



SUMÁRIO

**34994 - MODELAGEM DO SISTEMA AMBIENTAL LAGOA URUSSANGA VELHA – SC
COM OBTENÇÃO DE DADOS CINÉTICOS PARA PREVISÃO DE DEPURAÇÃO**
Hyan Dias Tavares¹, Elton Mendes¹, Elídio Angioletto^{1,2}, Erlon Mendes¹.....2

Trabalho completo de Pesquisa

34994 - MODELAGEM DO SISTEMA AMBIENTAL LAGOA URUSSANGA VELHA – SC COM OBTENÇÃO DE DADOS CINÉTICOS PARA PREVISÃO DE DEPURAÇÃO

Hyan Dias Tavares¹, Elton Mendes¹, Elídio Angioletto^{1,2}, Erlon Mendes¹

¹Instituto de Pesquisa Ambiental e Tecnológica,

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Ciências e Materiais,
Unidade Acadêmica de Ciência, Engenharia e Tecnologia,
Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Brasil.

Na localidade do município de Içara-SC, encontra-se a lagoa Urussanga Velha, que através de estudos feitos in loco, pode-se constatar a existência de alguns distúrbios ambientais, como a salobridade da água e material particulado suspenso e sedimentado. Outras espécies químicas como o ferro, oriundas da mineração, também se encontram presente, mas em pequenas quantidades. O objetivo deste estudo é desenvolver uma simulação computacional utilizando o método dos elementos finitos (MEF), com a intenção de quantificar as concentrações das espécies químicas (salinidade, material particulado, ferro, oxigênio dissolvido e pH) na lagoa, em um determinado intervalo de tempo, adicionando uma entrada de água oriunda do rio Urussanga (que atualmente não existe). Para isso, construiu-se a geometria 2D da lagoa, estudando os fenômenos físicos envolvidos, sendo eles, os fenômenos de transportes, Equação da conservação das espécies químicas, cinéticas de reações e taxas de sedimentação e ressuspensão, elencando as condições de contorno (concentrações das espécies químicas e quantidade de movimento oriundas do rio Urussanga) e condições iniciais (concentrações das espécies químicas na lagoa antes da abertura do canal). O resultado da simulação foi a redução de 89 % da concentração salina na lagoa Urussanga Velha em 350 dias, ficando a baixo de 0,5 ‰, que de acordo com CONAMA n. 357/2005, concentrações abaixo deste valor são consideradas águas doces. Porém, deve-se ressaltar que há uma influência da maré sobre a lagoa, não simulada por falta de dados, sendo necessário uma intervenção física, como a construção de um dique que impeça que a água do mar retorne à lagoa e aumente novamente sua salinidade. Já a concentração de material particulado se manteve constante, sendo necessária uma ação de dragagem e deposição deste material. Outras espécies químicas importantes para a sustentabilidade da lagoa são a concentração de oxigênio dissolvido e o pH, sendo que a redução encontrada por meio da simulação não representa interferência no ecossistema aquático.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Depuração. Lagoa Urussanga Velha.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Aral (2010), a simulação computacional constitui uma importante técnica para o estudo de sistemas complexos, mas é importante ressaltar que modelos matemáticos não podem ajudar na fase de reconhecimento das variáveis e fenômenos envolvidos. No entanto, são ferramentas muito úteis no domínio e

manipulação dessas variáveis e na busca de soluções para problemas ambientais. Eles são rentáveis e podem ser facilmente configurados para testar os cenários associados a uma aplicação de reparação ou um problema de contaminação.

O objetivo deste estudo é desenvolver uma simulação computacional utilizando o método dos elementos finitos (MEF), com a intenção de quantificar as concentrações das espécies químicas (salinidade, material particulado, ferro, oxigênio dissolvido e pH) presente em maior abundância na lagoa, em um determinado intervalo de tempo, adicionando uma entrada de água oriunda do rio Urussanga (que atualmente não existe). Em frente os resultados propor possíveis ações corretivas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme (Alexandre e Aguiar, 2000), na localidade do município de Içara-SC, se encontra a lagoa Urussanga Velha, que de acordo com o relatório técnico da qualidade das águas, a lagoa possui 2,35 (km^2) e ligação com o Rio Urussanga, e é através da foz deste rio que a lagoa recebe contribuição da maré, sendo que os principais agentes contaminantes encontrados resultam de atividade de exploração e beneficiamento do carvão mineral transportado pelo rio Urussanga. Parte da lagoa encontra-se assoreada com finos piritosos e carbonosos, possuindo uma profundidade média de 1,5 (m).

A caracterização do material particulado encontrado na lagoa exposto na tabela 1, apresentado pelo Comitê de Desenvolvimento Náutico do Balneário Rincão, Prefeitura Municipal do Balneário Rincão e Instituto De Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT/UNESC (Pereira et al., 2014).

Tabela 1 - Composição média do material particulado

Parâmetros	Valores Médios
Nitrato Total (mg/kg)	4860
Carbono Orgânico (%)	12,01
Alumínio (%)	3,67
Ferro (%)	5,01
SiO ₂ (%)	50,17
Al ₂ O ₃ (%)	9,96
Fe ₂ O ₃ (%)	5,13
Salinidade (‰)	8,85
Outros (%)	12,01

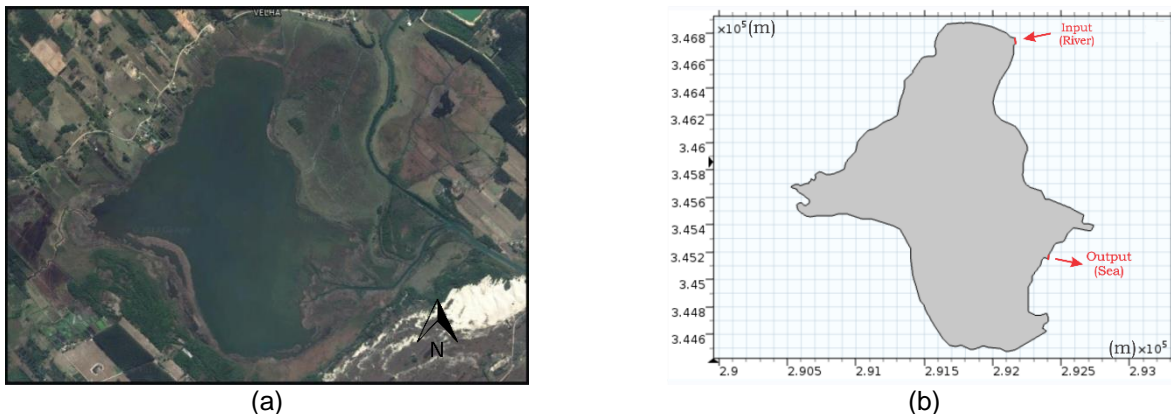
Fonte: Pereira et al. 2014

A salinidade é representada mundialmente por partes por mil (‰), equivalente a 1000 (g/m³).

3 METODOLOGIA

Utilizando o software Autocad®, construiu-se a geometria da Lagoa Urussanga Velha, que por possuir uma profundidade média de 1,5 (m) e uma área superficial muito superior em relação a mesma, é possível considerar a geometria do objeto em 2D, importando a imagem do Google Earth®, desenhando o contorno da lagoa e ajustando a escala para que a área do objeto seja igual a descrito (Alexandre e Aguiar, 2000). Esta geometria bidimensional se tornou o volume de controle da simulação em regime transiente, onde foram aplicadas as equações a seguir.

Figura 1 – Lagoa Urussanga Velha – SC.



Fonte: (a) imagem do Google Earth®, (b) Dos autores

*(a) Foto de satélite da Lagoa Urussanga Velha. (b) Volume de controle gerado.

Pretende-se avaliar o comportamento do sistema ambiental com a criação de um canal localizado a nordeste da lagoa (*Input*), redirecionando parte do rio Urussanga para o volume de controle. E ainda como relatado por (Alexandre e Aguiar, 2000), a lagoa possui uma ligação com o Rio Urussanga (*Output*), que desemboca no mar, como representado na Figura 1.

3.1 PROPRIEDADE DE TRANSPORTE



Definido o volume de controle, a massa total do sistema é regida pela Equação da continuidade (1), enquanto a Equação da quantidade de movimento (2) define as propriedades de transporte.

$$\rho \cdot \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho \cdot (\nabla \cdot \mathbf{u}) \cdot \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \cdot \mathbf{u} + (\nabla \cdot \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F} \quad (2)$$

Onde ρ é a massa específica ($kg \cdot m^{-3}$), \mathbf{u} o a velocidade ($m \cdot s^{-1}$), p a pressão (Pa), \mathbf{I} a matriz identidade, μ a viscosidade dinâmica (Pa.S), T indica a transposta de $\nabla \cdot \mathbf{u}$ (divergente de \mathbf{u}) e \mathbf{F} a força de campo ($N \cdot m^{-3}$), sendo que as variáveis em negrito são grandezas vetoriais (BIRD, STEWART e LIGHTFOOT, 2004).

3.2 ESPÉCIES QUÍMICAS

O transporte de espécies químicas dentro do volume de controle é regido pela Equação da espécie química (3), onde o fluxo molar é explicitado pela Equação (4).

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \nabla \cdot (-D_i \cdot \nabla C_i) + \mathbf{u} \cdot \nabla C_i = R_i \quad (3)$$

$$\mathbf{N}_i = -D_i \cdot \nabla C_i + \mathbf{u} \cdot C_i \quad (4)$$

Onde, C_i é a concentração da espécie química i ($mol \cdot m^{-3}$), D_i é a difusividade ($m^2 \cdot s^{-1}$), R_i a taxa de reação ($mol \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$), \mathbf{u} a velocidade ($m \cdot s^{-1}$) e \mathbf{N}_i o fluxo de difusão ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) Bird, Stewart e Lightfoot (2004). As espécies envolvidas na simulação foram a salinidade (C_{sal}), ferro II ($C_{Fe^{2+}}$), ferro III ($C_{Fe^{3+}}$), material particulado (C_{mp}), íons hidrogênio (C_{H^+}) e oxigênio dissolvido (C_{OD}). O primeiro termo da Equação (3) é relativo às variações que a variável dependente sofre com o tempo. O segundo termo é chamado de difusivo, relativo ao movimento cuja força motriz é o gradiente de concentração. O terceiro termo é o termo convectivo, cuja força motriz é o vetor velocidade. Do lado direito da Equação (3) encontra-se o termo fonte, que para as espécies químicas trata de todos os consumos e gerações destas no volume de controle, relacionados principalmente com a cinética de reação e taxas de sedimentação.



Segundo Junior *et al.* (2009), o transporte por difusão refere-se ao espalhamento (para os casos escalares) ou à diluição da matéria ao longo do tempo. A taxa de difusão depende de fatores de mistura no ecossistema aquático, a partir de bases experimentais e teóricas, o coeficiente de difusão é escrito em função da velocidade da água u ($m \cdot s^{-1}$) e da profundidade H (m).

$$D_x = 5,93 \cdot u \cdot H \quad (5)$$

Sendo que o coeficiente de difusão longitudinal D_x , é muito maior do que o coeficiente de difusão vertical, pois o mesmo engloba a convecção diferencial, que é circunstancial do perfil de velocidade vertical logarítmico em um escoamento.

3.3 SEDIMENTAÇÃO E RESSUSPENSÃO DO MATERIAL PARTICULADO

Schnoor, (1996), apresenta que em sistemas aquáticos onde há presença de partículas que tem dificuldade de se difundir no meio, acabam sendo transportados verticalmente para baixo, amparado pela lei de Stokes. Entretanto, por influência dos ventos e ondulações no ambiente aquático, o sedimento poderá entrar em ressuspensão.

$$k_s = \frac{V_s}{H} \quad (6)$$

Onde, k_s taxa de sedimentação líquida constante (s^{-1}), V_s velocidade média da queda das partículas de e H profundidade média da lagoa de 1,5 (m).

Utilizando os conceitos exposto por (Foust, 1986), para a determinação da velocidade sedimentação do material particulado e do Fe^{3+} , é necessário a coleta de pontos de altura de sedimentação em relação ao tempo, sendo que a derivada da altura de sedimentação com o tempo é igual a velocidade média de sedimentação (Equação 7), admitindo-se uma velocidade de sedimentação unidirecional e linear.

$$\frac{dH(t)}{dt} = V_s \quad (7)$$

No caso para o material particulado, V_s é igual a $0,2706 (m.s^{-1})$ e para o Fe^{3+} é equivalente a $0,0112 (m.s^{-1})$. Considerando apenas a sedimentação do material particulado, o resultado apresentado inicialmente é uma remoção irreal no volume de controle, não observada no comportamento atual da lagoa, que não possui a entrada do rio Urussanga proposta neste estudo. Devido ao grande volume de sedimento e baseado na hipótese de um atual estado estacionário, a taxa de sedimentação ($-k_s \cdot C_{pm}$) deve se contrapor a uma ressuspensão (k_u) de mesma intensidade, mas independente da concentração de material particulado do meio. Sendo assim, foi atribuído o valor k_u de $0,2850 (mol.m^{-3}.s^{-1})$ relativo a ressuspensão.

$$k_u = \frac{V_s \cdot C_i}{H \cdot PM} \quad (8)$$

Sendo que, C_i concentração da espécie química ($mg.L^{-1}$) e PM peso molecular ($g.mol^{-1}$).

3.4 CINÉTICA DE REAÇÃO

Conforme relatado por Stumm e Morgan (2012), as leis velocidade para cada espécie química envolvidas em sistemas ambientais aquáticos, podem ser expressas pelas seguintes equações:

$$R_{c_{Fe^{2+}}} = -\frac{k_{H1} \cdot C_{OD} \cdot C_{Fe^{2+}}}{(C_{H^+})^2} \quad (9)$$

Na Equação (9), o primeiro termo do lado esquerdo é relativo à taxa de geração de Fe^{2+} em $mol.m^{-3}.s^{-1}$, cujo sinal negativo no primeiro termo do lado direito da igualdade indica consumo. Esta lei de velocidade é relatada por Stumm and Morgan (2012), cuja constante k_{H1} é igual a $5 \times 10^{-11} (mol.m^{-3}.s^{-1})$.

$$R_{c_{Fe^{3+}}} = \frac{k_{H1} \cdot C_{OD} \cdot C_{Fe^{2+}}}{(C_{H^+})^2} - k_{s_{Fe^{3+}}} \cdot C_{Fe^{3+}} \quad (10)$$



A Equação (10) se refere à geração de Fe^{3+} . O primeiro termo do lado direito da igualdade obedece a estequiometria da reação envolvendo os dois íons Fe simulados. Já o segundo termo do lado direito é a taxa de sedimentação do íon Fe^{3+} , que insolúvel em água, sedimenta. A constante de sedimentação $k_{s_{\text{Fe}^{3+}}}$ foi obtida experimentalmente por teste de sedimentação em proveta, há partir da velocidade de sedimentação do íon Fe^{3+} dividida pela profundidade média da lagoa, conforme a seção 3.3. O valor obtido para $k_{s_{\text{Fe}^{3+}}}$ foi de $4,766 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$.

$$R_{\text{COD}} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{k_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{OD}} \cdot C_{\text{Fe}^{2+}}}{(C_{\text{H}^+})^2} \quad (11)$$

$$R_{\text{C}_{\text{H}^+}} = -\frac{k_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{OD}} \cdot C_{\text{Fe}^{2+}}}{(C_{\text{H}^+})^2} \quad (12)$$

As equações (11) e (12), relativas às taxas de geração de oxigênio dissolvido e H^+ , respectivamente, apenas obedeceram a estequiometria envolvida na reação dos íons Fe. Cabe ressaltar que a solubilização natural do oxigênio do ar na água, frente a turbulência gerada pelo vento e principalmente pela abertura hipotética de um canal ligando o Rio Urussanga à Lagoa Urussanga Velha, não está prevista, já que envolvem condições futuras com poucos dados experimentais que permitam sua previsão. As leis de velocidade não preveem nenhum outro consumo ou produção destas espécies químicas.

$$R_{\text{C}_{\text{sal}}} = 0 \quad (13)$$

A Equação (13) evidencia que nenhuma geração ou consumo de sal foi prevista dentro do volume de controle. Ressalta-se, porém, que a ação corretiva proposta neste artigo levará a sua contínua diluição e retirada através das condições de contorno.

$$R_{\text{mp}} = -k_{s_{\text{mp}}} \cdot C_{\text{mp}} + k_{\text{u}} \quad (14)$$

Para o material particulado, o primeiro termo do lado direito da Equação (14) se refere à taxa de sedimentação, com $k_{s_{\text{mp}}}$ também obtido em teste de sedimentação em

proveta, de $1,81 \times 10^{-3} \text{ (s}^{-1}\text{)}$. Para prever o atual estado estacionário, uma constante de ressuspensão k_u foi adicionada, tendo o valor de $0,285 \text{ (mol.m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$.

3.5 CONDIÇÃO INICIAL E CONDIÇÕES DE CONTORNO

As espécies químicas analisadas foram ferro II, ferro III, salinidade, material particulado, íons hidrogênio e oxigênio dissolvido, escolhidas após uma análise de relatórios anteriores sobre a lagoa e por relatos de moradores da região. As condições iniciais modelo para a espécie química foram baseadas em análises feitas pelo Laboratório de Desenvolvimento de Biomateriais e Materiais Antimicrobianos – IPARQUE/UNESC (Tabela 2). Para a quantidade de movimento, como atualmente a Lagoa Urussanga Velha ainda não possui a entrada proveniente do Rio Urussanga, considerou-se o sistema inicialmente em repouso.

Tabela 2 – Condições iniciais para as espécies químicas.

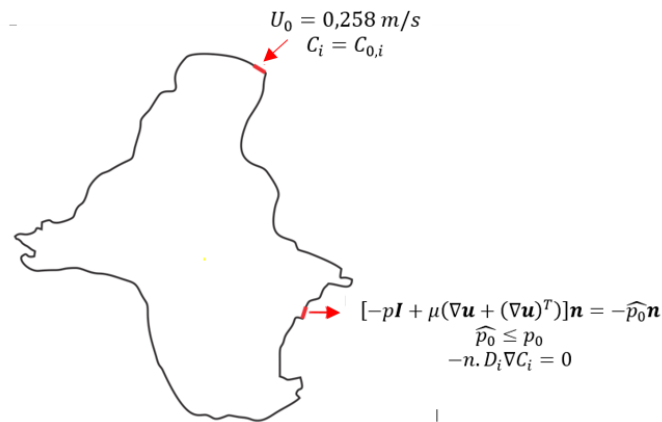
Parâmetros	Lagoa Urussanga Velha		
	Dados		$C_i \text{ (mol/m}^3\text{)}$
Ferro III	1,09	mg/L	0,0195
Ferro II	0,1	mg/L	0,0018
Salinidade	4,474	‰	7,66E-5
Sólido totais	4624	mg/L	158,36
H ⁺	6,525	pH	0,0003
Oxigênio Dissolvido	7,525	mg/L	0,2352
Temperatura da água	18	°C	-

Fonte: Dos autores e o Laboratório de Desenvolvimento de Biomateriais e Materiais Antimicrobianos – IPARQUE/UNESC, 2017.

* Realizada em 02/03/2017, com um período de uma semana sem chuvas, com sol e com bastantes ventos do Norte.

As condições de contorno do sistema foram baseadas em uma condição hipotética, onde um canal seria aberto ligando o rio Urussanga a lagoa Urussanga Velha na extremidade nordeste da mesma, conforme indicado na Figura 2.

Figura 2 – Condições de Contorno adotadas no estudo.



Fonte: Dos Autores, 2017.

A Figura 2 mostra as condições de contorno utilizadas na simulação. Todas as demais fronteiras foram consideradas fechadas e as concentrações das espécies químicas que entram no sistema foram baseadas em análises do Laboratório de Desenvolvimento de Biomateriais e Materiais Antimicrobianos – IPARQUE/UNESC de amostras do Rio Urussanga (Tabela 3).

Tabela 3 – Condições de contorno para as espécies químicas.

Parâmetros	Rio Urussanga		
	Dados		C_i (mol/m ³)
Ferro III	1,78	mg/L	0,0319
Ferro II	0,1	mg/L	0,0018
Salinidade	0,263	‰	4,50E-6
Sólido totais	298	mg/L	10,21
H ⁺	6,525	pH	0,0003
Oxigênio Dissolvido	7,300	mg/L	0,2352
Temperatura da água	18	°C	-

Fonte: Dos Autores, 2017, Laboratório de Desenvolvimento de Biomateriais e Materiais Antimicrobianos – IPARQUE/UNESC

* Realizada em 02/03/2017, com um período de uma semana sem chuvas, com sol e com bastantes ventos do Norte.

Uma condição de contorno presente no sistema real é a alta salinidade do sedimento da lagoa, que libera sal para o volume de controle por difusão. Para meios de simplificação, considerou-se que essa concentração de sal difusa no volume de controle é pequena comparada com a dispersão gerada pela água oriunda do rio. Tal hipótese está relacionado diretamente com a Equação (4), onde o primeiro termo do lado direito



corresponde ao efeito convectivo, e o segundo termo ao efeito difusivo, ou seja, se o efeito convectivo for muito maior que o difusivo, o fluxo da espécie química será influenciado apenas efeito convectivo.

Para a quantidade de movimento, a velocidade de entrada de água no sistema foi calculada tendo como base a Equação (15).

$$u_{i,0} = \frac{Q}{L_{in} \cdot H_{in}} \quad (15)$$

Onde Q é uma vazão média hipotética a ser desviada do rio Urussanga para a lagoa Urussanga Velha de $0,2518 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$, estimada a partir da redução de 10 vezes o valor da vazão média total do rio, cujo o objetivo é manter sempre um fluxo constante de entrada, sem influenciar demasiadamente o rio Urussanga e o ecossistema que envolve o mesmo. As dimensões propostas e simuladas para o canal a ser construído foram a largura de entrada do canal, L_{in} , de 35 (m) e a profundidade de entrada do canal, H_{in} , de 1 (m).

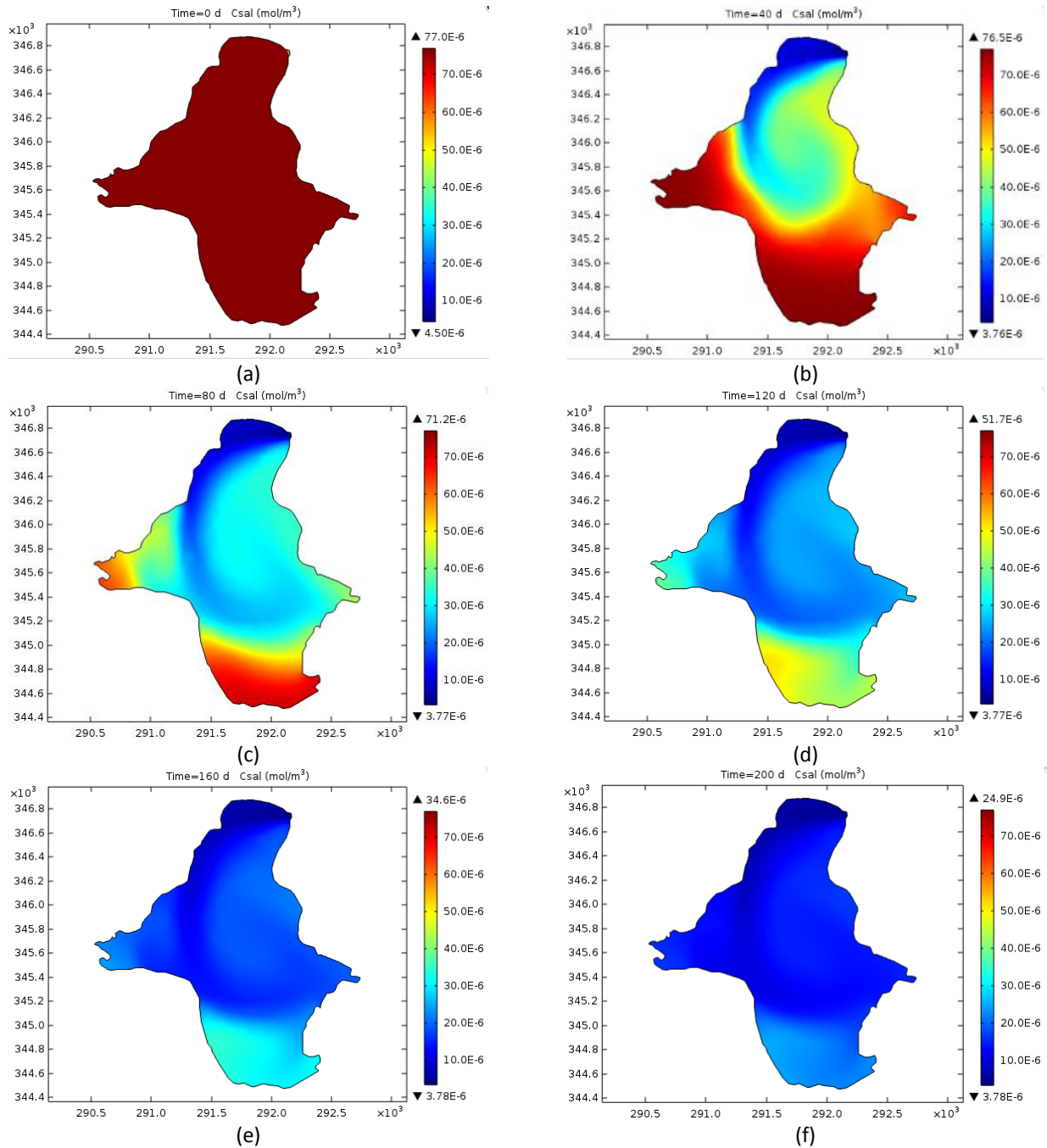
4 RESULTADOS

Com base no volume de controle, equações de balanço, condição inicial e condições de contorno previamente mostrados, foi gerado um modelo capaz de prever o comportamento da lagoa frente a uma possível ligação do Rio Urussanga com a Lagoa Urussanga Velha e os resultados são apresentados a seguir. Cabe ressaltar que o sistema *in loco* possui grandes influências periódicas do aumento de maré, o que explica sua alta salinidade. Tal influência não foi adicionada ao modelo por falta de dados experimentais que permitam sua previsão, o que limita a capacidade preditiva do modelo, mas também se caracteriza como um ponto de fundamental importância para que qualquer proposta de redução dos níveis de sal na lagoa tenha sucesso.

4.1 CONCENTRAÇÃO DE SAL

A partir das condições e fenômenos descritos anteriormente, é possível verificar o comportamento que a água do rio Urussanga irá ocasionar na concentração de sal na lagoa.

Figura 3 –Concentração de sal ao longo do tempo.

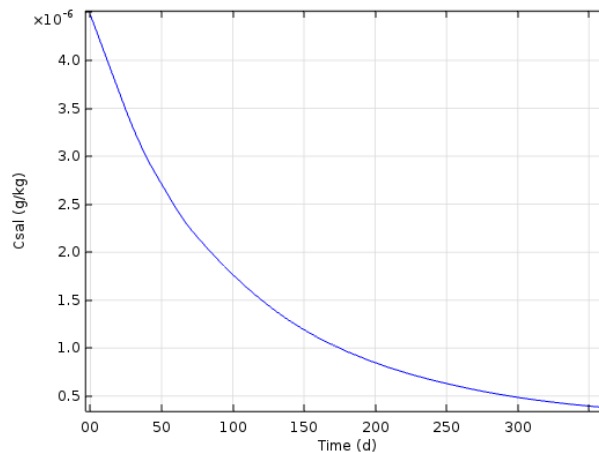


Fonte: Os Autores, 2017.

*(a) Tempo 0 d. (b) Tempo 40 d. (c) Tempo 80 d. (d) Tempo 120 d. (e) Tempo 160 d. (f) Tempo 200 d.

É possível ainda verificar a geração de um vórtice ocasionado pelas posições de entrada e saída de água da lagoa, desenvolvendo algumas zonas de alta concentração de sal, principalmente nas extremidades esquerda e inferior da lagoa (Figura 3). Uma solução para este fenômeno é a mudança da posição de saída da água da lagoa, redirecionando à uma posição na extremidade sul da lagoa, mas para isso é necessário um estudo detalhado da interferência que essa mudança fará no sistema ambiental da região.

Figura 4 – Perfil de concentração média de sal ao longo do tempo.



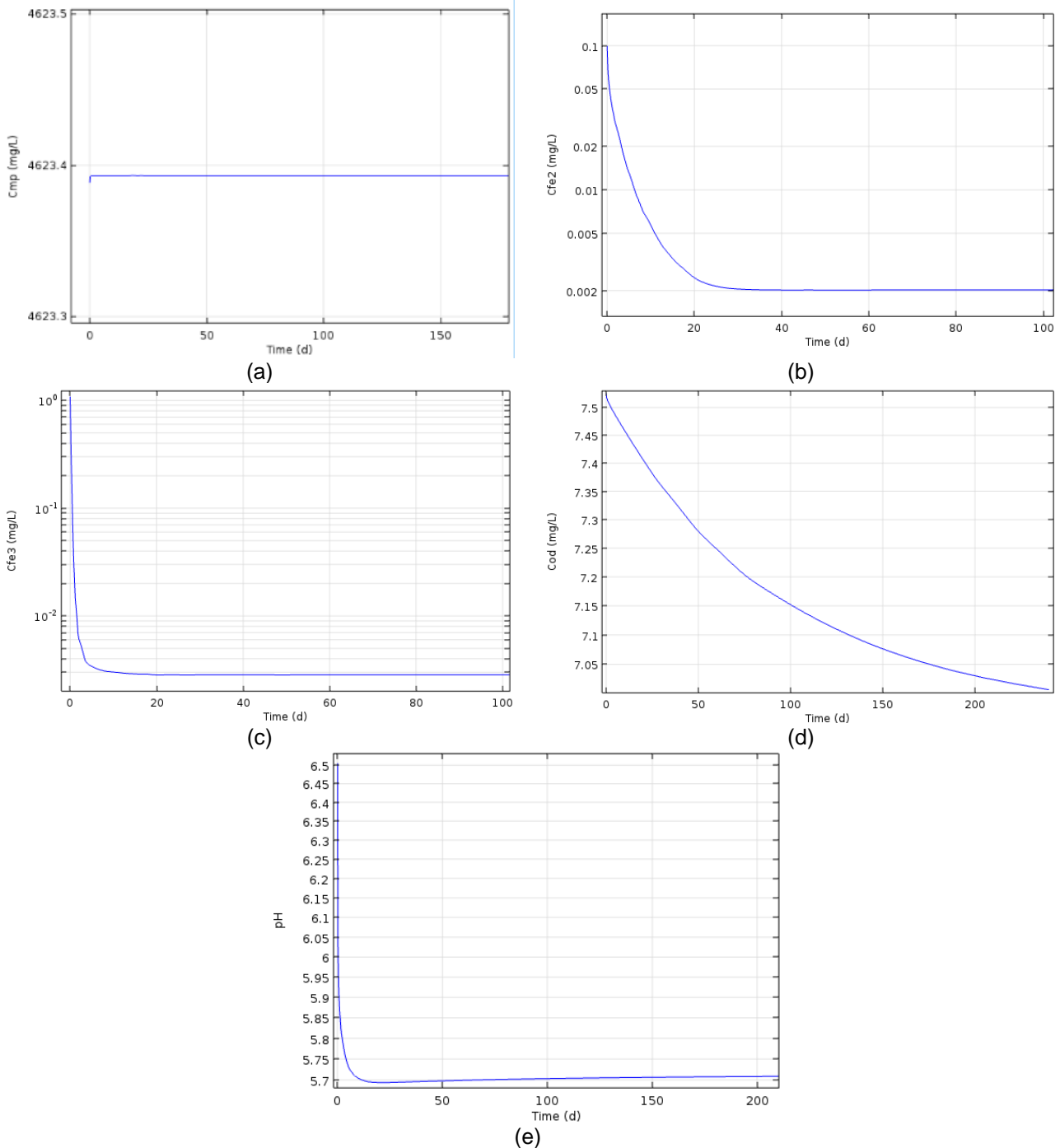
Fonte: Os Autores, 2017.

Caso o canal de ligação proposto seja construído, a concentração prevista de sal apresenta uma redução de 89 % em um período de 350 dias (Figura 4). De acordo com o CONAMA n. 357/2005, para se considerar água doce, a salinidade deve ser igual ou inferior a 0,5 ‰. A simulação prevê esta salinidade sendo alcançada após 300 dias.

4.2 CONCENTRAÇÃO DAS ESPÉCIES QUÍMICAS

Avaliando as concentrações das outras espécies químicas envolvidas no sistema, podemos verificar a forte interferência do rio Urussanga nas concentrações das mesmas.

Figura 5 – Perfil de concentração média das espécies químicas.



Fonte: Dos autores, 2017.

*(a) Material particulado. (b) Fe²⁺. (c) Fe³⁺. (d) Oxigênio dissolvido. (e) pH.

A concentração de material particulado permanece constante (Figura 5–a). Isso ocorre porque a quantidade de sedimento na lagoa é tão elevada que a profundidade média da lagoa não supera 1 m, exceto em períodos de maré alta. Essa baixa profundidade e a natureza do sedimento contribuem para a ressuspensão do material



particulado, o que explica a ineficácia da construção do canal na remoção deste material, sendo necessário a dragagem e deposição adequada deste sedimento.

Para a espécie química Fe^{2+} , é prevista uma redução de 98% de sua concentração em 30 dias, fator esse relacionado a sua velocidade de oxidação, para a formação do Fe^{3+} observada na Figura 5-b, permanecendo constante a sua concentração de $0,002 (mg.L^{-1})$ a partir desse período.

O Fe^{3+} , como já exposto no parágrafo anterior, é produzido a partir da oxidação do Fe^{2+} , aumentando a sua concentração. Por outro lado, este íon é insolúvel em água e possui elevada taxa de sedimentação, o suficiente para uma redução de 99% da concentração de Fe^{3+} em 10 dias, entrando em um regime estacionário (Figura 5-c).

O oxigênio dissolvido apresenta uma redução de 6,5% na sua concentração em 300 dias, cabendo ressaltar que a solubilização natural do oxigênio do ar na água, frente a turbulência gerada pelo vento e principalmente pela abertura hipotética de um canal ligando o rio Urussanga à lagoa Urussanga Velha, não foi considerada no modelo matemático, já que envolvem condições futuras com poucos dados experimentais que permitam sua previsão, sendo apenas previsto o consumo para produção de outras de outras espécies químicas (Figura 5-d). Mesmo não considerando os fatores exemplificado anteriormente, a concentração de oxigênio dissolvido ficou sempre maior que $5 (mg.L^{-1})$, valor este, utilizado como referência, conforme a Resolução CONAMA n. 357/2005.

O pH também sofre uma redução de 12,3% em 20 dias (Figura 5-e), tendo um aumento na concentração de íons H^+ , ficando um pouco a abaixo da faixa de pH ideal (entre 9 a 6), de acordo com Resolução CONAMA n. 357/2005.

5 CONCLUSÃO

A previsão da redução da salinidade da água torna interessante a proposta de um canal ligando o rio Urussanga a Lagoa Urussanga Velha. Porém, deve-se ressaltar que à influência da maré sobre a lagoa, não simulada por falta de dados, sendo necessário uma intervenção física, como a construção de um dique que impeça que a água do mar retorne à lagoa e aumente novamente sua salinidade

A lagoa apresenta em seu estado atual uma quantidade enorme de material particulado, mantendo uma ressuspensão constante com a simples turbulência gerada

pelo vento. Através das previsões do modelo é possível observar que a abertura do proposto canal não resolveria o problema do material particulado, sendo necessária uma ação de dragagem e deposição adequada deste material.

Metais oriundos de drenagem ácida provenientes do rio Urussanga já estão em concentrações baixas e possuem forte tendência a sedimentação. Sendo assim, não causariam grande impacto à lagoa, caso do Ferro. Outros parâmetros de qualidade da água importantes para a sustentabilidade da lagoa são a concentração de oxigênio dissolvido e o pH, sendo que a redução encontrada através da simulação não representa interferência no ecossistema aquático, parâmetros estes estabelecidos pelo Resolução CONAMA n. 357/2005.

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo da alteração da posição do canal de saída da lagoa, avaliando a eficiência da dessalinização juntamente com impacto ambiental que essa mudança fará na localidade. Outro ponto de estudo, é avaliar a influência da maré e alteração do volume total da lagoa em período de cheia, alterando consideravelmente o volume de controle em periódicos de intervalos de tempo.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z.; AGUIAR, A. J. D. **Projeto Mar Catarinense - Gerenciamento Costeiro: Qualidade das Águas.** Tecnol. Ambiente. 6: 75-90 p. 2000.

ARAL, M. M. Principles of Environmental Modeling. In: (Ed.). **Environmental Modeling and Health Risk Analysis (Acts/Risk)**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p.37-61. ISBN 978-90-481-8608-2.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de transporte**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: 2004. 838 p. ISBN 8521613938.

BRASIL, Resolução CONAMA n°357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U

FOUST, A. S. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro : LTC: 1986. 670 p. ISBN 8521610386.

JUNIOR, F. et al. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. São Paulo: Oficina de Textos: 2009. 304 p. ISBN 9788586238888 (broch.).



PEREIRA, J. L. et al. **Estudo de Caracterização de Sedimentos da Lagoa da Urussanga Velha**. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC. Balneário Rincão-SC. 2014

SCHNOOR, J. L. **Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air, and soil**. New York: J. Wiley: 1996. 682 p. ISBN 0471124362.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**. Wiley, 2012. ISBN 9781118591482. Disponível em: <
https://books.google.com.br/books?id=NLV_yfulgkQC >.