

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

TRANSFERÊNCIA DE PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO ENTRE MODELOS DE QUALIDADE DA ÁGUA – QUAL-UFMG E WARM-GIS TOOLS

*Ana Raquel Pinzon de Souza*¹; *Fernando Mainardi Fan*²; *Pedro Frediani Jardim*³ & *Sidnei Gusmão Agra*⁴

RESUMO – Modelos de qualidade da água são ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, existe uma série de modelos disponíveis, que frequentemente apresentam diferenças de aplicação e de embasamento teórico. Propôs-se um estudo acerca de dois modelos de qualidade da água – o WARM-GIS Tools e o QUAL-UFMG – para um mesmo estudo de caso: realizou-se a avaliação da proximidade dos resultados da aplicação desses modelos entre si e em relação aos dados observados; e executou-se o processo de transferência dos parâmetros de calibração de um modelo para o outro, visando, sobretudo, analisar se a calibração aplicada em um dos modelos pode servir como base para a calibração de outro. Dessa forma, constatou-se que os perfis longitudinais gerados pelas aplicações de ambos os modelos, para maior parte dos parâmetros simulados, apresentaram comportamentos semelhantes entre si e aos dados observados; que, realizada a transferência dos parâmetros de calibração, o uso dos mesmos coeficientes de calibração não necessariamente motiva resultados mais próximos entre os modelos; e que ainda após a transferência, grande parte dos perfis permaneceram com calibrações satisfatórias em relação aos dados observados.

ABSTRACT– Water quality models are important tools for the management of water resources. In this context, there are many models available, which often present differences of application and theoretical basis. A study on two water quality models - WARM-GIS Tools and QUAL-UFMG - was proposed for the same case study: the results of the application of these models were compared between themselves and in relation to observed data; the process of transferring the calibration parameters from one model to the other was performed to analyze whether the calibration applied in one of the models can be used as the basis for the calibration of another. Thus, it was observed that the longitudinal profiles generated by the applications of both models, for most of the simulated parameters, presented similar behaviors among themselves and in relation to the observed data; after the transfer of the calibration parameters, the use of the same calibration coefficients does not necessarily motivate closer results between the models; and also after the transfer, most of the profiles remained with satisfactory calibrations in relation to the observed data.

Palavras-Chave – Modelos; Qualidade; Calibração.

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH– UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS. Fone: (51) 3316 6327, ana.raquel@ufrgs.br

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH– UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS. Fone: (51) 3316 6327, fernando.fan@ufrgs.br

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH– UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS. Fone: (51) 3316 6327, pedro.fjar@gmail.com

4) Profill Engenharia e Ambiente, Av. Iguazu, 451/6º andar, Porto Alegre – RS. Fone: (51) 3211-3944, sidnei.agra@profill.com.br

INTRODUÇÃO

Atividades naturais e antrópicas exercem influência sobre a qualidade das águas superficiais; a intervenção humana, em especial, tem efeitos significativos sobre tal qualidade (UN, 2011). Segundo Bartram e Balance (1996), alguns desses efeitos são o resultado de mudanças hidrológicas, como a construção de barragens, drenagem de zonas úmidas e desvios de escoamentos; existem, além dessas causas, as atividades poluidoras, como a descarga de efluentes domésticos e industriais em cursos d'água. Nesse contexto, a necessidade de representar e de entender melhor os sistemas naturais, especialmente aqueles alterados pela ação antrópica, levou à criação de uma significativa gama de modelos matemáticos da qualidade da água. Nesse sentido, o modelo matemático de Streeter-Phelps, criado em 1925 nos Estados Unidos, apresenta-se como um marco, uma vez que seus princípios são amplamente utilizados na atualidade. Segundo Fleck *et al.* (2013), a partir do referido modelo, uma série de outros modelos com características aprimoradas foram sendo desenvolvidos. Entre esses, encontra-se o QUAL-2E, desenvolvido pela USEPA (United States Environmental Protection Agency) no ano de 1985 e é, atualmente, um dos mais citados na literatura (Song e Kim, 2009). Von Sperling (2007) desenvolveu uma adaptação de tal modelo, o QUAL-UFMG, em ambiente Microsoft Office Excel, o que possibilitou aplicações rápidas e simples de modelagem de qualidade de água em rios. Outro modelo que pode ser aplicado para finalidades afins e para outras é o WARM-GIS Tools, uma atualização do modelo SAD-IPH, apresentado em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Kayser, 2011; Kayser e Collischonn, 2017).

Nessa perspectiva, a escolha de qual modelo adotar em um estudo de gestão qualitativa de recursos hídricos é uma questão frequentemente levantada em trabalhos técnicos e acadêmicos. Dependendo dos objetivos pretendidos e das habilidades do usuário, o uso de um modelo de qualidade da água pode ser mais apropriado do que de outro. Outra incerteza está relacionada com a possibilidade de aplicação dos parâmetros de calibração de um modelo para um dado estudo de caso para um outro modelo para um mesmo estudo de caso.

Sendo assim, propôs-se um estudo acerca destes dois modelos de qualidade da água – o WARM-GIS Tools e o QUAL-UFMG – para um mesmo estudo de caso: o rio Novo, situado no estado do Espírito Santo. Para tanto, fez-se a avaliação da proximidade dos resultados da aplicação dos modelos WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG entre si e em relação aos dados observados. Além disso, realizou-se o processo de transferência dos parâmetros de calibração de um modelo para o outro, visando observar se o uso dos mesmos parâmetros de calibração gera resultados mais aproximados entre os modelos e, principalmente, se a calibração aplicada em um dos modelos pode servir como base para a calibração do outro.

METODOLOGIA

Modelos de simulação de qualidade da água: WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG

Para o desenvolvimento do presente estudo, utilizou-se dois diferentes modelos de simulação da qualidade da água: o WARM-GIS Tools e o QUAL-UFMG.

O modelo matemático WARM-GIS Tools, desenvolvido por Kayser e Collischonn (2017), apresenta-se como uma atualização da plataforma SAD-IPH elaborada por Kayser (2011). O WARM-GIS Tools compreende um conjunto de operações em um ambiente de SIG, atuando em regime permanente. Destaca-se ainda que o WARM-GIS Tools se apresenta como um plug-in do *software* MapWindow GIS na versão 4.8.6. O referido pacote de ferramentas, pode ser dividido em dois diferentes módulos: módulo de simulação do balanço hídrico e módulo de simulação integrada de qualidade da água e balanço hídrico. Esse último, de especial interesse para este estudo, permite a simulação quali-quantitativa da água, considerando os lançamentos de efluentes e captações de água. Tal modelo possibilita a simulação de diversos parâmetros da qualidade da água – demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico), e coliformes termotolerantes (fecais) ou *E. coli*.

Já modelo matemático QUAL-UFMG foi desenvolvido por Von Sperling (2007) com base no modelo QUAL2-E, elaborado pela USEPA, objetivando possibilitar a modelagem da qualidade da água em rios. Em relação ao QUAL-2E, o QUAL-UFMG apresenta algumas simplificações: não são incluídas as algas e as suas inter-relações com demais constituintes, não é considerada a dispersão longitudinal e, por fim, é utilizada a integração pelo método de Euler (Von Sperling, 2014). O programa QUAL-UFMG apresenta quatro planilhas do Microsoft Office Excel, conforme descritas por Von Sperling (2014): FórmulasCoefic - contém informações sobre as fórmulas utilizadas para os cálculos da modelagem e sobre valores usuais dos coeficientes; DiagramaUnifilar - utilizada para a descrição e o detalhamento do diagrama unifilar do sistema a ser modelado; RioPrincipal - inclui a modelagem do rio principal, na qual os cálculos da simulação são efetuados e os resultados exibidos; Tributário 1 - uso opcional, correspondente à simulação de algum tributário existente no sistema a ser modelado. Tal modelo viabiliza a simulação dos mesmos parâmetros de qualidade da água que o WARM-GIS Tools.

Esses dois modelos, apesar de terem propósitos semelhantes, apresentam diferenças de embasamento teórico, como os dados de entrada necessários em cada um deles, modo de discretização dos trechos dos cursos d'água, coeficientes de calibração/equações relativas às cinéticas das variáveis da qualidade da água. Para a cinética de transformação dos constituintes da qualidade da água, de forma geral, são utilizadas diversas equações em comum no WARM-GIS Tools e no QUAL-UFMG; no WARM-GIS Tools, entretanto, para o nitrogênio orgânico e amoniacal, se desconsideram os

processos de sedimentação; para o fósforo inorgânico se considera a sedimentação do fósforo inorgânico e desconsidera a liberação de fósforo inorgânico por sedimento de fundo; e, para o oxigênio dissolvido, a equação se apresenta como uma adaptação do modelo de Streeter-Phelps, a qual desconsidera o consumo de oxigênio devido à transformação de nitrito em nitrato.

Estudo de caso e aspectos gerais

Utilizou-se como estudo de caso o rio Novo, localizado no estado do Espírito Santo, devido à disponibilidade de dados para esta região em função do estudo de enquadramento da AGERH (2019), no qual também foi aplicado o WARM-GIS Tools para realização da simulação da qualidade da água. Destaca-se que a metodologia empregada em relação à aplicação do WARM-GIS Tools baseia-se, predominantemente, na mesma aplicada no estudo da AGERH (2019), bem como em Kayser e Collischonn (2017).

Na Figura 1, pode-se visualizar o fluxograma referente à metodologia utilizada neste estudo.

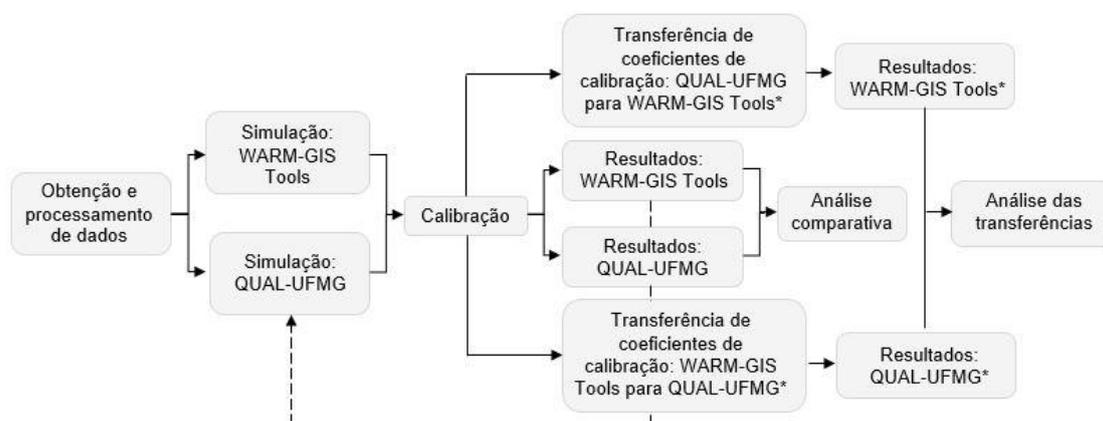


Figura 1 – Fluxograma da metodologia aplicada.

Dados de entrada

Para a simulação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do rio Novo através do modelo WARM-GIS Tools, fez-se necessária a entrada de dois arquivos vetoriais, a rede de drenagem da bacia hidrográfica, assim como as minibacias – ambos os arquivos foram provenientes do processamento do Modelo Digital de Informação (MDE), resultante da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de resolução espacial de 90 m. Para tal processamento, utilizou-se o pacote ArcHydro do ArcGIS e o *plug-in* IPH-Hydro Tools no MapWindow.

Além desses, para a aplicação do modelo WARM-GIS Tools, é necessário o arquivo MINI.GTP – gerado pela ferramenta MGB Pre Processing do IPH-HydroTools –, que apresenta uma série de informações referentes às minibacias, como área de drenagem, comprimento e declividade do trecho, e frações de classes de respostas hidrológicas (Jardim *et al.*, 2017).

Destaca-se que, no presente estudo, utilizou-se o cenário de vazão Q_{90} , obtido através do método de regionalização de vazões. Para dar entrada às informações de vazão no modelo, inseriu-se

manualmente os dados das vazões para cada uma das minibacias no formato do arquivo RESUMO_SIAQUA.txt (Fleishmann *et al.*, 2013).

Para representar as captações de água existentes na bacia, consideraram-se três categorias de acordo com AGERH (2019): captações do abastecimento humano (Estações de Tratamento de Água – ETAs) – 8 pontos; captações da indústria – 1 ponto; e captações difusas (humano rural, dessedentação animal e irrigação) – 179 pontos, localizados nos centroides das minibacias. Para representar os lançamentos existentes na bacia, consideraram-se duas categorias, também em conformidade com AGERH (2019): lançamentos das estações de tratamentos de efluentes (ETEs) – 13 pontos; e lançamentos de efluentes não tratados, concentrados nas sedes municipais – 4 pontos. Lançamentos de efluentes industriais não foram observados na bacia, portanto não houve a necessidade de representá-los na simulação. Salienta-se que os lançamentos difusos não foram levados em consideração neste estudo, uma vez que para o cenário de vazão determinado (Q_{90}) o processo de lavagem do solo ocorre de forma reduzida, não se verificando o efeito da poluição de origem difusa.

Por outro lado, para a simulação da qualidade da água somente do rio Novo no modelo QUAL-UFGM, necessitam-se alguns dados diferentes daqueles utilizados no WARM-GIS Tools; é importante destacar que, no entanto, a vazão Q_{90} no primeiro trecho, as captações e os lançamentos foram os mesmos do WARM-GIS Tools, só que aplicados somente para o rio Novo. Os dados de entrada relativos aos tributários do rio Novo – como vazão Q_{90} e concentrações dos parâmetros de qualidade da água – foram obtidos pela simulação da Bacia Hidrográfica do rio Novo no WARM-GIS Tools.

Também foi necessária a inserção de dados físicos do curso d'água no modelo QUAL-UFGM: distância do trecho modelado, altitude acima do nível do mar e coeficientes das equações de velocidade e de profundidade – as equações foram obtidas pelo processamento dos dados provenientes da estação fluviométrica 57300000 da Agência Nacional de Águas (ANA) situada no rio Novo. Além disso, inicialmente, definiu-se também a variação da distância de cada segmento do curso d'água – 0.1 km, resultando na divisão do rio Novo em 780 segmentos.

Ressalta-se que em ambos os programas, utilizaram-se como parâmetros da qualidade da água na condição inicial dos rios (cabeceiras) os valores médios sugeridos pelo WARM-GIS Tools.

Monitoramento da qualidade da água e calibração

Os dados de qualidade da água da bacia hidrográfica foram provenientes das seguintes fontes: rede de monitoramento da AGERH, constituída por 5 (cinco) estações de interesse – RNS1C005, RNS1C010, RPM2C015, LGD1L001 e LGD1L002, sendo que somente a estação RNS1C005 encontra-se no rio Novo; campanhas de monitoramento da Rede Complementar do Plano de Bacia,

composta por 5 (cinco) estações – RN01, RN02, RN03, RN04 e RN05, ao passo que somente as estações RN01 e RN02 localizam-se no rio Novo.

A calibração dos parâmetros do modelo WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG foi executada manualmente por intermédio da alteração direta dos valores dos parâmetros. Para tanto, utilizou-se o procedimento de tentativa e de erro, assim como a observação da variação dos perfis longitudinais ao se alterarem os valores dos parâmetros de calibração. Dessa forma, buscou-se a aproximação entre os dados observados e os simulados. Ressalta-se que se observou as faixas de valores típicos dos parâmetros durante o processo de calibração, conforme Von Sperling (2007).

Análise comparativa entre os resultados de aplicação dos modelos

Tanto o modelo WARM-GIS Tools quanto o QUAL-UFMG geram perfis longitudinais dos parâmetros DBO, OD, frações do nitrogênio e do fósforo e coliformes termotolerantes ao longo do curso d'água modelado. Posto isso, esses perfis constituem-se uma importante ferramenta para avaliar o comportamento dos parâmetros simulados, podendo-se analisar de forma visual se as curvas geradas pelas calibrações de ambos os modelos se comportam de maneira semelhante, assim como suas aproximações em relação aos dados observados.

Transferência dos parâmetros de calibração

Para avaliar a influência da calibração na aproximação entre os resultados das aplicações dos dois modelos e, principalmente, para analisar se a calibração de um dos modelos pode servir como base para a calibração do outro, propôs-se a realização de um estudo de transferência dos coeficientes de calibração da aplicação do modelo WARM-GIS Tools para o QUAL-UFMG, assim como o processo inverso, do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools. Para tanto, analisaram-se primeiramente, quais coeficientes são correspondentes entre os modelos, uma vez que somente esses são passíveis de serem transferidos de um modelo para outro. Assim, os coeficientes k_{so} , de sedimentação de nitrogênio orgânico, o k_1 , de desoxigenação e o coeficiente k_{spi} , de sedimentação do fósforo inorgânico não foram transferidos entre os modelos, devido a diferenças nos equacionamentos aplicados em cada um deles. Os parâmetros de calibração transferidos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros de calibração transferidos entre os modelos WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG.

Coefficientes de calibração (d^{-1})	WARM-GIS Tools	QUAL-UFMG
k_d - decomposição da matéria orgânica carbonácea	0.3 (deep); 0.4 (shallow)	0.08
k_s - sedimentação da matéria orgânica carbonácea	0.36	0.30
k_2 - reaeração	0.30	2.02
k_{oa} - conversão do nitrogênio orgânico a amônia	0.15	0.20
k_{an} - conversão da amônia a nitrato	0.20	0.50
k_{nm} - conversão de nitrito a nitrato	0.30	0.80
k_{oi} - conversão de fósforo orgânico em inorgânico	0.30	0.20
k_{spo} - sedimentação do fósforo orgânico	0.07	0.05
k_b - decaimento de coliformes	1.20	0.70

Destaca-se que, na análise de transferência dos parâmetros de calibração, utilizou-se o indicador “*”, ou seja, QUAL-UFMG* e WARM-GIS Tools* para indicar que houve, respectivamente, a transferência do WARM-GIS Tools para o QUAL-UFMG* e do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools*.

RESULTADOS

Na Figura 2, podem-se observar os perfis longitudinais gerados pela aplicação dos modelos WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG, antes e depois da transferência dos parâmetros de calibração.

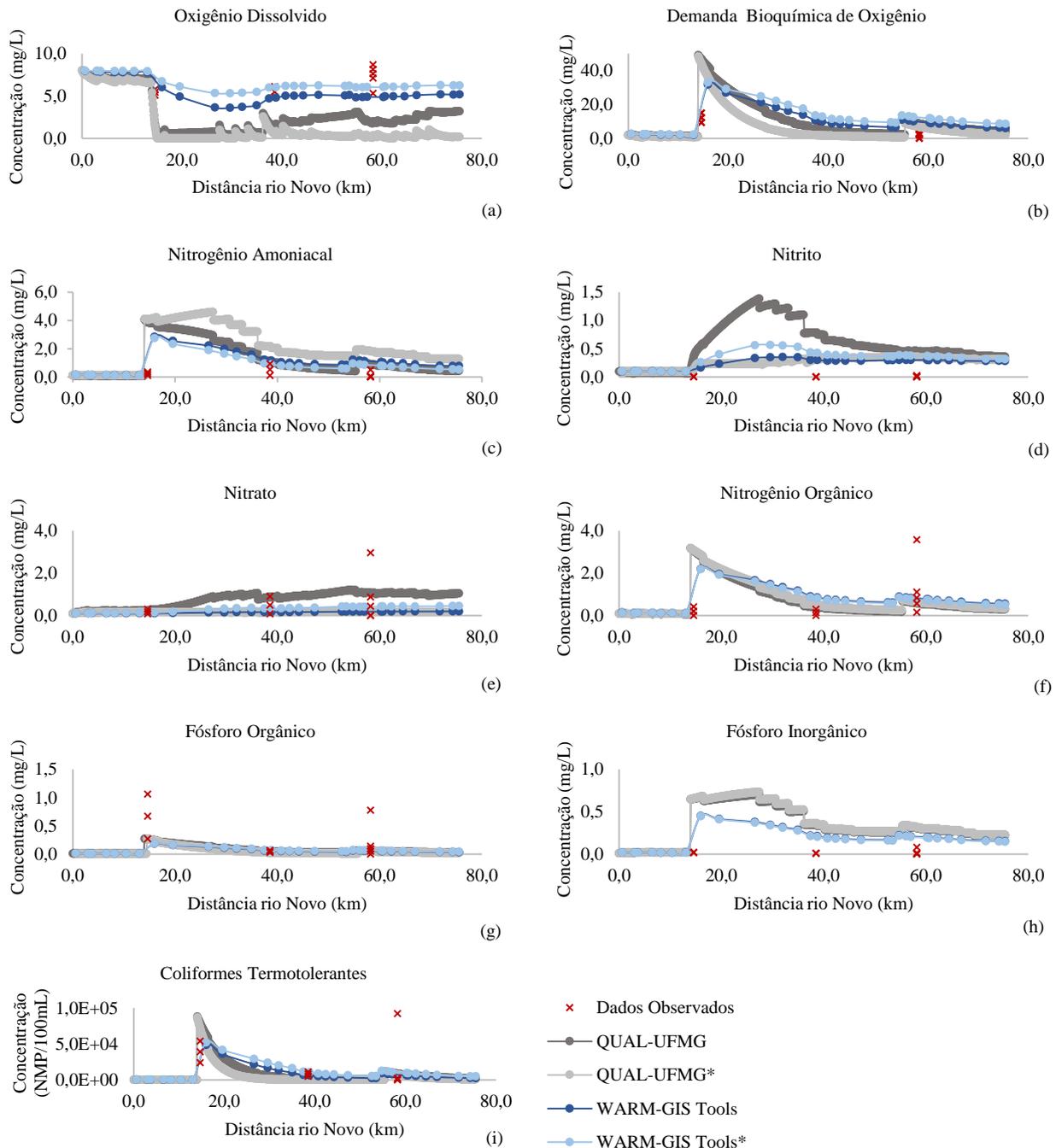


Figura 2 – Resultados gráficos da simulação do OD (a), DBO (b), nitrogênio amoniacal (c), nitrito (d), nitrato (e), nitrogênio orgânico (f), fósforo orgânico (g), fósforo inorgânico (h) e coliformes termotolerantes (i), para Q₉₀, antes e depois da transferência (*) dos parâmetros de calibração da aplicação do modelo WARM-GIS Tools para o QUAL-UFMG* e do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools*.

Por meio da análise visual dos perfis longitudinais da Figura 2, nota-se que, para a maioria dos casos, ambos os resultados das calibrações dos modelos apresentaram comportamentos semelhantes entre si e em relação aos dados observados.

Entre as exceções, encontra-se o parâmetro nitrito, que apresentou perfis com comportamentos afastados um em relação ao outro e ainda em relação aos dados observados. Para o fósforo inorgânico, também se observou um comportamento afastado dos perfis em relação aos dados observados para ambas as aplicações dos modelos. Já para o OD, notou-se o afastamento dos dados observados somente na calibração do modelo QUAL-UFMG.

Os afastamentos em relação aos dados observados podem ter sido motivados por diversos fatores – entre eles, pode-se mencionar a incerteza da calibração manual e a possibilidade de ocorrência de erros nas medições desses parâmetros de qualidade da água. Além desses fatores, tal comportamento pode estar vinculado às limitações de modelos de forma geral. Outra possibilidade seria a estimativa não adequada dos parâmetros nas condições iniciais (cabeceira).

Constata-se ainda pela Figura 2 que os novos perfis longitudinais – após a transferência dos parâmetros de calibração do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools* e do WARM-GIS Tools para o QUAL-UFMG* – afastaram-se dos perfis originais para alguns dos parâmetros de qualidade da água. Entre eles, encontram-se OD, DBO, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes; para o nitrito e nitrato, por outro lado, houve aproximação. Por sua vez, para o nitrogênio orgânico e fósforo orgânico e inorgânico, praticamente não houve alteração no comportamento dos perfis longitudinais após a realização da transferência.

Ainda pela Figura 2, nota-se que, depois da transferência de parâmetros da aplicação do WARM-GIS Tools para o QUAL-UFMG*, os perfis dos parâmetros OD e nitrogênio amoniacal apresentaram afastamento em relação aos dados observados; para o nitrito, entretanto, houve aproximação. Para a DBO, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico e inorgânico e coliformes termotolerantes verificou-se que praticamente não houve modificações de afastamento e/ou aproximação dos novos perfis em relação aos dados observados. Por outro lado, na transferência de parâmetros de aplicação do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools*, o parâmetro nitrito apresentou afastamento em relação aos dados observados, enquanto o OD, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico e inorgânico e coliformes termotolerantes permaneceram com seus perfis longitudinais próximos aos dados observados.

Cabe destacar que, considerando a calibração aplicada neste estudo, deve-se dar atenção ao utilizar os coeficientes do WARM-GIS Tools no QUAL-UFMG* referentes ao OD e ao nitrogênio amoniacal, uma vez que o perfil longitudinal apresentou afastamento em relação aos dados observados. Possivelmente, esse resultado poderia estar relacionado à aplicação de diferentes equações para o OD em cada modelo; ressalta-se, entretanto, que na transferência do QUAL-UFMG

para o WARM-GIS Tools* não se observou o mesmo comportamento para o OD. Ainda, a equação relativa ao nitrogênio amoniacal no QUAL-UFMG considera a liberação por sedimento de fundo, enquanto que o WARM-GIS Tools não; essa diferença, contudo, pode ser desprezada, uma vez que esse processo foi desconsiderado na simulação realizada no QUAL-UFMG, tornando as equações do nitrogênio amoniacal iguais entre os modelos.

Salienta-se que, no caso da transferência do QUAL-UFMG para o WARM-GIS Tools*, é preciso dar atenção para o parâmetro nitrito, tendo em vista o comportamento de afastamento do perfil longitudinal em relação aos dados. Para o nitrito, utiliza-se a mesma equação em ambos os modelos, demonstrando que, possivelmente, a motivação para tal afastamento pode estar associada a outras diferenças de base teórica dos modelos.

CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados apresentados anteriormente, percebe-se que:

- De uma maneira geral, as calibrações aplicadas forneceram resultados aproximados em relação aos dados observados;
- Os perfis longitudinais gerados pelas aplicações de ambos os modelos, para maior parte dos parâmetros simulados, mostraram comportamentos semelhantes;
- Após a transferência dos coeficientes de calibração na presente aplicação, o uso dos mesmos coeficientes de calibração não necessariamente motiva resultados mais próximos entre os modelos;
- Ainda após a transferência, grande parte dos perfis permaneceram com calibrações satisfatórias em relação aos dados observados. Sendo assim, os coeficientes de calibração de um modelo podem servir como base para a calibração do outro; não garantindo, entretanto, a calibração considerada como mais adequada para ambos os modelos após a transferência.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH) (2019). *Definição do Enquadramento e Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Novo: Relatório da Etapa B, Enquadramento*. Vitória – ES, 84 p.

BARTRAM, J.; BALLANCE, R (1996). *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. TJ Press (Padstow) Ltd, Reino Unido, 396 p.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E (2013). *Principais modelos matemáticos de qualidade da água e suas aplicações: uma revisão*. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, (4-7), p. 47-62.

FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W (2013). *Manual 1.1 de exemplo de preparação de dados de entrada do modelo SIAQUA-IPH: ArcHYDRO e MGB-IPH – Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre –RS, 70 p.

JARDIM, P. F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; OLIVEIRA, A. M.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. (2017). *Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB-IPH 2017 utilizando o IPH-hydro Tools*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre –RS, 90 p.

KAYSER, R.H.B.; COLLISHONN, W. (2017). *Manual Teórico-Prático da Ferramenta WARM-GIS Tools Exemplo de aplicação na Bacia do Rio das Almas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 39 p.

KAYSER, R.H.B (2011). *Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre –RS, 123 p.

SONG, T.; KIM, K (2009). *Development of a water quality loading index based on water quality modeling*. Journal of Environmental Management, (90-3), p. 1534-1543.

UNITED NATIONS (UN) (2011). *UN Water Policy Brief: Water Quality*. Genebra, 22 p.

VON SPERLING, M (2007). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Belo Horizonte (MG). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 452 p.

VON SPERLING, M (2014). *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 588 p.