

## XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA LAGOA DOS QUADROS - RS

*Bruna Baggio Giordani<sup>1</sup>; Camila Bergmann Goulart<sup>2</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>3</sup> & Rodrigo Paiva<sup>4</sup>*

**Resumo:** Entender o comportamento hidrodinâmico de grandes corpos d'água é de extrema relevância para a gestão dos recursos hídricos. Este trabalho teve como objetivo entender o comportamento hidrodinâmico da Lagoa dos Quadros, importante corpo hídrico da bacia do rio Tramandaí, localizada no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. Para tal, foi utilizado o modelo Delft3D com discretização bidimensional, em um período de simulação de dois anos (janeiro de 2018 a março de 2020). O modelo foi calibrado com dados de nível observados na principal saída do sistema (o canal João Pedro) e com base em níveis do satélite ICESat 2 em estações virtuais na lagoa. Ainda, a temperatura da água foi calibrada com dados observados no centro da lagoa. A calibração do modelo para níveis e temperatura da água se mostrou adequada para o período simulado. Os resultados da simulação mostraram como a alternância dos ventos predominantes (sudeste e nordeste) na região podem influenciar a circulação ou hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros. Ainda, o tempo de residência resultante indica uma elevada capacidade de amortecimento das vazões e cargas oriundas da bacia contribuinte. Em relação à temperatura da água, o modelo foi capaz de representar bem a sazonalidade do padrão climático, o que é importante para regulação das taxas de decaimento em um futuro modelo de qualidade da água da lagoa.

**Palavras-Chave** – hidrodinâmica; Lagoa dos Quadros; Delft3D.

#### INTRODUÇÃO

Ecossistemas como lagos e reservatórios vêm sendo afetados devido às mudanças climáticas e atividades antrópicas, alterando os processos hidrológicos nas bacias de contribuição e provocando mudanças significativas nos níveis de água e nos componentes hidrodinâmicos (LEGESSE *et al.*, 2004). Essas variações no volume de água desempenham um papel crucial nos processos físicos, impactos ambientais e implicações socioeconômicas, como, por exemplo, problemas de qualidade da água durante períodos de baixos níveis de água (Khan *et al.*, 2015). Assim, é importante entender os processos hidrodinâmicos dos lagos, pois são eles que controlam a dinâmica do ecossistema aquático, como fitoplâncton, heterogeneidade espacial, transporte de sedimentos e correntes de densidade (e.g. CURTARELLI *et al.*, 2015; QUI *et al.*, 2016).

Segundo Ji (2008), grandes corpos d'água como os lagos se distinguem de rios e estuários em função de características como velocidade da água relativamente baixa, vazões de entrada e saída relativamente baixas (alto tempo de residência), desenvolvimento de estratificação vertical, além da atuação como depósitos de sedimentos, toxinas e nutrientes. A principal diferença, destacada por Ji (2008), é a velocidade do fluxo de água: enquanto em rios o processo de advecção é geralmente muito mais significativo que o processo de mistura, em lagos, devido às menores velocidades da água, o processo de advecção pode ser comparável ou até menor que o processo de mistura. Diferente de rios,

---

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), brunagiordani2@gmail.com.

2) Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná (DHS-UFPR), camilabgoulart@gmail.com.

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), fernando.fan@ufrgs.br.

4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), rodrigocdpaiva@gmail.com.

Ji (2008) comenta, também, que devido ao alto tempo de residência alguns processos químicos e biológicos podem passar a ser significativos na coluna d'água de lagos, influenciando, inclusive, em aspectos hidrodinâmicos. Ainda, o autor salienta que lagos geralmente apresentam padrões de circulação e processos de mistura muito mais complexos, que são amplamente afetados pela morfologia (largura, profundidade e área superficial), estratificação vertical, condições hidrológicas, e condições meteorológicas.

O vento também é um fator externo que exerce grande influência nos processos hidrodinâmicos. Essa influência é considerada por Ji (2008) como um fator chave na circulação e uma fonte expressiva de energia para a mistura vertical e ressuspensão de sedimentos. Quando o vento sopra em um lago, ele exerce uma tensão de cisalhamento na superfície da água, resultando na transferência de momento do ar para a água, o que, por sua vez, faz com que a água da superfície se mova na direção do vento. Em lagos rasos a turbulência induzida pelo vento pode ocorrer em todas as profundidades, aumentando significativamente a ressuspensão de sedimentos (JI, 2008).

Tendo em vista a importância do estudo da hidrodinâmica de lagos e os fatores que a influenciam, este estudo teve o propósito de analisar a hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros, localizada no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. Por meio de modelagem computacional, buscou-se entender o comportamento de níveis e vazões da lagoa, caracterizar o efeito do vento no padrão de circulação, estimar o tempo de residência, bem como caracterizar o comportamento da temperatura da água na lagoa.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

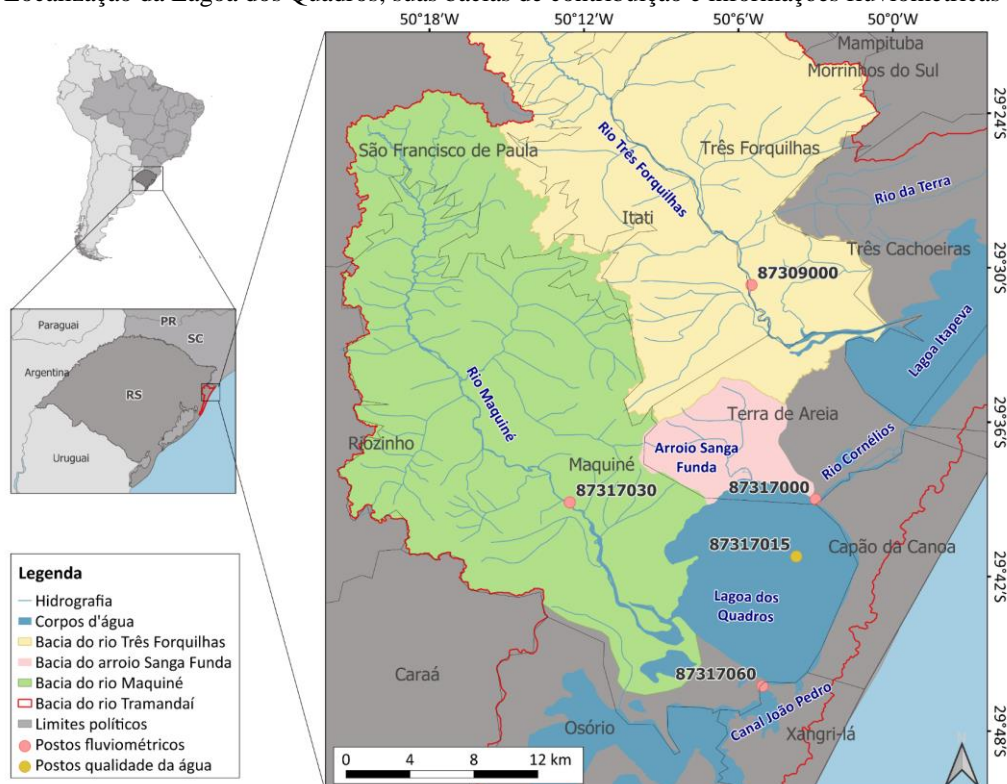
A Lagoa dos Quadros está situada nos municípios de Capão da Canoa e Maquiné, Rio Grande do Sul. Pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Tramandaí (Figura 1), a Lagoa dos Quadros possui uma área de contribuição de aproximadamente 1.720 km<sup>2</sup> e espelho d'água de 120,6 km<sup>2</sup>, com uma profundidade média de 3 m e máxima de 3,9 m. Constitui-se como um corpo hídrico importante para o sistema lagunar Norte, sendo a segunda maior lagoa da bacia em termos de área superficial e a primeira em termos de capacidade de armazenamento. Esta lagoa, assim como as demais lagoas integrantes da bacia do rio Tramandaí, tem uma grande importância econômica, ambiental e social para a região litorânea do estado (CASTRO; MELLO, 2019). Em termos de usos da água, a Lagoa dos Quadros é uma importante fonte para abastecimento humano, irrigação e pesca, (SILVA, 2015), além da conservação da biodiversidade (MALABARBA *et al.*, 2013) e lazer. Os principais tributários da Lagoa dos Quadros são os rios Maquiné, com aproximadamente 586 km<sup>2</sup> de área de drenagem, e o rio Cornélios, o qual recebe o fluxo de água da lagoa Itapeva. O canal João Pedro é um canal natural que regula o fluxo para jusante, desaguando num complexo de lagoas que segue, pelo rio Tramandaí, até o estuário que se interliga com o Oceano Atlântico (SEMA/STE S.A., 2019).

### Modelo numérico e discretização do sistema

A simulação hidrodinâmica do sistema foi realizada com o software Delft3D (Deltares, 2023), capaz de calcular escoamentos instáveis não permanentes e fenômenos de transporte resultantes de efeitos de maré ou forçantes meteorológicas, em um grid retangular ou curvilíneo. Para este estudo, foi feita uma modelagem bidimensional e utilizada uma grade regular. O módulo resolve as equações de Navier-Stokes para um fluido incompressível, levando em conta a hipótese de Boussinesq. As principais equações governantes são a equação da continuidade e de conservação de momento. Maiores informações sobre o modelo são descritas em Deltares (2023).

Para discretização da Lagoa dos Quadros foram utilizados arquivos de isoprofundidades disponibilizados pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH) do Estado do Rio Grande do Sul. Estes arquivos são provenientes dos estudos realizados no âmbito do Plano de Bacia do Rio Tramandaí (PROFILL; SEMA, 2005; SEMA; STE S.A., 2019). A grade bidimensional regular gerada possui células de aproximadamente 100 m x 100 m, resultando no total de 12.696 elementos. A grade e batimetria resultante, juntamente com as condições de contorno consideradas, podem ser observadas na Figura 2.

Figura 1 – Localização da Lagoa dos Quadros, suas bacias de contribuição e informações fluviométricas disponíveis.



## Dados disponíveis

Foram utilizados, para definição das condições de contorno e calibração do modelo, dados de 4 estações fluviométricas e/ou de qualidade da água (87317030, 87316000, 87317060 e 87317015) localizadas na Lagoa dos Quadros e entorno, cuja localização foi apresentada na Figura 1. Dados de nível d'água de satélite também foram utilizados como auxílio na calibração do modelo. Diversos estudos recentes têm utilizado dados de sensoriamento remoto baseados em altimetria por satélite para validar modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, como os estudos de XU *et al.* (2021) e Chen *et al.* (2022) que utilizaram dados do satélite ICESat-2. Assim, os dados do satélite ICESat-2 (JASINSKI *et al.*, 2021), obtidos através da interface <https://openaltimetry.org/>, foram utilizados para derivar os níveis da água da lagoa a partir da passagem dos satélites em estações virtuais ao longo desta.

As forçantes meteorológicas são informações utilizadas para o balanço térmico e influenciam no padrão de circulação da lagoa. Foram utilizadas as séries horárias de radiação, direção e velocidade do vento da estação climatológica de Tramandaí, operada pelo INMET (Estação A834), que fica distante aproximadamente 35 km da Lagoa dos Quadros. Já as séries horárias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação foram obtidas da estação climatológica de Torres (A808), a qual fica distante 50 km da lagoa, devido à elevada quantidade de falhas nos dados da estação de Tramandaí.

## Período de simulação e métricas de calibração

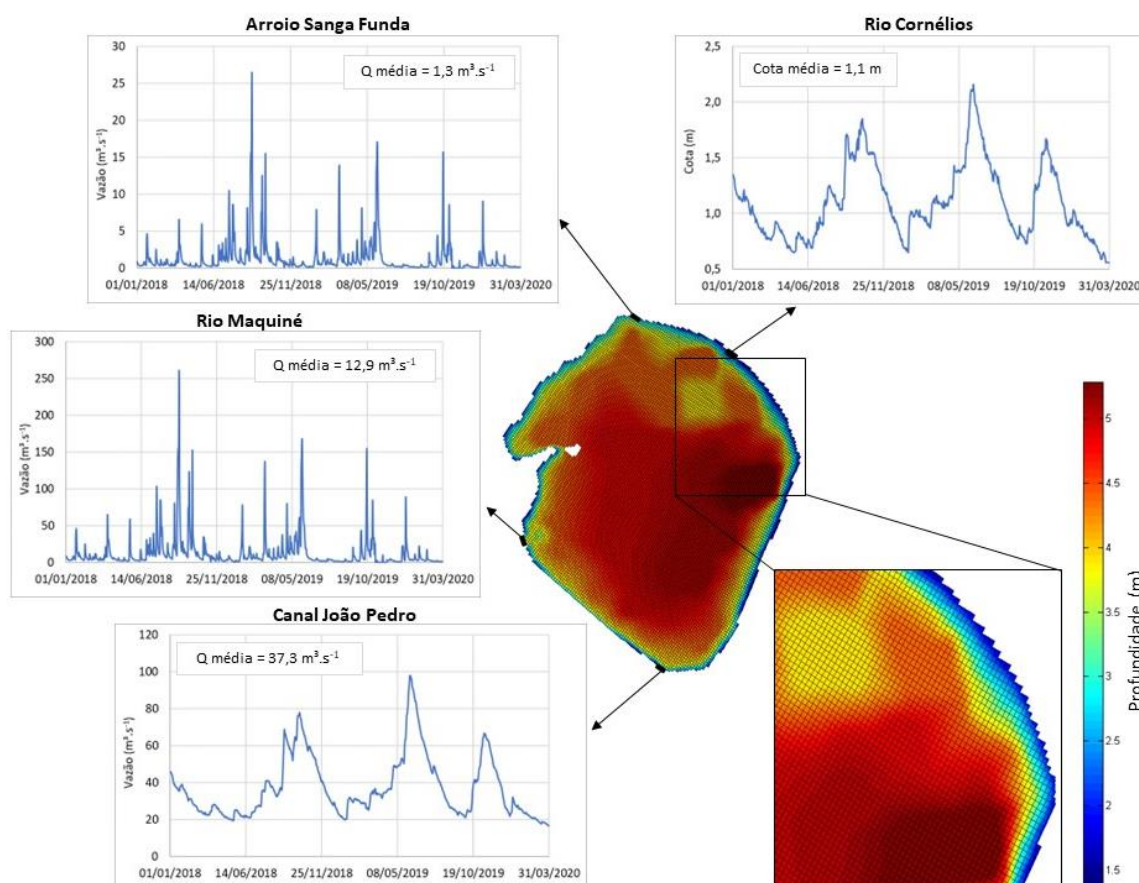
O período de simulação adotado foi de janeiro de 2018 a março de 2020, em que os primeiros três meses (janeiro a março de 2018) foram utilizados para aquecimento do modelo e os demais para o cálculo das métricas de calibração, totalizando assim um período de 2 anos analisados. Este período foi selecionado levando em consideração os fatores de tempo computacional do modelo e a disponibilidade de dados de qualidade da água na lagoa, visando uma posterior aplicação do modelo hidrodinâmico acoplado ao modelo de qualidade da água. Como métricas de avaliação ou medidas de desempenho foram consideradas: o viés (BIAS), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS).

De acordo com Schwarzbald & Schäfer (1984), a ação dos ventos na região litorânea do Rio Grande do Sul é muito importante, pois seus efeitos são sentidos em toda a planície, sendo as direções predominantes a nordeste (NE) e a sudoeste (SW). Para identificar a real influência do vento na hidrodinâmica da lagoa foram simulados dois cenários: um cenário com vento (utilizado como referência para calibração) e um cenário sem vento. Também foi avaliado o padrão de circulação, no cenário com a influência do vento, a partir de flutuadores virtuais.

## Condições de contorno

As condições de contorno da Lagoa dos Quadros foram definidas de acordo com as entradas e saídas do sistema. De entradas, os rios Maquiné e arroio Sanga Funda (série de vazões) e rio dos Cornélios (série de níveis). De saída, o canal João Pedro (série de vazões), obtidas no portal Hidroweb, ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A representação do escoamento nos pontos de entradas e saída foi realizada mediante disponibilidade de dados. A Figura 2 apresenta as séries temporais de vazões e níveis utilizadas na simulação.

Figura 2 – Séries de vazão e nível utilizadas como condição de contorno no modelo.



As vazões do rio Maquiné foram obtidas da estação 87317030, que fica distante aproximadamente 14 km da entrada na lagoa. Assim, foi utilizada a proporção entre a área de drenagem da estação (442 km<sup>2</sup>) e a área de drenagem do rio Maquiné, considerando como exutório a entrada na Lagoa dos Quadros (586 km<sup>2</sup>), para obter a série de entrada. Para as vazões do arroio Sanga Funda, também se considerou a série da estação 87317030 com proporção de área com a bacia do respectivo arroio, que tem aproximadamente 60 km<sup>2</sup>. No rio Cornélios foi utilizada a série de níveis da estação 87316000, corrigindo o referencial da régua limnimétrica com o valor de 0,57 m (SEMA/STE S.A, 2019) para realizar a compatibilização com o referencial da batimetria. Já a série de vazões usada como condição de contorno no canal João Pedro foi obtida a partir da série de níveis e da curva-chave da estação 87317060 (Equação 5). Cabe ressaltar que só existe uma curva-chave disponível no Hidroweb (ANA, *s.d*), que indica validade de 1981 a 1987, podendo acarretar incertezas nas vazões geradas.

Ainda, foram utilizadas as captações outorgadas durante o período de simulação. Dados de captações foram considerados constantes ao longo do período e obtidos junto ao Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul, disponível na plataforma SIOUT-RS: <http://www.siout.rs.gov.br/sig/>. A Tabela 1 apresenta um resumo das captações estabelecidas como condição de contorno para a Lagoa dos Quadros. As condições iniciais, como nível da lagoa e outros parâmetros físicos e numéricos utilizados nas simulações são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Sumário das captações superficiais de condição de contorno para a Lagoa dos Quadros.

Latitude (°)	Longitude (°)	Finalidade	Vazão (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Meses de operação
-29,77	-50,07	Irrigação	0,04	Dezembro, janeiro e fevereiro
-29,66	-50,04	Irrigação	0,017	Dezembro, janeiro, fevereiro e março
-29,75	-50,05	Abastecimento público	0,65	Constante

Tabela 2 – Condições iniciais, parâmetros físicos e numéricos utilizados na simulação.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Condição inicial nível (m)	1,35	Densidade do ar (kg.m <sup>-3</sup> )	1,0
Condição inicial temperatura da água (°C)	25	Rugosidade de fundo ( s.m <sup>-1/3</sup> )	0,04 s.m <sup>-1/3</sup>
Passo de tempo (s)	60	Coefficiente de viscosidade turbulenta ( m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	1,0
Aceleração da gravidade (m.s <sup>-2</sup> )	9,81	Coefficiente de difusividade ( m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	10,0
Massa específica da água (kg.m <sup>-3</sup> )	1.000		

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Calibração do modelo

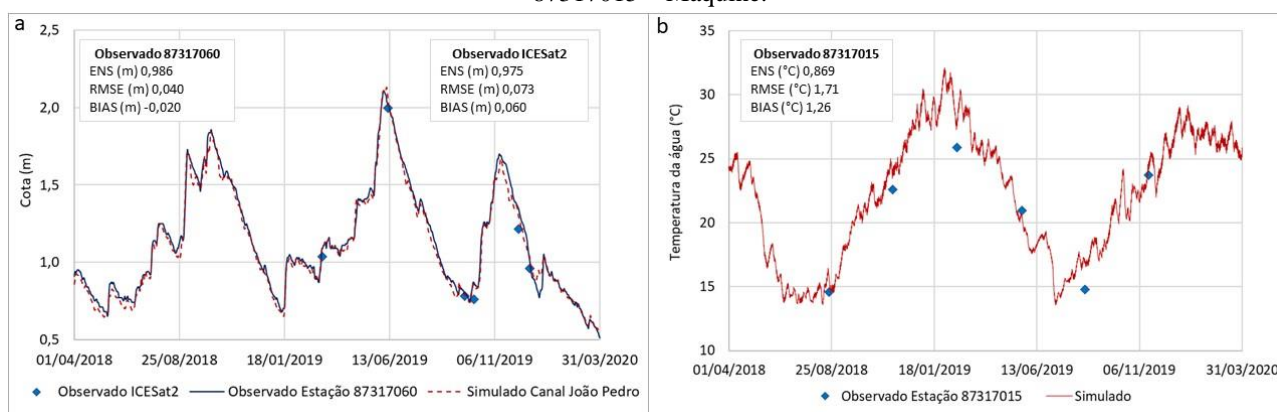
Para o ajuste do modelo hidrodinâmico foram verificados os níveis simulados no ponto de saída, canal João Pedro (Figura 3-a), após compatibilização do nível 0 das régua limimétricas utilizando o valor de 0,45 m (SEMA/STE S.A, 2019), uma vez que no modelo foi considerada a referência como o nível do mar. Ressalta-se que, neste local, foi utilizada como condição de contorno a série de vazões calculada pela curva-chave do posto 87317060. É possível observar que o modelo representou bem as variações de nível na lagoa, com um ENS de 0,986, RMSE de 0,04 m e BIAS de -0,02 m. Isto indica que a curva-chave utilizada é válida para o período simulado.

Durante o período simulado foi verificada a passagem do satélite ICESat-2 em 6 estações virtuais na Lagoa dos Quadros. Como as variações espaciais de níveis no modelo foram praticamente imperceptíveis, os dados das estações virtuais do ICESat-2 foram comparados com os níveis no canal João Pedro (Figura 3-a). As métricas de desempenho foram: ENS de 0,975, RMSE de 0,073 m e BIAS de 0,060 m. A acurácia dos resultados foi consistente com acurácias encontradas em outros

estudos que usaram dados de níveis derivados de ICESat para comparação (e.g. MUNAR *et al.*, 2017).

Os resultados da calibração do modelo para temperatura da água são apresentados na Figura 3-b, em que é feita a comparação dos valores simulados com os dados medidos na estação 87317015. É possível observar que o modelo representa bem o padrão da mudança de temperatura, com ENS de 0,869, RMSE de 1,71 °C e BIAS de 1,26 °C. O modelo foi capaz de representar bem a sazonalidade do padrão climático em termos de temperatura da água, o que é importante para regulação das taxas de decaimento em um futuro modelo de qualidade da água da lagoa.

Figura 3 – Resultados da calibração do modelo com base em dados observados. a) Níveis simulados, observados na estação 87317060 – João Pedro e observações do satélite ICESat2; b) Temperatura simulada e observada na estação 87317015 – Maquiné.



## Hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros

Durante o período simulado (janeiro de 2019 a março de 2020) foi obtida uma amplitude de níveis de 1,6 m, sendo o nível máximo alcançado de 2,1 m e o mínimo de 0,5 m (ao final da simulação), em relação ao nível do mar. O comportamento dos níveis na lagoa é influenciado principalmente pelas descargas fluviométricas das bacias contribuintes, apresentando, portanto, forte relação com o regime pluviométrico destas. Isto pode ser observado na diferença entre o padrão de vazões afluentes do rio Maquiné (Figura 2) e a posterior resposta no nível da Lagoa dos Quadros (Figura 3-a).

O campo de velocidades obtido no dia de nível máximo da Lagoa dos Quadros (10 de junho de 2019) para o período simulado pode ser observado na Figura 4-a para cenário com a influência do vento e Figura 4-b para cenário sem a influência do vento. Nota-se que as maiores velocidades são observadas nas condições de contorno e nas regiões mais rasas da lagoa. Estas regiões sofrem influência da velocidade e direção do vento (na figura o vento Nordeste – NE), que podem formar zonas de circulação no interior da lagoa. Estes resultados vão ao encontro do que foi verificado no estudo de Cardoso, Silveira & Marques (2003), que avaliou a ação do vento na hidrodinâmica na lagoa Itapeva e concluiu que este influencia diretamente em variáveis hidrológicas.

Na Figura 5 são apresentadas as séries temporais de velocidades em diferentes pontos da Lagoa dos Quadros comparando os cenários com e sem a influência do vento. Observa-se que na entrada próxima ao rio Cornélias não ocorre diferença significativa (velocidade média sem vento 0,013 m.s<sup>-1</sup> e com vento 0,014 m.s<sup>-1</sup>). Neste local as velocidades são controladas predominantemente pelas vazões de entrada, reguladas pela condição de contorno inserida no modelo, a qual possui, de forma indireta, os efeitos do vento considerados já que se trata de níveis observados. Na região mais rasa da lagoa a influência é significativa: velocidade média sem vento de 0,0037 m.s<sup>-1</sup> e com vento de 0,019

$\text{m.s}^{-1}$ . Já na região de maior profundidade, é possível verificar influência dos ventos, mas com menor intensidade, sendo a velocidade média sem vento de  $0,0044 \text{ m.s}^{-1}$  e com vento de  $0,0082 \text{ m.s}^{-1}$ .

Figura 4 – Campo de velocidades obtido no dia nível máximo da Lagoa dos Quadros (2,1 m em 10 de junho de 2019).  
a) Cenário com vento; b) Cenário sem vento.

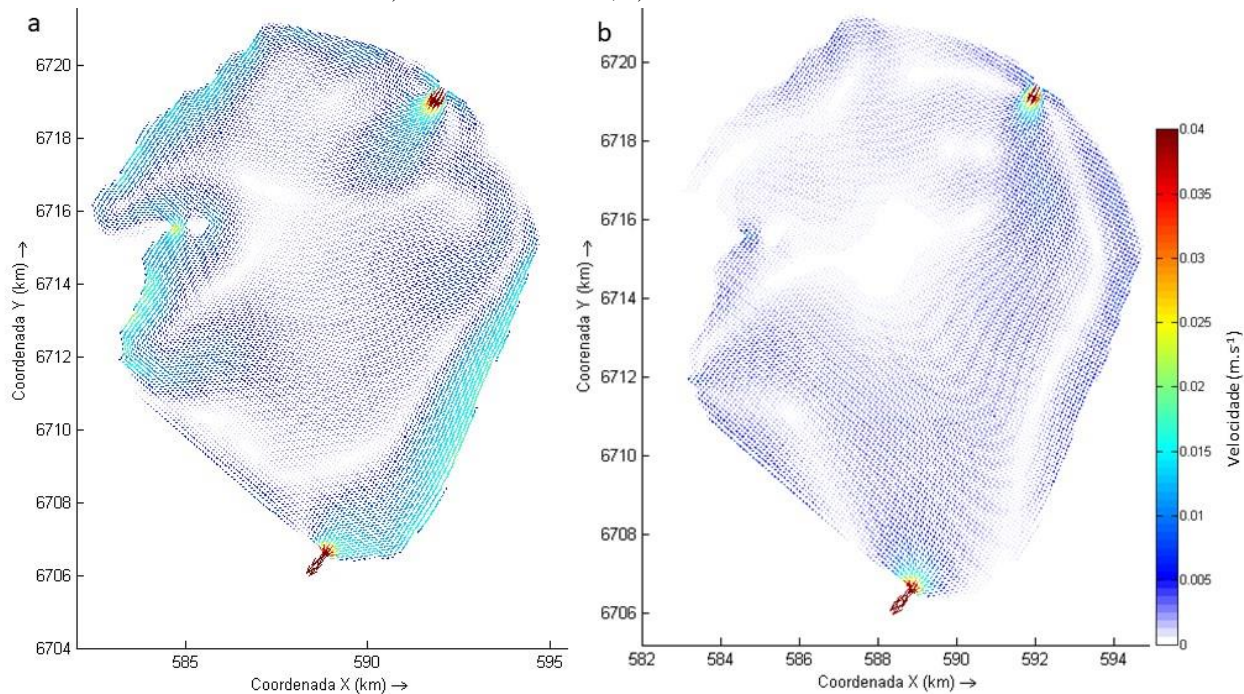
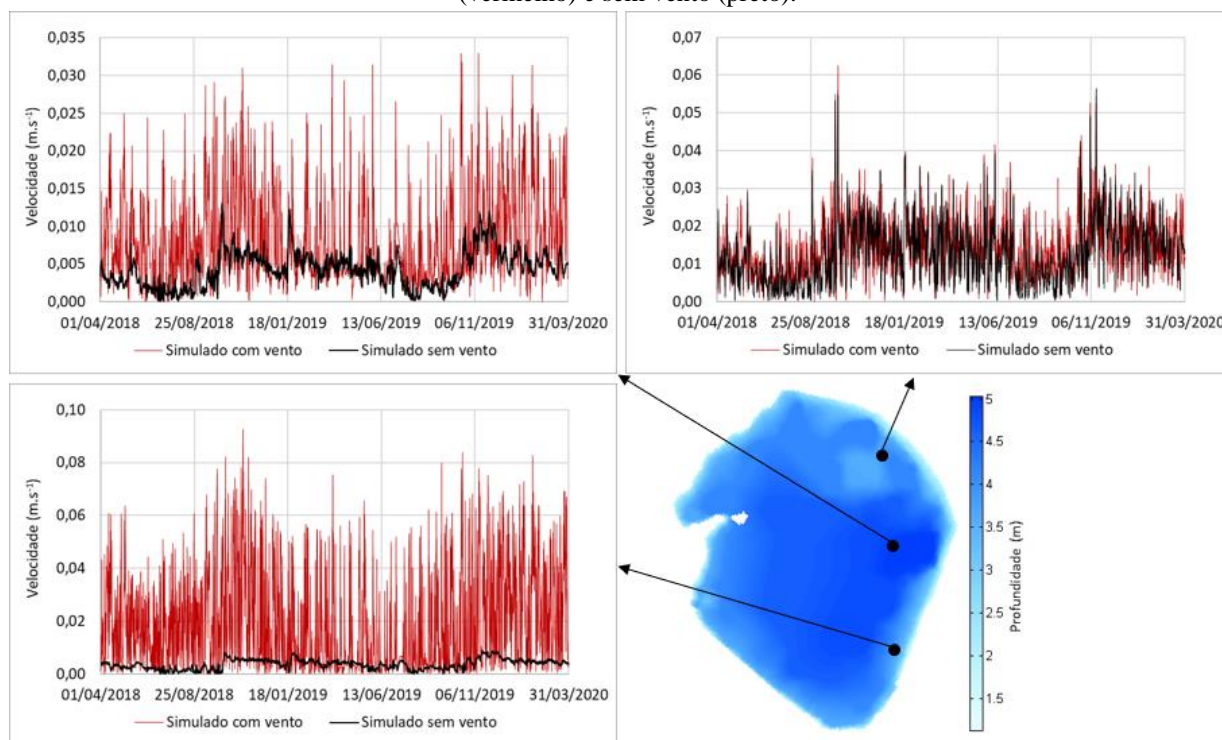


Figura 5 – Magnitude de velocidades em diferentes pontos da lagoa, comparando cenário simulado com vento (vermelho) e sem vento (preto).



A partir da análise dos flutuadores (virtuais, simulados com o modelo hidrodinâmico) lançados no rio Maquiné em diferentes períodos (outono, inverno, primavera e verão), foi possível

verificar como a alternância dos ventos predominantes na região podem influenciar a circulação ou hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros (Figura 6). Enquanto períodos com vento predominante do quadrante NE (principalmente verão, primavera e outono) favorecem a circulação do flutuador para o interior da Lagoa dos Quadros, períodos com maior influência do vento na direção SW (inverno) favorecem a saída do flutuador para o canal João Pedro. No entanto, este comportamento não está relacionado apenas à direção e velocidade do vento, como também, e principalmente, aos níveis em que a lagoa se encontra. Desta forma, foi analisado o tempo de residência a partir das principais entradas da Lagoa dos Quadros, o rio Maquiné e o rio Cornélios (Figura 7).

Figura 6 – Trajetória dos flutuadores lançados no rio Maquiné em diferentes períodos climáticos (outono, inverno, primavera e verão), em cenário com vento.

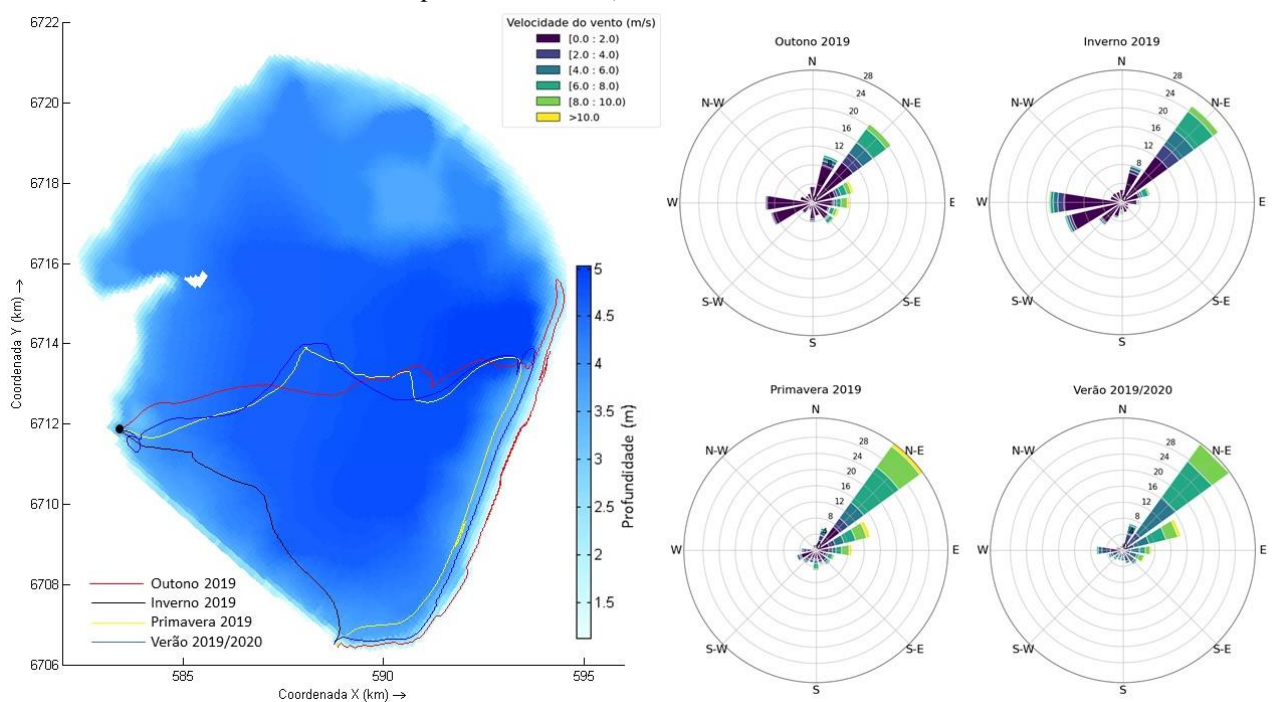
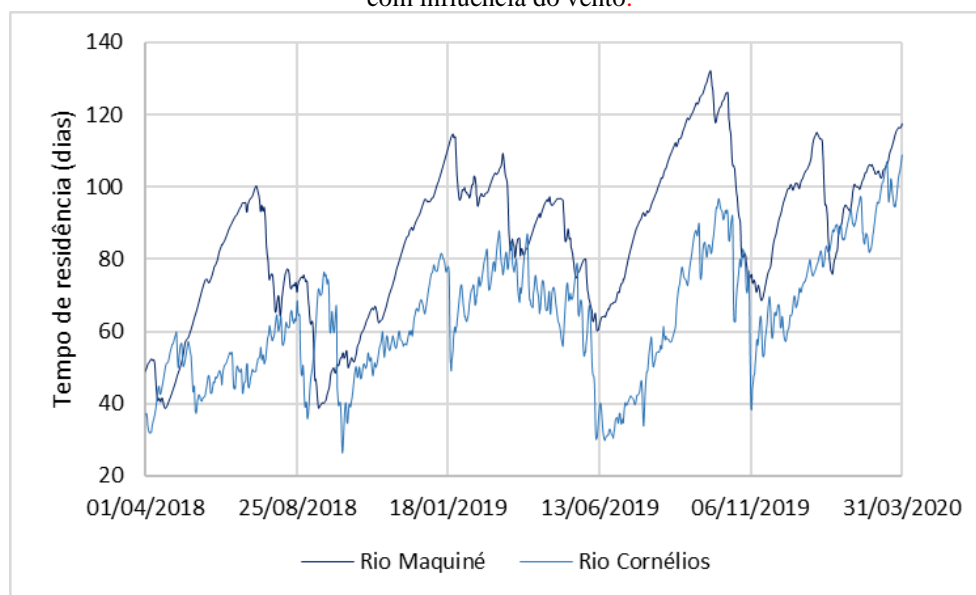


Figura 7 – Tempo de residência da Lagoa dos Quadros considerando como fonte o rio Maquiné e Cornélios, em cenário com influência do vento.





Em linhas gerais o tempo de residência a partir do rio Maquiné tende a ser maior, sendo o tempo mínimo de 38,7 dias, médio de 85,8 dias e máximo de 132,2 dias. Já para o rio Cornélios, verificou-se um tempo de residência mínimo, médio e máximo de, respectivamente, 26,3 dias, 64 dias e 108,8 dias. Verifica-se que os menores tempos de residência coincidem com os períodos de maiores níveis observados na lagoa (Figura 3a), a exemplo do inverno de 2019, favorecendo a saída do flutuador para o canal João Pedro. Este comportamento é esperado, visto que a taxa de renovação da lagoa aumenta à medida que as descargas fluviométricas afluentes são maiores. Portanto, isto indica que a hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros é governada principalmente pelas vazões afluentes, e a precipitação e evaporação direta sobre a lagoa exercem baixa influência.

## CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo entender o comportamento hidrodinâmico da Lagoa dos Quadros, importante corpo hídrico da bacia do rio Tramandaí. Após a realização da simulação hidrodinâmica da lagoa, pode-se considerar que a calibração do modelo para níveis e temperatura da água se mostrou adequada para o período simulado, com ENS de 0,986 para níveis e 0,869 para temperatura. Tendo em vista a boa calibração de níveis que foi obtida, pode-se concluir que a curva-chave do canal João Pedro (estação 87317060), que foi utilizada para obter a série de vazões de condição de contorno, é válida para o período simulado.

Os resultados da simulação mostraram como a alternância dos ventos predominantes (sudeste e nordeste) na região podem influenciar a circulação ou hidrodinâmica da Lagoa dos Quadros. Maiores velocidades foram observadas nas condições de contorno e nas regiões mais rasas da lagoa, indicando que as últimas sofrem maior influência da velocidade e direção do vento. O tempo de residência resultante, que é, em média de 85,8 dias (a partir da entrada do rio Maquiné), indica uma elevada capacidade de amortecimento das vazões e cargas oriundas da bacia contribuinte, conforme pode ser observado na diferença entre o padrão de vazões afluentes do rio Maquiné e a posterior resposta no nível da Lagoa dos Quadros.

O modelo foi capaz de representar bem a sazonalidade do padrão climático em termos de temperatura da água, o que é importante para regulação das taxas de decaimento em um futuro modelo de qualidade da água da lagoa. No entanto, para que possa ser utilizado com maior confiabilidade sugere-se como recomendações futuras para o trabalho: realizar a validação do modelo em outro período com dados observados; simular um período mais longo para entender padrões sazonais da hidrodinâmica da lagoa; acoplar o modelo hidrodinâmico do DELFT3D com modelo de qualidade da água e ecológico para estudar despejos pontuais de esgoto na lagoa ou cargas difusas provenientes da agricultura, por exemplo, tendo em vista os problemas com episódios de florações de algas já relatados (PINZON, 2015); acoplar o modelo hidrodinâmico com modelo transporte de sedimentos, dado que a bacia do rio Maquiné tem elevada produção de sedimentos e já foi avaliada em diversos estudos hidrossedimentotológicos (MENEZES, 2019, 2021).

## REFERÊNCIAS

- ANA. HIDROWEB. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 1 maio 2022.
- CASTRO, D. Ciclo das águas na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí. [S. l.: s. n.], 2019. *E-book*. Disponível em: [http://taramandahy.org.br/livros-upload/PDF Compilado Capa+Guarda+Miolo.pdf](http://taramandahy.org.br/livros-upload/PDF%20Compilado%20Capa+Guarda+Miolo.pdf). Acesso em: 23 maio 2022.
- CASTRO, D.; MELLO, R. S. P. Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. *In*: 2. ed. Porto Alegre: Via Sapiens, 2019. v. 1, p. 98.
- CARDOSO, L. S.; SILVEIRA, A. L. L.; MARQUES, D. M. A Ação do Vento como Gestor da Hidrodinâmica na Lagoa Itapeva (Litoral Norte do Rio Grande do Sul-Brasil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 5–15,

2003

CHEN, T. *et al.* Monitoring global reservoirs using ICESat-2: Assessment on spatial coverage and application potential. *Journal of Hydrology*, [s. l.], v. 604, p. 127257, 2022.

CURTARELLI, M. P., OGASHAWARA, I., ALCÂNTARA, E. H., STECH, J. L. 2015. Coupling remote sensing bio-optical and three-dimensional hydrodynamic modeling to study the phytoplankton dynamics in a tropical hydroelectric reservoir. *Remote Sens. Environ.* 157, 185–198. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.013>

DELTAES. Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Hydro-Morphodynamics. Netherlands: Deltaes Systems, 2023.

INMET. Dados Históricos Anuais. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 31 ago. 2022.

JASINSKI, M. F. *et al.* ATLAS/ICESat-2 L3A Along Track Inland Surface Water Data, Version 5. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 2021.

JI, Z. Hydrodynamics and water quality : modeling rives, lakes, and estuaries. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

KHAN, S. J., DEERE, D., LEUSCH, F. D., HUMPAGE, A., JENKINS, M., CUNLIFFE, D. 2015. Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Res.* 85, 124–136. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.018>

LEGESSE, D., VALLET-COULOMB, C., GASSE, F. 2004. Analysis of the hydrological response of a tropical terminal lake, Lake Abiyata (Main Ethiopian Rift Valley) to changes in climate and human activities. *Hydrol. Process.* 18, 487–504. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1334>.

MALABARBA, L. R. *et al.* Guia de identificação dos peixes da bacia do Rio Tramandaí. Porto Alegre: [s. n.], 2013. v. 1832

MENEZES, D. Caracterização hidrossedimentológica de trecho do rio Forqueta, Maquiné/RS. 2021. 119 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 2021.

MENEZES, D. *et al.* Impactos dos processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Maquiné / RS. In: , 2019. 5o Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. [S. l.: s. n.], 2019. p. 10.

MUNAR, A. M. *et al.* Mudanças nos níveis da água na Lagoa Mirim usando dados altimétricos dos satélites ENVISAT e ICESAT. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, [s. l.], n. Abril 2018, p. 8, 2017.

PINZON, I. M. Influência dos fatores ambientais sobre a ocorrência de cyanobactéria na Lagoa dos Quadros, RS, Brasil. Imbé: [s. n.], 2015

PROFILL; SEMA. 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A2 - Diagnóstico das disponibilidades hídricas. Porto Alegre: [s. n.], 2005.

QI, H., LU, J., CHEN, X., SAUVAGE, S., SANCHEZ-PÉREZ, J. M. 2016. Water age prediction and its potential impacts on water quality using a hydrodynamic model for Poyang Lake, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 13327. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6516-5>

SEMA; STE S.A. Relatório técnico 3 (RT3) - Diagnóstico consolidado da bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Canoas: [s. n.], 2019.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. Gênese e Morfologia das Lagoas costeiras do Rio Grande do sul - Brasil. Amazoniana, Kiel, v. 1, n. IX, p. 84–104, 1984.

SIOUT. Disponível em: <http://www.siou.rs.gov.br/sig/>. Acesso em: 31 ago. 2022.

SILVA, L. A. Com vento a lagoa vira mar: uma etnoarqueologia da pesca no litoral norte do RS. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, v. 10, n. 2, p. 537–547, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/bgoeldi/a/ZyfZktFyv5NZqGBh6BJdLpy/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2022.

XU, N. *et al.* Surface-Water-Level Changes during 2003-2019 in Australia Revealed by ICESat/ICESat-2 Altimetry and Landsat Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 1129–1133, 2021.