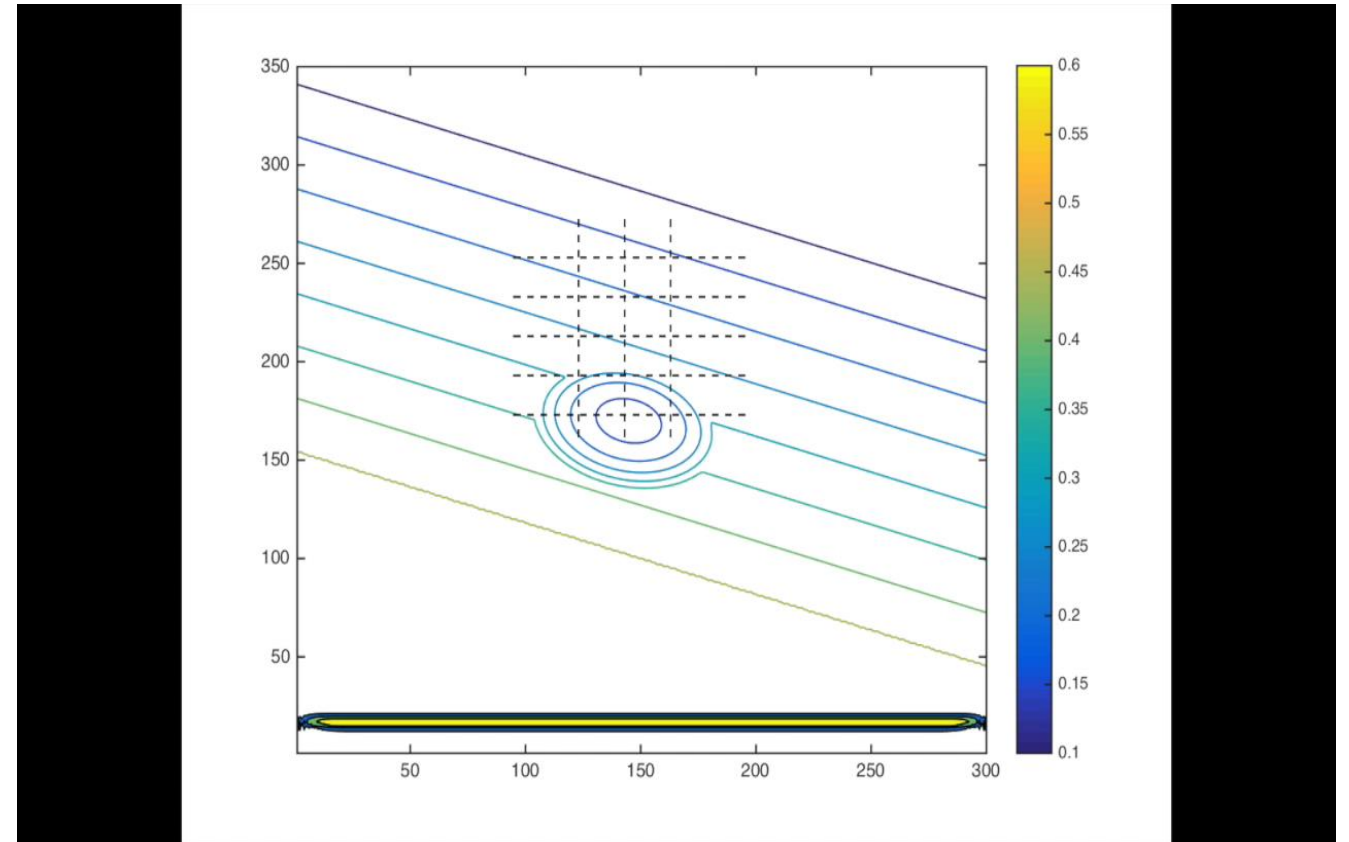


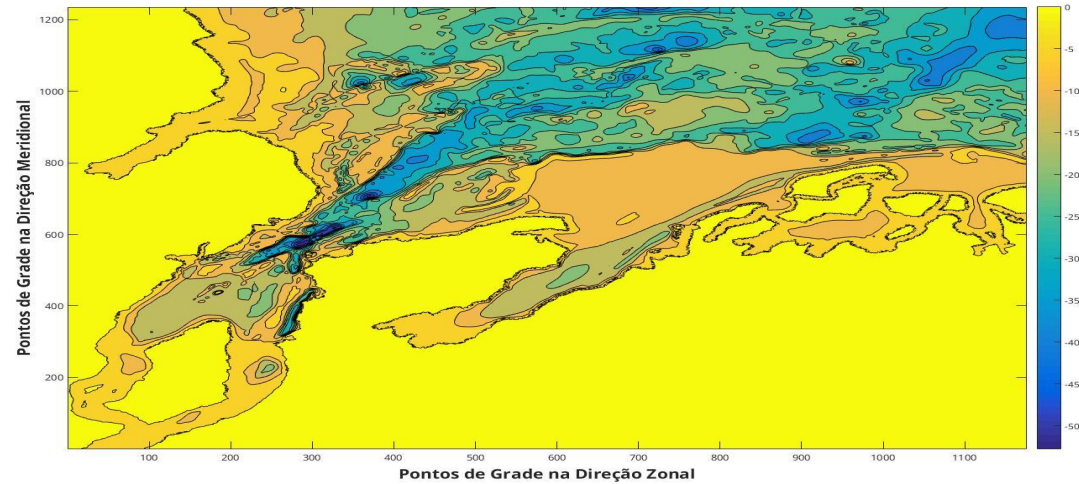
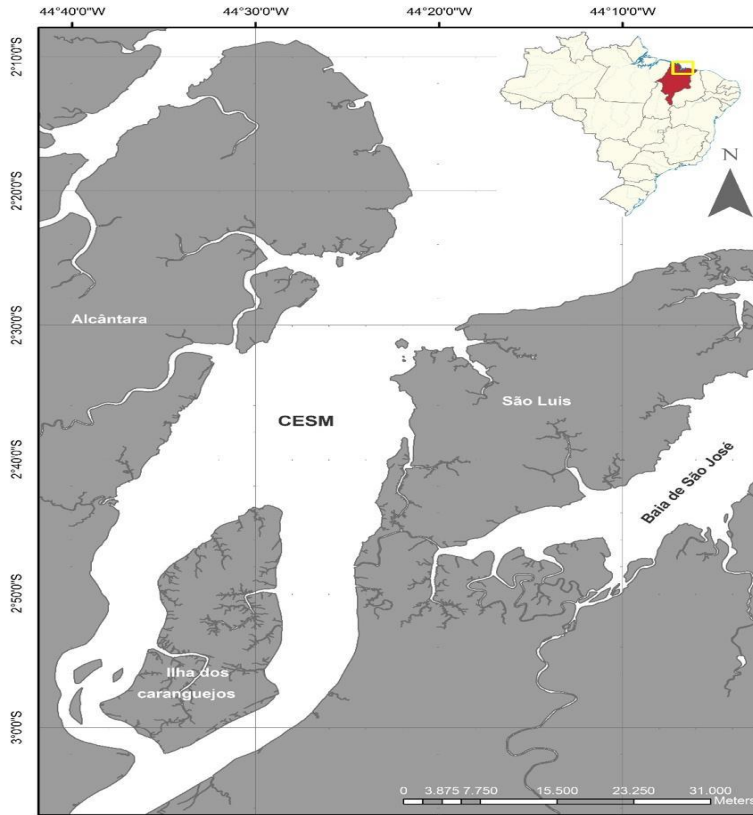
Figura 5: Experimento de Berkhoff 3-D.



Vídeo 2: Experimento de Berkhoff vista superior.

APLICAÇÕES

CAMPO DE CORRENTE PARA O CESM



FRONTEIRAS	CONDIÇÃO DE CONTORNO
Norte, Leste	Aberta com superfície livre
Sul	Aberta

Figura 6: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

APLICAÇÕES

CAMPO DE CORRENTE PARA O CESM

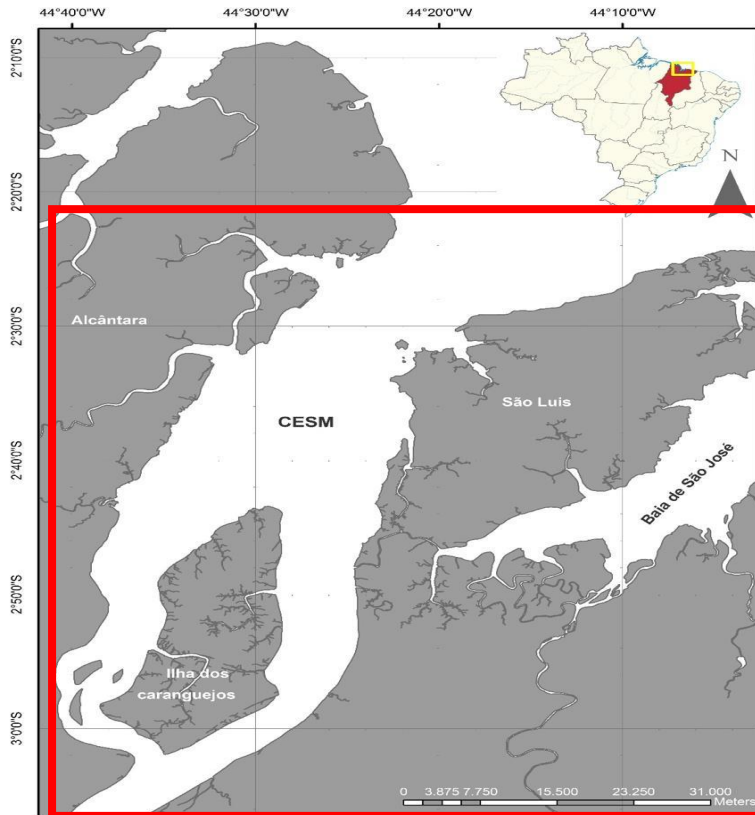


Figura 6: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

Vídeo 3: Campo de corrente para o CESM.

APLICAÇÕES

CAMPO DE CORRENTE PARA PARTE DO CESM

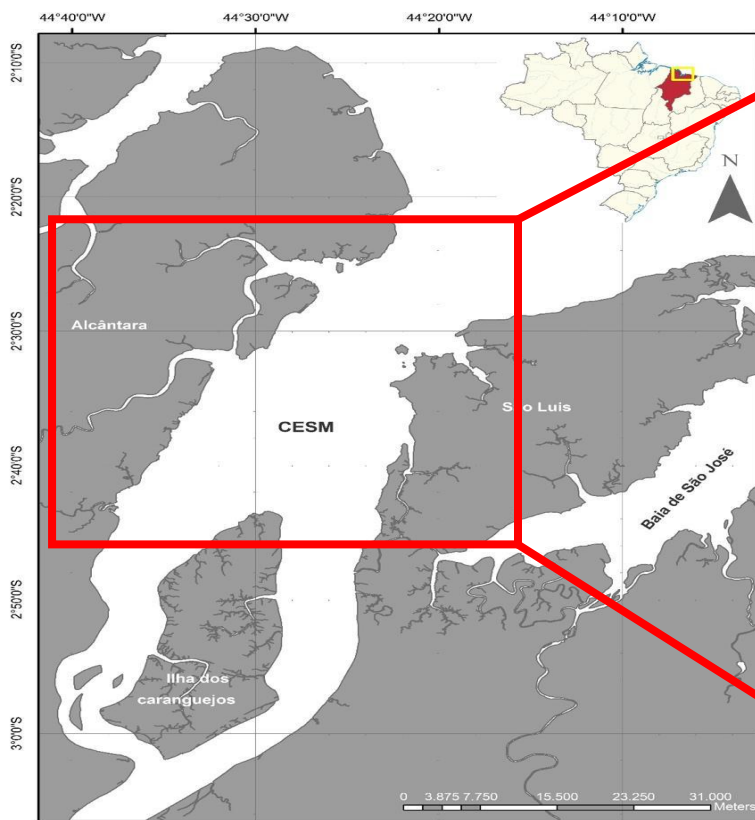
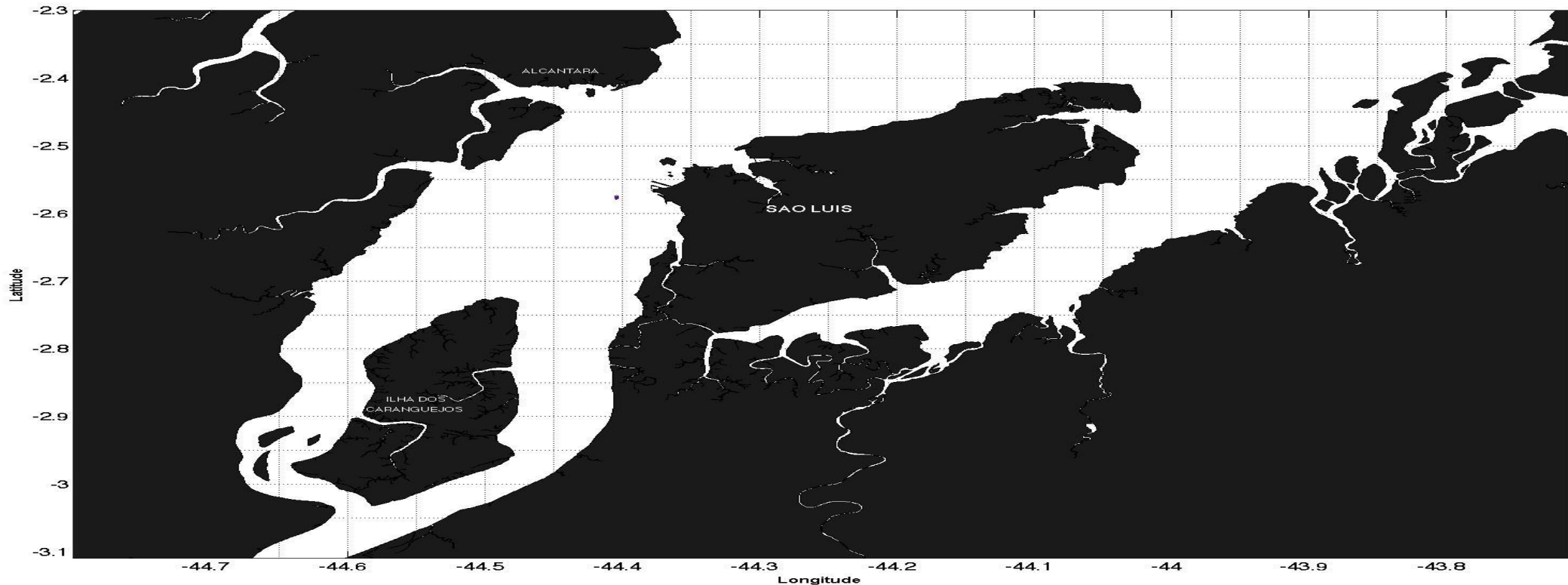


Figura 7: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM)

Vídeo 4: Campo de corrente para parte do CESM.

APLICAÇÕES

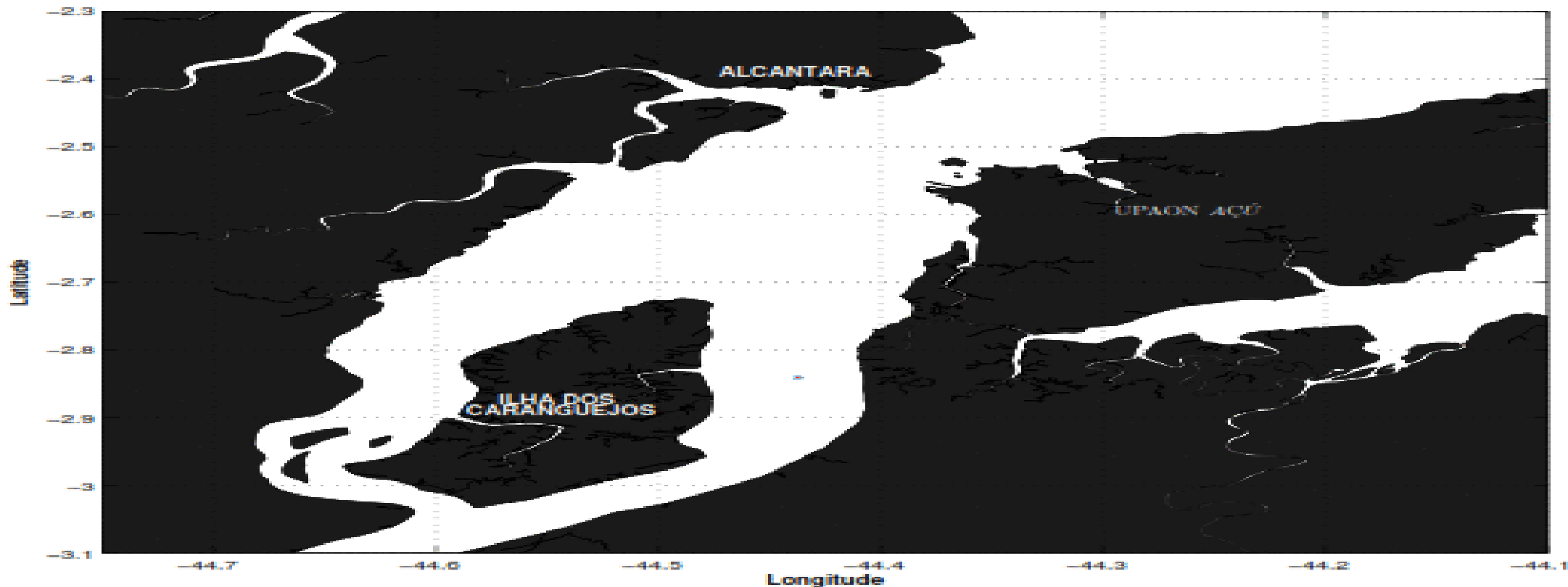
Dispersão de Material Particulado em Suspensão



Vídeo 5: Dispersão de Material Particulado em Suspensão para CESH.

APLICAÇÕES

Dispersão de Ictionplâncton para o CESM



Vídeo 6: Dispersão de Ictionplâncton para o CESM.

APLICAÇÕES

INFLUÊNCIA DO DESLOCAMENTO DE UM NAVIO EM FLUIDO EM ESCOAMENTO PERMANENTE



Figura 8: Ferry Boat.

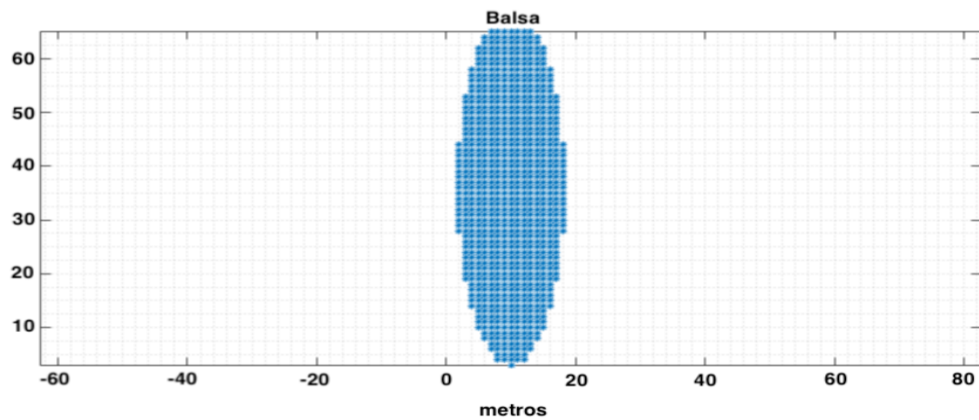
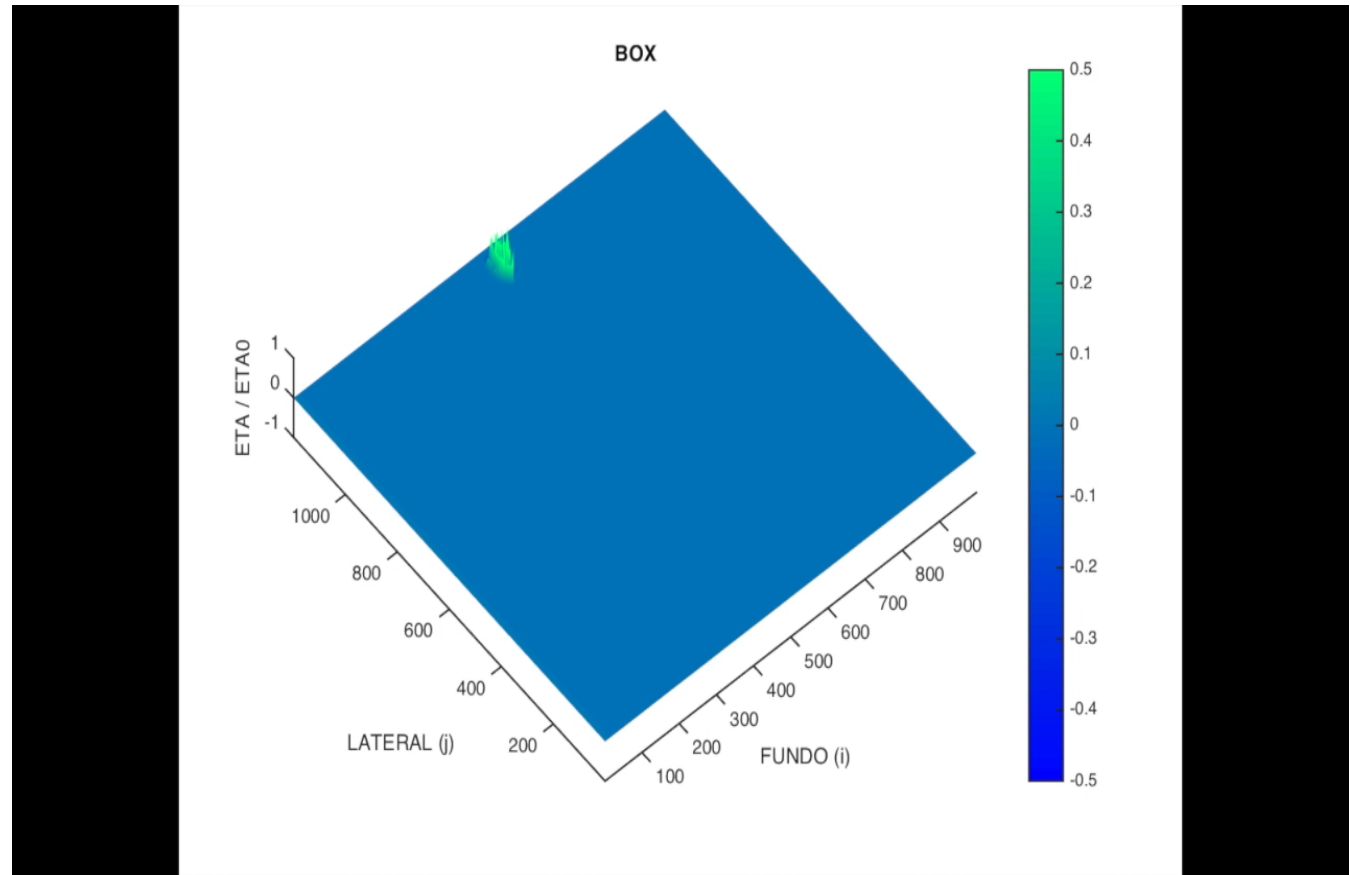


Figura 9: Representação matemática do Ferry Boat.



Vídeo 6: Dispersão de Ictionplâncton para o CESM.

EM DESENVOLVIMENTO

• Implementação de solução vertical



Coordenada genérica

• Inserção de Turbulência



Densidade



Temperatura



Velocidade de Escoamento



Superfície livre



Batimetria



Variação da superfície livre



Modelo multi-camadas



Obrigado!

