

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO NOS NÍVEIS DO BANHADO DO TAIM POR MEIO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA

Bibiana Peruzzo Bulé¹; Rutineia Tassi²; Carla Fernanda Perius³; Stefany Correia de Paula⁴

RESUMO – O Banhado do Taim (BT), ecossistema de área úmida possui grande biodiversidade e, em razão disso, está inserido em uma Unidade de Conservação (ESEC Taim), localizada no Sul do Estado do Rio Grande do Sul. No entanto, a bacia hidrográfica contribuinte à ESEC Taim é alvo de conflito pelo uso de suas águas, já que a orizicultura, principal atividade econômica da região, utiliza água captada a partir da Lagoa Mangueira, tributária ao BT. Dessa forma, demandas hídricas produzem impacto no regime hidrológico do BT e, conseqüentemente, na manutenção habitats desse ecossistema. Assim, o entendimento de como as retiradas de água para a irrigação afetam o BT é fundamental, e permitem o estabelecimento de cenários considerando diferentes ações de gestão. Esse artigo apresenta o resultado de análises preliminares, obtidas por meio de simulações matemáticas, realizadas para diferentes cenários de demanda de água para irrigação. Os cenários consideraram diferentes taxas de irrigação, mais restritivas que aquelas consideradas em estudos prévios na região. Os resultados mostraram que reduções entre 25% e 50% nas taxas de irrigação promoveriam acréscimos em longo prazo, da ordem de 20 a 40 centímetros no nível do Banhado do Taim, identificando a necessidade de estudos mais aprofundados nesse sentido.

ABSTRACT– The Taim Wetland (TW) is a freshwater ecosystem which has great biodiversity. For this reason, it is part of a Conservation Unit (ESEC Taim) located in the South of the State of Rio Grande do Sul. However, the basin that drains to ESEC Taim is target of conflict over the use of its water, due to extensive paddy fields, which uses the water withdrawn from Mangueira Lake, tributary to TW. The hydrological regime of TW is directly impacted by the water demands and, consequently the maintenance of species habitat is impacted as well. Therefore, the understanding of how water withdrawals for irrigation affect TW is fundamental to allow the establishment of different scenarios considering water management strategies. This paper presents the results of a preliminary analyzes, accomplished through mathematical simulations, performed for different scenarios of water demand for irrigation. The scenarios considered different irrigation rates, more restrictive than those considered in previous studies in the study area. The results showed that reductions of 25% and 50% on irrigation rates would promote long-term increases of about 20 to 40 centimeters in the water level of the Taim Wetland, identifying the need for further studies in this sense.

Palavras-Chave – Irrigação. Modelagem hidrológica. Nível de água.

1) UFSM, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, CT-LAB, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, (55)996065358, bibiana.bule@gmail.com

2) UFSM, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, CT-LAB, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, (55) 98128-3297, rutineia@gmail.com

3) UFSM, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, CT-LAB, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, (55) 99603-2047, carlafperius@gmail.com

4) UFSM, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, CT-LAB, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900, (55) 99980-3460, stefanycorreia07@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Áreas úmidas são ecossistemas importantes nos âmbitos social e ambiental, que incluem ambientes úmidos naturais e artificiais, banhados, pântanos, turfeiras, entre outros. Essas áreas promovem a regularização do fluxo de água, a manutenção de ecossistemas e, também, contribuem para a distribuição de água para fins diversos como, por exemplo, irrigação e abastecimento humano. Apesar de complexos e frágeis, estes ecossistemas também ajudam na recarga de aquíferos, influenciam no ciclo do carbono, retêm sedimentos e nutrientes, purificam águas e podem abrigar uma vasta biodiversidade (LES LANDES et al., 2014). Em certas localidades, estas áreas enriquecem o solo com sedimentos que resultam em melhores áreas para cultivo de grãos durante as épocas mais chuvosas (TANAKA et al., 2019).

Estes ecossistemas dependentes de água vêm enfrentando crescentes transformações devido ao exacerbado consumo desse recurso e, também, devido às mudanças climáticas globais. Estas transformações têm a capacidade de alterar os níveis médios de água e seus padrões temporais, sendo assim uma ameaça para serviços ecossistêmicos vitais (KLØVE, 2013). Por se tratarem de um dos ecossistemas mais frágeis e ameaçados do mundo (QUIRINO, 2019), são extremamente sensíveis a mudanças em seu balanço hídrico, as consequências são as mais variadas podendo resultar na modificação da produtividade das plantas, ciclagem de nutrientes e nas taxas de decomposição da matéria orgânica (MEYER, 1999). Além disso, as ações antropogênicas em ecossistemas de área úmida têm potencial de degradação, já que são ambientes muito sensíveis a variações e qualquer pequena mudança em seu comportamento pode ocasionar um reflexo em sua dinâmica. Isto indica que estes locais devem ser monitorados e ter suas funções protegidas (GUASSELLI, 2005).

Um exemplo de área úmida e objeto de estudo deste trabalho é a Estação Ecológica do Taim. Localizada na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, essa estação ecológica abriga o Banhado do Taim (BT), um ecossistema de vasta biodiversidade que é alvo de conflitos relacionados ao uso da água, uma vez que esta é um bem extremamente necessário para a conservação da área e sua funcionalidade e, ao mesmo tempo, objeto de necessidade para orizicultura desenvolvida na região (TASSI et al., 2011). Além disso, as regiões adjacentes ao BT, como a Lagoa Mangueira e a Lagoa Mirim possuem ligação com o mesmo, fazendo com que ele responda não somente a fatores exercidos sobre ele, mas também sobre o sistema hidrológico do Taim como um todo. Sendo assim, modificações de fatores externos implicam em mudanças no ecossistema local, definindo características e dinâmicas do BT.

O uso do solo no entorno da ESEC-Taim é de grande heterogeneidade. A região é rodeada por extensivas lavouras de arroz, campos de gado, pastagem, silvicultura (*Pinus sp.*), além de crescentes áreas destinadas à plantação de soja (QUINTELA, 2019). Embora haja heterogeneidade,

a orizicultura tem forte destaque. As fazendas de arroz variam de 250 hectares até 3.000 hectares e são irrigadas pelo sistema de inundação, o que demanda grande quantidade de água para que a lâmina necessária seja mantida (VILLANUEVA et al., 2009). Devido à grande quantidade de área plantada e irrigada por inundação, há necessidade de retirada de massivos volumes de água diretamente da Lagoa Mangueira, o que implica em mudanças nas trocas de água entre a Lagoa e o Banhado do Taim (TASSI, 2008).

Tendo em vista que o arroz é monocultura na região, e de extrema importância econômica, o cultivo deste ocorre de maneira contínua ao longo dos anos. Dessa maneira, seguem as pressões que ameaçam a biodiversidade local, devido à necessidade de conservação ecológica do Taim, sem prejudicar a quantidade disponível de água para a irrigação (necessária para culturas de arroz irrigadas por inundação) (VILLANUEVA et al., 2009).

As grandes retiradas de água para irrigação do arroz acontecem em épocas de temperaturas elevadas. Aliado a isso, observa-se também a grande quantidade de evapotranspiração durante os meses de outubro a março no Brasil, o que pode gerar redução do volume de água necessário para a manutenção da biodiversidade local, que é rica em aves, macrófitas, répteis e peixes. Devido à conexão entre as unidades hidrológicas locais, a orizicultura altera o regime hidrológico do BT por alterar o regime das outras unidades hidrológicas adjacentes importantes na manutenção dos níveis de água do BT. Por isso, conhecer a resposta devido aos forçantes externos, como o impacto das retiradas de água para irrigação, ajuda na melhora das práticas de gestão.

Face a esses conflitos, modelos matemáticos têm grande aplicabilidade, pois permitem a avaliação de diferentes cenários de gestão na busca da minimização dos conflitos, como no caso do BT. Com isso, estudos que avaliem a influência dos elementos externos através da modelagem matemática são importantes para o local, já que as alterações são capazes de modificar os níveis médios de água e seus padrões temporais, podendo representar uma ameaça para serviços ecossistêmicos vitais. Assim, por meio da utilização de um modelo proposto para a área de estudo, foi avaliada a influência das retiradas de água para irrigação através da proposição e simulação de diferentes cenários de irrigação, objetivando um melhor entendimento dos impactos das práticas de irrigação na região.

2. METODOLOGIA

2.1. Modelo hidrológico-hidrodinâmico de células

O sistema hidrológico do Taim é complexo, fato que, juntamente com a precariedade de dados hidrológicos para a região levou à inexistência de um estudo hidrológico englobando todo o sistema.

Até o ano de 1995, não havia observações de nível no local, porém, em 1995 foram instaladas réguas linimétricas na região, as quais foram monitoradas por um período, porém não estão ativas atualmente. Com essas informações obtidas através das réguas linimétricas e alguns levantamentos em campo, Villanueva (1997) desenvolveu um modelo hidrológico-hidrodinâmico pseudo-bidimensional baseado no balanço hídrico da região do BT, a fim de estimar os níveis de água na região para períodos de interesse, caracterizando o regime hidrológico do local.

O modelo divide o Banhado em células não uniformes, com rugosidades específicas, atribuindo características mais próximas à realidade e agrupadas por similaridade. O modelo é dividido em dois módulos, um chuva-vazão e outro hidrodinâmico de células propriamente dito. Os dados de entrada necessários são séries de precipitação, evaporação, volume de água retirado para fins de irrigação a partir da Lagoa Mangueira e níveis de água da Lagoa Mirim, que atua como contorno de jusante na modelagem. Como resultado da modelagem, é possível obter valores mensais de nível para cada célula do Banhado, para todos os anos da simulação, sendo a resposta dada para o centroide de cada célula. Este modelo foi teve seus parâmetros calibrados e validados com os dados observados nas réguas instaladas em 1997 (VILLANUEVA, 1997), e validado novamente (TASSI, 2008) para um novo período de dados obtidos entre os anos entre 1995 e 2002.

2.2. Coleta e tratamento dos dados de entrada

Com o objetivo de gerar diferentes cenários e realizar as simulações utilizando o modelo descrito anteriormente para avaliar a influência da irrigação no nível de água no BT, há necessidade de se obter boas informações que alimentem esse modelo. Os dados de entrada incluem valores de evaporação e precipitação na bacia de contribuição, volume de água captado a partir da Lagoa Mangueira para irrigação, além da cota da Lagoa Mirim.

As séries de precipitação dos anos de 2005 a 2012 foram obtidas através do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e, também, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizadas informações de cinco postos distribuídos ao longo da bacia de contribuição. A disponibilidade de dados atuais para a região é precária, por isso, foram utilizados os dados disponíveis, realizando-se o preenchimento de falhas quando necessário, além da espacialização da chuva para entrada no modelo.

Bem como a precipitação, a evaporação histórica na região do BT é um importante dado de entrada no modelo. Os dados de evaporação disponíveis na região são medidos através de dois evaporímetros de Piché localizados ao norte e ao sul da região de interesse e disponibilizados na plataforma online do INMET. A obtenção destes valores foi realizada através da média aritmética dos valores mensais de cada posto, pois a localização e disposição destes na área permitem tal presunção.

Os dados referentes à irrigação foram obtidos junto ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), por meio das informações disponibilizadas em seus boletins referentes à semeadura anual e quantidade de área plantada por município. Estima-se que 40% da área plantada do município de Santa Vitória do Palmar utilize água para irrigação proveniente da Lagoa Mangueira e que são necessários, em média, dois litros por segundo por hectare de área plantada (IPH, 1996). Por meio da estimativa da área alagada para plantio de arroz na região, pode-se obter o volume de água necessária para a irrigação distribuída ao longo dos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

Outra variável hidrológica que o modelo faz uso é o nível da Lagoa Mirim, utilizado como condição de contorno na modelagem. Este sistema funciona como um regulador do nível do BT, ou seja, dependendo da lâmina de água, a Lagoa Mirim recebe atua como receptor ou como contribuinte do Taim. O monitoramento dos níveis da Lagoa Mirim é realizado pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim, que é responsável pela manutenção do banco de dados de monitoramento.

2.3. Cenários de simulação

Com a finalidade de comparar o efeito de diferentes taxas de retirada de água para irrigação nos níveis do BT, quatro diferentes cenários de simulação foram criados (REF, CI, CII e CIII).

Cenário referência (REF) foi determinado utilizando todos os dados de entrada já contidos no modelo com séries de 1960 a 2004 (TASSI, 2008), juntamente com os dados novos do período de 2005 a 2012 (BULÉ, 2017). Este cenário representa valores utilizados em estudos anteriores, e foi utilizado para fins de comparação com os demais cenários. Vale ressaltar que a taxa de irrigação utilizada neste cenário é de $2 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, valor este praticado ao longo do tempo na região e recomendado a partir do ano de 1990 pelo IRGA.

Os cenários I (CI) e II (CII) foram formulados de forma a investigar a influência de diferentes taxas de irrigação ($\text{CI}=1,5 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ e $\text{CII}=1,0 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$) nos níveis do BT. Esses cenários se apresentam como possibilidades para a inclusão de melhoras nas práticas de cultivo, e recomendações obtidas no boletim técnico “Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil” (SOSBAI, 2014), embasado em pesquisas conjuntas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), IRGA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), UFPel e UFRGS. O cenário III (CIII) considerou a taxa nula de irrigação, representando o completo cancelamento da irrigação de arroz na região, em uma situação hipotética de substituição completa da cultura de arroz irrigado por outro cultivo, a exemplo da silvicultura que já ocorre na região.

Não foram realizadas simulações com taxas de irrigação superior àquela do cenário de referência, por dois principais motivos: i) a quantidade de área plantada atingiu um patamar no qual não há grandes possibilidades de expansão; ii) as tendências mundiais apontam para melhores práticas de irrigação, com taxas de aplicação menores que $2 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Para avaliar exclusivamente o impacto da irrigação, apenas os valores das taxas de irrigação foram alterados, sendo mantidas as mesmas séries históricas de precipitação, evaporação e nível da Lagoa Mirim consideradas no cenário de referência.

Os resultados das simulações foram avaliados em termos de variação nos níveis de água, variabilidade nas médias de longo período com relação ao nível de referência Banhado do Taim (2,81 m) e curvas de permanência de nível. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no item número 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as séries de precipitação, evaporação, estimativa de irrigação do cenário de referência, e série de níveis da Lagoa Mirim do período de 1960 a 2012. A série de precipitação obtida mostra a distribuição das chuvas ao longo dos anos, ressaltando a redução dos valores em épocas de primavera e leve aumento nos períodos de inverno. Com relação à evaporação, é possível observar a forte componente sazonal que faz com que ocorram maiores taxas de evaporação durante os meses mais quentes do ano. As retiradas de água para irrigação apresentam-se somente nos meses de verão, no período entre dezembro e março. É possível identificar um padrão de crescimento dos anos de 2007 até 2011 atingindo um patamar que representa o máximo de retiradas de água. A série de nível da Lagoa Mirim apresenta um nível médio de 1,73 metros, com amplitude e padrão uniformes.

A Figura 2 apresenta os níveis no Banhado do Taim obtidos através das simulações dos cenários REF, CI, CII e CIII ao longo de todo o período de estudo.

O cenário de referência representa o padrão, configuração e funcionamento atual do Banhado do Taim, ou seja, o seu ecossistema tem as características atuais devido a todas as influências que sofreu ao longo dos anos, inclusive pelas retiradas de água para irrigação que ocorrem há décadas na região. Possivelmente, se essas práticas nunca tivessem ocorrido na região, o Banhado do Taim não teria as propriedades e particularidades que tem hoje.

Considerando uma análise de longo prazo, no cenário CIII os níveis médios do Banhado do Taim aumentariam em cerca de 90 cm, impondo um novo padrão de configuração de inundação na região, possivelmente com perda dos habitats de diversas espécies e perda de diversas funções. A maior diferença de nível produzida nesse cenário chegou a 2,48 metros no mês de maio de 1986.

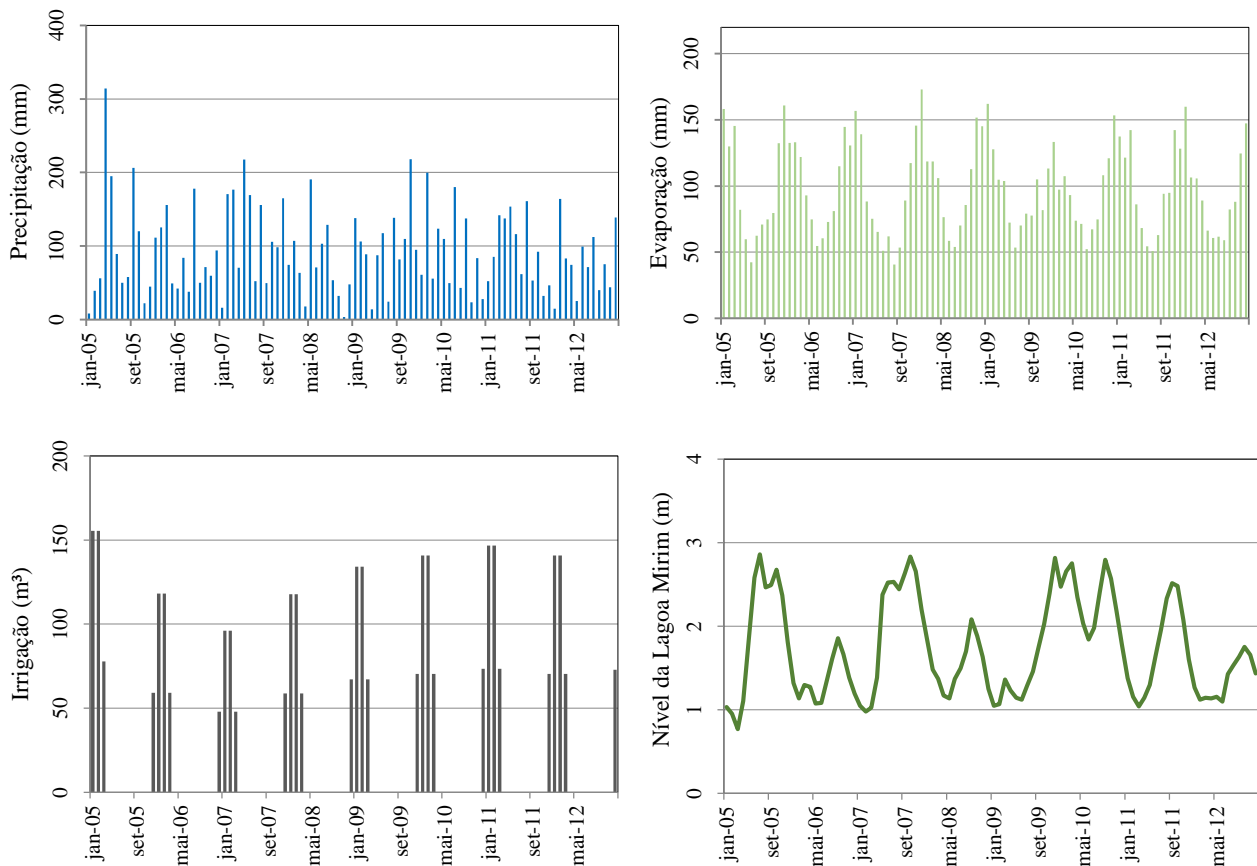


Figura 1 – Série de dados de entrada ao modelo para o período analisado.

Para o CI, a maior diferença de nível encontrada foi 1,68 metros, com acréscimo de 20 centímetros no nível de água médio; já no CII a máxima diferença de nível foi de 1,74 metros, com acréscimo de 40 centímetros no nível de água médio. O incremento nos níveis médios em longo prazo, embora aparentemente pouco significativos, se traduzem em grandes diferenças de áreas secas ou inundadas, visto que a região toda é muito plana, repercutindo em grandes mudanças para as espécies.

Além dos níveis de água ao longo do tempo, também foi obtida a curva de permanência para cada um dos cenários (Figura 3). É possível observar que os níveis máximos e mínimos se alteram entre os cenários modelados. Para todos os níveis, a curva de permanência mostra que os mesmos seriam superiores em todos os cenários em comparação com o cenário referência, o que indica que as reduções nas taxas de irrigação refletem nos aumentos de nível não somente em certos períodos, mas em todo o intervalo de tempo. O nível médio, observado em cerca de 40% do tempo para REF, passa a ser encontrado com frequências de 51%, 60% e 80% do tempo quando considerados CI, CII e CIII, respectivamente.

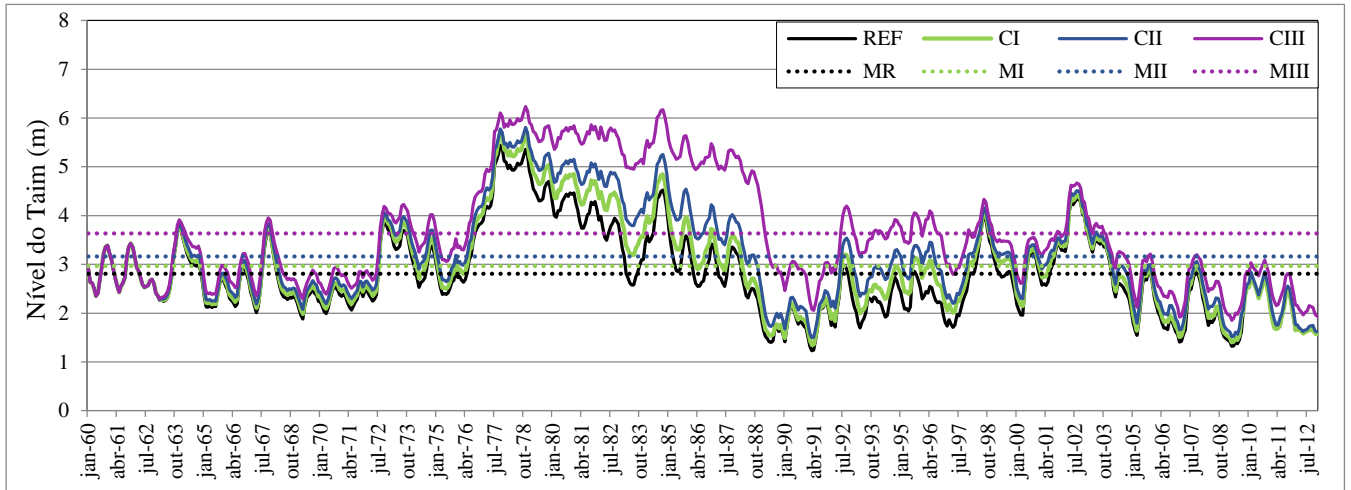


Figura 2 – Resultado obtido para os diferentes cenários simulados.

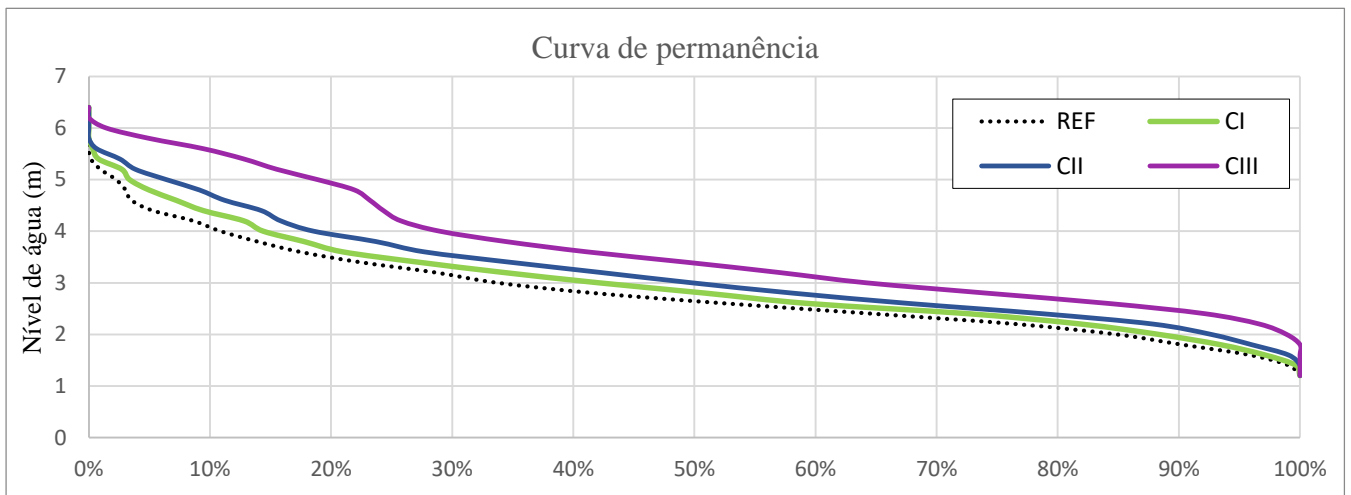


Figura 3 – Curva de permanência: representa o percentual de tempo que os níveis são igualados ou superados.

Além disso, quando avaliado CIII, destaca-se a declividade mais acentuada da curva de permanência entre os valores de 20% e 30% devido a cota da estrada funcionar como uma barragem em 5,5 metros e impedir que a água saia sem invadir a estrada local.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As análises realizadas no presente trabalho permitiram um melhor entendimento a respeito do comportamento hidrológico do Banhado do Taim quando ocorrem alterações nas demandas para irrigação. Através dos resultados obtidos, pôde-se confirmar a influência das variáveis analisadas na dinâmica do Banhado do Taim, além de quantificá-las.

Em relação à irrigação, verificou-se que uma redução de 25% nas taxas de aplicação de água promove um aumento do nível médio de água no Banhado do Taim de cerca de 20 centímetros, já a redução em 50% da taxa de irrigação promoveria um aumento médio de 40 centímetros.

A análise realizada é preliminar, embora todo o processo de análise tenha seguido critérios científicos para minimizar as incertezas no resultado, portanto, apenas serve como um indicativo de que é possível admitir a coexistência da orizicultura e conservação do Banhado, em busca da manutenção das condições hidrológicas atuais.

Destacam-se grandes dificuldades para a simulação de cenários como os considerados nesse estudo, dada a escassez de dados de qualidade, o que implica em pequenos erros que são carregados por todo o processo de simulação, incluindo incertezas aos resultados. Assim, uma rede de monitoramento de variáveis hidrológicas na região, e um melhor conhecimento a respeito das taxas efetivas de irrigação traria maior confiabilidade aos resultados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BULÉ, B. P. *Influência das variáveis hidrológicas e da irrigação nos níveis do Banhado do Taim por meio de modelagem hidrológica*. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS (2017).

GUASSELLI, L. L. *Dinâmica da vegetação no Banhado do Taim, RS*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS (2005).

IPH. *Comportamento hidrológico do Banhado do Taim*. Volume I – Relatório e anexos C, D, F, G e H. I. Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 166 p. (1996).

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. *Relatório Final de colheita do Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul*. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/6911/safra>>. Acesso em: 10 junho de 2017.

KLØVE, B.; ALA-AHO, P.; BERTRAND, G.; GURDAK, J. J.; KUPFERSBERGER, H.; KVÆRNER, J.; MUOTKA, T.; MYKRÄ, H.; PREDÄ, E.; ROSSI, P.; UVO, C. B.; VELASCO, E.; PULIDO-VELAZQUEZ, M. *Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems*. *Journal of Hydrology*, 518, 250-266 (2014).

LES LANDES, A. A.; AQUILINA, L.; DE RIDDER, J.; LONGUEVERGNE, L.; PAGÉ, C.; GODERNIAUX, P. *Investigating the respective impacts of groundwater exploitation and climate change on wetland extension over 150 years*. *Journal of Hydrology*, 509, 367-378 (2014).

MEYER, J. L. *Impacts of Climate Change On Aquatic Ecosystem Functioning and Health*. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6) (1999).

QUINTELA, F. M., LIMA, G. P., SILVEIRA, M. L., COSTA, P. G., BIANCHINI, A., LOEBMANN, D., MARTINS, S. E. *High arsenic and low lead concentrations in fish and reptiles from Taim wetlands, a Ramsar site in southern Brazil. Science of the Total Environment*, 660, 1004-1014 (2019).

QUIRINO, R. C. *Estudo hidroquímico das áreas úmidas na porção noroeste da Bacia do Rio Claro (Uberaba, MG)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro – SP (2019).

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. *Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. Santa Maria - RS, 2014. 192 p.

TANAKA, K., FUJIHARA, Y., HOSHIKAWA, K., FUJII, H. *Development of a flood water level estimation method using satellite images and a digital elevation model for the Mekong floodplain. Hydrological Science Journal*, 64(2), 241-253 (2019).

TASSI, R. *Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS (2008).

TASSI, R., BRAVO, R. M., MARQUES, D. M., CARDOSO, A. *Avaliação de projeção de anomalias de temperatura e precipitação em cenários climáticos futuros na região do sistema hidrológico do Taim, RS*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Anais. Maceió, AL-Brasil, (2011).

VILLANUEVA, A. O. N. *Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands*. 1997. 164 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS (1997).

VILLANUEVA, A. O. N., MARQUES, D. M., TUCCI, C. E. M. *The Taim Wetland Conflict: A Compromise Between Environment Conservation and Irrigation. Water International*. Vol.25,p.610-616 (2009).

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 concedida ao primeiro autor.