

Simulação do comportamento térmico do reservatório do Vacacaí Mirim

Simulation of the temperature dynamics at Vacacaí Mirim reservoir

Vinicius Kuchinski¹, Taiane Menezes Conterato², Maria do Carmo Cauduro Gastaldini³

¹ Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria PPGEC/UFSM, viniciusss@gmail.com

² Doutoranda em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria PPGEC/UFSM, taianconteratto@gmail.com

³ Professora da Universidade Federal de Santa Maria, Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil PPGEC/UFSM, mcarmocg@gmail.com

RESUMO: A estratificação térmica, em lagos e reservatórios, é um fator que pode influenciar, negativamente, a qualidade da água destes corpos hídricos. O reservatório do Vacacaí Mirim possui grande importância em Santa Maria- RS, pois é responsável por 30% do abastecimento urbano local. Utilizou-se o modelo CE-QUAL-W2 para avaliar a estratificação térmica do reservatório do Vacacaí Mirim, utilizando dados monitorados nos anos de 2010 e 2011. Na etapa de calibração, foram obtidos erros médios absolutos (EMA) variando entre 0,2 e 1,8°C e erros padrões (EP) entre 0,2 e 2,5°C. Na validação, os EMAs variaram entre 0,8 e 1,7°C, e os EPs entre 1,1 e 1,9°C. Foi possível verificar o comportamento térmico do reservatório, que apresentou um resfriamento da água entre o outono e o início da primavera. No verão, ocorreu a estratificação térmica, com um aquecimento da camada mais superficial do reservatório, enquanto as camadas mais profundas permaneceram com temperaturas menores, variando de acordo com as alterações hidrodinâmicas e com a intensidade da precipitação.

Palavras-chave: Qualidade da água; reservatório; estratificação térmica; CE-QUAL-W2; calibração.

ABSTRACT: Thermal stratification, in lakes and reservoirs, is a factor that can negatively affect the water quality of these water bodies. The Vacacaí Mirim reservoir has great importance in Santa Maria-RS, since it is responsible for 30% of the local urban supply. The CE-QUAL-W2 model was used to evaluate the thermal stratification of the Vacacaí Mirim reservoir, using monitoring data of 2010 and 2011. In the calibration step, mean absolute error (MAE) ranging between 0.2 and 1.8°C and standard errors (SE) between 0.2 and 2.5°C were obtained. In the validation, the MAEs ranged between 0.8 and 1.7°C, and SEs between 1.1 and 1.9°C. The temperature dynamics of the reservoir was observed, presenting cooling water between the fall and early spring. In the summer, the thermal stratification occurred, with a heating of the outermost layer of the reservoir, while the deeper layers remained at lower temperatures, varying according to the hydrodynamic changes and the intensity of the precipitation.

Keywords: Water quality; reservoir; thermal stratification; CE-QUAL-W2; calibration.

1. INTRODUÇÃO

Os reservatórios são utilizados para geração de energia, agricultura, abastecimento da população, controle de enchentes e recreação. A modelagem de reservatórios pode ser uma ferramenta valiosa, para a compreensão e melhoria das condições desse ecossistema aquático. O esforço requerido aos pesquisadores para a coleta de dados de campo e posterior modelagem, permite compreender melhor os processos que ocorrem nos reservatórios e, portanto, explorar e entender os impactos ocasionados por mudanças operacionais (Rangel-Peraza *et al.*, 2012).

O primeiro passo para a investigação físico-biológica dos processos em reservatórios é a preocupação com o fenômeno da estratificação térmica, como ele se forma e a intensidade do processo, pois a temperatura afeta não só as velocidades das reações e da decomposição da matéria orgânica, como também a concentração espacial e temporal desses elementos e suas alterações na qualidade da água. A temperatura e a estabilidade da água em reservatórios podem ser previstas utilizando modelos matemáticos, e em consequência disso, em caso de problemas ambientais, vários processos podem ser utilizados para melhorar suas condições (Fataei *et al.*, 2014).

Segundo Souza e Gastaldini (2014), a bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim é de grande importância para a cidade de Santa Maria, pois possui sub-bacias de contribuição ao reservatório de abastecimento doméstico, responsável por 30% do abastecimento de água do município, além do reservatório ser utilizado como recreação de contato primário, pois um clube de lazer está situado em suas margens.

A margem direita do reservatório do Vacacaí Mirim possui ocupação urbana, e à esquerda, rural. Grande parte dos efluentes dessas áreas é lançada "in natura" no reservatório, causando poluição no mesmo. Assim sendo, sabe-se que o fenômeno da estratificação térmica afeta a mistura de substâncias na direção vertical, nos lagos e reservatórios, impactando a qualidade da água. Dessa forma, a modelagem da qualidade da água, desses locais, está relacionada com a modelagem de sua estrutura térmica, sendo a temperatura, o primeiro parâmetro a ser modelado.

O CE-QUAL-W2 é um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água, que tem sido aplicado em rios, lagos, reservatórios, estuários e suas combinações. Em relação à hidrodinâmica, o software simula as elevações da superfície da água, velocidades e temperaturas. A simulação da temperatura é

essencial, devido à influência que possui sobre a densidade da água e não pode ser desconsiderada. Já, em se tratando da qualidade da água, qualquer combinação de constituintes pode ser incluída ou excluída do modelo, pois, sendo o algoritmo modular, permite que os constituintes sejam facilmente modificados, através de sub-rotinas adicionais (Cole e Wells, 2013).

O modelo CE-QUAL-W2 se adapta bem ao reservatório do Vacacaí Mirim, visto que é um modelo bidimensional (vertical e longitudinal). Segundo Zhang *et al.* (2015), o modelo é mais adequado para corpos d'água relativamente longos e estreitos, apresentando gradientes de qualidade da água nas direções longitudinal e vertical. Dessa forma, o modelo considera valores médios na direção lateral.

Para facilitar o processo de inserção de dados e, posteriormente a visualização dos resultados, o modelo CE-QUAL-W2 permite que se faça o uso de ferramentas de pré e pós-processamento. Essas ferramentas são criadas para oferecer ao usuário interfaces amigáveis e apresentar os resultados em diferentes formas, aprimorando o seu uso. Neste caso, os softwares w2i e AGPM-2D (ambos desenvolvidos pela Loginetics Inc), se enquadram bem às necessidades, pois o primeiro funciona como ferramenta de pré-processamento e o segundo de pós-processamento.

O objetivo deste trabalho é analisar a estratificação térmica do reservatório do Vacacaí Mirim, utilizando simulações matemáticas, através do modelo CE-QUAL-W2, versão 3.71. E assim, fornecer uma ferramenta útil para a simulação dos demais parâmetros de qualidade da água e para estudos sobre a gestão do reservatório.

Selecionou-se este modelo, pois é um software que fornece melhores resultados para lagos e reservatórios, diferentemente da maioria dos modelos, que apresentam os rios como foco principal. Embora, o CE-QUAL-W2 venha sendo utilizado em alguns países, ele ainda não possui muitas aplicações no Brasil, tendo poucos trabalhos sobre o mesmo.

Além disso, observa-se, em trabalhos presentes na literatura, que o CE-QUAL-W2 é utilizado em locais que apresentam muitos dados disponíveis e longos períodos de monitoramento, o que facilita a calibração. Assim, pretende-se verificar se o modelo é capaz de apresentar bons resultados para um reservatório que possui períodos bastante distintos (homogeneidade térmica e estratificação), e com poucos dados disponíveis de monitoramento da qualidade da água.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O reservatório do Vacacaí Mirim está localizado nas coordenadas geográficas 29°40'31" de latitude sul e 53°47'6" de longitude oeste. Atualmente, a sua capacidade de armazenamento d'água na cota do vertedor é de 3,48 milhões de m³. Apresenta uma área inundada de 0,723 km², profundidade máxima de 15 m e profundidade média de 4,7 m. A localização do reservatório do Vacacaí Mirim é mostrada na Figura 1.

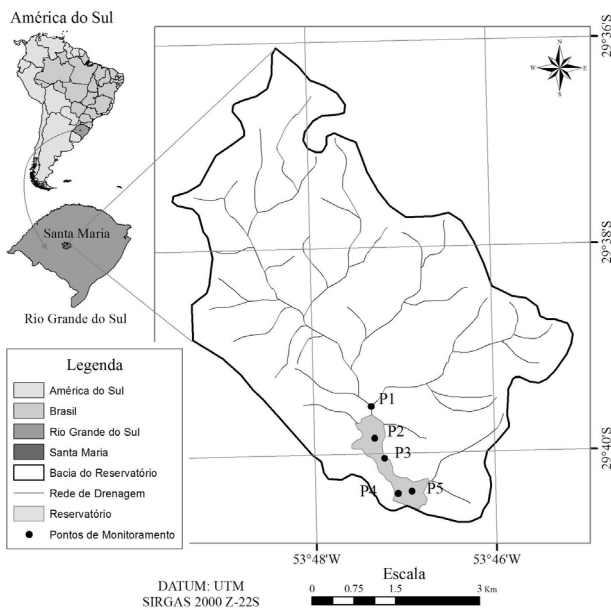


Figura 1. Localização do reservatório do Vacacaí Mirim. Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Batimetria do reservatório

Para a composição da batimetria, baseou-se no mapa de Dill (2002), o qual apresenta as coroa hipsométricas do reservatório, com base no uso de ecobatímetro. Com o auxílio do software w2i, o reservatório foi dividido em 21 segmentos e 15 layers, como apresentado na Figura 2.

A batimetria do reservatório do Vacacaí Mirim foi desenvolvida em softwares de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e CAD. No software de SIG, foram desenhadas as curvas, conforme Dill (2002). Após estas foram importadas para o aplicativo de CAD e foram feitas interpolações, obtendo um mapa com curvas de metro a metro. Em seguida, o reservatório foi dividido em segmentos, e dados de comprimento e altura dos mesmos, foram inseridos em uma planilha eletrônica, disponibilizada pelos desenvolvedores do aplicativo computacional w2i.

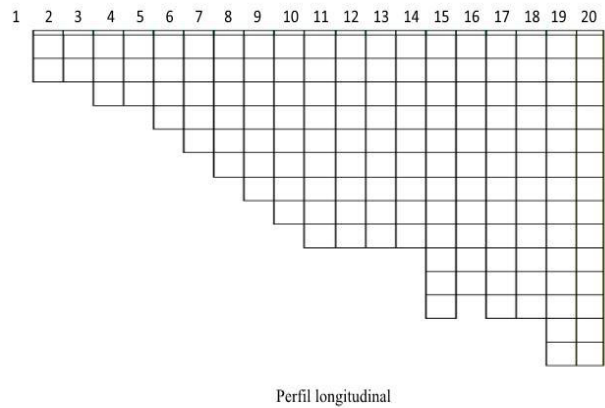
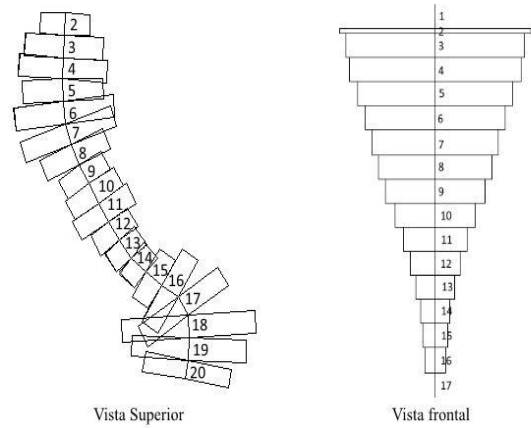


Figura 2. Divisão do reservatório para aplicação do modelo.

2.3 Pontos de monitoramento da temperatura

Burin (2011) monitorou cinco pontos distintos dentro do reservatório, mostrados na Figura 1, totalizando 8 campanhas. O ponto P1 é localizado no exutório do afluente principal ao reservatório, o ponto P2 em uma parte montante e rasa, P3 mais ao centro e os pontos P4 e P5 situam-se no local de captação de água e próximo ao vertedouro, respectivamente. Avaliou os perfis verticais de temperatura na coluna de água, desde a superfície até o fundo, em intervalos de 1 metro, utilizando uma sonda-oxímetro.

Nesta pesquisa, foram apresentados somente os resultados dos pontos P3, P4 e P5, por estarem em locais mais profundos, que caracterizam o comportamento térmico do reservatório.

2.4. Monitoramento hidrológico e meteorológico

O modelo CE-QUAL-W2 somente aceita a entrada de dados em dias julianos. Logo, as datas das 8 campanhas foram convertidas para este sistema, onde considerou-se o dia 01/01/2010 do calendário gregoriano, como sendo o primeiro dia juliano de simulação. Desta forma, as datas das campanhas de monitoramento, nos dias do calendário gregoriano e nos dias julianos, estão apresentadas na Tabela 1.

Para que o modelo consiga representar, de maneira adequada, o comportamento do reservatório, frente às alterações de vazão de entrada e saída, é necessário que se faça o ajuste hidrodinâmico. As primeiras campanhas, portanto, foram consideradas para este fim.

Como existe carência de dados de monitoramento anteriores a 2010, foram utilizados os dados das duas primeiras campanhas, do dia 18/01/2010 e do dia 04/03/2010, para fornecer as características iniciais do local e ajustar as características hidrodinâmicas, uma vez que o tempo de detenção do reservatório é de 87 dias. Dessa forma, as campanhas a partir do dia 14/04/2010 (104 em dias julianos), são as que terão seus resultados considerados na simulação do comportamento térmico.

Tabela 1. Datas das campanhas em dias julianos e o modo de utilização na simulação.

Data	Dia Juliano	Utilização
18/01/2010	18	Ajuste hidrodinâmico
04/03/2010	63	Ajuste hidrodinâmico
14/04/2010	104	Calibração
10/06/2010	161	Calibração
09/08/2010	221	Calibração
06/10/2010	279	Calibração
02/12/2010	336	Calibração
10/02/2011	406	Validação

Os dados de entrada utilizados na modelagem foram obtidos da seguinte maneira: as vazões de entrada no reservatório foram mensuradas por Burin (2011); as vazões de saída foram obtidas junto à empresa responsável pela distribuição de água no município, que forneceu os dados da captação; e os dados meteorológicos de precipitação, temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, direção do vento e cobertura das nuvens, foram obtidos nas estações meteorológicas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do município. Com relação aos dados meteorológicos, a estação que se situava mais próxima do reservatório apresentava dados inconsistentes, com alguns meses sem monitoramento. Optou-se pela utilização dos dados de uma estação espacialmente mais afastada do reservatório, porém, que possuía a série de dados completa. Assim, a distância entre a área de estudo e o local da coleta dos dados

meteorológicos pode ocasionar perturbações no momento da calibração do modelo, uma vez que os dados observados não são exatamente aqueles que ocorreram no reservatório.

2.5. Calibração

Foram utilizadas 5 campanhas de monitoramento para a calibração do modelo. Nesta etapa, é necessário o ajuste dos parâmetros que influenciam na temperatura da água, partindo dos valores recomendados pelo manual do software. De acordo com Cole e Wells (2013), estes parâmetros são: quantidade de radiação solar que atinge a superfície da água (solar shading), coeficientes de evaporação (AFW, BFW e CFW), coeficiente de extinção de luz (light extinction), temperatura de sedimento (TSED) e o coeficiente beta, que controla a fração de radiação solar absorvida pela coluna d'água.

Neste estudo, foram utilizados os erros médios absolutos (EMA) e padrões (EP), para quantificar a eficiência da calibração. As equações 1 e 2 mostram como são calculados estes erros.

$$EMA = \frac{\sum |simulado - observado|}{n^{\circ} observações} \quad (1)$$

$$EP = \sqrt{\frac{(simulado - observado)^2}{n^{\circ} observações}} \quad (2)$$

2.6. Validação

Nesta etapa, os modelos são calibrados com dados de um período de tempo e verificados, com dados de outro período, processo este conhecido como validação (Andrade *et al.*, 2013). Após o modelo devidamente calibrado, foi utilizada a campanha do dia juliano 406 (equivalente a 10 de fevereiro de 2011) para a validação do modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ajuste hidrodinâmico

Para iniciar a modelagem do reservatório, é necessário o ajuste de características hidrodinâmicas, como o balanço hídrico. Este é obtido, a partir do equilíbrio entre as vazões de entrada, saída e do volume do reservatório. Para a simulação em questão, considerou-se o período entre 1 de janeiro de 2010 e 10 de fevereiro de 2011. O resultado do balanço hídrico do reservatório, compreendido na elevação da superfície do mesmo, está representado na Figura 3.

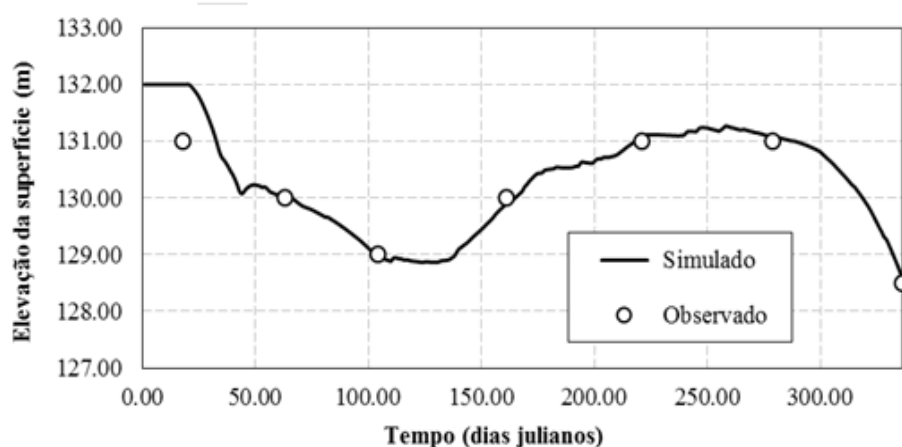


Figura 3. Elevações observadas e simuladas do reservatório do Vacacaí Mirim.

O EMA da calibração do nível do reservatório foi de 0,21m e o EP, de 0,39m. Os resultados da simulação do balanço hídrico foram satisfatórios, uma vez que os valores observados se aproximaram dos simulados pelo modelo, sendo assim, com relação ao comportamento hidrodinâmico do reservatório, o modelo se mostra capaz de representá-lo de maneira fidedigna.

3.2. Calibração

Para a calibração do modelo, partiu-se dos valores sugeridos por Cole e Wells (2013). Os parâmetros do modelo, que afetam a temperatura da água, e seus respectivos valores, obtidos após a calibração, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores obtidos na calibração dos parâmetros.

Parâmetros de calibração	Unidade	Valores
Coeficiente de evaporação A	-	0,01
Coeficiente de evaporação B	-	0,80
Coeficiente de evaporação C	-	2,93
<i>Solar shading</i>	-	1,00
Extinção da luz	m ⁻¹	0,25
Temperatura do sedimento	°C	24,00
Coeficiente <i>beta</i>	-	0,31

A Figura 4 mostra a variação da temperatura, ao longo do perfil longitudinal do reservatório, para as datas simuladas. Desta maneira, é interessante destacar que essa imagem facilita a percepção das alterações sazonais de temperatura, onde há um resfriamento ao longo do outono e, conseqüentemente um aumento da temperatura na primavera, chegando ao seu ápice no verão.

Na Figura 5 é mostrado o resultado da simulação na forma gráfica, onde as abscissas representam a temperatura no interior do reservatório, em função da cota mostrada no eixo das ordenadas, para os locais de amostragem (pontos P3, P4 e P5) e datas das campanhas.

Nota-se, preliminarmente, que o modelo CE-QUAL-W2 tende a representar, de maneira adequada, o comportamento térmico do reservatório. Ao longo de todo o ano observado, há uma variação de temperatura na ordem de 10°C, cuja representação, pelo modelo, foi apropriada. Além disso, pode-se verificar o fenômeno de estratificação térmica no verão, com o início do aumento da temperatura superficial do reservatório, na campanha de 06 de outubro de 2010, e a consolidação em 02 de dezembro de 2010. Conforme a Tabela 3, que informa os erros médios absolutos e padrões para a simulação, tem-se uma variação dos erros médios absolutos entre 0,2 e 1,8 °C e os erros padrões entre 0,2 e 2,5 °C. Dessa forma, foram obtidos baixos erros, podendo considerar as calibrações como satisfatórias. Os maiores EMAs e EPs foram encontrados no dia juliano 336 e nos pontos P4 e P5. Acredita-se que isto tenha ocorrido, pois neste dia, a estratificação térmica foi maior, e sendo estes pontos mais profundos, a possibilidade de se obter grandes variações são maiores, do que no ponto P3.

Para dar maior embasamento à simulação, a seguir, são apresentados alguns trabalhos recentes da literatura, que também fizeram o uso do modelo CE-QUAL-W2.

Deus *et al.* (2013) utilizaram o CE-QUAL-W2 para simulação da qualidade da água no reservatório do Tucuruí. Utilizaram dados monitorados no período de 2007 a 2011, obtendo resultados satisfatórios para a representação dos perfis de temperatura,

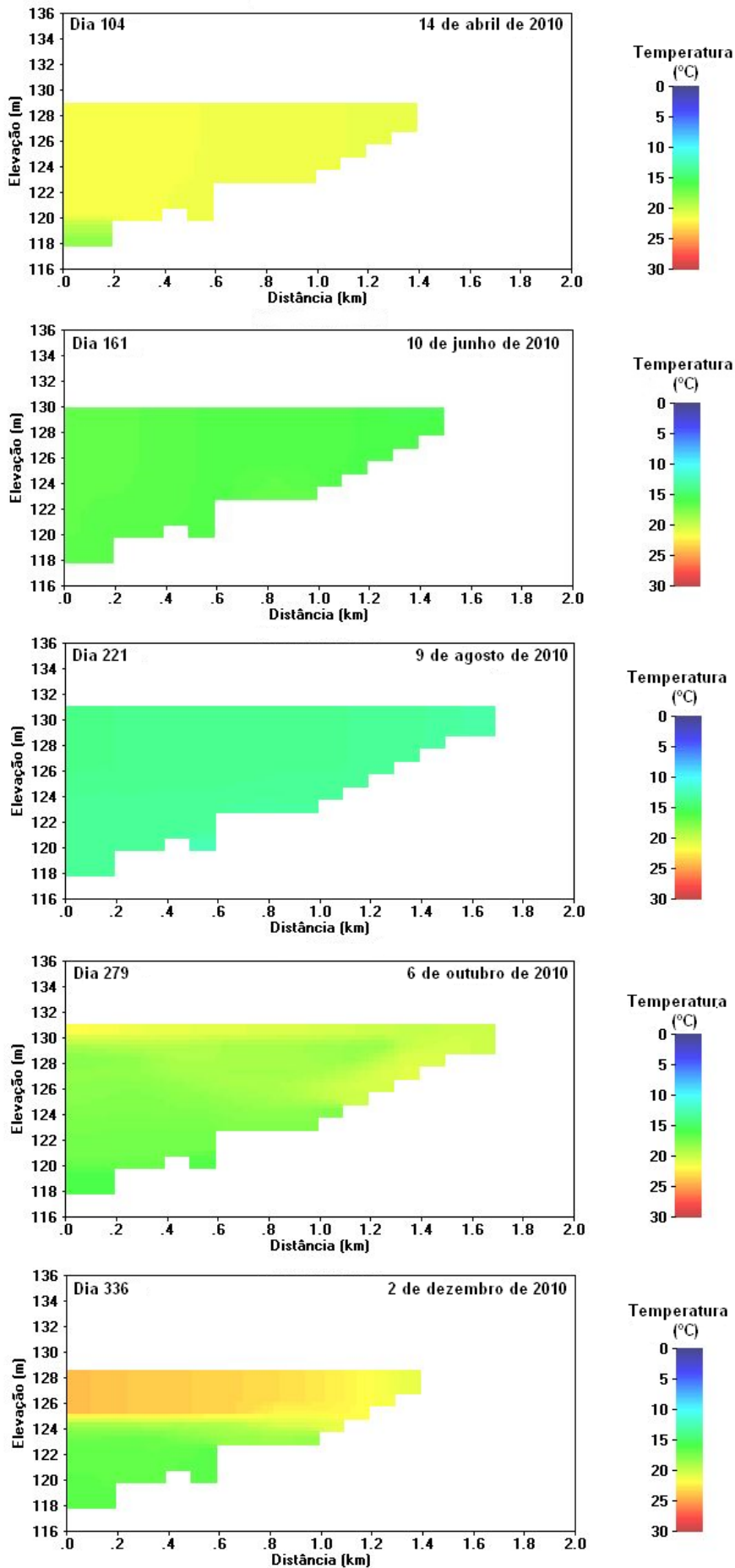


Figura 4. Perfis das variações da temperatura da água no reservatório.

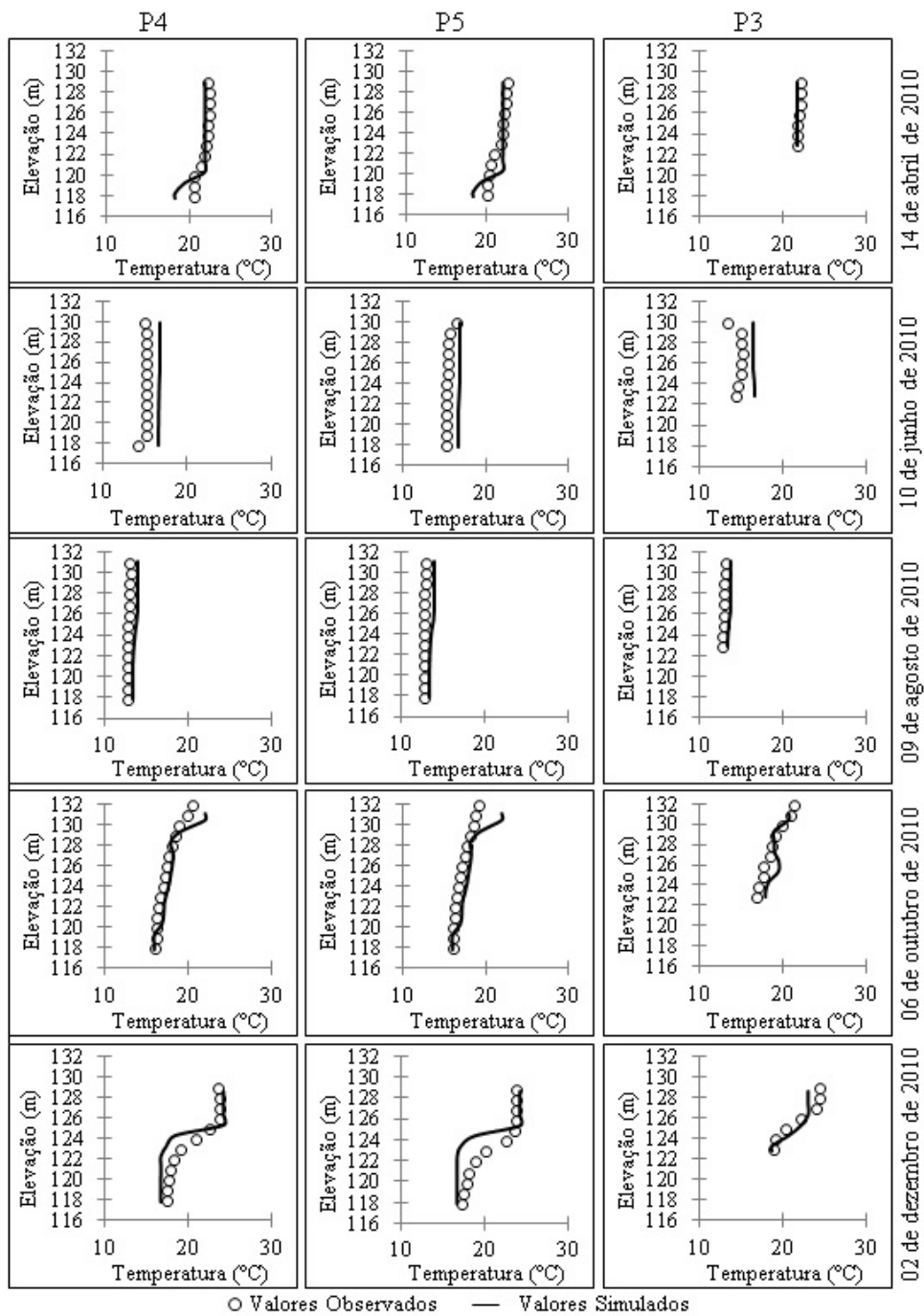


Figura 5. Perfis da temperatura da água observados e simulados.

Tabela 3. Erros médio absolutos e padrões da temperatura simulada, em relação à observada, dados em °C.

Dia Juliano	P3		P4		P5	
	EMA	EP	EMA	EP	EMA	EP
104	0,2	0,2	0,8	1,1	0,7	1,0
161	1,7	1,8	1,5	1,5	1,2	1,2
221	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8
279	0,7	0,9	0,6	0,7	0,8	1,2
336	0,7	0,9	1,5	2,0	1,8	2,5

ao longo do reservatório. Os autores relatam que a simulação da evolução temporal da temperatura da água apresentou grande similaridade com os dados medidos em campo, permitindo a caracterização do transporte longitudinal de cargas de nutrientes para o reservatório.

Silva (2009) simulou a qualidade da água do Lago do Descoberto, situado no Distrito Federal, através do modelo CE-QUAL-W2. O modelo apresentou bons resultados em relação à temperatura, com um erro de 5,64% na calibração deste parâmetro, e conseguiu reproduzir o período de estratificação térmica. A autora relata que, um número maior de dados de entrada poderia reduzir os erros nas etapas de calibração e validação.

Zouabi-Aloui e Gueddari (2014) aplicaram o modelo CE-QUAL-W2 para simulação dos perfis de temperatura na represa Sejnane (Tunísia). Neste local, a temperatura da água apresenta comportamento mais uniforme, durante alguns meses do ano e estratificação nos demais, semelhante ao que ocorre no reservatório do Vacacaí Mirim. Foi obtido um erro médio absoluto entre 0,42 e 0,66°C e o erro padrão variando entre 0,55 e 0,87°C. Para a calibração da temperatura da água e outros parâmetros, os autores realizaram monitoramentos da qualidade da água mensalmente, durante 10 anos, coletando amostras em quatro pontos ao longo da represa. Desta forma, foi possível verificar a qualidade desses dados e analisar os resultados obtidos, diferentemente do que ocorreu com o reservatório do Vacacaí Mirim, que possui poucos dias de monitoramento, podendo ter alguns dados que divergiram da realidade.

Os erros obtidos por Zouabi-Aloui e Gueddari (2014) foram menores do que os obtidos, para a calibração da temperatura da água no reservatório do Vacacaí Mirim. Acredita-se que isto ocorreu devido a um maior número de dados observados e à proximidade da estação meteorológica da represa da Tunísia.

Fataei *et al.* (2014) aplicaram o modelo CE-QUAL-W2 para simular a estratificação térmica do reservatório Seymareh, situado no sudoeste do Irã. Relatam que, como a estratificação térmica pode alterar o oxigênio dissolvido, a determinação do comportamento da temperatura se torna importante para a análise da qualidade da água. O erro médio absoluto encontrado variou de 0,1 a 2,4°C. Ainda, ressaltam que os dados meteorológicos utilizados para a calibração, são dados diários obtidos, através de uma estação bastante próxima do reservatório. Já, a temperatura da água de entrada no modelo foi obtida através de equações da temperatura da água do rio afluente ao reservatório.

Também, analisando o comportamento térmico, Lee *et al.* (2012) utilizaram o modelo CE-QUAL-W2 para avaliar os efeitos de mudanças climáticas na estrutura térmica dos lagos, na região de clima de monção na Ásia. Para a simulação da temperatura, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios pelos autores, apresentando um erro médio de 3,17°C.

3.3. Validação

Na etapa de validação, utilizou-se a data de 10 de fevereiro de 2011, para confirmar a aplicabilidade do modelo nesta área de estudo. Assim, na Figura 6 são mostrados os perfis de temperatura na coluna da água e o perfil longitudinal de temperatura do reservatório.

É destacável a estratificação que ocorre no reservatório, ao final do verão, uma vez que o corpo hídrico vai acumulando energia ao longo do período de primavera e verão. Assim, tem-se o pico de temperatura superficial do reservatório, próximo aos 30°C, enquanto que, em profundidade, o valor da temperatura é próximo a 20°C.

Os erros encontrados na validação estão mostrados na Tabela 4. Assim, tem-se que a calibração da temperatura da água no modelo CE-QUAL-W2 foi satisfatória, pois apresentou baixos erros, também na validação. Os EMAs variaram de 0,8 a 1,7 °C e o EPs, entre 1,1 e 1,9°C.

4. CONCLUSÕES

A estratificação térmica do reservatório do Vacacaí Mirim, em Santa Maria- RS foi avaliada, utilizando modelagem da qualidade da água, através do software CE-QUAL-W2. Para tanto, foram utilizados dados de monitoramento dos perfis de temperatura, ao longo do reservatório, nos anos de 2010 e 2011. Assim, os dados de 2010 foram utilizados para o ajuste hidrodinâmico e calibração do modelo e os dados de 2011, para a validação.

A calibração do modelo pode ser considerada satisfatória, e isso pode ser verificado pela variação do erro encontrado nas simulações. Para o erro médio absoluto, o valor mínimo foi de 0,2°C e o valor máximo, 1,8°C, sendo este encontrado no período de maior variação térmica, no início do verão. Da mesma forma, obteve-se um erro padrão variando de 0,2 até 2,5°C. Na etapa de validação, o modelo apresentou resultados semelhantes para o reservatório do Vacacaí Mirim, com o erro absoluto variando de 0,8 a 1,7°C e o erro padrão, de 1,1 a 1,9°C.

Com o modelo devidamente calibrado, foi possível verificar que o fenômeno de estratificação térmica,

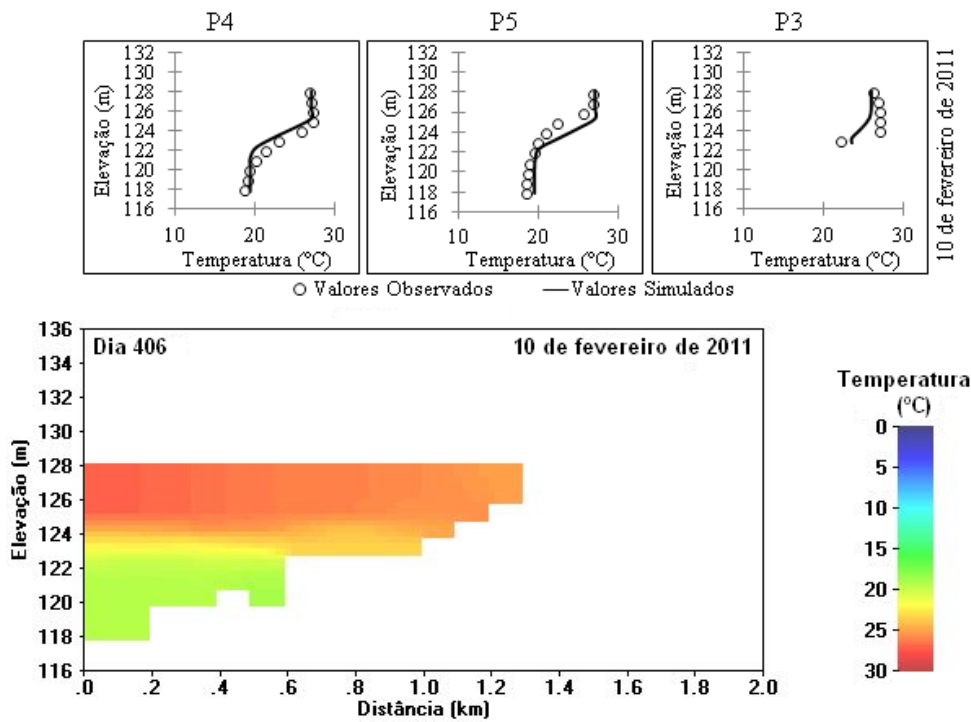


Figura 6. Validação da temperatura da água.

Tabela 4. Erros médios absolutos e padrões obtidos na validação, dados em °C.

Dia Juliano	P3		P4		P5	
	EMA	EP	EMA	EP	EMA	EP
406	1,7	1,9	1,2	1,8	0,8	1,1

retratado por Burin (2011), também aconteceu nas simulações. Ocorreu um resfriamento do volume de água do reservatório, entre o outono e o inverno e, no início da primavera, a temperatura superficial começou a aumentar. Assim, no período do verão ocorreu a consolidação da estratificação, com as temperaturas superficiais aumentando de 12°C para 27°C, porém a temperatura, em profundidade, na coluna de água não acompanha esta variação. Acredita-se que, o modelo poderia ter apresentado resultados mais satisfatórios, se existissem uma maior quantidade de dados monitorados e uma estação meteorológica, em funcionamento, próxima ao reservatório. Porém, os resultados obtidos conseguiram representar o comportamento do reservatório no período, demonstrando a capacidade do modelo em apresentar bons resultados em diversas situações.

Por fim, tem-se o modelo calibrado, em funcionamento, para que trabalhos futuros possam ser desenvolvidos neste importante reservatório, que abastece grande parte do município de Santa Maria, a maior cidade da região central do Estado

do Rio Grande do Sul. Desta forma, será possível a utilização do modelo CE-QUAL-W2 para simulações de qualidade da água, haja vista, que a calibração hidrodinâmica e térmica são pré-requisitos para tal.

REFERÊNCIAS

Andrade, M. A., Mello, C. R., Beskow, S. (2013). Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol.17, n.º 1. 69-76.

Burin, R. (2011). *Variabilidade da qualidade da água e do estado trófico do reservatório do Vacacaí Mirim*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

Cole, T. M., Wells, S. A. (2013). *CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model: user manual*. U.S. Vicksburg: Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Versão 3.71. 783p.

- Deus, R., Brito, D., Mateus, M., Kenov, I., Fornaro, A., Neves, R., Alves, C. N. (2013). Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model. *Journal of Hydrology*. Vol. 487. 1–12.
- Dill, P. R. J. (2002). *Assoreamento do reservatório do Vacacaí Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
- Fataei, E., Moghadam, D. A., Nasehi, F. (2014). Prediction of thermal stratification of Seymareh Damusing CE-QUAL-W2 model. *Advances in Bioresearch*. Vol. 5, n.º 1. 150-159.
- Lee, H. W., Kim, E. J., Park, S. S., Choi, J. H. (2012). Effects of climate change on the thermal structure of lakes in the Asian Monsoon Area. *Climatic Change*. Vol. 112, n.º 3. 859–880.
- Rangel-Peraza, J. G., Obregon, O., Nelson, J., Williams, G. P., Anda, J., Gonzáles-Farías, F., Miller, J. (2012). Modelling approach for characterizing thermal stratification and assessing water quality for a large tropical reservoir. *Lakes e Reservoirs: Research and Management*. Vol.17, n.º 2. 119-129.
- Silva, G. V. (2009). *Simulação bidimensional da qualidade da água do Lago do Descoberto (DF/GO)*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Souza, M. M., Gastaldini, M. C. C. (2014). Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol.19, n.º 3. 263-274.
- Zhang, Z., Sun, B., Johnson, B. E. (2015). Integration of a benthic sediment diagenesis module into the two dimensional hydrodynamic and water quality model – CE-QUAL-W2. *Ecological Modelling*. Vol.297. 213-231.
- Zouabi-Aloui, B., Gueddari, M. (2014). Two-dimensional modelling of hydrodynamics and water quality of a stratified dam reservoir in the southern side of the Mediterranean Sea. *Environmental Earth Sciences*. Vol.72. 3037-3051.