

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

BALANÇO HÍDRICO DE LONGO TERMO UTILIZANDO O MODELO DE SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS MGB-IPH

*Rafaela Cristina de Oliveira*¹; *Fernando Mainardi Fan*² & *Ingrid Petry*³

RESUMO - O MGB é um modelo de simulações hidrológicas que disponibiliza uma interface agregada ao QGIS, um SIG de código aberto amplamente utilizado. No MGB é possível simular o ciclo hidrológico terrestre e estimar séries temporais de vazões em rios, níveis d'água, evapotranspiração e áreas inundadas. Uma demanda apresentada pela comunidade de usuário do MGB foi a necessidade do cálculo do balanço hídrico das simulações realizadas, apresentando os resultados de forma interativa e didática. A partir do cálculo do balanço hídrico, é possível realizar a análise da ordem de grandeza de coeficientes importantes no ciclo hidrológico, como o coeficiente de escoamento, além de verificar se o período simulado representa o ciclo hidrológico completo da bacia hidrográfica, através do balanço hídrico de longo termo. Assim, foi desenvolvida a ferramenta *MGB Water Balance* que além do cálculo do balanço hídrico, apresenta importantes taxas hidrológicas, o período e a data simulados através de uma imagem. Também é possível visualizar os gráficos das variáveis evapotranspiração, precipitação, escoamento e dS/P ao longo do período de simulação. Este trabalho apresenta o processo de criação do *plugin* e realiza um estudo de aplicação da ferramenta para a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. Para a aplicação da ferramenta foram desenvolvidos três testes de verificação de eficiência dos resultados obtidos com o *plugin*. A partir dos testes, o *MGB Water Balance* conseguiu calcular de forma satisfatória o balanço hídrico de longo termo da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu.

Palavras-Chave – Balanço Hídrico; MGB; complemento QGIS.

INTRODUÇÃO

O balanço hídrico é definido como a relação entre as entradas e as saídas de água em uma bacia hidrográfica. A principal forma de entrada de água é através da precipitação, e como formas de saída existem a evapotranspiração e o escoamento (Collischonn e Dornelles, 2015). O tempo para que toda a água presente em uma bacia hidrográfica seja renovada é chamado balanço hídrico de longo termo. O número de intervalos de tempo que corresponde ao balanço hídrico de longo termo serve para indicar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica a longo prazo. Análises hidrológicas feitas em períodos menores do que o balanço hídrico de longo termo, como estudos de recarga de aquíferos, podem possuir erros, já que não consideram tempo suficiente para que ocorra total renovação da água na bacia.

¹) Graduanda em Engenharia Hídrica: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rafaela.cristina@ufrgs.br

²) Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fernando.fan@ufrgs.br

³) Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ingrid.petry@ufrgs.br

Um método comumente utilizado para representar processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica é a agregação de modelos hidrológicos com sistemas de informações geográficas (SIG), pois eles apresentam com detalhamento a região de interesse, a preparação dos dados de entrada e a interpretação dos resultados (Goodchild *et al.*, 1992). Entre os softwares disponíveis, o QGIS é um SIG de código aberto amplamente utilizado pela sua distribuição gratuita, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados, (QGIS, 2021). Dentro do ambiente do QGIS é possível programar ferramentas de trabalho e disponibilizá-las para toda a comunidade de usuários. Essas ferramentas são chamadas de *plugins* ou complementos.

Um modelo hidrológico que disponibiliza uma interface agregada ao QGIS é o Modelo de Grandes Bacias, ou MGB, (Pontes *et al.*, 2017). O MGB é um modelo de simulação hidrológica para bacias de grande escala, regiões maiores do que 1000 km². Ele utiliza equações de uma base física e conceitual, dividindo a bacia hidrográfica de estudo em unidades menores denominadas minibacias e em trechos de rios. Assim, é possível simular o ciclo hidrológico terrestre e estimar séries temporais de vazões em rios, níveis d'água, evapotranspiração e áreas inundadas (Alves *et al.*, 2020). Além de rodar o modelo, o *plugin* do MGB organiza os arquivos de entrada e disponibiliza os resultados das simulações de forma visual e interativa através da interface do QGIS.

O modelo MGB está sempre passando por melhorias e adaptações, e uma demanda apresentada pela comunidade de usuários era a observação do balanço hídrico simulado de uma forma didática e visual, a fim de permitir verificações básicas a respeito das simulações realizadas. Dessa forma, foi desenvolvida a ferramenta *MGB Water Balance*. A ferramenta realiza o balanço hídrico com os seguintes dados resultantes de simulações realizadas no MGB: precipitação, vazão e evapotranspiração. Além disso, apresenta os resultados do balanço hídrico da simulação realizada diretamente na interface do QGIS. Com o *plugin* é possível realizar a verificação da ordem de grandeza de coeficientes hidrológicos importantes, como o coeficiente de escoamento, realizar a análise do período adequado de simulação e visualizar gráficos representando o comportamento das variáveis do balanço hídrico ao longo do tempo.

Esse trabalho tem como objetivos apresentar o funcionamento da ferramenta de análise dos resultados do MGB, o *MGB Water Balance*, e avaliar os resultados gerados na sua aplicação na bacia hidrográfica do rio Iguazu. O trabalho está dividido em: introdução, contextualizando o leitor e apresentando o objetivo do trabalho; descrição do *plugin*, onde é apresentado o desenvolvimento e o funcionamento do *plugin*; metodologia, com a descrição dos testes de análise realizados na ferramenta; os resultados, que avaliam o desempenho do *plugin*; e, por último, a disponibilidade do software e as instruções para download.

DESCRIÇÃO DO PLUGIN WATER BALANCE

O desenvolvimento de ferramentas no QGIS é realizado através de código python, com o auxílio do software QT Creator, onde a interface do *plugin* é montada. O QGIS disponibiliza a ferramenta *Plugin Builder*, que facilita o desenvolvimento de *plugins* pela elaboração automática da sua base de operação, contendo os códigos fonte iniciais e arquivos de interface já nos moldes padrão.

A utilização de linguagem python é uma das vantagens do desenvolvimento de complementos no QGIS. Ela permite integração com outras linguagens e ferramentas, e oferece uma variedade de bibliotecas e funcionalidades. Além disso, é dinâmica e seus códigos podem ser escritos de forma clara e concisa, facilitando o seu aprendizado e aumentando a produtividade dos seus usuários

(Coelho, 2007). Assim, a partir da programação em python é possível desenvolver diversas funções matemáticas e calcular importantes variáveis para a compreensão do balanço hídrico de longo termo.

O balanço hídrico para longos períodos e o coeficiente de escoamento a longo prazo (que corresponde ao percentual de chuva transformado em escoamento) foram calculados a partir das fórmulas apresentadas por Collischonn e Dornelles (2015). Nesse estudo, as equações do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento a longo prazo são representadas por:

$$P = ET + Q \quad (1)$$

$$C = 100 * Q/P \quad (2)$$

onde: P = precipitação em mm/ano; ET = evapotranspiração em mm/ano; Q = escoamento em mm/ano; C = coeficiente de escoamento a longo prazo em %.

O balanço hídrico de longo prazo é representado por dS :

$$dS = P - ET - Q \quad (3)$$

O coeficiente de escoamento de longo termo é representado pela variável (Q/P), em porcentagem. Também são calculadas a taxa de água da chuva armazenada na bacia durante o período simulado e a taxa de evapotranspiração em relação a precipitação, calculadas a partir das equações a seguir:

$$dS/P = ((P - ET - Q)/P) * 100 \quad (4)$$

$$E/P = (ET/P) * 100 \quad (5)$$

A utilização do *Water Balance* permite a escolha entre calcular o balanço hídrico da última simulação realizada no *plugin* MGB ou calcular o balanço hídrico de uma simulação do MGB à escolha do usuário, como pode ser visto na Figura 1. Após a escolha do tipo de simulação, deve-se escolher o período de simulação de interesse e selecionar o local de salvamento dos resultados gerados, que também são apresentados através de uma imagem didática e informativa em inglês, onde ocorre a mudança da representação da variável do escoamento, de “Q” para “D”, como mostra a Figura 2. Além desses resultados, é possível explorar a área de gráficos, visualizando o comportamento das variáveis evapotranspiração, precipitação, escoamento e dS/P ao longo do tempo, como mostra a Figura 3, apresentando o gráfico de evapotranspiração. Ressalta-se que os gráficos de evapotranspiração, precipitação e escoamento apresentam os valores totais anuais das variáveis para os respectivos anos, enquanto o gráfico dS/P apresenta valores acumulados do início da simulação até o final da simulação, sendo acumulados ano a ano.

Figura 1 - Interface do plugin MGB Water Balance.

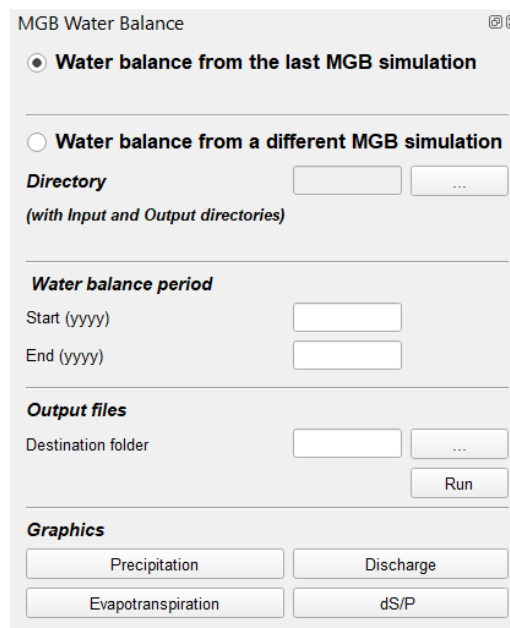


Figura 2 - Resultado apresentado pelo plugin MGB Water Balance.

Water balance of the simulation performed at MGB:

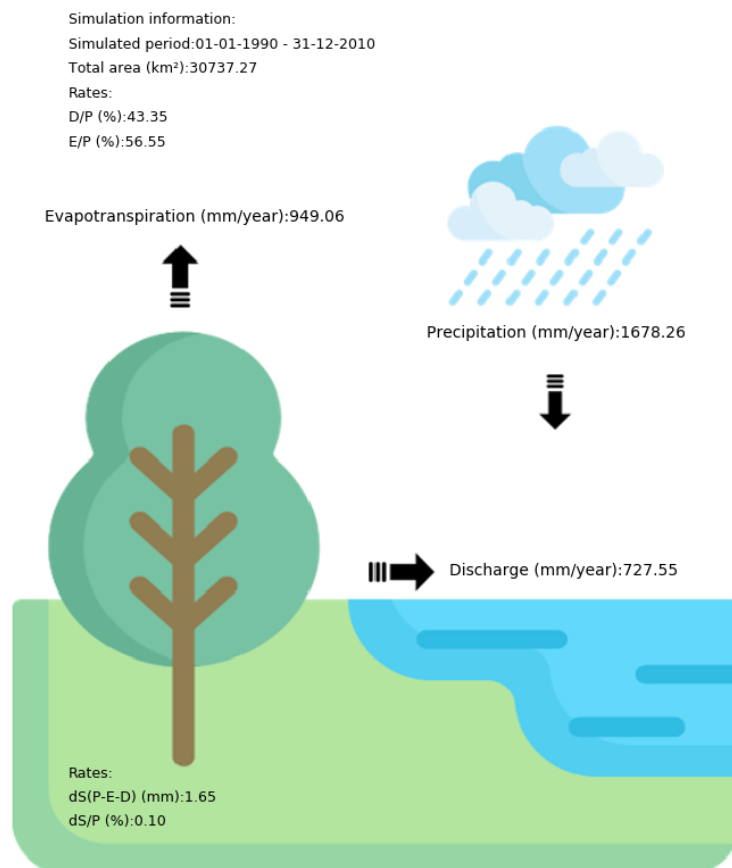
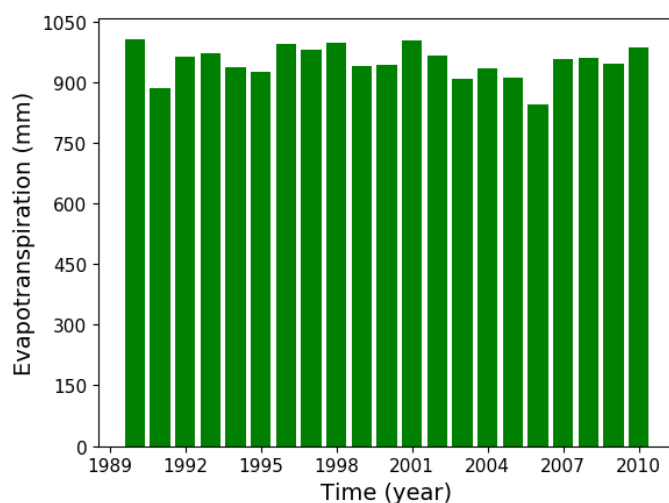


Figura 3 – Gráfico de evapotranspiração apresentado pelo plugin MGB Water Balance.



METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO WATER BALANCE

A área de estudo escolhida para avaliação da ferramenta foi a bacia do rio Iguazu, localizada parte em território brasileiro, nos estados do Paraná e Santa Catarina, e parte na Argentina. A bacia hidrográfica do Rio Iguazu foi escolhida por sua importância no estado do Paraná, já que é o maior rio do estado. Economicamente, o rio Iguazu é utilizado principalmente para a irrigação e fornecimento de energia elétrica para o estado. Sua nascente localiza-se na junção dos rios Atuba e Iraí, no município de Curitiba (PR), e sua foz localiza-se no Rio Paraná, na fronteira do Brasil com a Argentina.

A simulação realizada para análise do *plugin MGB Water Balance* foi feita para uma parcela da bacia hidrográfica do Rio Iguazu localizada na região leste do estado do Paraná. O exutório da simulação localiza-se à jusante da UHE Foz da Areia, no município de Pinhão (PR). O período de simulação escolhido foi de 1990 a 2010 e a condição inicial (QB) com o valor de $0.001 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. Foram definidas 2 sub-bacias, buscando dividir entre regiões mais declivosas e mais planas, e 933 minibacias dividindo a área de estudo. A simulação foi realizada utilizando o modelo inercial, a partir das equações de Saint Venant, adotando o valor de 0,2 no parâmetro alfa, evitando superestimar baixas vazões. Dessa forma foram obtidos os arquivos de entrada no *plugin*: MINI.gtp, InfoMGB.sim, CHUVABIN.pbi, QTUDO.QBI e EVAPTUDO_mgb.bin. A partir dos arquivos de entrada são calculadas as variáveis evapotranspiração, precipitação e escoamento com a utilização de médias ponderadas em relação a área de cada minibacia.

Para avaliar o desempenho da ferramenta foram realizados três testes de análise dos resultados do *plugin Water Balance* para a simulação realizada. O primeiro foi a análise da influência da condição inicial dada pelo parâmetro QB do modelo MGB no balanço hídrico. A condição QB está dentro da classe de parâmetros de solo e representa a quantidade inicial de água presente no solo e o escoamento de base inicial da bacia antes da simulação. Para a análise da influência dessa condição inicial foi calculado o balanço hídrico de longo termo para um período de 21 anos alterando os valores de QB de 0 a 0.1 em intervalos de 0.01. Realizando-se a variação desse parâmetro na simulação, é possível analisar a influência da quantidade inicial de água presente no solo no cálculo do balanço hídrico de longo termo.

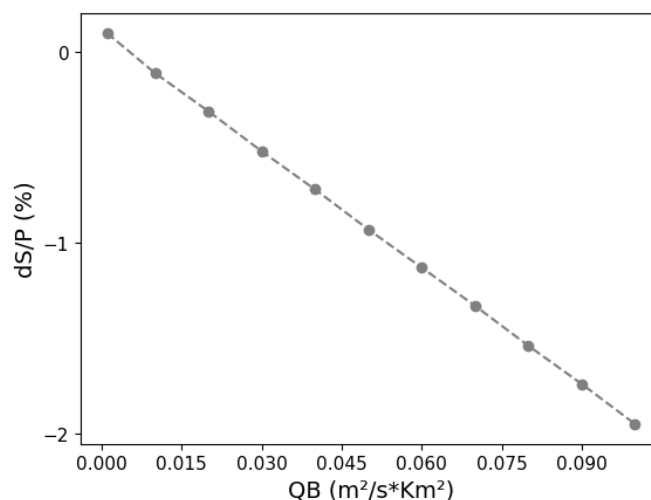
O segundo teste foi a verificação do comportamento da quantidade de água armazenada na bacia hidrográfica durante o período simulado, representado pela variável dS/P . A redução de valores de dS/P conforme aumenta-se o período simulado, para valores próximos de zero, indica que a simulação foi capaz de representar um período suficiente para um balanço hídrico de longo termo. Se esse comportamento não for observado no período de simulação, significa que o tempo que representa o balanço hídrico de longo termo na bacia é superior ao tempo da simulação realizada.

Por fim, o último teste realizado tinha como objetivo verificar o comportamento das variáveis precipitação, evapotranspiração e escoamento. Para isso, a análise foi realizada para o período de 21 anos, o maior período de dados utilizados.

RESULTADOS

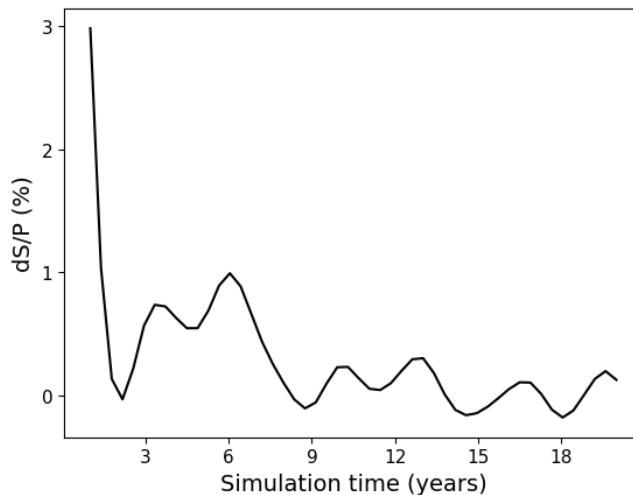
A Figura 4 apresenta os resultados do dS/P das simulações realizadas variando-se o QB . Como apresentado no gráfico a seguir (Figura 4), observa-se que as variáveis dS/P e QB apresentam relação linear e proporcional. Isso significa que, quanto maior o valor da condição inicial QB , mais água haverá na bacia hidrográfica ao final do balanço hídrico de longo termo. Dada essa influência, é possível simular o cálculo do balanço hídrico excluindo os anos iniciais, amenizando o impacto das condições iniciais nos resultados.

Figura 4 - Análise da influência do parâmetro QB no balanço hídrico da simulação.



A Figura 5 apresenta o gráfico da relação entre o dS/P e o tempo da simulação hidrológica realizada. Observa-se que a partir de 9 anos os valores de dS/P são bastante baixos (próximos de 0), e variam pouco ao longo dos 11 anos restantes de simulação. Isso sugere que o balanço hídrico de longo termo ocorre em um período de aproximadamente 9 anos, sendo esse o período de simulação satisfatório para representar o comportamento do ciclo hidrológico nessa bacia hidrográfica.

Figura 5 - Análise da variável dS/P ao longo do tempo.



A Figura 6 apresenta o comportamento da precipitação ao longo dos 21 anos de simulação, onde os valores variam de 1138,88 mm a 2286,89 mm, com pico de precipitação no ano de 1998. Na Figura 7 observa-se pouca variação nos valores da evapotranspiração ao longo da simulação. Isso deve-se pois os parâmetros utilizados no MGB para o cálculo da evapotranspiração como de temperatura e vento são atribuídos mensalmente e de maneira igualitária ao longo dos anos. Na Figura 8 são apresentados os valores do escoamento ao longo da simulação, com valor máximo de 1361,65 mm em 1998.

Figura 6 - Análise da precipitação.

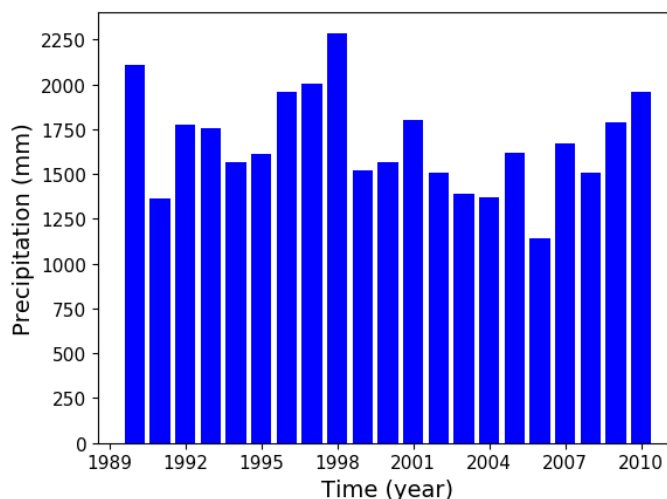


Figura 7 – Análise da evapotranspiração.

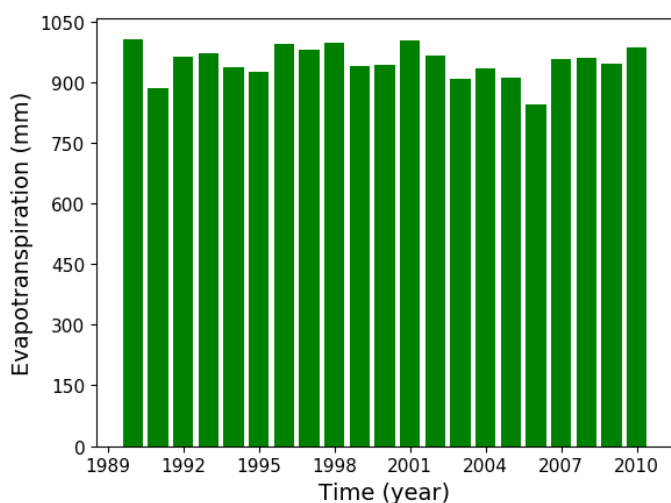
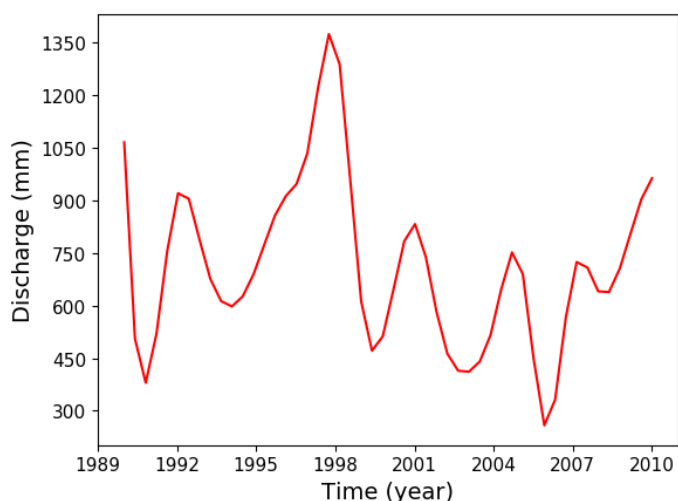


Figura 8 - Análise do escoamento.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a ferramenta *MGB Water Balance*, que utiliza os principais resultados das simulações do modelo hidrológico MGB para calcular o balanço hídrico e apresentá-lo de forma didática e interativa. Na bacia analisada, observa-se que o *plugin* foi capaz de representar o período do balanço hídrico de longo termo, mostrando-se como uma ferramenta útil para realizar uma série de análises prévias sobre o comportamento do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica a partir de simulações do MGB.

O processo de desenvolvimento do *plugin* ressalta a importância da criação de geoferramentas para suprir as demandas existentes nos modelos atualmente utilizados. Sendo assim, o *plugin* pode ajudar no desenvolvimento de tarefas e projetos na área de recursos hídricos, permitindo a rápida e didática visualização dos dados de precipitação, escoamento e evapotranspiração resultantes do MGB.

DISPONIBILIDADE DO PLUGIN

O *plugin* está disponível no site do grupo de pesquisa Hidrologia de Grande Escala (HGE), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), compatível com as versões 3.14 à 3.18.3 do QGIS, através desse link: <https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/mgb-water-balance/>. Nessa página também se encontram o manual de utilização e um vídeo explicativo do *plugin*.

REFERÊNCIAS

Alves, M.E.; Meyer, A.O; Fan, F.M.; Paiva, R.C.D. (2020). “*Manual de aplicação do modelo MGB utilizando o IPH-HYDRO Tools*”. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS.

COELHO, Flávio. (2007). *Computação Científica com Python: Uma introdução à programação para cientistas*. v.1. Petrópolis, RJ.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. ABRH Porto Alegre- RS, 31 p.

GOODCHILD, M.; HAINING, R.; WISE, S. (1992). “*Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities*. *International journal of geographical information systems*”. v. 6, n. 5, pp.407-423.

PONTES, P.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, AYAN SANTOS; PAIVA, R.; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; JARDIM, P.; SORRIBAS, M.; COLLISCHONN, WALTER. (2017) “*MGB model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS*. *Environmental Modelling & Software*”. v. 94, p. 1-20.

QGIS BRASIL , 2021 . Site oficial da comunidade QGIS Brasil. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.