

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC

CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS – CFM

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

BEATRIZ FELTRIN CANEVER

**APLICAÇÃO DE UM MODELO ECOLÓGICO (BLOOM) NA
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO VENTO E SALINIDADE NA
DINÂMICA POPULACIONAL DE DUAS ALGAS DO CANTO DA
LAGOA, LAGOA DA CONCEIÇÃO - SC**

FLORIANÓPOLIS, 2017

BEATRIZ FELTRIN CANEVER

**Aplicação De Um Modelo Ecológico (Bloom) Na Avaliação Da Influência
Do Vento e Salinidade na Dinâmica Populacional de Duas Algas do Canto
Da Lagoa, Lagoa Da Conceição - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Oceanografia da
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte das exigências para obtenção
do título de Bacharel em Oceanografia

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rubi Rörig

Coorientador: Felipe Mendonça Pimenta

FLORIANÓPOLIS, 2017

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

BEATRIZ FELTRIN CANEVER

APLICAÇÃO DE UM MODELO ECOLÓGICO (BLOOM) NA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA
DO VENTO E SALINIDADE NA DINÂMICA POPULACIONAL DE DUAS ALGAS DO CANTO
DA LAGOA, LAGOA DA CONCEIÇÃO - SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Oceanografia” e aprovado em sua forma final pelo curso de Bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de Novembro de 2017.

Prof.^a. Dr.^a. Carla Bonnetti

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Rubi Rörig Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Felipe Mendonça Pimenta, Dr.

Coorientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Antônio Fernando Härter Fetter Filho Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Msc. Eduardo de Oliveira Bastos

Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa senhora de Lourdes por sempre terem um espaço reconfortante para onde recorrer.

Agradeço aos meus pais, Edvaldo e Glauce, por terem me incentivado a seguir o curso de oceanografia, mesmo sem saber o que isso significava. Também pelo auxílio em me manter em Florianópolis. Às minhas irmãs, Cristini e Mariana, por terem sempre ficado ao meu lado, me ajudando nos momentos em que precisei. E aos quatro por terem acreditado em mim.

Ao resto da minha família por ter me acolhido e ajudado sempre que preciso, sem pensar duas vezes. Em especial a minha tia Otília, por ter deixado que sua casa fosse minha casa por três anos, e a Fernanda, pela ajuda com a casa enquanto.

Às meninas que moraram/moram comigo, Tamires, Patrícia, Giovana, Rafaela e Fernanda, e as membros honorárias Nagilla e Larissa, por terem sido uma companhia enquanto estava longe da família.

Ao Bonde sem Freio, por terem me proporcionado os melhores semestres da faculdade. Ao Jo pelos conselhos dados

Ao grupo do Telegram por ter as discussões mais criativas e a parceria mais sem julgamento desses meus 22 anos.

À Danielly, Suellen e Thaise por continuarem caminhando junto nesses 9 anos.

Ao povo do linguirão, porque cabe sim 9 pessoas num apartamento pequeno, assim como é possível descobrir coisas novas de amizades antigas.

Aos colegas de laboratório pelo auxílio neste trabalho, e na vida laboratorial.

À Katia, que mesmo tendo deixado a Oceanografia, não deixou as futuras oceanógrafas.

À Isabelle, por ter sempre se disponibilizado quando precisei.

À Gabrielle, por ter sido minha amiga e colega de laboratório. Por ter me apresentado o Açai, e por ter acreditado em mim, quando eu não acreditava.

Aos meus orientadores, Leonardo e Felipe, por terem me guiado neste trabalho.

A minha banca, Fetter e Eduardo, por terem aceito avaliar e adicionar sua experiência a este trabalho.

À Netflix por sempre ter um seriado/filme para cada momento da minha.

Finalmente a jurupinga, a cachacinha, a água de degelo da França, ao open bar, ao meu hamster, ao Twitter, aos memes, e aos gifs, que se pudesse adicionaria neste agradecimento.

Obrigada a todos que me ajudaram passar por mais esta fase.

*“De fato, não fracassei ao tentar, cerca de 10.000 vezes, desenvolver um acumulador.
Simplesmente encontrei 10.000 maneiras que não funcionam.”* Tomas Edison

RESUMO

O Canto da Lagoa é definido como a parte mais ao sul da Lagoa da Conceição, separado desta por um canal. Dentre suas características, o Canto da Lagoa possui grande aporte de nutriente e conseqüentemente um elevado crescimento algal. Este trabalho se propôs a testar um modelo que representasse a dinâmica dos gêneros *Ulva* e *Oscillatoria* em função dos ventos e salinidade. O software escolhido foi o Delft 3D – Deltares, que representou bem a hidrodinâmica local e parcialmente o comportamento das duas algas, porém não foi possível acompanhar a mortalidade do gênero *Oscillatoria* por falta de dados. Quanto a *Ulva* spp. houve crescimento apenas na camada de fundo, o que já era esperado, com maiores concentrações em áreas mais rasas. O modelo é promissor e possui diversos módulos a serem estudados e aplicados na Lagoa, possibilitando novas perspectivas sobre a dinâmica local.

Palavras-Chave: Modelagem ecológica, Canto da Lagoa, Modelagem Hidrodinâmica, *Ulva* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Canto da Lagoa. Koerich, 2017	15
Figura 2: Fluxograma de variáveis utilizadas pelo modelo BLOOM. Fonte: D - Water Quality Manual.....	16
Figura 3: Gêneros de algas analisadas pelo modelo. Fonte: D - Water Quality Manual.....	17
Figura 4: A. Batimetria da Área de Estudo. B. Pontos observacionais adicionados ao modelo.	21
Figura 5: Nível nos pontos a. 7, b. 1 e c. 9. A linha preta representa apenas maré e descargas dos rios, a linha azul o vento nordeste e a linha vermelha vento sul.....	22
Figura 6: Nível no Canto da Lagoa com maré e descargas, com adição de vento nordeste e com adição de vento sul.....	23
Figura 7: Transporte de partículas por A. Maré, B. Vento Nordeste, C. Vento sul	23
Figura 8: Velocidade horizontal do Canto da Lagoa com maré e descargas fluviais.....	24
Figura 9: Velocidade horizontal do Canto da Lagoa com vento nordeste e com vento sul.	24
Figura 10: Velocidade vertical do Canto da Lagoa de acordo com o modelo 3D.....	25
Figura 11: Transporte de partículas para maré e descargas, para vento sul e para vento nordeste.....	25
Figura 12: Campos verticais de salinidade para os cenários: maré com descargas, para vento nordeste e para vento sul.	26
Figura 13: Campos de salinidade para o cenário sem ventos, na camada superficial e na camada de fundo.	26
Figura 14: Campos de salinidade para os cenários com vento nordeste e vento sul, respectivamente.	27
Figura 15: Pontos de observação adicionados ao modelo biológico.	27
Figura 16: Concentração da <i>Ulva</i> spp. no Canto da Lagoa, com as linhas de batimetria.	28
Figura 17: Concentração de <i>Oscillatoria</i> spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo sem ventos.....	28
Figura 18: Concentração de <i>Oscillatoria</i> spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo com vento nordeste.	29
Figura 19: Concentração de <i>Oscillatoria</i> spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo com vento sul.	29
Figura 20: Biomassa de <i>Ulva</i> spp de acordo com o fenótipo: limitada por Fósforo, Nitrogênio e Luz, respectivamente.	30
Figura 21: Crescimento de <i>Ulva</i> spp. no ponto 4 para superfície (linha contínua), e para fundo (linha tracejada).	32
Figura 22: Crescimento de <i>Ulva</i> spp. integrada na coluna d'água para os pontos 12 e 13 respectivamente.	32
Figura 23: Produção Primária Líquida no Canto da Lagoa.	33
Figura 24: Produção Primária Líquida nos pontos P4 e P14 respectivamente.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Parâmetros do Modelo.....	20
--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	ÁREA DE ESTUDO	14
1.2.	Algas.....	15
2.	OBJETIVO GERAL.....	17
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3.	METODOLOGIA.....	18
3.1.	Modelagem hidrodinâmica	18
3.2.	Modelagem Biológica.....	19
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1.	Modelo hidrodinâmico	21
4.2.	Modelo Biológico	27
5.	CONCLUSÃO.....	34
7.	REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O Canto da Lagoa, como é aqui chamado a região sul da Lagoa da Conceição, é a parte parcialmente isolada do restante da lagoa, apresentando águas mais homogêneas e com alto valor de clorofila a quando comparada as outras regiões. (ODEBRECHT & CARUSO JR. 1987; KNOPPERS *et al.* 1984). A intensa ocupação e aumento populacional, como mostrado por Silva (2002), gera um grande impacto na bacia hidrográfica da Lagoa causando o aumento da concentração de nutrientes neste ambiente. Além disso, o descaso de órgãos governamentais colabora para a degradação do ambiente, afetando a sua beleza cênica e a saúde de seu ecossistema.

Este aumento na concentração de nutrientes leva a eutrofização, fenômeno caracterizado pela disponibilização excessiva de nutrientes essenciais à produção primária, o que faz com que ocorra aumento da biomassa de algas, gerando florações (ESTEVES, 1988). Fonseca; Braga; Eichler, (2002) sinalizaram para a alta concentração de *Ulva* spp, alga indicadora de eutrofização (STAL *et al.*, 1996), na parte sul da lagoa, assim como BÖKER-TÔRRES (2005) pressupôs que o baixo dinamismo nesta seção da Lagoa facilita o crescimento de algas verdes, que toleram melhor a poluição. A autora também discorreu sobre a diversidade de espécies de algas no ano de 2005, e sua relação com o grau de eutrofização na Lagoa, mostrando que o Canto da Lagoa possuía maior grau de eutrofização se comparado ao resto da Lagoa da Conceição. Uma breve pesquisa por notícias na internet mostra como o problema de floração de algas na Lagoa é recorrente e exige a retirada do material devido ao mau cheiro. Entretanto, essa prática é somente responsiva e não resolve o problema a longo prazo (DEBEI, 2010; PALAORO, 2012)

Casos como este são conhecidos no mundo inteiro, e uma forma de minimizar os efeitos da poluição é conhecer a hidrodinâmica e características da qualidade de água, e assim, os limites do ambiente (POKAVANICH; NADAOKA; BLANCO, 2015). Estes mesmos autores realizaram um estudo de modelagem ecológica para o estudo de eutrofização e crescimento algal na Lagoa de Puerto Galera, assim como Solidoro *et al.*, fez em Veneza, e Eldridge; Roelke (2010), fez no golfo do México. Estes modelos facilitaram o entendimento de dinâmicas do ambiente como competição interespecífica, produção primária de lagoas eutrofizadas, distribuição de algas, locais mais propensos a ocorrência de florações, período do ano em que ocorrem as florações e quantificação das mesmas. Com estes dados foi possível criar um plano de manejo e mitigação específico para o local.

Apesar de ser uma representação mais simples da realidade, a modelagem é capaz de representar diversos fenômenos, como efeito de predação em algas, de aumento de nutrientes, e perturbações variadas no ambiente. (MEI *et al.*, 2015). O modelo BLOOM GEM (*Generic Ecological Model* - Modelo Ecológico Genérico) é um dos exemplos de modelo matemático que calcula o transporte de substâncias, ciclo de nutrientes, crescimento e mortalidade de algas entre outros processos ecológicos (LOS; VILLARS; TOL, 2008). Este foi o modelo escolhido para o estudo do Canto da Lagoa neste trabalho.

Diversos estudos foram realizados na Lagoa da Conceição com o objetivo de avaliação da eutrofização bem como a composição de produtores primários, porém, os trabalhos realizados não quantificaram as algas. Por isso é oportuno avaliar a influência dos nutrientes presentes no Canto da Lagoa nas populações de algas, assim como a influência dos parâmetros físicos, para que se possa prever o comportamento e entender de que forma é possível manejar o ambiente.

1.1. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa da Conceição localiza-se na Ilha de Santa Catarina, a 27°34' S e 48°27' W, localizada na província biogeográfica do Atlântico Sul Tropical Quente (SPALDING *et al.*, 2007). Com área total de 20 km², comprimento de 13,5 km e largura máxima e mínima de 2,5 km e 0,15 km respectivamente (JUNIOR; MUEBE, 1989). Quanto ao regime de ventos, o mesmo trabalho mostra que apesar da predominância de ventos do quadrante norte, os ventos mais intensos são do quadrante sul.

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição possui uma área de 78,14 km², sendo que a Lagoa em si possui conexão com o mar, sendo considerada, do ponto de vista geológico, uma laguna. Dentre os usos da Lagoa, destacam-se a pesca e o turismo. (BAUER NETO, 2007)

O Canto da Lagoa (Figura 1), seção sul da Lagoa da Conceição conectada a essa pelo Canal das Rendeiras, possui um volume total de 10.901.000m³, uma variação máxima de nível de 0,34 metros, área de 3.050.000m² e profundidade média de 3,57 metros, correspondendo a 19% do volume de toda a lagoa (ROCHA, 2007).

Quanto a hidrodinâmica, o Canto da Lagoa não é tão influenciado por perturbações externas, devido ao canal da ponte das rendeiras que ajuda a filtra-las. Os níveis de maré astronômica não passam de 0,1 m (GODOY, 2009). O mesmo autor avaliou os níveis

astronômicos nas três áreas da Lagoa, onde foi observado que o Canto da Lagoa é a seção menos influenciada pela variação da maré.

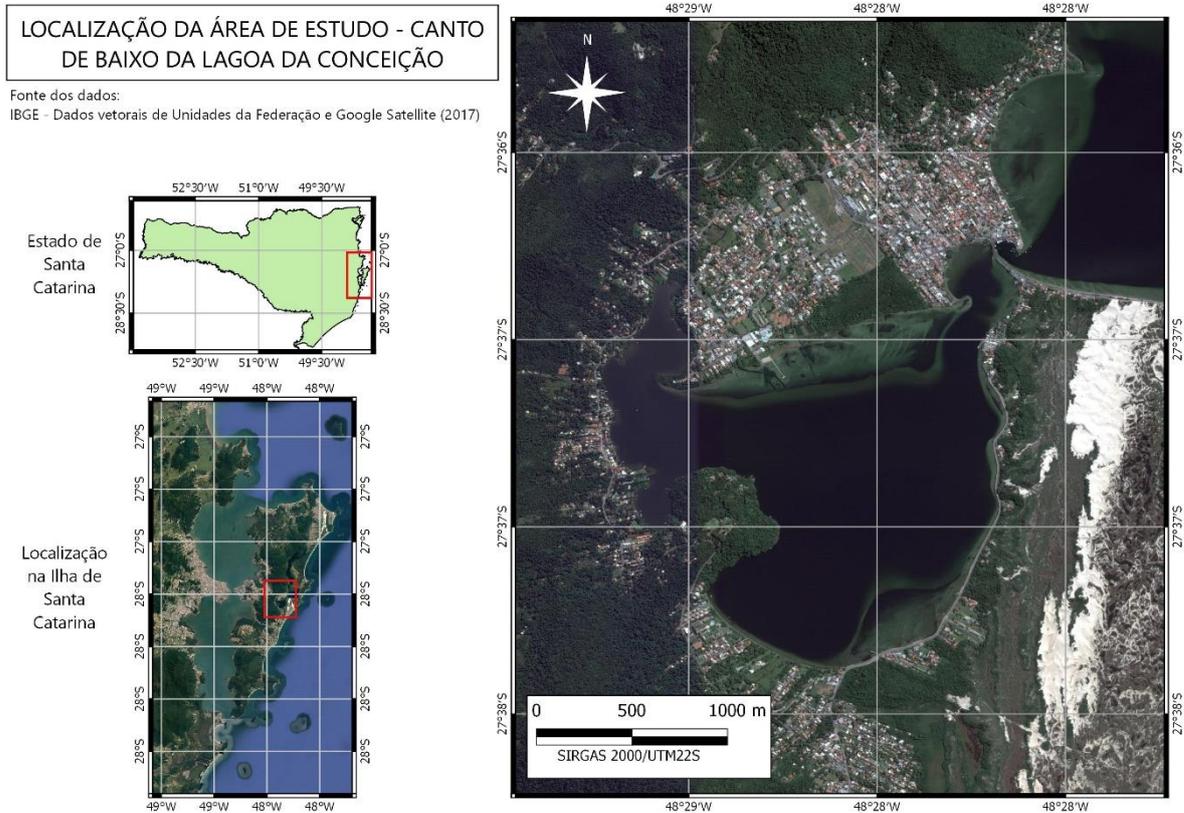


Figura 1: Localização do Canto da Lagoa. Koerich, e Galvão 2017.

1.2. Algas

Tanto o microfitobentos quanto as macroalgas se beneficiam do aumento da concentração de nutrientes na água, um elemento essencial para o crescimento dos mesmos (DUARTE, 1995; TORGAN, 1989). Esse aumento na concentração de nutrientes, da temperatura e radiação em regiões temperadas, pode gerar uma superpopulação algal (TORGAN, 1989), como a vista no Canto da Lagoa. A alga que mais se destaca no Canto da Lagoa, como mostrado por Fonseca, Braga e Eichler (2002) é a *Ulva* spp., porém não há trabalhos quantificando a sua biomassa, caracterizada pelo crescimento maior em zonas temperadas, principalmente no verão (TEICHBERG *et al.*, 2010). O mesmo trabalho destaca a sensibilidade de *Ulva* spp. para indicar poluição por esgoto. Outro gênero relacionado a lagoas eutrofizadas, e encontrado no Canto da Lagoa é a cianobactéria *Oscillatoria* (GULATI; VAN DONK, 2002; VOLLENWEIDER, 1968)

Oscillatoria spp. são algas normalmente condicionadas a salinidades abaixo de 15 e gerando florações apenas em salinidades abaixo de 7 (KONDO; SEIKE; DATE, 1994). Não foi realizado ainda nenhum trabalho sobre este gênero na Lagoa da Conceição, porém já foram encontrados exemplares em amostragens realizadas pelo Laboratório de Ficologia (LAFIC) da UFSC no Canto da Lagoa (comunicação pessoal).

1.3. Modelos Biológicos

Cunha (2013) mostrou que a modelagem pode representar a complexidade de um sistema, e tornar compreensível o papel das variáveis analisadas no ambiente. Ela, junto com a simulação pode gerar uma visão reflexiva do planejamento de monitoramento da qualidade de água.

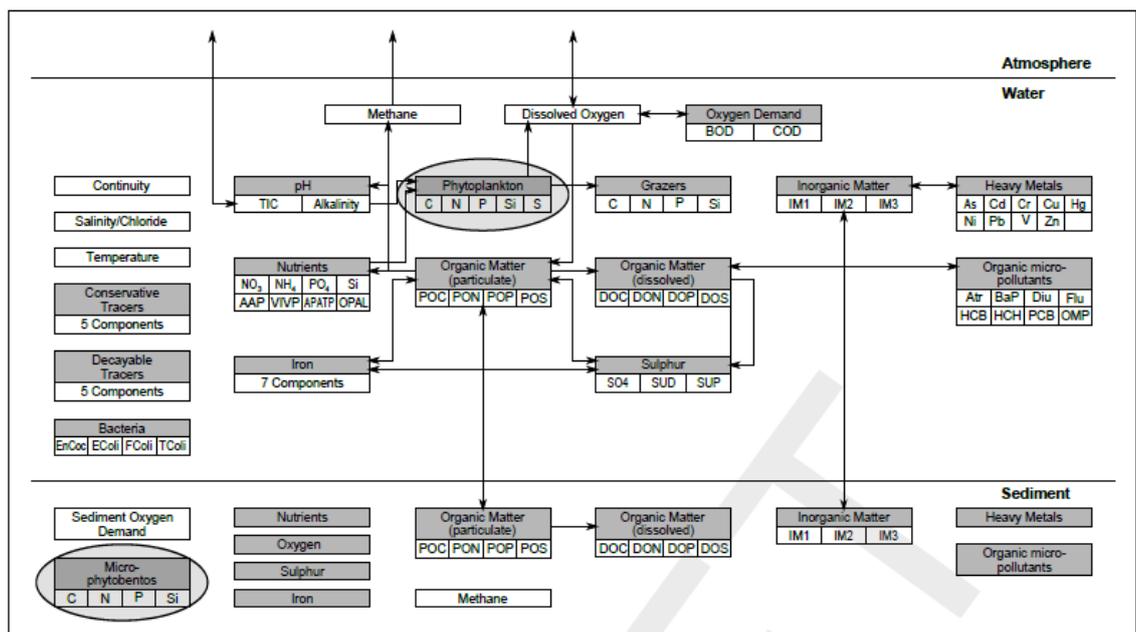


Figura 2: Fluxograma de variáveis utilizadas pelo modelo BLOOM. **Fonte:** D - Water Quality Manual

Diversos trabalhos foram realizados utilizando modelos ecológicos, para descrever florações na Europa (TAYLOR *et al.*, 2010), no mar do Norte (VAN DER WOERD *et al.*, 2011), e em Veneza na Itália (BENDORICCHIO; COFFARO; MARCHI, 1994), validando o modelo para a análise de crescimento das algas. Alguns destes locais, como a lagoa de Veneza e Veerse Meer, são caracterizados como eutróficos e possuem florações de *Ulva* sp (BLAUW *et al.* 2009), sendo casos similares ao da Lagoa da Conceição. Isso mostra que o

modelo BLOOM/GEM pode ser utilizado no Canto da Lagoa para uma análise da produção primária, do crescimento algal, e conseqüentemente da eutrofização.

Dentre os modelos disponíveis para o estudo de qualidade de água, o modelo BLOOM/GEM possibilita a modelagem de água costeiras, transitórias e água doce. Com este modelo é possível calcular a produção primária, concentração de clorofila-a e a composição do fitoplâncton e alguns componentes do fitobentos, como pode ser visto na Figura 2. (LOS;VILLARS;VAN DER TOL, 2008). Este modelo já foi utilizado na Lagoa dos Patos por Pereira (2003) para a modelagem hidrodinâmica e de qualidade de água. O modelo representou bem a realidade, o que conseqüentemente facilitou a análise das variáveis que desencadeiam a dinâmica das características estudadas. Este modelo calcula os resultados separadamente para cada alga escolhida (DELTARES, 2014). Na Figura 3 estão listados os 15 grupos analisados pelo modelo BLOOM, que inclui os gêneros *Oscillatoria* e *Ulva* escolhidos para este trabalho. Cada grupo desta lista possui três fenótipos: Algas limitadas por nitrogênio (tipo N), algas limitadas por fósforo (tipo P) e algas limitadas por luz (tipo E).

Name of D-Water Quality substance	Description	Unit
FDIATOMS	Freshwater diatoms (E- and N-phenotype)	gC/m ³
FFLAGELA	Freshwater flagellates (E-phenotype)	gC/m ³
GREENS	Green algae (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
APHANIZO	Aphanizomenon (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
APHANFIX	Nitrogen-fixing Aphanizomenon (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
MICROCYS	Microcystis (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
OSCILAT	Oscillatoria (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
BLUEGRN	Blue green algae (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
MDIATOMS	Marine diatoms (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
MFLAGELA	Marine flagellates (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
DINOFLAG	Dinoflagellates (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
DINOMIX	Mixotrophic dinoflagellates (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
PHAEOCYS	Phaeocystis (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
ULVAS	Suspended Ulva (E-, N- and P-phenotype)	gC/m ³
ULVAF	Rooted Ulva (E-, N- and P-phenotype)	gC

Figura 3: Gêneros de algas analisadas pelo modelo. Fonte: D - Water Quality Manual

2. OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento do macrofitobentos da Lagoa da Conceição a partir da modelagem dos parâmetros físicos e químicos, com enfoque nos morfotipos *Ulva* sp E *Oscillatoria* spp.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar o modelo Delft 3D (Deltares) para a análise hidrodinâmica da lagoa;
- Criação de cenários possíveis para o Canto da Lagoa – Lagoa da Conceição com base em dados já existentes;
- Avaliar a hidrodinâmica em diferentes velocidades e direções de vento;
- Calcular produção primária algal;
- Avaliar a aplicabilidade de um modelo ecológico para o Canto da Lagoa.

3. METODOLOGIA

3.1. Modelagem hidrodinâmica

Com os dados batimétricos e a linha de costa do Canto da Lagoa cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Costeira, foi gerada uma grade numérica com 26529 elementos, com resolução espacial de aproximadamente 14 metros. Com a ferramenta Quicken foi editada a profundidade do canal que liga a área de estudo ao resto da lagoa. Foram adicionados três canais para representar os rios de acordo com a sua localização no entorno da Lagoa.

Na primeira fase do trabalho foi utilizada a maré de origem astronômica, pelas componentes M2 com 0,015 m de amplitude e 71° de fase e a S2 com 0,010 m e 63° de fase. Para as descargas dos rios foram utilizados os dados de vazão do trabalho de Martins (2016). Os rios que deságuam no Canto da Lagoa e sua respectiva vazão são: Canto (748.773 S, 6.943.984 W) 80 L s⁻¹, Porto (749.964 S, 6.941.444 W) 131 L s⁻¹ e Centro (748.184 S, 6.942.416 W) 46 L s⁻¹. Este modelo foi rodado por dois meses nas versões verticalmente integradas e com 15 camadas sigma, com três diferentes salinidades: 14, 18 e 24, sendo esta última a salinidade média do Canto da Lagoa segundo Odreski (2012). Os dois outros valores de salinidade foram escolhidos para testar a variação de crescimento e mortalidade da alga *Oscillatoria* spp.. Nos três casos a salinidade dos rios foi estipulada como 0 e foi considerada uma lagoa sem estratificação.

Em seguida, para a fase 2 do trabalho foi continuada a modelagem a partir do resultado da fase anterior, adicionando duas condições de vento: vento a 180° (S) com intensidade de 12ms⁻¹ e vento a 45° (NE) com intensidade de 8ms⁻¹. Estes valores foram retirados do trabalho de Rocha (2007), para analisar se há efeito da intensidade e direção do vento nos parâmetros físico-químicos biológicos. Nesta fase o modelo rodou por oito dias, também nas versões verticalmente integrada e com 15 camadas sigma, com a camada 1 representando a superfície, e a camada 15 o fundo.

Todas as duas fases tiveram a adição de 10 pontos observacionais. Também foram lançados 8 derivadores para cada caso para estudo do transporte de partículas. Ao total foram gerados 6 cenários para seguir para a terceira fase do trabalho que foi a utilização do modelo de qualidade de água.

A data escolhida para a modelagem da fase 1 foi de 1 de dezembro de 2016 a 1 de fevereiro de 2017, e para as fases 2 e 3 foi de 1 a 8 de fevereiro de 2017, justamente para a análise do comportamento algal de acordo com os dados de verão.

3.2. Modelagem biológica

Para o estudo biológico foram separados dados de nutrientes (fosfato, nitrato, amônio e silicato) analisados por Fonseca, Braga, Eichler (2002) no período de primavera-verão. A irradiância foi disponibilizada pelos pesquisadores do Laboratório de Ficologia, sendo obtida por registro contínuo por um período de 7 dias a cada 5 minutos (Dispositivos HOBO2 Pendant Data Logger modelo UA-002064 – OnSet). Para este trabalho foi calculada a média diária dos valores.

Para a *Ulva* spp., foram utilizados valores de biomassa da alga em situação de floração da Lagoa da Conceição (DEBEI, 2010) e calculada a média de biomassa por volume, pelos valores de volume da lagoa. Para adicionar ao modelo foi necessário transformar os dados de biomassa para gCm⁻³ utilizando os dados de Neori; Cohen; Gordin, (1991), que calcularam a porcentagem de carbono presente em peso seco de *Ulva lactuca*. O valor final da biomassa foi dividido igualmente entre os fenótipos E, N e P.

Para o estudo da *Oscillatoria* spp. foram utilizados valores da revisão bibliográfica (FONSECA, 2004; MARTINS, 2016) tanto para o Canto da Lagoa quanto para a concentração nos rios. A biomassa total deste gênero também foi dividida entre os fenótipos E, N e P.

Os valores de nutrientes foram retirados do trabalho de Fonseca (2004), no período primavera-verão e utilizado estequiometria para transformar de concentração molar para gm^{-3} . Ao final obteve-se $0,11 \text{ g Si m}^{-3}$, $0,000338 \text{ g N m}^{-3}$ (para nitrato), $0,001175 \text{ g N m}^{-3}$ (para amônia) e $0,000221 \text{ g P m}^{-3}$. Demais parâmetros estão listados na Tabela 1.

As equações de balanço de massa para o fitoplâncton, crescimento e mortalidade das algas estão mostradas a seguir:

$$\frac{\Delta \text{Fitoplâncton}}{\Delta t} = \text{loads} + \text{transporte} - \text{settling} + \text{ressuspensão} + \text{produção primária bruta} - \text{respiração} - \text{mortalidade} \quad (1)$$

$$\text{Calg2}_i \leq \text{Calg1}_i \times e^{((k_{gp_i} \times E_{f_i} - k_{rsp_i}) D_{tb})} \quad (2)$$

$$\text{Calg2}_i = \text{Calg1}_i \times e^{(-k_{mrt_i} \times D_{tb})} \quad (3)$$

Onde: Calg2 é a biomassa final da alga escolhida, Calg1 é a biomassa inicial, k_{gp} é o potencial específico da produção primária bruta da alga, E_f é o fator de eficiência de luz, k_{rsp} é a taxa de manutenção de respiração, k_{mrt} é a taxa de mortalidade específica e i é a indicação do grupo de alga escolhido.

Tabela 1: Principais Parâmetros do Modelo

Parâmetros	Definição	Unidade	Valor
ExtVIAlg	Coeficiente de extinção da luz visível	m^2gC^{-1}	0,2
FrAutAlg	Fração de Alga morta dissolvida como nutriente	(-)	0,35
NCRAlg	Razão N:C por tipo de alga	gNgC^{-1}	0,2
PCRAlg	Razão P:C por tipo de alga	gPgC^{-1}	0,02
ChlaCAlg	Razão Clorofila-a:C por tipo de alga	gChlagC^{-1}	0,03
Temp	Temperatura da água	$^{\circ}\text{C}$	15
TcPMxAlg	Coeficiente de temperatura para o crescimento	(-)	1,06
TCMrAlg	Coeficiente de temperatura para a mortalidade	(-)	1,085
FrDetAlg	Fração de alga morta produzindo detrito	(-)	0,650
PPMaxAlg	Taxa de crescimento potencial máximo a 0 dg de Carbono		

Foram adicionados 14 pontos observacionais nesta fase, sendo 7 integrados nas camadas verticais e 7 separados por camada.

Em decorrência da falta de dados sobre mortalidade, não foram avaliados o comportamento e dinâmica da *Ulva* spp. junto com a *Oscillatoria* spp, apenas da *Ulva* spp. separadamente, já que a competição entre as algas afetaria o resultado e não representaria o ambiente atual da lagoa, que devido a alta salinidade não permitiria a sobrevivência da *Oscillatoria* spp.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a batimetria da porção sul da Lagoa da Conceição e os pontos de observação.

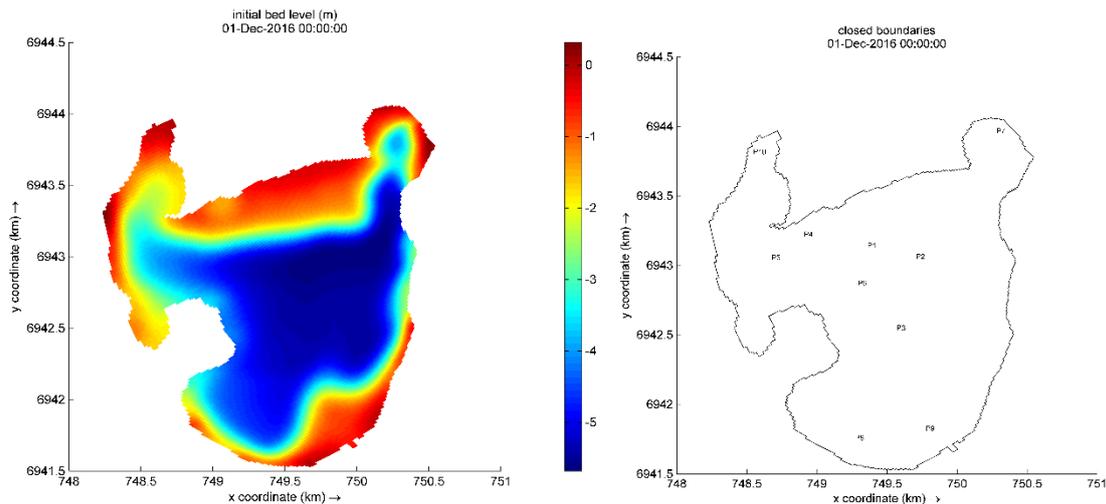


Figura 4: Batimetria da Área de Estudo e Pontos observacionais adicionados ao modelo, respectivamente.

4.1. Modelo hidrodinâmico

Os níveis dos casos sem adição de vento e com adição de vento nos pontos P7, P1 e P9 estão apresentados nas Figura 5. O ponto mais próximo do canal da Rendeiras (P7) apresenta pouca diferença entre os cenários. Porém, nos pontos P1 e P9, ao norte e sul da Lagoa, mostram que sob efeito do vento sul o Canto da Lagoa teve níveis mais baixos que a maré e descargas. Entretanto, com vento nordeste, nos dois pontos, o Canto da Lagoa teve o nível maior em relação a maré e descargas. A Figura 6 mostra o nível da lagoa nos três cenários. O vento

nordeste tende a empilhar água a sudoeste, enquanto o vento sul possui níveis mais altos ao norte.

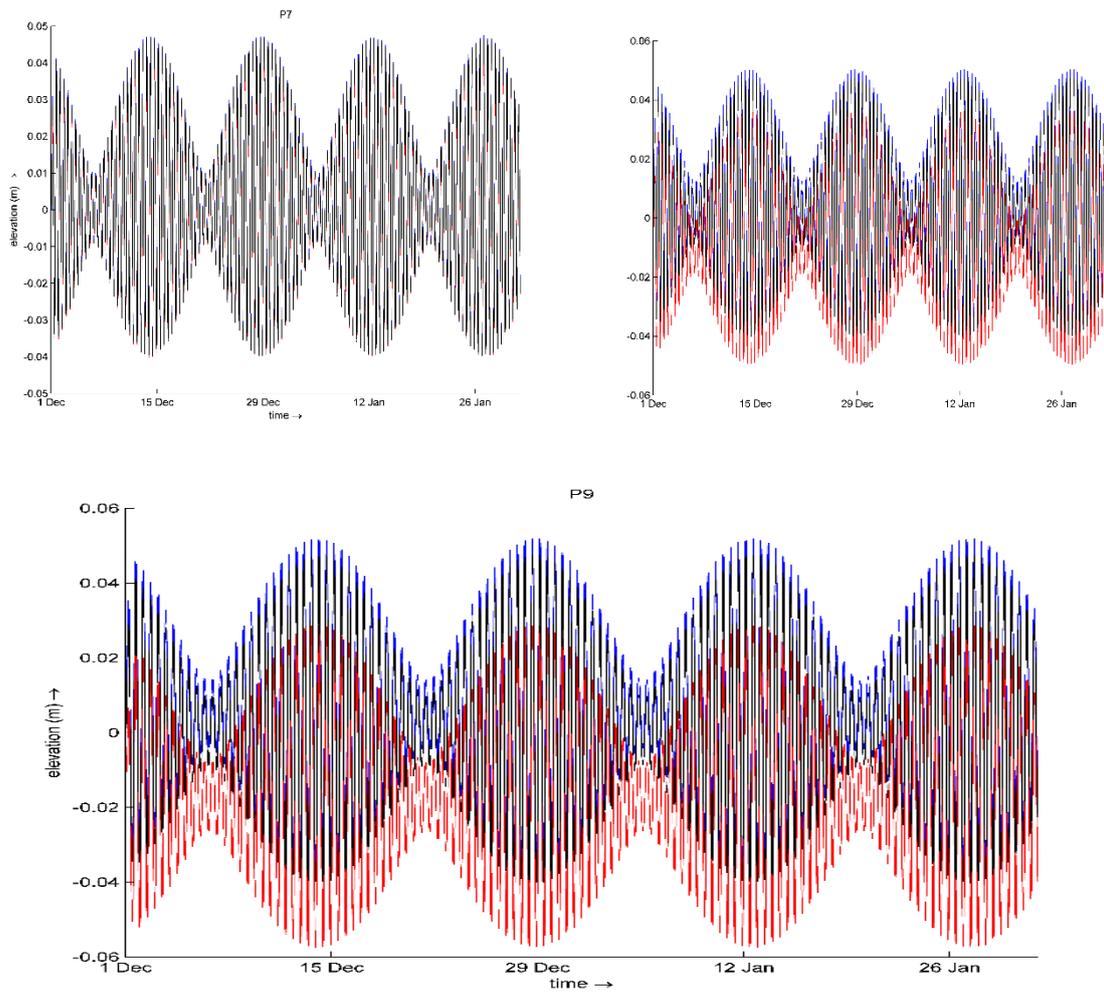


Figura 5: Nível nos pontos P7, P1 e P9. A linha preta representa apenas influência da maré e da descargas dos rios no nível, a linha azul a influência do vento nordeste e a linha vermelha a influência do vento sul.

Os níveis apresentados aqui corroboram os resultados de Rocha (2007), o qual o vento nordeste aumenta levemente o nível do Canto da Lagoa e o vento sul possui uma elevação negativa principalmente ao sul do Canto da Lagoa (Figura 5). Os ventos analisados no presente estudo foram de alta intensidade, sendo maiores que as médias encontradas em outros trabalho (BARROS, 2015; FONSECA; BRAGA; EICHLER, 2002). Ventos de alta intensidade estão

relacionados a diminuição de estratificação da coluna d'água nos trabalhos supracitados, o que também ocorre nos cenários avaliados aqui.

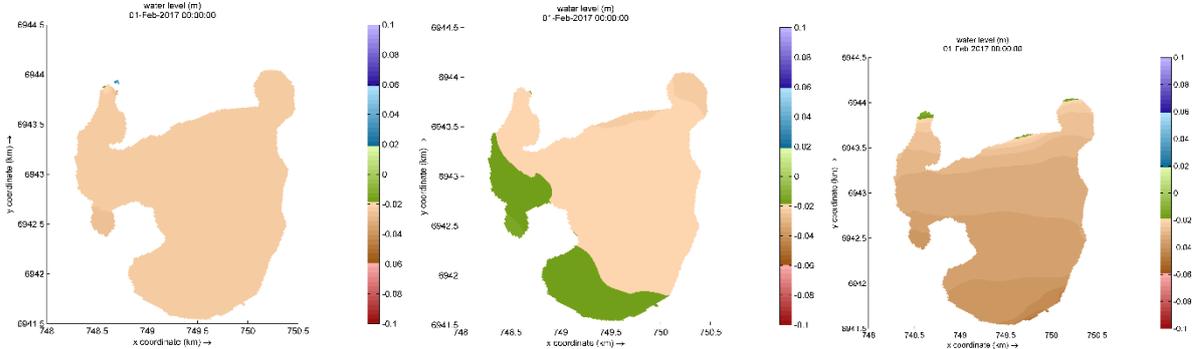


Figura 6: Nível no Canto da Lagoa com maré e descargas, com adição de vento nordeste e com adição de vento sul.

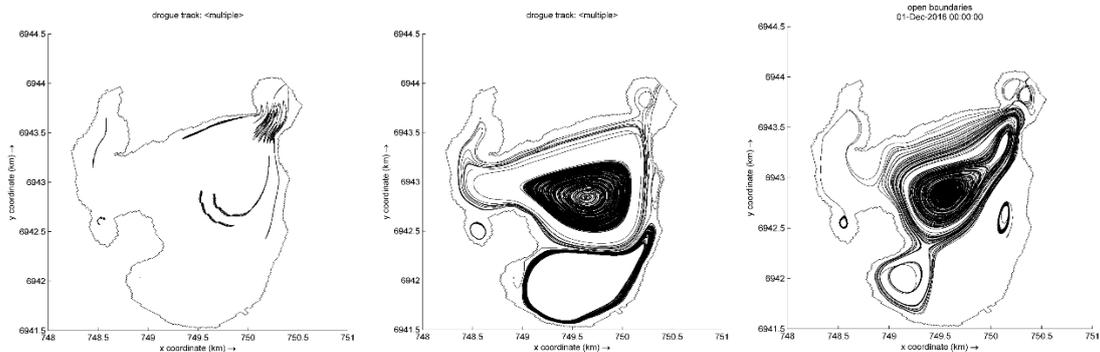


Figura 7: Transporte de partículas por Maré, Vento Nordeste, Vento sul

Com a adição das partículas é possível observar como os ventos influenciam o caminho percorrido por elas. A Figura 7 mostra o deslocamento das partículas sem adição de vento ao modelo, com vento nordeste e com vento sul.

As Figuras 8 e 9 mostram a velocidade integrada sem adição de vento, com o vento nordeste e vento sul respectivamente. Quando não há adição de vento, apenas maré e descargas fluviais, a velocidade média do Canto da Lagoa é baixa comparada a velocidade nos cenários com adição de vento. Com a adição de vento nordeste é criada uma célula de circulação anti-horária no centro, e uma menor horária no sul do Canto da Lagoa. Com o vento sul a célula central troca de direção, tornando-se horária, e ao sul são criadas duas células: uma horária no Sudeste e outra anti-horária ao sudoeste.

A circulação apresentada na Figura 9 vai de encontro à circulação modelada por Silva (2013) onde há duas células maiores de circulação seguindo o padrão mostrado, uma célula

mais ao centro horária, e outra ao sul anti-horária para vento sul, e para vento nordeste uma célula anti-horária ao centro e uma célula horária mais ao sul. .

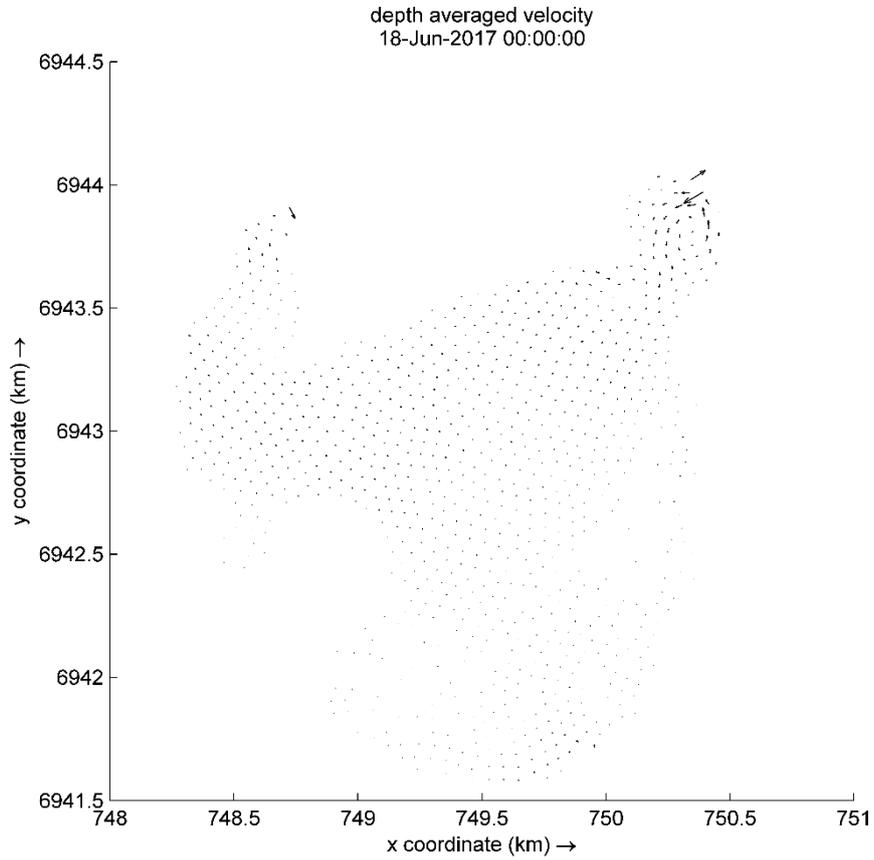


Figura 8: Velocidade horizontal do Canto da Lagoa com maré e descargas fluviais.

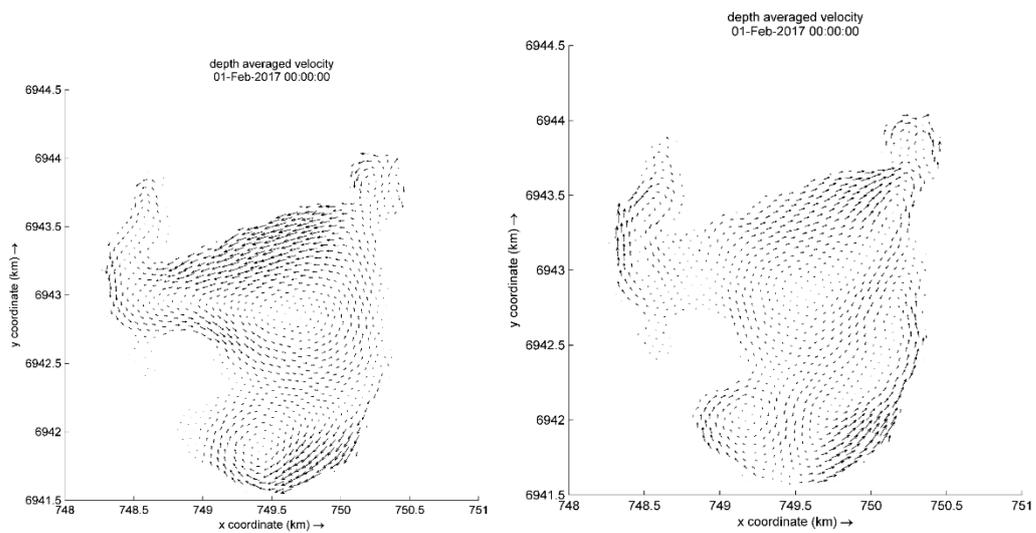


Figura 9: Velocidade horizontal do Canto da Lagoa com vento nordeste e com vento sul.

Ao adicionar camadas verticais, em todos os três cenários ocorre uma circulação vertical que empilha as partículas na costa, já que estas não submergem. A Figura 10 mostra a velocidade vertical, que acarreta no encalhamento das partículas. É possível observar na Figura 11 que com a maré as partículas centrais tendem a encalhar no norte, com exceção das partículas mais afastadas ao leste. Com vento sul até as partículas mais afastadas encalham ao norte. Já com vento norte as partículas encalham a sudeste do Canto da Lagoa. Este transporte pode ser aplicado a algas suspensas como por exemplo a *Ulva lactuca* (SALOMONSEN; FLINDT; GEERTZ-HANSEN, 1997) onde as partículas mostram os possíveis locais de acumulação após a ação de ventos fortes.

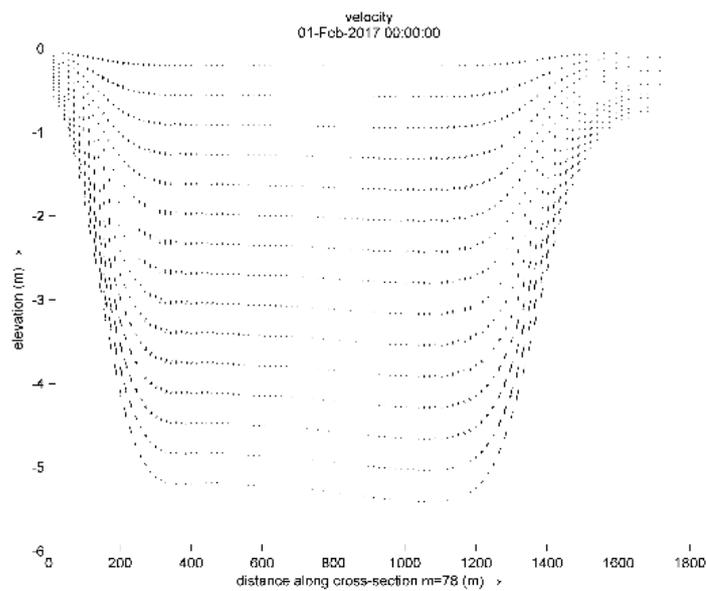


Figura 10: Velocidade vertical do Canto da Lagoa de acordo com o modelo 3D.

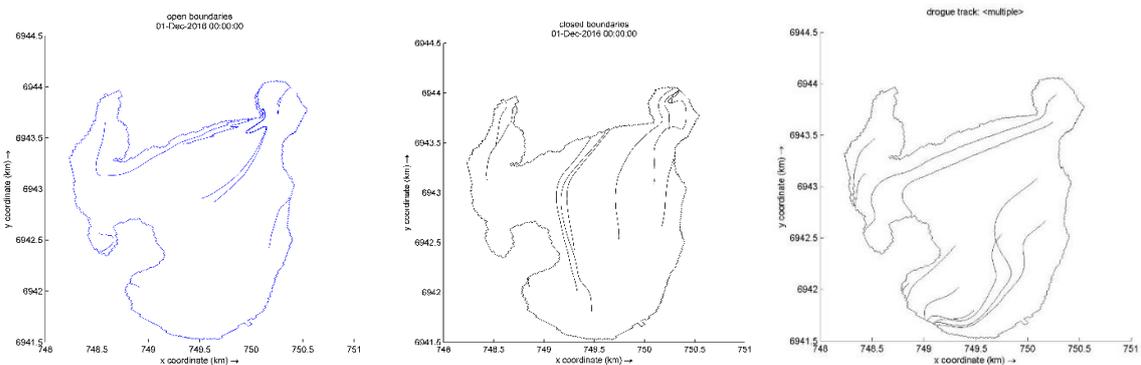


Figura 11: Transporte de partículas para maré e descargas, para vento sul e para vento nordeste.

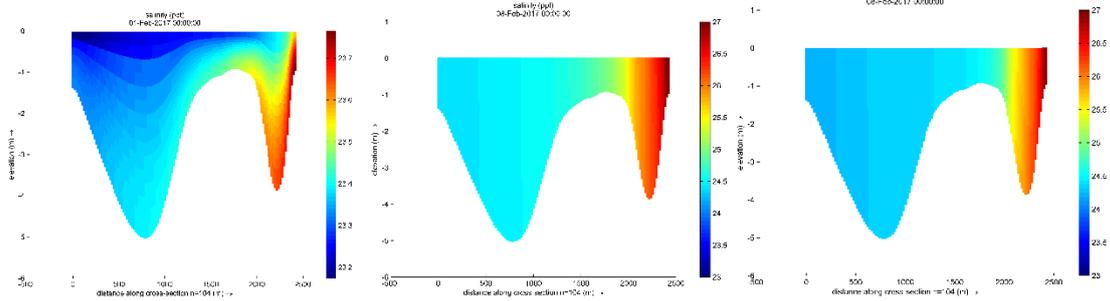


Figura 12: Campos verticais de salinidade para os cenários: maré com descargas, para vento nordeste e para vento sul.

Com o modelo 3D é possível ver a influência dos ventos na homogeneização do Canto da Lagoa. Ventos são forças importantes em lagoas rasas para a circulação, homogeneização, transporte e ressuspensão de substâncias (KJERFVE; MAGILL, 1989; TEETER *et al.*, 2001). Esta dinâmica é visível na Figura 12 que quando não há vento a coluna d'água tende a estratificar, porém tanto com vento nordeste quanto com vento sul ocorre a homogeneização vertical do Canto da Lagoa. Os campos de salinidade para cenário sem vento estão na Figura 13, onde pode ser visto novamente a diferença entre a superfície e fundo, com a água de fundo levemente mais salina que a água de superfície. Na Figura 14 estão os campos de salinidade na superfície de acordo com a influência do vento sul e do vento nordeste, respectivamente. Sob influência dos ventos o Canto da Lagoa se torna mais salino, especialmente com vento nordeste, isso se dá pela entrada de água da seção Central, porção da Lagoa mais salina que o Canto.

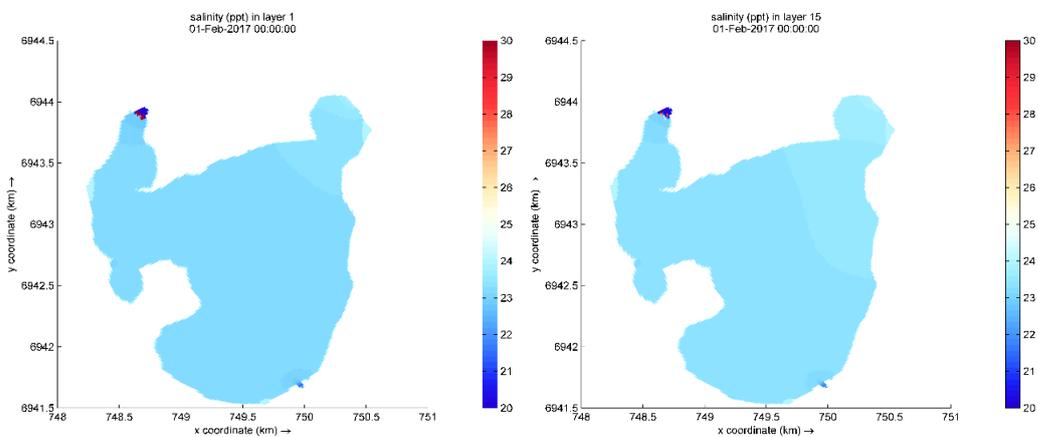


Figura 13: Campos de salinidade para o cenário sem ventos, na camada superficial e na camada de fundo.

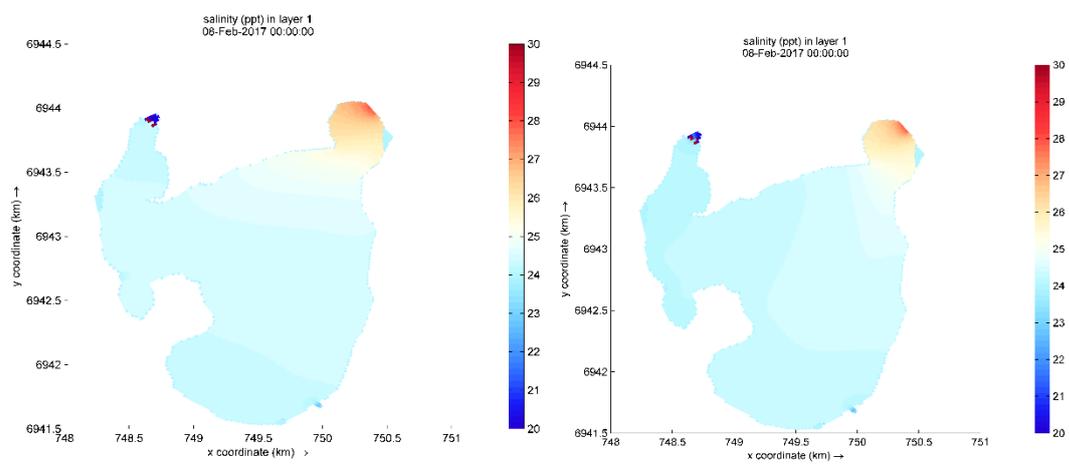


Figura 14: Campos de salinidade para os cenários com vento nordeste e vento sul, respectivamente.

4.2 Modelo Biológico

Os pontos observacionais do modelo biológico estão apresentados na Figura 15.

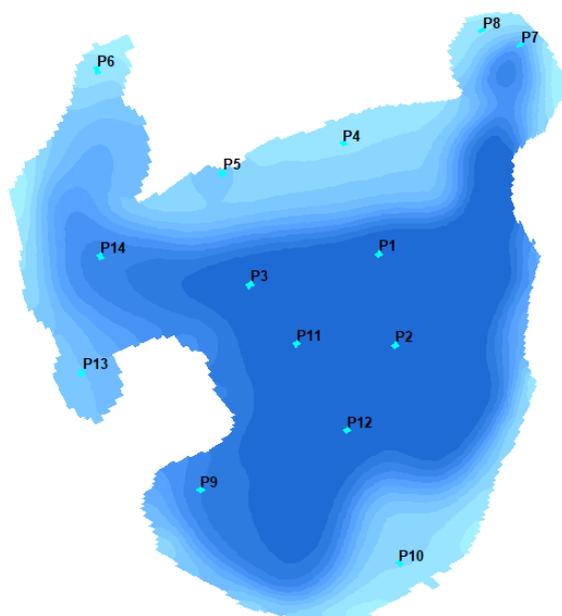


Figura 15: Pontos de observação adicionados ao modelo biológico.

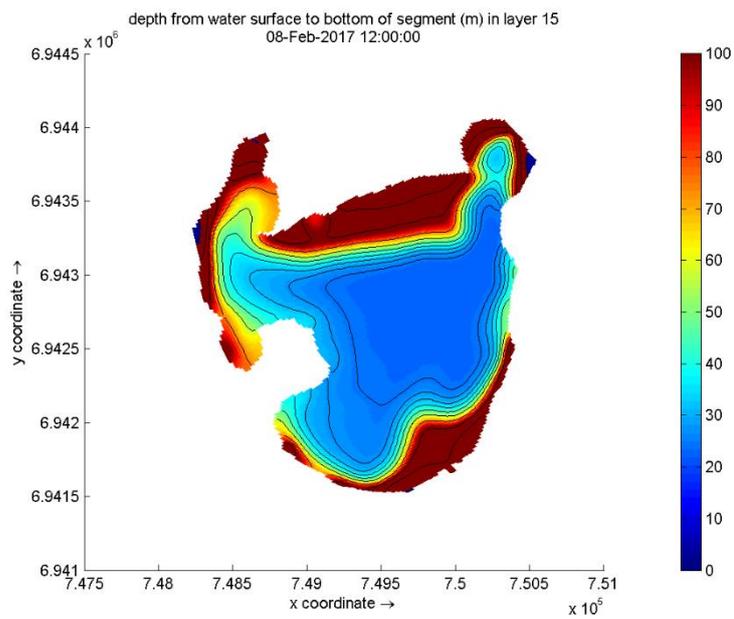


Figura 16: Concentração da *Ulva* spp. no Canto da Lagoa, com as linhas de batimetria.

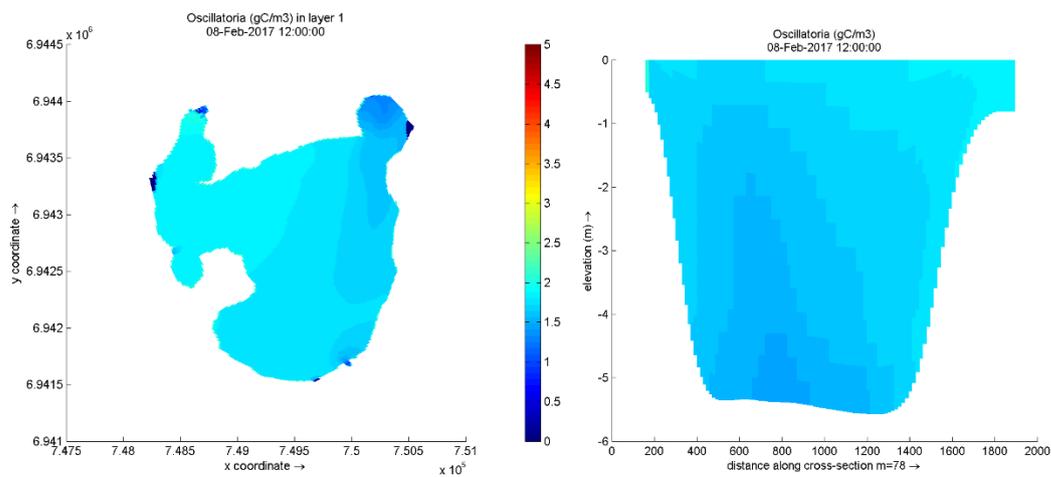


Figura 17: Concentração de *Oscillatoria* spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo sem ventos.

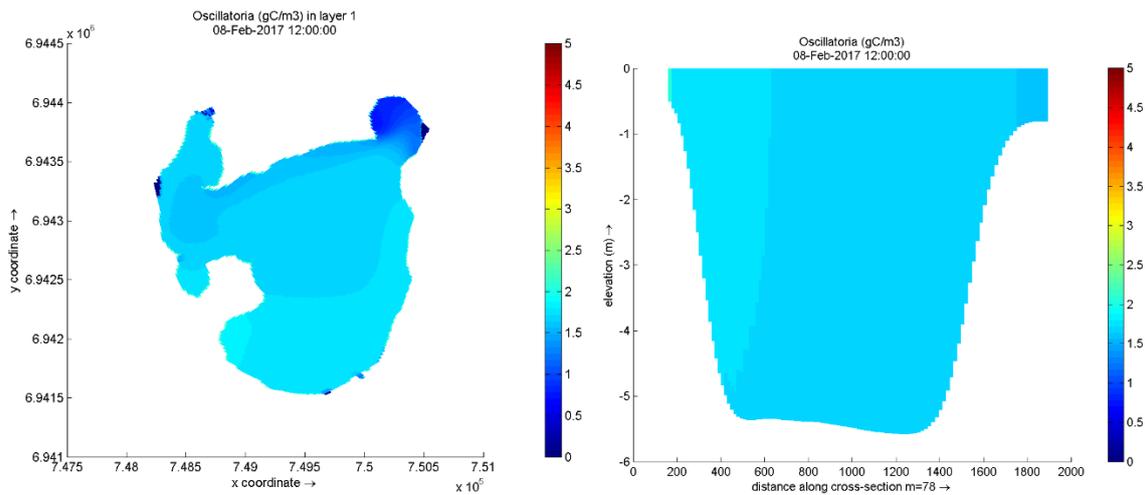


Figura 18: Concentração de *Oscillatoria* spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo com vento nordeste.

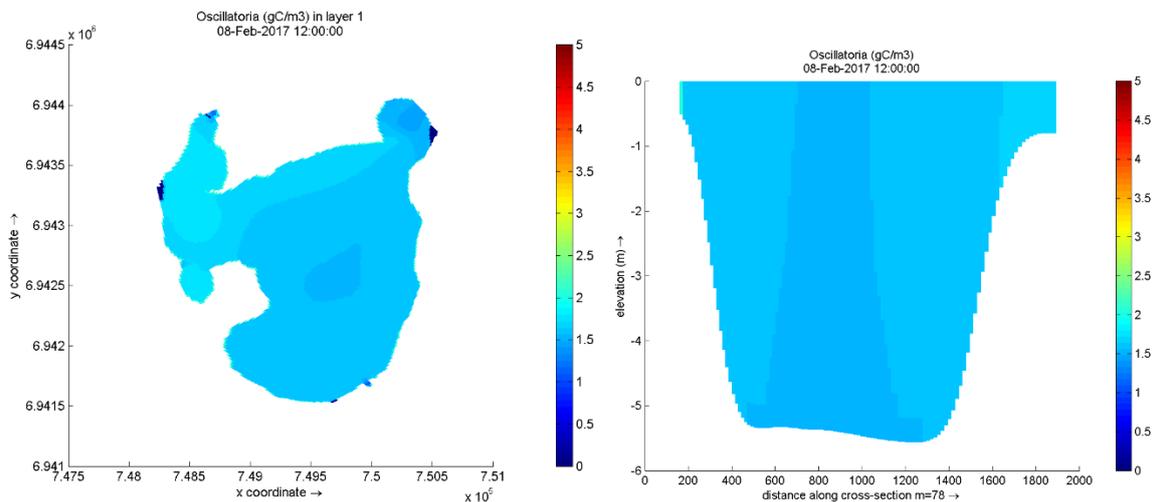


Figura 19: Concentração de *Oscillatoria* spp. no Canto da Lagoa, e verticalmente na coluna d'água de acordo com o modelo com vento sul.

Apenas a *Oscillatoria* spp. foi influenciada pelo vento. Sendo que sem adição de vento a maior concentração de *Oscillatoria* spp. se encontra próxima ao rio Centro. Para vento nordeste a maior concentração se encontrou mais ao sul e com o vento sul houve um deslocamento para o norte, como é mostrado nas Figuras 17, 18 e 19, respectivamente. Já é conhecido que o vento influencia a dinâmica de cianobactérias, tanto no transporte horizontal quanto verticalmente (WU *et al.*, 2013, 2015), modificando a localização das colônias e a extensão da floração. O modelo também descreveu a dinâmica vertical, com estratificação no cenário de marés e rios, e com homogeneização nos cenários em que foi adicionado vento.

Porém, algumas espécies do gênero *Oscillatoria* podem ser encontradas juntamente ao fundo, sendo espécies bentônicas (CALJON, 2012), espécies estas observadas no Canto da

Lagoa. Neste caso o vento seria responsável pela ressuspensão das microalgas (DEMERS *et al.*, 1987). Essa ressuspensão não é muito bem representada no modelo, que não mostra o padrão da alga adjacente ao fundo no cenário sem adição de vento, portanto para a espécie de *Oscillatoria* encontrada no Canto da Lagoa o modelo não foi capaz de representar a dinâmica.

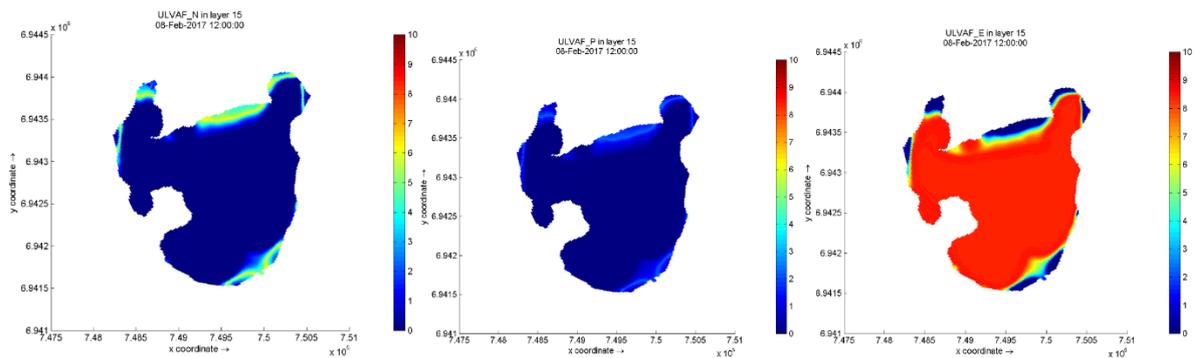


Figura 20: Biomassa de *Ulva* spp de acordo com o fenótipo: limitada por Fósforo, Nitrogênio e Luz, respectivamente.

Não há mudança de distribuição, nem concentração de *Ulva* spp. em diferentes cenários, já que este gênero é fixo ao fundo. Na figura 16 é possível observar como a concentração de *Ulva* está ligada a profundidade, em locais mais rasos uma maior concentração que em lugares mais profundos. Na análise pontual, as camadas superiores tiveram mortalidade de alga, que cresceu apenas na camada mais profunda, em contato com o solo. Em decorrência disso é possível observar na Figura 22 que em pontos mais rasos como P13 a média vertical é maior que a média vertical do P12 já que apesar de terem a mesma quantidade de camadas verticais, o P12 localiza-se num ponto fundo da lagoa, o que faz com que o crescimento seja mais diluído do que em pontos mais rasos.

Nas análises pontuais as camadas mais superficiais apresentam queda no crescimento da alga, porém na camada mais profunda (15ª) há crescimento da alga de cerca de 70gCm^{-3} para mais de 300gC/m^{-3} . A Figura 21 mostra a biomassa da *Ulva* spp. nas camadas 1 e 15. Na média vertical obteve-se valores que vão desde 65 a 205gCm^{-3} dependendo da profundidade do local como pode ser visto na Figura 22.

A biomassa total de *Ulva* spp, chegou a 80gCm^{-3} , o que considerando que entre 23-28% de peso de *Ulva* spp. (NEORI; COHEN; GORDIN, 1991) equivaleria a 266gm^{-3} de *Ulva*

spp. Valores estes baixos se comparados a uma lagoa eutrofizada como a Lagoa de Veneza, onde são encontrados valores de biomassa de *Ulva* spp. acima de 2kgm^{-2} . Isso se deve a concentração menor de nutrientes em comparação com a Lagoa de Veneza (SOLIDORO, C; BRANDO; *et al.*, 1997; SOLIDORO, C; PECENIK; *et al.*, 1997). Entretanto, o valor utilizado aqui como para biomassa inicial foi retirado de uma situação de floração que gerou desconforto na comunidade da Lagoa, e apesar do da mortalidade nas camadas superiores, o crescimento foi contínuo na camada de fundo, portanto, a biomassa inicial não estava no seu limite de crescimento.

Apesar do crescimento contínuo da *Ulva* spp. mostrar que o Canto da Lagoa suporta altas concentrações de biomassa desta alga, sem limitar o crescimento por falta de nutriente, neste cenário não há competição com outras algas, nem análise de material em suspensão ou fitoplâncton, que diminuem a disponibilidade de luz (VERSPAGEN *et al.*, 2004) e por consequência influenciariam negativamente o crescimento da alga. Isso pode explicar também porque o crescimento da *Ulva* spp. foi limitado por luz (figura 20), já que a Lagoa da Conceição tende a ser limitada por fósforo (BARROS, 2015).

Outro ponto a ser analisado no Canto da Lagoa é a sobreposição de nicho entre espécies bêmicas de *Oscillatoria* e *Ulva*, que competiriam entre si por espaço. Como o modelo não previu este comportamento do gênero *Oscillatoria* a não é possível fazer este tipo de avaliação pelo modelo de qualidade de água do Delft.

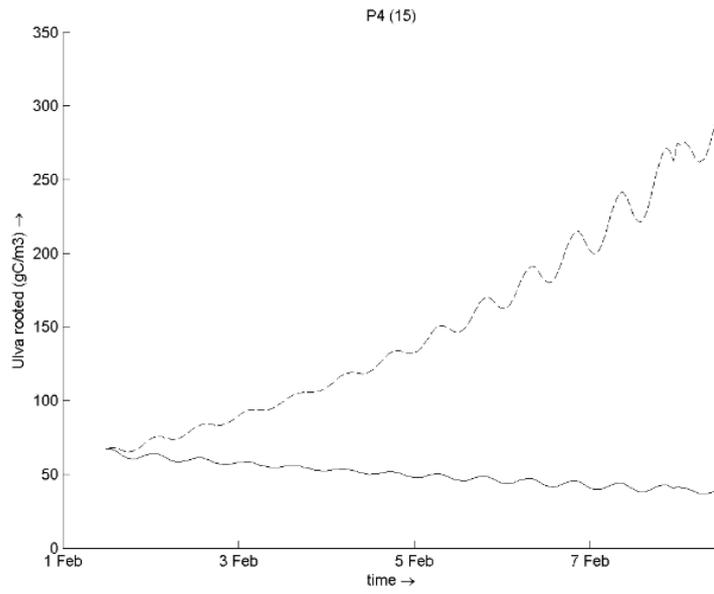


Figura 21: Crescimento de *Ulva* spp. no ponto 4 para superfície (linha contínua), e para fundo (linha tracejada).

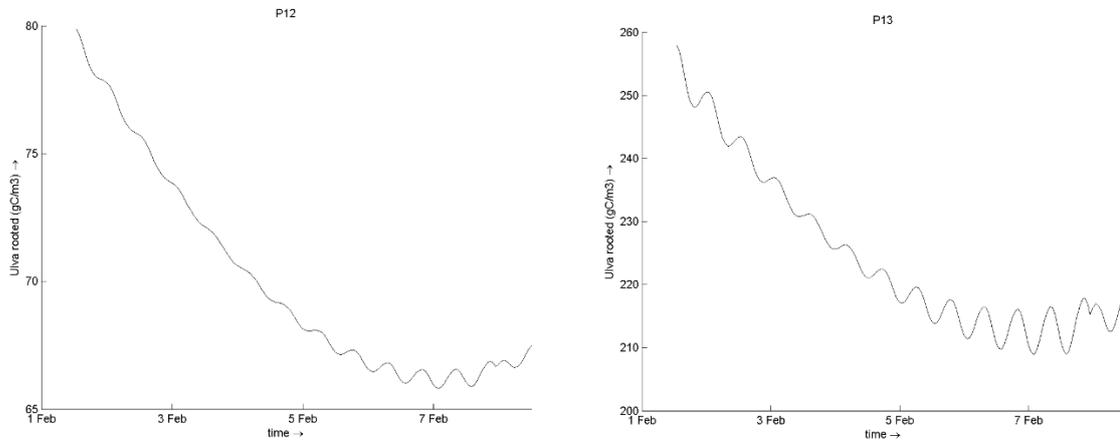


Figura 22: Crescimento de *Ulva* spp. integrado na coluna d'água para os pontos 12 e 13 respectivamente.

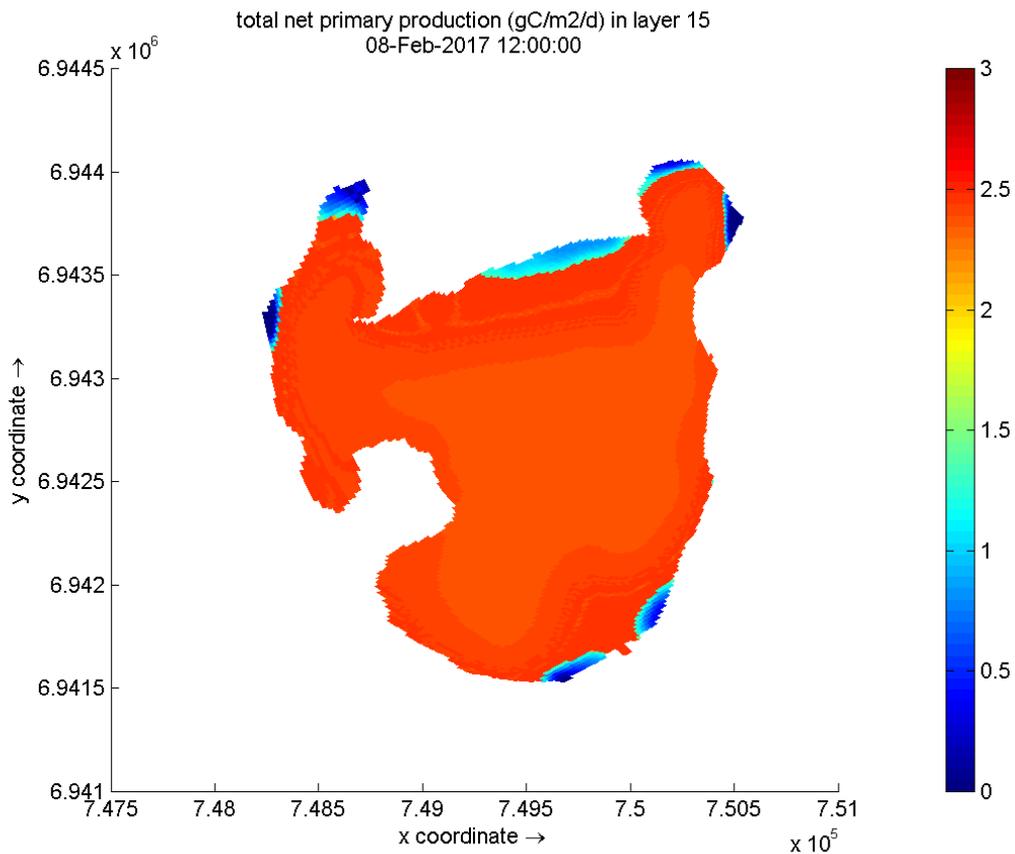


Figura 23: Produção Primária Líquida no Canto da Lagoa.

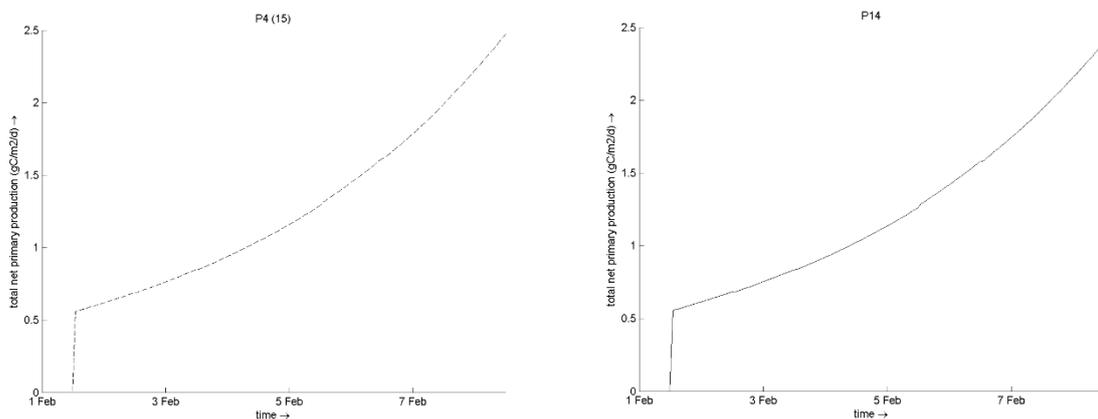


Figura 24: Produção Primária Líquida nos pontos P4 e P14 respectivamente.

A produção primária líquida assim como o crescimento da *Ulva spp.* se resumiu a última camada (Figura 23), não tendo produção primária líquida nas camadas 1-14 (Figura 24). Isso se deve pela mortalidade de alga nessas camadas que não conseguiram manter a produção primária líquida. Com isso não houve diferença entre os pontos observacionais, já que a

produção ocorreu apenas na última camada. Mesmo em comparação entre áreas mais rasas e as áreas mais fundas houve diferenças menores que $0,5 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$.

O modelo biológico não conseguiu descrever o comportamento real do Canto da Lagoa, pois com os dados adicionados não foi possível descrever a mortalidade dependente da salinidade da *Oscillatoria* spp.. Desta forma, os resultados relativos a esta alga serão considerados apenas em casos de salinidade abaixo de 15. Por este motivo, só foi analisada o efeito do vento e não o crescimento e interação com a *Ulva* spp.. A Figura 15 apresenta os pontos observacionais, sendo que os pontos P1 ao P7 mostram os resultados de todas as camadas individualmente e os pontos P8 ao P14 mostram os resultados integrados verticalmente.

5. CONCLUSÃO

Do ponto de vista hidrodinâmico o modelo obteve resultados condizentes com a literatura, mostrando homogeneização e transporte de partículas para o Canto da Lagoa de maneira satisfatória.

O modelo obteve resultados satisfatórios para ambas as algas estudadas, apesar de não representar diretamente o Canto da Lagoa, devido a particularidade da espécie de *Oscillatoria* ser encontrada ao fundo da lagoa, não tendo comportamento de fitoplâncton. Quanto a *Ulva* spp. o modelo apresentou o comportamento bentônico, e o alto crescimento desta alga no Canto da Lagoa.

O crescimento da *Ulva* spp. foi como o esperado, maior em regiões mais rasas e estrito a camada de fundo, devido ao comportamento bentônico. Apesar do valor inicial de biomassa ser de um momento de floração, o Canto da Lagoa continua a comportar o crescimento da *Ulva* spp. sem ocorrer limitação de crescimento por falta de nutriente ou espaço, isso pode ser um reflexo da modelagem da *Ulva* spp. sem competição com outras algas.

Seria interessante continuar os estudos com mais dados da Lagoa, inclusive incluindo as porções Central e Norte da Lagoa da Conceição e a dinâmica de nutrientes, para avaliar o potencial de crescimento das algas com o modelo de nutrientes.

REFERÊNCIAS

- BARROS, G. DE. *Distribuição Dos Nutrientes E Fixação Do Carbono Em Uma Laguna Subtropical Formadora De Zona Anóxica (Lagoa Da Conceição / SC) Florianópolis*. 2015. 133 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- BAUER NETO, V. *Caracterização Geomorfológica Da Bacia Hidrográfica Da Lagoa Da Conceição – Florianópolis - SC*. 2007. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- BENDORICCHIO, G.; COFFARO, G.; MARCHI, C. DE. E (OLOGKRL mODELLInG A trophic model for *Ulva rigida* in the Lagoon of Venice. v. 76, p. 485–496, 1994.
- BÖKER-TÔRRES, M.; FLORIANÓPOLIS, D. A. C. *Composição Florística Do Macrofitobentos Da Lagoa Da Conceição (Florianópolis -SC)*. 2005. 125 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- CALJON, A. . *Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- DEBEI, J. *Floram e Comcap programam força-tarefa para limpeza de algas na Lagoa da Conceição*. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/noticia/2010/11/floram-e-comcap-programam-forca-tarefa-para-limpeza-de-algas-na-lagoa-da-conceicao-3117306.html?impressao=simhttp://anoticia.clicrbs.com.br/sc/noticia/2010/11/floram-e-comcap-programam-forca-tarefa-para-li>>. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.
- DELTARES. *D-Water Quality User Manual*. . [S.l.: s.n.]. , 2014
- DEMERS, S. *et al*. Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: Wind influence. *Limnology and Oceanography*, v. 32, n. 2, p. 327–339, 1987.
- DUARTE, C. M. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes SUBMERGED AQUATIC VEGETATION IN. *Ophelia*, v. 41, n. February 1995, p. 87–112, 1995.
- ELDRIDGE, P. M.; ROELKE, D. L. Origins and scales of hypoxia on the Louisiana shelf : Importance of seasonal plankton dynamics and river nutrients and discharge. v. 221, p. 1028–1042, 2010.

FONSECA, A. *Variação Sazonal E Espacial Das Características Hidroquímicas, Dos Fluxos De Nutrientes E Do Metabolismo Na Interface Água-Sedimento Da Lagoa Da Conceição (SC, BRASIL)*. 2004. 180 f. Tese de Doutorado - Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo, 2004.

FONSECA, A.; BRAGA, E. S.; EICHLER, B. B. Distribuição Espacial Dos Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos E Da Biomassa Fitoplanctônica No Sistema Pelágico Da Lagoa Da Conceição , Santa Catarina , Brasil . (SETEMBRO , 2000). v. 24, n. 1981, p. 69–83, 2002.

GODOY, F. B. *Modelagem Hidrológico-Hidrodinâmica Da Lagoa Da Conceição - SC*. 2009. 91 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

GULATI, R. D.; VAN DONK, E. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: State-of-the-art review. *Hydrobiologia*, v. 478, n. 2991, p. 73–106, 2002.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*, v. 88, n. 3–4, p. 187–199, 1989. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0025322789900972>>.

KONDO, K.; SEIKE, Y.; DATE, Y. Relationships Salinity between or water Phytoplankton Temperature Occurrence in Brackish Lake. p. 173–184, 1994.

LOS, F. J.; VILLARS, M. T.; TOL, M. W. M. VAN DER. A 3-dimensional primary production model (BLOOM / GEM) and its applications to the (southern) North Sea (coupled physical – chemical – ecological model). *Journal of Marine Systems*, v. 74, n. 1–2, p. 259–294, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.01.002>>.

MARTINS, C. M. *Análise Quantitativa Da Contribuição Antrópica De Drenagem Fluvial Na Lagoa Da Conceição - SC Florianópolis*. 2016. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MEI, D. *et al.* Spatiotemporal Complexity of the Nutrient-Phytoplankton Model. v. 2015, 2015.

NEORI, A.; COHEN, I.; GORDIN, H. *Ulva lactuca* Biofilters for Marine Fishpond Effluents . II . Growth Rate , Yield and C : N Ratio. n. November 1991, 1991.

ODRESKI, L. F. R. *Influência Hidrológica Nos Processos Hidrodinâmicos Da Lagoa Da Conceição – Florianópolis - SC*. 2012. 126 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

PALAORO, E. *Operação vai retirar 70 toneladas de algas na Lagoa da Conceição. Notícias do Dia*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ndonline.com.br/florianopolis/noticias/23219-comeca-operacao-para-retirar-70-toneladas-de-algas-na-lagoa-da-conceicao.html>>. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

POKAVANICH, T.; NADAOKA, K.; BLANCO, A. C. . Comprehensive circulation and water quality investigation of the coastal lagoon : Puerto Galera , The Philippines. n. October, 2015.

ROCHA, C. B. M. DA. *Implementação E Uso Do Modelo Mike 21 Na Análise De Cenários Hidrodinâmicos Na A Lagoa Da Conceição - Sc Florianópolis - SC*. 2007. 80 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SALOMONSEN, J.; FLINDT, M. R.; GEERTZ-HANSEN, O. Significance of advective transport of *Ulva lactuca* for a biomass budget on a shallow water location. *Ecological Modelling*, v. 102, n. 1, p. 129–132, 1997.

SILVA, J. C. *Análise Numérica Da Influência Dos Aportes Fluviais E Antrópicos Sobre A Hidrodinâmica Residual E A Qualidade Da Água Da Lagoa Da Conceição – FLORIANÓPOLIS - SC*. 2013. 134f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SILVA, M. L. G. DA. *Análise da qualidade ambiental urbana da bacia hidrográfica da lagoa da conceição*. 2002.

SOLIDORO, C.; BRANDO, V. E.; *et al.* Long term simulations of population dynamics of *Ulva* in the lagoon of Venice. v. 102, p. 259–272, 1997.

SOLIDORO, C.; PECENIK, G.; *et al.* Modelling macroalgae (*Ulva rigida*) in the Venice lagoon : Model structure identification and first parameters estimation. v. 94, p. 191–206, 1997.

SOLIDORO, C. *et al.* of the Venice Lagoon Ecosystem to Natural and Anthropogenic Pressures over the Last 50 Years. p. 483–512, [S.d.].

SPALDING, M. D. *et al.* Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, v. 57, n. 7, p. 573, 2007. Disponível em:

STAL, L. J. *et al.* The biogeochemistry of two eutrophic marine lagoons and its effect on microphytobenthic communities. p. 185–198, 1996.

TAYLOR, P. *et al.* The use of fuzzy logic for data analysis and modelling of European harmful algal blooms : results of the HABES project. n. October 2012, p. 37–41, 2010.

TEETER, A. M. *et al.* Hydrodynamic and sediment transport modeling with emphasis on shallow-water, vegetated areas (lakes, reservoirs, estuaries and lagoons). *Hydrobiologia*, v. 444, p. 1–23, 2001.

TEICHBERG, M. *et al.* Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters : nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp . p. 2624–2637, 2010.

TORGAN, L. C. *Floração de Algas: Composição, Causa e Consequências.* 1989.

VERSPAGEN, J. M. H. *et al.* Recruitment of benthic *Microcystis* (Cyanophyceae) to the water column: Internal buoyancy changes or resuspension? *Journal of Phycology*, v. 40, n. 2, p. 260–270, 2004.

VOLLENWEIDER, R. A. *Oscillatoria rubescens* D . C . as an Indicator of Lago Maggiore Eutrophication 1). n. 395, p. 374–380, 1968.

WU, T. *et al.* Dynamics of cyanobacterial bloom formation during short-term hydrodynamic fluctuation in a large shallow, eutrophic, and wind-exposed Lake Taihu, China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 20, n. 12, p. 8546–8556, 2013.

WU, T. *et al.* The influence of changes in wind patterns on the areal extension of surface cyanobacterial blooms in a large shallow lake in China. *Science of the Total Environment*, v. 518–519, p. 24–30, 2015. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.090>>.