

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MONITORAMENTO E MODELAGEM MATEMÁTICA DA BACIA E LAGO PARANOÁ-DF COMO ATIVIDADE DO PROGRAMA DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO CAESB/ADASA/UNB

*Alice Rocha Pereira¹; Andréia de Almeida²; Raquel Moraes Soares³; Rejane Ennes Cicerelli⁴;
Ricardo Tezini Minoti⁵; Jeremie Garnier⁶; Ligia Silva Viveiros Gurgel⁷; Karina Bassan Rodrigues⁸; Tarcila Neves Generoso⁹; Eloneide Meneses França Arruda¹⁰; Fuad Moura Guimarães Braga¹¹; Glênio da Luz Lima Junio¹²; Laís Pereira Freitas¹³; Henrique Llacer Roig¹⁴;
& Sergio Koide¹⁵*

Abstract: Despite the resources invested in monitoring Lake Paranoá, isolated data and available information do not provide an integrated understanding of environmental processes, the ability to estimate the impacts of pollutant loads, or to establish load limits to prevent the return to higher trophic levels, highlighting the need for integrated tools and modeling approaches. Furthermore, the Environmental Sanitation Company of the Federal District (Caesb), within the scope of its role in maintaining the trophic conditions of the lake, recognizes the need to enhance its decision-making processes through the use of integrated management tools for the Paranoá Lake system, which includes both the lacustrine environment and its contributing watersheds. In this scenario, researchers from the University of Brasília (UnB) have been working within the scope of the Adasa-Caesb Research, Development and Innovation Program (PDI) with the objective of developing a methodological proposal for a decision support system (DSS) for the integrated management of Lake Paranoá and its main tributaries. The conceptual proposal for the DSS should integrate primary and secondary data, obtained in situ and via remote sensing, and hydrological, hydrodynamic and water quality modeling tools. Additionally, alternatives will be evaluated to improve field data collection and remote monitoring of the lake's water quality.

Resumo: Apesar dos recursos empregados no monitoramento do lago Paranoá, os dados de forma isolada e as informações disponíveis não asseguram o entendimento integrado dos processos ambientais; a estimativa dos impactos das cargas de poluentes; e o estabelecimento de limites de aporte de cargas como forma de evitar o retorno a níveis tróficos mais elevados, reforçando a necessidade da utilização de ferramentas de integração e

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; alice_rp@hotmail.com

² Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 73345-010 Planaltina, Brasil; andreia.almeida@unb.br

³ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; raquel.soares@unb.br

⁴ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; rejaneig@unb.br

⁵ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; rtminoti@unb.br

⁶ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; garnier@unb.br

⁷ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), LigiaViveiros@caesb.df.gov.br

⁸ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), karinabassan@gmail.com

⁹ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), tarcila_neves@yahoo.com.br

¹⁰ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), eloneidefranca@caesb.df.gov.br

¹¹ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), fuadbraga@caesb.df.gov.br

¹² Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), gleniojunior@caesb.df.gov.br

¹³ Companhia de Saneamento Ambiental do DF (Caesb), laisfreitas@caesb.df.gov.br

¹⁴ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; roig@unb.br

¹⁵ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; skoide@unb.br

de modelos. Além disso, a Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal (Caesb) no âmbito de sua atuação na manutenção das condições tróficas do lago, entende a necessidade de aprimorar seus processos de tomada de decisão com utilização de ferramentas de manejo integrado do sistema lago Paranoá, isto é, do ambiente lacustre associado às bacias afluentes. Nesse cenário, pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) têm atuado no âmbito do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) Adasa-Caesb com o objetivo de elaborar uma proposta metodológica de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a gestão integrada do lago Paranoá e seus principais tributários. A proposta conceitual do SAD deverá integrar dados primários e secundários, obtidos in situ e via sensoriamento remoto, e ferramentas de modelagem hidrológica, hidrodinâmica e de qualidade da água. Adicionalmente, serão avaliadas alternativas para aprimoramento da coleta de dados em campo e para o monitoramento remoto de qualidade da água do Lago.

Palavras-Chave – Manejo integrado Bacia-Lago, manancial urbano, sensoriamento remoto.

1. INTRODUÇÃO

O lago Paranoá, criado em 1959 para usos múltiplos e, principalmente, para compor o ambiente paisagístico da nova capital, sofreu, em sua breve existência, inúmeras fases relacionadas com a qualidade de suas águas. Apenas duas décadas após sua formação sofreu graves problemas de eutrofização que acarretou mortandade de peixes e fitoplâncton causando mau cheiro e poluição grave do Lago, o que exigiu medidas severas e de alto custo para reduzir as cargas de nutrientes e matéria orgânica lançadas no lago. A construção das novas estações de tratamento de esgotos (ETEs Norte e Sul) e obras complementares, reduziu drasticamente essas cargas, melhorando sensivelmente a qualidade das águas. Em 1999 o Lago atingiu excelentes padrões para os diversos usos.

Com o passar dos anos, novas cidades surgiram ou foram criadas na bacia do lago Paranoá, aumentando gradualmente as cargas de nutrientes que aportam ao Lago. Em 2015, estudos da Caesb já indicavam aportes de nutrientes ao Lago em níveis preocupantes (Starling, 2015). Desde sua criação, a Caesb tem se preocupado com o monitoramento hidrológico e da qualidade das águas dos rios e lagos do DF, mesmo em uma época em que a preocupação com os recursos hídricos e qualidade das águas era incipiente. Em 2018 a Caesb adquiriu e instalou dentro do lago Paranoá uma plataforma flutuante para monitoramento em tempo real dos principais parâmetros de qualidade da água em ponto próximo à Ermida Dom Bosco, no entanto, em função do grande fluxo de embarcações no lago, houve um abaloamento na estrutura da plataforma e ela foi danificada.

Os esforços e recursos empregados no monitoramento dos rios e do lago Paranoá no passado e na atualidade possibilitaram importantes tomadas de decisão, resultando em avanços, como a reformulação dos projetos das ETEs Norte e Sul e a adoção da captação de água diretamente no lago Paranoá. No entanto, os dados e as informações de forma isolada ainda não garantem uma capacidade de decisão adequada e efetiva tendo em vista a complexidade dos processos ambientais e as dificuldades na estimativa dos impactos das cargas poluentes (individualmente ou em conjunto), assim como no estabelecimento de limites seguros de aporte de cargas ao sistema, o que pode comprometer a segurança e o gerenciamento do sistema lacustre e das bacias afluentes. Tais lacunas no entendimento integrado dos processos ambientais reforçam a necessidade de ferramentas de integração e de modelos.

Além disso, mesmo com o investimento, a Caesb não dispõe ainda das tecnologias e sistemas de apoio mais avançados, disponíveis na atualidade, para o acompanhamento do lago Paranoá, tais como a incorporação, em sua rotina de trabalho, de sistemas de suporte à decisão que tenham como base a aplicação de modelos de bacias hidrográficas acoplados a modelos do sistema lacustre; aplicação de modelos de base física para a simulação 1D, 2D e 3D do sistema lacustre com previsão de respostas no médio e longo prazos; aplicação de modelos inferenciais com base em inteligência

artificial para simulação do sistema lacustre com previsão de respostas no curto prazo; aplicação de sistema de monitoramento remoto de qualidade da água do sistema lacustre por meio de imagens obtidas por plataformas orbitais e aerotransportadas (RPAs).

Reconhecendo a importância do entendimento integrado desses processos, a Caesb e a Universidade de Brasília (UnB), em parceria, têm desenvolvido uma série de pesquisas ao longo dos anos com o intuito de aprimorar o conhecimento técnico-científico, desenvolver modelos para subsidiar a tomada de decisão de maneira mais eficiente, ágil e segura para a gestão dos recursos hídricos do DF.

No sentido de aprimorar tais pesquisas e atender questões ainda em aberto, estruturou-se um projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) frente à necessidade de avançar na integração de ferramentas e tecnologias que facilitem o monitoramento hidrológico e limnológico intensivo, e que possam viabilizar a estrutura conceitual de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) direcionado ao gerenciamento do lago Paranoá.

Nesse cenário, este artigo tem como objetivo apresentar um panorama do projeto intitulado “Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (sistema bacia-lago)” que tem sido desenvolvido durante o quadriênio 2024-2027 pela Universidade de Brasília (UnB), no contexto do Programa de PDI ADASA/CAESB.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

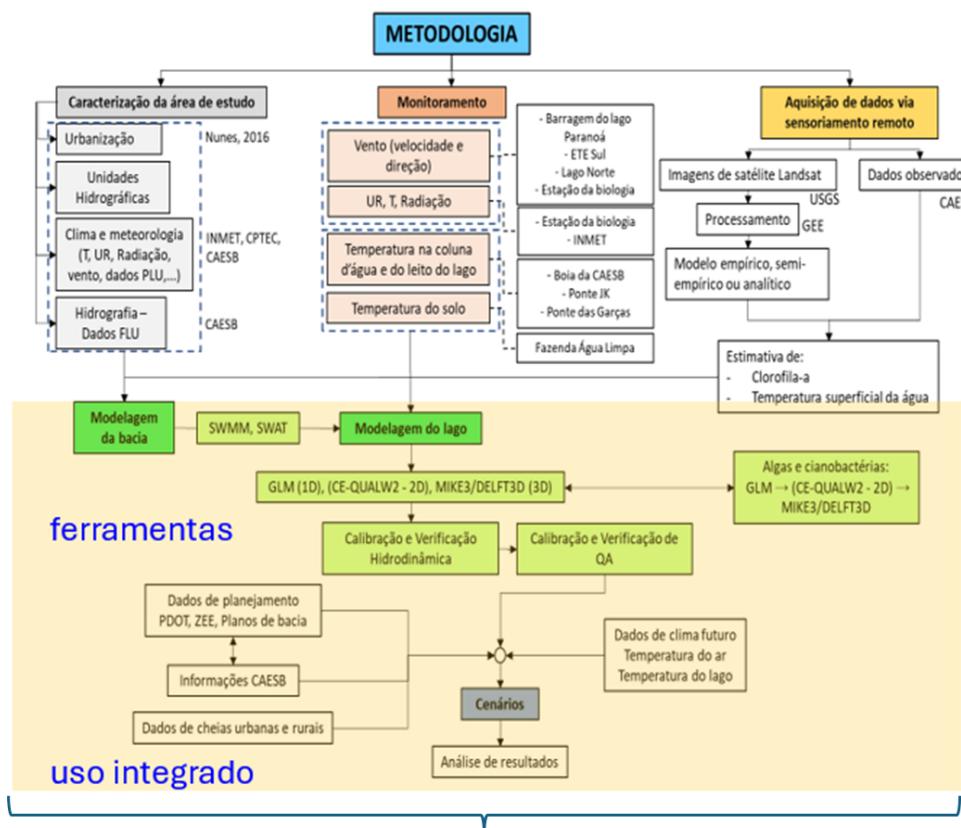
O projeto PDI em desenvolvimento por pesquisadoras e pesquisadores da UnB vinculados à Faculdade de Tecnologia, ao Instituto de Geociências e à Faculdade UnB Planaltina, tem enfoque no acoplamento Bacia/Lago, e inclui atividades de monitoramento e de modelagem das bacias afluentes, de monitoramento limnológico e por sensoriamento remoto e de modelagem hidrodinâmica 1D, 2D ou 3D do Lago, com a avaliação dos balanços hídricos quantitativos e qualitativos e as previsões relacionadas ao comportamento do Sistema Lacustre em cenários futuros. A proposta metodológica do projeto, sintetizada na Figura 1, inclui seis etapas metodológicas principais, a saber:

- i) *levantamento e atualização das bases de dados da UnB sobre o Sistema Lago Paranoá (Bacia+Lago)*: consiste na compilação dos dados sob responsabilidade da UnB e/ou dados secundários de acesso público, tais como registros meteorológicos, hidrológicos e limnológicos, referentes às bacias afluentes e ao lago Paranoá;
- ii) *desenvolvimento de métodos e técnicas para o aprimoramento do monitoramento hidrológico, de sedimentos e de qualidade de água em rios das bacias afluentes e no lago Paranoá*: esta etapa inclui as atividades de monitoramento em campo para a obtenção de dados que possibilitem identificar padrões e comportamentos sazonais e anuais e a relação entre forçantes, a estratificação térmica e a qualidade da água, conforme detalhado a seguir;
- iii) *levantamento e análise dos dados monitorados na Estação de Monitoramento Automático da CAESB e análise das perspectivas para o aprimoramento do Sistema*: direcionado à análise da situação da ilha flutuante de monitoramento automático da Caesb, esta etapa inclui atividades de análise dos dados gerados pela estação, bem como das perspectivas de utilização desses dados no PDI;
- iv) *aquisição e processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto para análise da qualidade da água do lago Paranoá*: inclui atividades com foco em a)

planejamento de campo, para garantir concordância entre as datas de monitoramento in situ e via sensoriamento remoto; b) aquisição de imagens orbitais e aerotransportadas; c) processamento e consolidação da base de dados; e d) geração de modelos de estimativa de parâmetros de qualidade da água local e regional;

- v) *modelagem hidrológica para a simulação das bacias afluentes ao lago Paranoá e construção de cenários de mudanças de uso e ocupação da terra:* direcionada à avaliação de vazões e cargas de poluentes afluentes ao lago Paranoá em escala de bacia hidrográfica por meio do modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT); e
- vi) *modelagem hidrodinâmica e ecológica para a predição do comportamento da temperatura e da qualidade da água:* Para avaliação da dinâmica vertical e horizontal do lago Paranoá, em toda a sua extensão, têm sido implementados e calibrados modelos unidimensionais (GLM) e tridimensionais (Delft3D) a partir de dados medidos pela CAESB em campo.

Figura 1 - Proposta metodológica do projeto para desenvolvimento dos trabalhos.

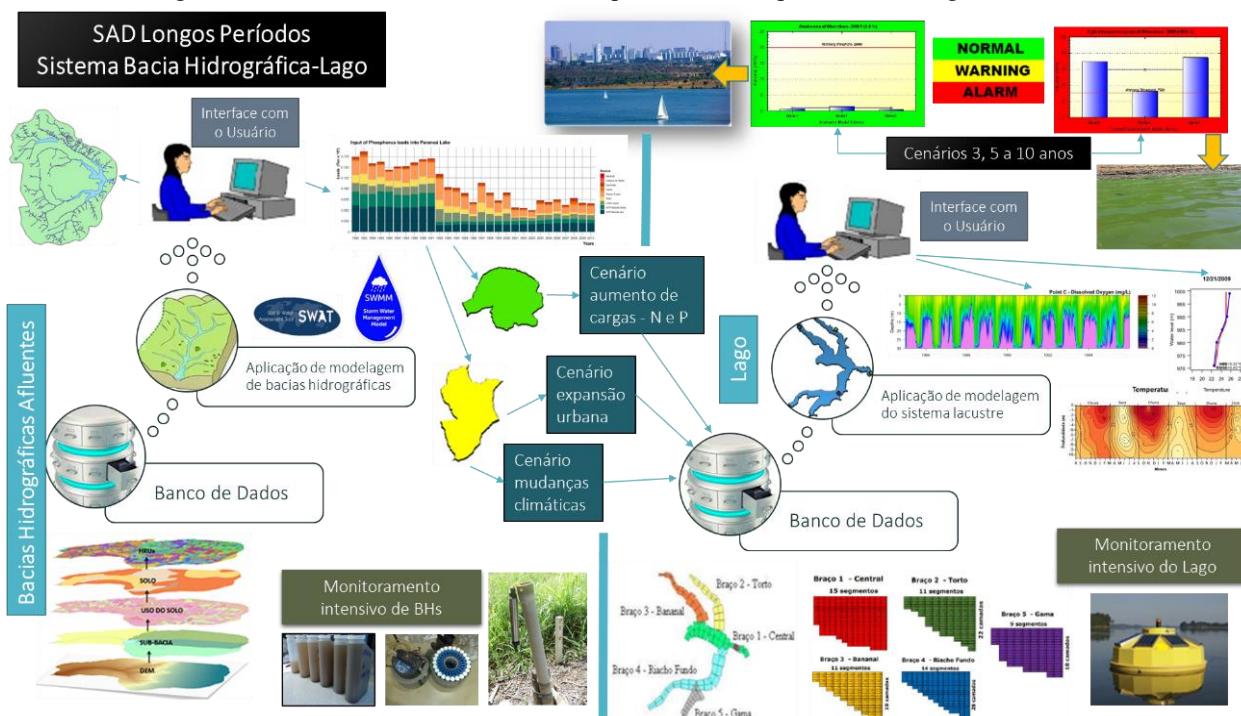


Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão - SAD Gerenciamento do Sistema Bacia-Lago Paranoá

Os resultados derivados das seis etapas previamente apresentadas poderão auxiliar na proposição conceitual de um SAD que faça a união entre as diferentes abordagens de acompanhamento e análise dos sistemas afluentes com o Lago Paranoá, conforme apresentado esquematicamente na Figura 2. O Sistema deverá realizar a união entre o monitoramento e a modelagem hidrológica e de qualidade de água das bacias hidrográficas afluentes com o

monitoramento e a modelagem do lago Paranoá, com a função de unir e aplicar todos os dados monitorados com diferentes abordagens de análise para facilitar o entendimento sobre a situação atual do lago Paranoá bem como a análise prospectiva de possíveis condições futuras, fortalecendo as competências da Caesb para o enfrentamento a eventos ou períodos críticos e, a partir de informações sobre a expansão urbana e soluções de saneamento básico adotadas, prognósticos dos impactos a médio e longo prazo sobre o Lago.

Figura 2 - Funcionamento do Sistema de Apoio à Decisão para a Bacia-Lago do Paranoá.



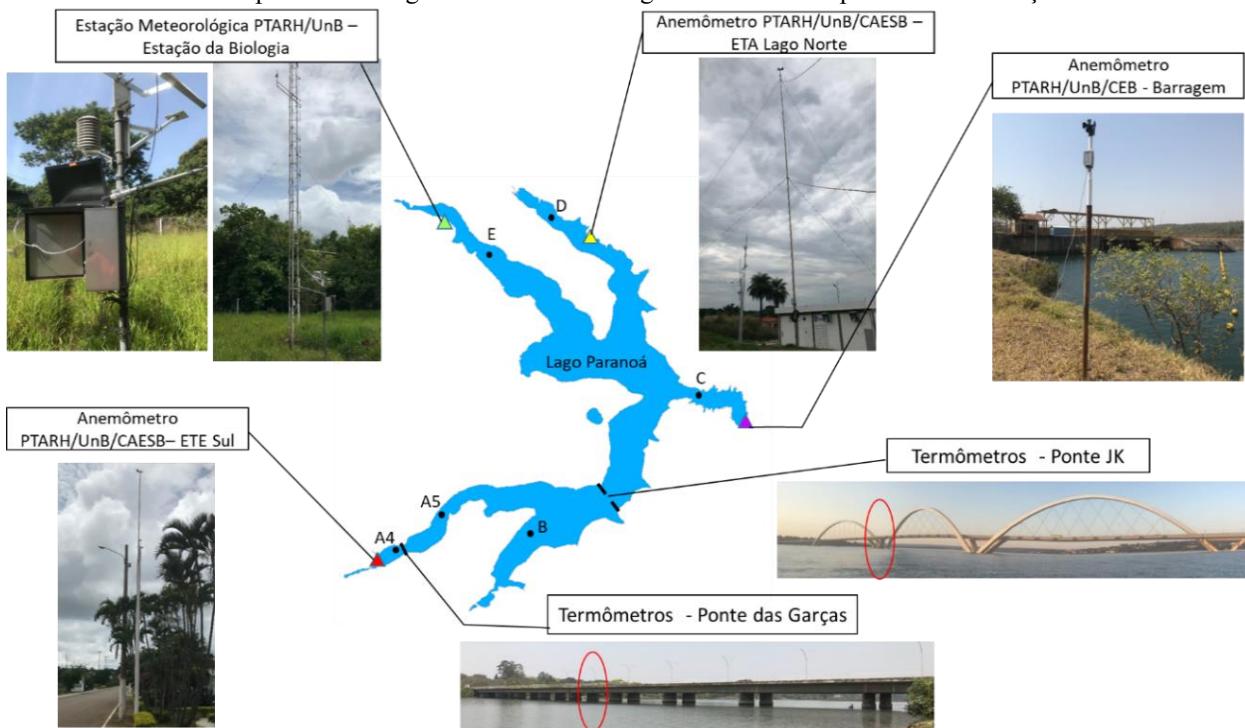
O processo de modelagem e desenvolvimento de SAD depende fundamentalmente de dados confiáveis e organizados de maneira sistemática e coerente. Assim, em uma primeira etapa o projeto se dedicou à coleta, análise de consistência, preenchimento de falhas e sistematização dos dados disponíveis em banco de dados dentro do sistema de informações da Caesb. Além disso houve necessidade de se verificar se a coleta de dados que vem sendo realizada cobre os dados considerados fundamentais e com frequência adequada para o processo de modelagem.

2.1 MONITORAMENTO EM CAMPO E POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO DO LAGO PARANOÁ

Concomitantemente ao levantamento e a organização da base de dados previamente disponível, a coleta de dados não monitorados pela Caesb e não disponíveis em outros sistemas, tais como, medição de vento e temperatura em diferentes profundidades na coluna d'água e no sedimento do Lago (Figura 3), contribui para a construção de uma série temporal robusta, possibilitando o estudo da variabilidade espaço-temporal e do comportamento de variáveis de qualidade da água no lago Paranoá, além de subsidiar a modelagem matemática para a previsão de cenários de curto, médio e longo prazo. Adicionalmente, aprimorou-se a aquisição de dados de radiação solar global e líquida,

umidade e temperatura do ar e precipitação nas imediações do Lago. Por meio desse monitoramento poderão ser identificados padrões e comportamentos sazonais e anuais e a relação entre forçantes climáticas, a estratificação térmica e a qualidade da água.

Figura 3 - Obtenção de dados de vento e do perfil de temperatura da água do lago Paranoá realizados pelo projeto, essenciais para a modelagem matemática do lago e não realizada por outras instituições.



Nos pontos de monitoramento do lago Paranoá mantidos pela Caesb (A4, A5, C, D e E) e implementados pela UnB (Ponte JK e Ponte das Garças) tem sido monitorada, com frequência mensal, a temperatura na coluna d’água, a profundidade da zona eufótica (profundidade de Secchi), a concentração de clorofila e a comunidade fitoplanctônica (Figura 4 e Figura 5).

Em escala horária, sensores de temperatura HOBO onset adquirem dados de temperatura da água e do sedimento de fundo do Lago nas Pontes JK e das Garças (Figura 3 e Figura 5). Os dados de vento são obtidos em intervalos de 5 minutos, por meio de anemômetros posicionados na ETE Sul, na Estação da Biologia, na ETA Lago Norte e na Barragem do Lago, instalados e mantidos pela UnB (Figura 3).

As metodologias de amostragem da comunidade fitoplanctônica ao longo da profundidade da zona eufótica e da clorofila-a no lago Paranoá, e respectivas rotinas, ainda estão em fase de estabelecimento e aprimoramento para compatibilização das rotinas realizadas pela equipe de limnologia e sensoriamento remoto do Projeto de Pesquisa.

No que diz respeito ao monitoramento realizado pela Estação Automática da Caesb, foram organizados dados de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos, clorofila e ORP obtidos no lago Paranoá em escala horária entre novembro de 2019 e setembro de 2021, nas profundidades de 1 m e 10 m. Etapas posteriores serão direcionadas à comparação entre os dados monitorados pela CAESB obtidos na Estação de Monitoramento Automática e aqueles obtidos pela UnB nas campanhas de monitoramento realizadas no lago Paranoá.

Figura 4 - (a) Trajetória para monitoramento nas campanhas de campo, (b) sonda multiparamétrica e (c) perfilagem com sonda multiparamétrica.

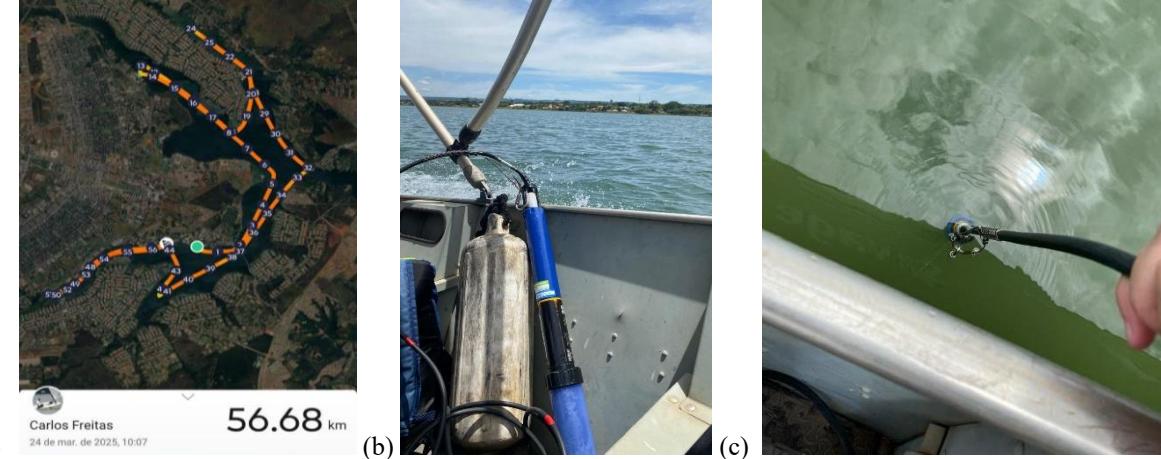
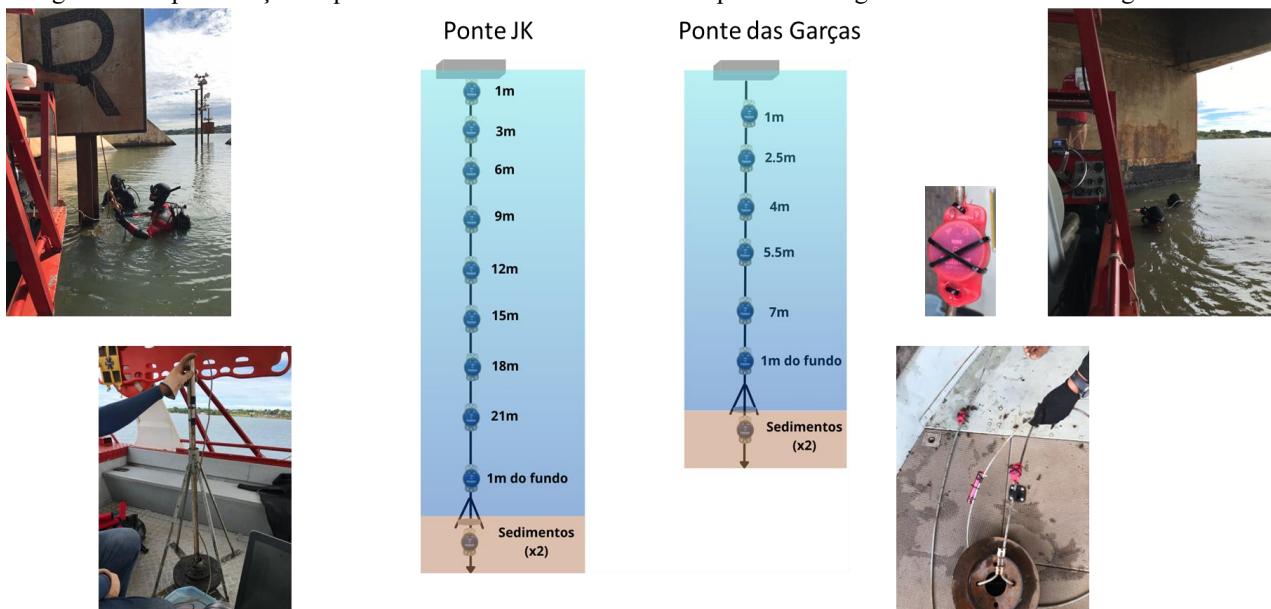


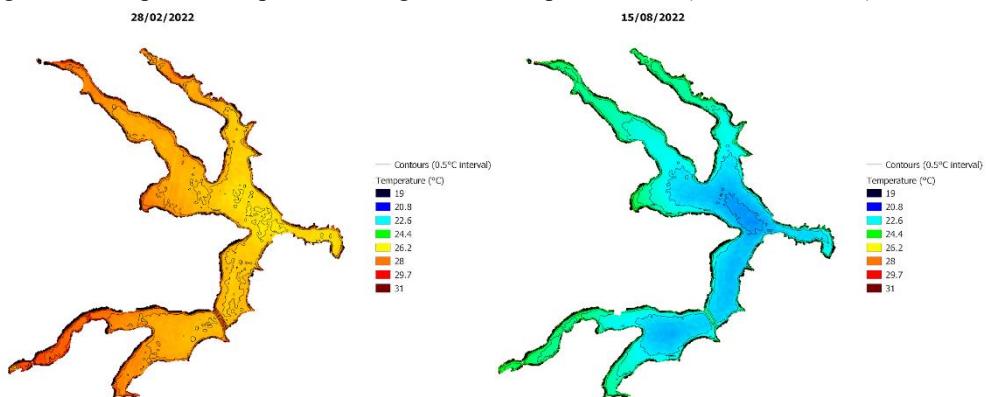
Figura 5 - Representação esquemática do monitoramento da temperatura da água e do sedimento no lago Paranoá.



Com relação à aquisição e processamento de dados de sensoriamento remoto, foi desenvolvido um modelo preliminar de estimativa de temperatura superficial da água do lago Paranoá a partir de dados observados em campo e imagens obtidas por sensores remotos e utilizando a plataforma Google Earth Engine e o software R. Na Figura 6 foi apresentado um exemplo de resultado preliminar do modelo, contendo as temperaturas superficiais no lago Paranoá para o dia 28/02/2022. Conforme a evolução campanha de monitoramento no lago Paranoá, o modelo está sendo aprimorado, tanto metodologicamente quanto pela incorporação de novos dados observados na calibração do modelo.

Posteriormente, a série de dados de concentração de clorofila-a no lago Paranoá também será analisada quanto a sua variabilidade espaço-temporal no lago por meio do desenvolvimento e calibração de modelo bio-óptico para a estimativa de clorofila-a no lago a partir de imagens de satélite.

Figura 6 - Temperatura superficial da água simulada para os dias a) 28/02/2022 e b) 15/08/2022.



A obtenção dessas informações por sensoriamento remoto permite o monitoramento da qualidade da água com maior cobertura espaço-temporal, maior custo-efetividade e disponibilidade de dados permitindo a caracterização de áreas com mais difícil acesso e carência de monitoramento. Dessa forma, o sensoriamento remoto vem sendo utilizado como uma ferramenta de baixo custo para a aquisição de dados em escala, sendo essencial para o monitoramento e gestão de grandes lagos quanto a sua hidrodinâmica e qualidade da água (IOCCG, 2018; MISHRA et al., 2017; GHOLIZADEH et al., 2016; TAVARES et al., 2019; CARREA et al., 2023).

2.2 MODELAGEM DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DO LAGO PARANOÁ

No que tange a modelagem de bacias, a equipe da UnB reúne estudos anteriores com foco na simulação hidrológica da bacia hidrográfica do lago Paranoá, incluindo as principais bacias afluentes ao Lago. Nesse caso, utilizou-se o modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool), calibrado e verificado com dados até 2017.

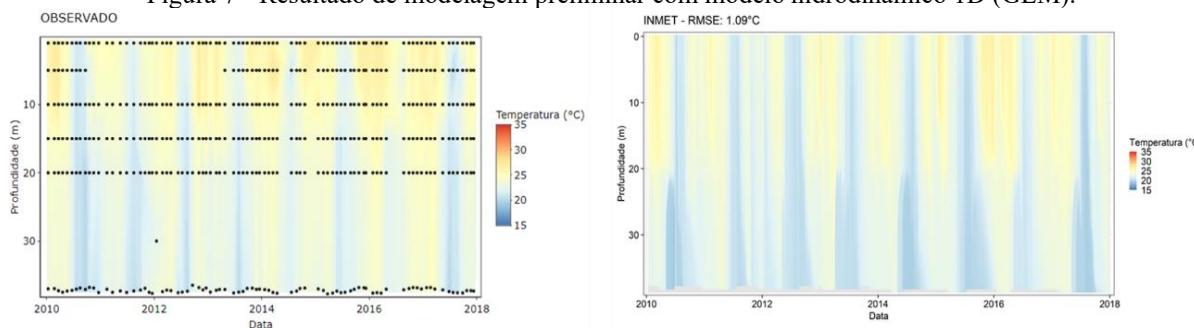
Uma das prioridades do Projeto de Pesquisa no aprimoramento dos modelos das bacias afluentes ao lago Paranoá refere-se à bacia hidrográfica do Riacho Fundo, que se caracteriza como uma das unidades hidrográficas mais críticas ao longo de toda a história do lago Paranoá em termos de contribuição de cargas de sedimentos e nutrientes para o braço do Lago (braço do Riacho Fundo) além de receber os efluentes tratados da ETE Sul Caesb.

Em 2024 foram iniciados dois trabalhos envolvendo o aprimoramento da aplicação do modelo SWAT na bacia do Riacho Fundo. Assim, a base de dados do modelo SWAT, gerada em trabalhos de pesquisas anteriores do grupo da UnB, foram atualizadas de 2017 até o ano de 2023 (Costa, et al.; 2021; Carvalho et al., 2022; Nunes, 2022). Nesta etapa, destaca-se o início do treinamento da equipe técnica da Caesb no uso da ferramenta, essencial para estudos de cenarios sobre mudanças no uso e ocupação do solo por novas áreas urbanas na bacia.

Espera-se simular cenários futuros referentes à qualidade da água afluente ao Lago. Além do modelo SWAT, outras ferramentas poderão ser testadas durante o desenvolvimento do Projeto, como o modelo Storm Water Management Tool (SWMM), amplamente utilizados na atualidade no Brasil e no Mundo. Os resultados e informações obtidos a partir das simulações a nível de bacia dos afluentes ao lago Paranoá serão utilizados para alimentar os modelos hidrodinâmicos, que, inicialmente, são rodados apenas com dados registrados (medidos em campo) pela CAESB, INMET, CEB, dentre outros.

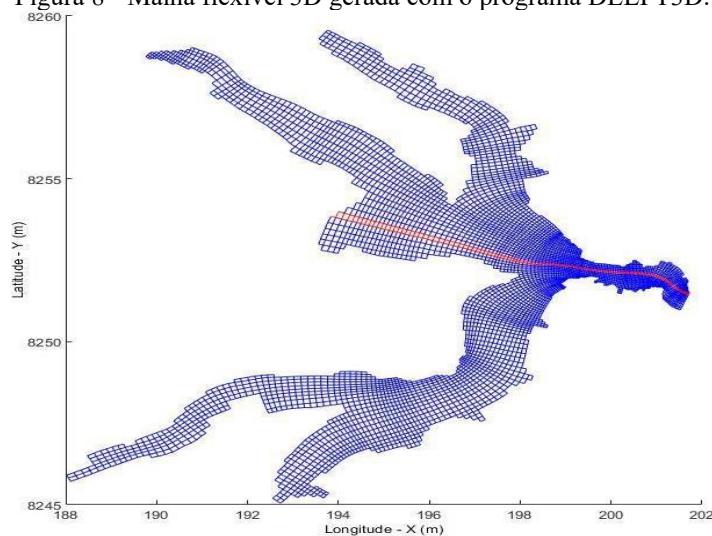
A modelagem preliminar do Lago com o modelo unidimensional GLM foi realizada, considerando em sua calibração apenas dados de temperatura registrados pela CAESB. Os resultados dessa simulação são mostrados na Figura 7. Paralelamente à simulação 1D, o modelo conceitual e a simulação inicial do lago Paranoá está sendo realizada também com o modelo hidrodinâmico Delft3D (Figura 8). Os próximos passos contemplarão a atualização do banco de dados e incorporação da série de temperatura derivada por sensoriamento remoto para nova simulação e calibração dos modelos utilizados.

Figura 7 - Resultado de modelagem preliminar com modelo hidrodinâmico 1D (GLM).



Testes com a modelagem 3D utilizando o programa DELFT3D foram iniciados com a criação de malhas e testes preliminares de simulação da temperatura do lago, com a inclusão de dados de vento e dos pontos de verificação de temperatura vertical obtidas com o monitoramento nas pontes das Garças e JK.

Figura 8 - Malha flexível 3D gerada com o programa DELFT3D.



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a equipe de pesquisa tem se dedicado à consolidação da base de dados que contribuirá para as etapas de avaliação do lago Paranoá por meio de sensoriamento remoto e de simulações hidrológicas e de qualidade de água em escala de bacia e do lago. As próximas etapas do projeto incluem prosseguir com (i) o desenvolvimento de métodos e técnicas para o aprimoramento

do monitoramento hidrológico, de sedimentos e de qualidade da água em rios das bacias afluentes e no lago Paranoá; (ii) o levantamento e análise dos dados monitorados na estação de monitoramento; (iii) a aquisição e processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto para análise da qualidade da água do lago Paranoá; e (iv) a modelagem hidrológica, hidrodinâmica e limnológica.

Com relação à simulação hidrológica e de qualidade da água nas bacias afluentes, as etapas seguintes consistirão na estruturação e calibração do modelo com foco na avaliação de cenários de alteração na cobertura do solo e de mudanças/oscilações climáticas, considerando modelos previamente elaborados pela equipe da UnB para as bacias em questão. Novas rodadas de cursos de capacitação como foco na elaboração e calibração e modelos deverão ocorrer nos próximos semestres, envolvendo também a equipe da CAESB.

Quanto à aquisição e processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto para análise da qualidade da água do lago Paranoá) e Modelagem hidrodinâmica e ecológica para a predição do comportamento da temperatura e da qualidade da água, os dados derivados do sensoriamento remoto serão incorporados ao processo de calibração e verificação do modelo de qualidade de água 3D para o lago Paranoá. Além disso, a continuidade na aquisição de dados de campo irá contribuir para a proposição e calibração de modelos bio-ópticos.

AGRADECIMENTOS

À Caesb, pela disponibilização dos dados hidroclimatológicos e de qualidade da água para a realização do PDI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TAVARES, M. H.; CUNHA, A. H. F.; MOTTA-MARQUES, D.; RUHOFF, A. L.; CAVALCANTI, J. R.; FRAGOSO, C. R. Jr.; BRAVO, J. M.; MUNAR; A. M.; FAN, F. M.; RODRIGUES, L. H. R. (2019). Comparison of methods to estimate lake-surface-water temperature using Landsat 7 ETM+ and MODIS imagery: Case study of a large shallow subtropical lake in southern Brazil. *Water*, **11**, 168.
- MISHRA, D. R.; OGASHAWARA, I.; GITELSON, A. A. (Eds.) (2017). Bio-optical Modeling and remote sensing of inland waters. Elsevier. 316p.
- IOCCG – International Ocean-Colour Coordinating Group (2018). Earth Observations in Support of Global Water Quality Monitoring. Greb, S., Dekker, A. and Binding, C. (eds.), IOCCG Report Series, No. 17, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada.
- GHOLIZADEH, M. H.; MELESSE, A. M.; REDDI, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, **16**, 1298.
- CARREA, L.; CRÉTAUX, J.F.; LIU, X. et al. (2023). Satellite-derived multivariate world-wide lake physical variable time series for climate studies. *Sci Data*, **10**, 30.
- CARVALHO, D.J.; COSTA, M.E.L ; Koide, S. (2022). Assessment of Diffuse Pollution Loads in PeriUrban Rivers-Analysis of the Accuracy of Estimation Based on Monthly Monitoring Data. *Water* , v. 14, p. 2354.
- COSTA, M.E.L; TSUJI, T.M; KOIDE, S. (2021). Modelagem hidrológica e hidráulica usando o SWMM - Storm Water Management Model na bacia urbana do Riacho Fundo I - Distrito Federal. *Research, Society and Development*, v. 10, p. e6010111458.
- NUNES, G. (2022). *Estudo das variáveis intervenientes no balanço quali-quantitativo de um sistema bacia-lago: O caso do lago Paranoá - DF*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PPGTARH. TD-027/2022, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 230p.
- STARLING, F. L. R. M. (2015). Avaliação da Capacidade Suporte do Lago Paranoá (1999-2011). Relatório Técnico Nº 05/2015. PRHR-PRH-Caesb. 15 pp.