

Tendências dos modelos hidrológicos integrados aos sistemas de informações geográficas a partir da cienciometria

Jordana Moura Caetano*, Derblai Casaroli

Universidade Federal de Goiás, Goiania, GO, Brasil
Autor correspondente, e-mail: jordanamcaetano@gmail.com

Resumo

O desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm incentivado e melhorado o uso e expansão dos modelos hidrológicos em todo o mundo. Este desenvolvimento permite a utilização da modelagem hidrológica para simular de forma mais simples, econômica e realista, o funcionamento dos sistemas das bacias hidrográficas. A fim de otimizar essa integração, novas ferramentas computacionais, modelos hidrológicos e SIGs estão sendo desenvolvidos, possuindo ampla utilização. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo cienciométrico para quantificar e verificar as tendências das publicações científicas sobre modelos hidrológicos e suas integrações aos sistemas de informação geográfica (SIGs). A busca dos trabalhos científicos foi realizada na base de dados Scopus, utilizando os seguintes termos: modeling OR model* AND hydrologic* OR hidrological AND "Geographic* Information* System*" OR "GIS", sendo que o levantamento de dados foi realizado no dia 21 de setembro de 2015. Observou-se, de maneira geral, um aumento global no número de trabalhos publicados sobre o tema em função do tempo, em anos ($r = 0,96$), e que os trabalhos brasileiros apresentam a mesma tendência no aumento das publicações a partir do ano de 2006. Além disso, o principal viés desses trabalhos é o desenvolvimento de metodologias de integração dos modelos hidrológicos com os SIGs.

Palavras-chave: ferramentas SIG, hidrologia, modelagem hidrológica, revisão bibliográfica

Trends in hydrological models integrated with geographical information systems by scientometric

Abstract

The remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) development have encouraged and improved the use and spanion of hydrological models worldwide. This development allows the use of hydrological models, simulating watersheds systems operation in a more simple, economical and realistic way. In order to maximize this integration, new computational tools, hydrological models and GIS are being developed. This study aimed to apply the scientometric study to quantify and verify the tendencies of the scientific publications of hydrological models and their integration with geographic information systems (GIS). Scientific papers search was accomplished in Scopus database, using the following terms: modeling OR model* AND hydrologic* OR hidrological AND "Geographic* Information* System*" OR "GIS", and the data were obtained on September 21, 2015. It can be observed, in general, an increase in the number of papers published according to time, in years ($r = 0.96$) and the same trend was observed for Brazilian studies, starting from 2006. Moreover, the main direction of these studies is to develop methodologies that could integrate hydrological models with GIS.

Keywords: GIS tools, hydrological modeling, hydrology, literature review

Recebido: 15 Março 2015
Aceito: 09 Outubro 2015

Introdução

O aumento da compreensão dos diversos fenômenos naturais associados ao ciclo hidrológico e suas inter-relações possibilitaram o desenvolvimento de modelos matemáticos aplicados à hidrologia (Viola et al., 2013). Esses modelos descrevem a dinâmica da água em ecossistemas naturais com precisão aceitável, sendo usados como ferramentas para a gestão de recursos hídricos.

Os modelos hidrológicos representam adequadamente a realidade física de processos hidrológicos (Pan & King, 2012; Gong et al., 2010). A aplicação dos modelos hidrológicos em bacias hidrográficas contribui para o conhecimento das previsões dos fluxos de reservatórios, para a segurança pública (e.g. riscos de inundações) e para avaliação dos impactos das atividades humanas sobre os recursos hídricos (Bouda et al., 2012; Kang & Merwade, 2011).

A modelagem hidrológica limita-se quanto à aquisição de dados referentes ao uso e ocupação do solo, das formas de relevo e dados de séries temporais de precipitação, vazão e sedimentação. Entretanto, estas limitações podem ser minimizadas com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de sistema de informação geográfica (SIG) (Fadil et al., 2011). Os dados de entrada, em formato SIG, fornecem estrutura para o desenvolvimento, verificação e eventual aceitação de novos modelos hidrológicos capazes de prover máxima informação desses novos dados (Kang & Merwade, 2011).

Com base no SIG e em técnicas computacionais, a função de pré-processamento de modelos hidrológicos tem sido simplificada, além de se verificar uma otimização na capacidade de gerenciamento e análise de dados (Lei et al., 2014). Assim, muitos modelos têm sido desenvolvidos e melhorados continuamente, obtendo-se sucesso para a caracterização dos processos hidrológicos e na resolução de problemas práticos (Viola et al., 2013).

Visto tais progressos tecnológicos nesse campo da hidrologia, a avaliação desses avanços é fundamental na expansão do conhecimento científico. Dentre os métodos

de estudo do sistema de ciência, tecnologia e inovação, encontra-se o campo disciplinar denominado *cienciometria*.

A *cienciometria* é o estudo dos aspectos quantitativos da ciência como disciplina ou atividade econômica. Compõe a sociologia da ciência e se aplica na elaboração das políticas científicas. Compreende estudos quantitativos das atividades científicas, incluindo as publicações (Louzada-Junior & Freitas, 2011).

Objetivou-se verificar as tendências de estudos científicos que versam sobre modelos hidrológicos e a integração entre estes modelos e as ferramentas SIG na literatura científica global. Além disso, investigou-se os trabalhos brasileiros que utilizaram a modelagem hidrológica integrada ao SIG a fim de quantificar a evolução dessa área da ciência no Brasil e obter informações de quais modelos e softwares estão sendo utilizados nesses estudos, visto que pesquisas sobre esse assunto ainda são incipientes e o conhecimento desses dados contribui para o aperfeiçoamento dos modelos hidrológicos e ferramentas SIG já difundidas e para o desenvolvimento de novas metodologias. Para obtenção dessas informações, realizou-se uma análise *cienciométrica*.

Material e Métodos

O levantamento *cienciométrico* foi realizado utilizando o banco de dados "SciVerseScopus" (<<http://www.scopus.com/scopus/home.url>>), conforme metodologia apresentada por Marcionilio et al. (2015) e Ferreira et al. (2014). A base de dados Scopus foi adotada por possuir o maior número de periódicos indexados em seu sistema, segundo a editora Elsevier (2014), mais de 21.000 revistas científicas.

Fez-se uma busca de todos os trabalhos publicados até o ano de 2014 que possuíam no título, resumo e/ou palavra-chave: *modeling OR model* AND hydrologic* OR hidrological AND "Geographic* Information* System*" OR "GIS"*. O levantamento de dados foi realizado no dia 21 de setembro de 2015.

Foram avaliados em cada artigo: i) ano de publicação, ii) tipo de trabalho, iii) nome do periódico em que o trabalho foi publicado, iv)

área de concentração, v) palavras-chave, vi) idioma, vii) país de publicação, e, para todos os trabalhos brasileiros viii) modelo hidrológico utilizado, e ix) software integrado ao modelo hidrológico.

As tendências temporais do número de trabalhos foram investigadas usando a correlação de Pearson ($p < 0,05$) a fim de se correlacionar o número de artigos com o ano em que foram publicados.

Resultados e Discussão

Foram encontrados 3.064 trabalhos, em que, os primeiros trabalhos publicados são referentes ao ano de 1980 (ano 1 das publicações), conforme apresentado na Figura

1. Na Figura 1A, pode-se observar um ajuste de regressão linear entre o número de trabalhos publicados em função do tempo ($R^2 = 0,9213$; $p < 0,05$). O estudo mostrou um aumento na produção científica a cada ano ($r = 0,96$; $p < 0,05$), a uma taxa média de aproximadamente seis vezes maior, em relação ao ano subsequente.

No decorrer dos anos 80 houve um aumento no número de trabalhos publicados, contudo, esse crescimento não foi expressivo ($R^2 = 0,4152$ – Figura 1B). Verificou-se um aumento significativo no número de publicações a partir da década de 90 ($R^2 = 0,9168$ – Figura 1C), saindo de uma taxa crescente de 1,1 publicações anuais na década de 80, para 8,7 ano⁻¹ na década de 90.

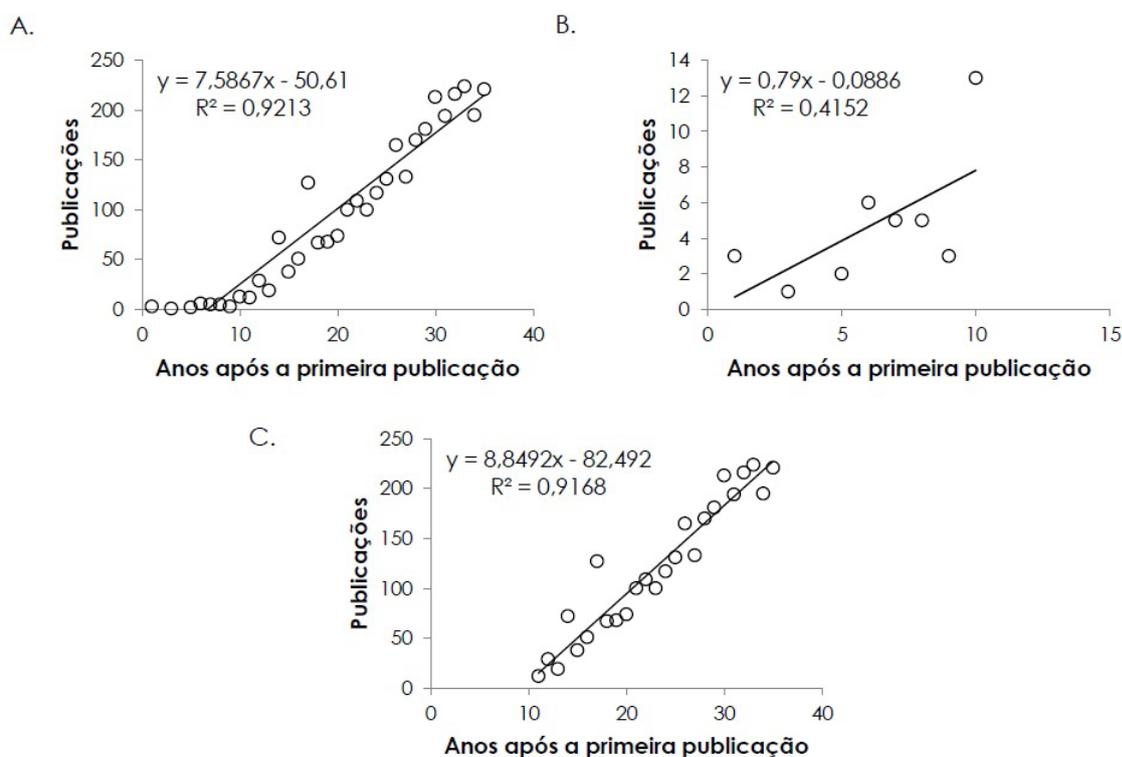


Figura 1. Número de trabalhos publicados referentes a modelos hidrológicos e sistema de informação geográfica em função dos anos após a primeira publicação, iniciando-se em 1980 (ano 1) até 2014 (ano 35) (A); igualmente para o período de 1980 à 1989 (B); e de 1990 à 2014 (C)

Os SIGs e os modelos hidrológicos foram desenvolvidos de maneira independente nas décadas de 60 e 70. Os modelos hidrológicos distribuídos por quadrículas foram os primeiros a serem utilizados de maneira integrada ao SIG, sendo que tal integração, objetivando o armazenamento, gerenciamento e apresentação dos dados de entrada e saída, data da década de 80 (Sui & Maggio, 1999), justificando os primeiros trabalhos terem sido

encontrados a partir de 1980.

A maioria dos trabalhos ($n = 1.921$; 62,7%) foi publicado na forma de artigo, além dos artigos no prelo ($n = 16$; 0,5%). Destacaram-se ainda publicações como: “Conferências” ($n = 867$; 28,3%) e “Revisões” ($n = 51$; 1,7%). Ainda, foram verificadas outras publicações, que contabilizaram menos de 7,0% do total. Segundo Pinto & Grelle (2009), os trabalhos científicos são, em sua maioria, publicados na forma de artigos

nas diferentes áreas do saber, podendo-se considerar os artigos científicos a generalização dos estudos e pesquisas.

Os trabalhos analisados foram publicados em 137 periódicos diferentes, sendo 31% das publicações encontradas em 20 periódicos (Figura 2). A revista que mais publicou

trabalhos científicos com o tema abordado neste estudo foi a *IAHS AISH Publication* (IAHS-AISH P) com 171 trabalhos publicados, seguida pelas revistas *Journal of Hydrology* (J HYDROL) e *Hydrological Process* (HYDROL PORCESS), que publicaram 85 e 84 trabalhos, respectivamente (Figura 2).

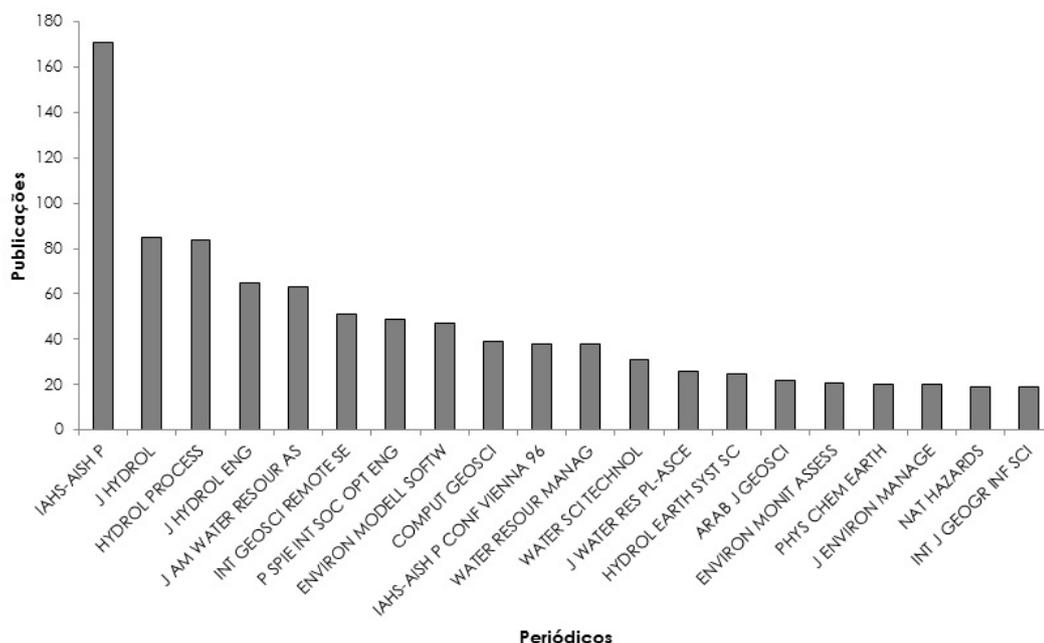


Figura 2. Número de publicações por periódico: IAHS AISH Publication (IAHS-AISH P); Journal of Hydrology (J HYDROL); Hydrological Process (HYDROL PROCESS); Journal of Hydrologic Engineering (J HYDROL ENG); Journal of the American Water Resources Association (J AM WATER RESOUR AS); International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (INT GEOSCI REMOTE SE); Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering (P SPIE INT SOC OPT ENG); Environmental Modelling and Software (ENVIRON MODELL SOFTW); Computers and Geosciences (COMPUT GEOSCI); Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management Proc Hydrogis 96 Conference Vienna 1996 (IAHS-AISH P CONF VIENNA 96); Water Resources Management (WATER RESOUR MANAG); Water Science and Technology (WATER SCI TECHNOL); Journal of Water Resources Planning and Management (J WATER RES PL-ASCE); Hydrology and Earth System Sciences (HYDROL EARTH SYST SC); Arabian Journal of Geosciences (ARAB J GEOSCI); Environmental Monitoring and Assessment (ENVIRON MONIT ASSESS); Physics and Chemistry of the Earth (PHYS CHEM EARTH); Journal of Environmental Management (J ENVIRON MANAGE); Natural Hazards (NAT HAZARDS) e International Journal of Geographical Information Science (INT J GEOGR INF SCI)

A maioria dos trabalhos está dentro da área de concentração “Ciências Ambientais” (n = 1.705), precedendo a área de concentração “Ciências da Terra e Planetária” (n = 1.208). Em seguida, encontram-se as áreas “Engenharia” (n = 634) e “Ciências Agrárias e Biológicas” (n = 445). Além destas, outras áreas de concentração também foram encontradas, tais como: “Ciências da Computação” (n = 364), “Ciências Sociais” (n = 288) e “Matemática” (n = 102). Outras 16 áreas de concentração tiveram um número de publicações menor que 100 (Figura 3).

As revistas nas quais os trabalhos são publicados é um dos critérios para avaliação

do contexto em que se insere o campo do conhecimento em estudo (Vanti, 2002). Nesse caso, as revistas aqui computadas editam, em sua maioria, trabalhos específicos das áreas de hidrologia, com viés, principalmente, para as ciências ambientais e geociências. Contudo, pode-se observar uma ampla abrangência tanto por parte das revistas que publicaram sobre o tema abordado quanto da área de concentração de tais trabalhos. Isso pode ser devido aos modelos hidrológicos serem uma ferramenta de subsídio ao trabalho de profissionais de diversos campos do conhecimento (Collischonn & Tucci, 2003; Kang & Merwade, 2011), sobretudo, quando integrados às ferramentas SIGs, que permitem

a manipulação de dados espaciais, auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao planejamento e ao ordenamento territorial (Kaiser, 2006).

Quanto às palavras-chave, foram computadas 162 em todo o levantamento, sendo que a mais citada foi "GIS" (1.685 trabalhos), seguida por "Geographic information systems" (n = 1.321), "Hydrology" (n = 905), "Hydrological modelling" (n = 739), "Watersheds" (n = 679),

"Runoff" (n = 642), "Remote sensing" (n = 544), "Computer simulation" (n = 483), "Mathematical models" (n = 465), "Land use" (n = 3946), "Watershed" (n = 381), "Digital elevation model" (n = 336), "Rivers" (n = 332), "Water quality" (n = 323) e "Catchments" (n = 323). Na Figura 4 encontram-se as palavras-chave que tiveram ao menos 300 ocorrências nos trabalhos pesquisados.

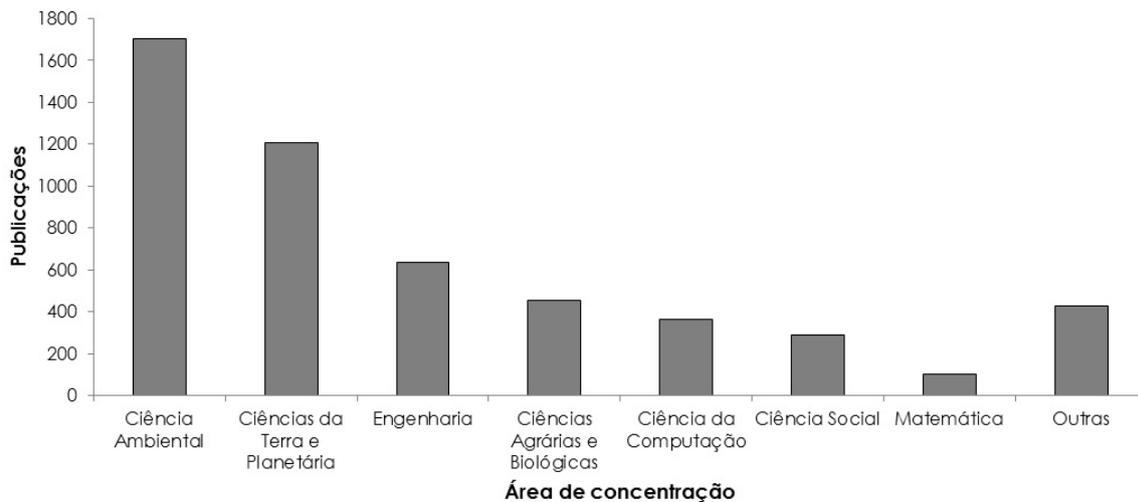


Figura 3. Principais áreas de concentração dos trabalhos publicados

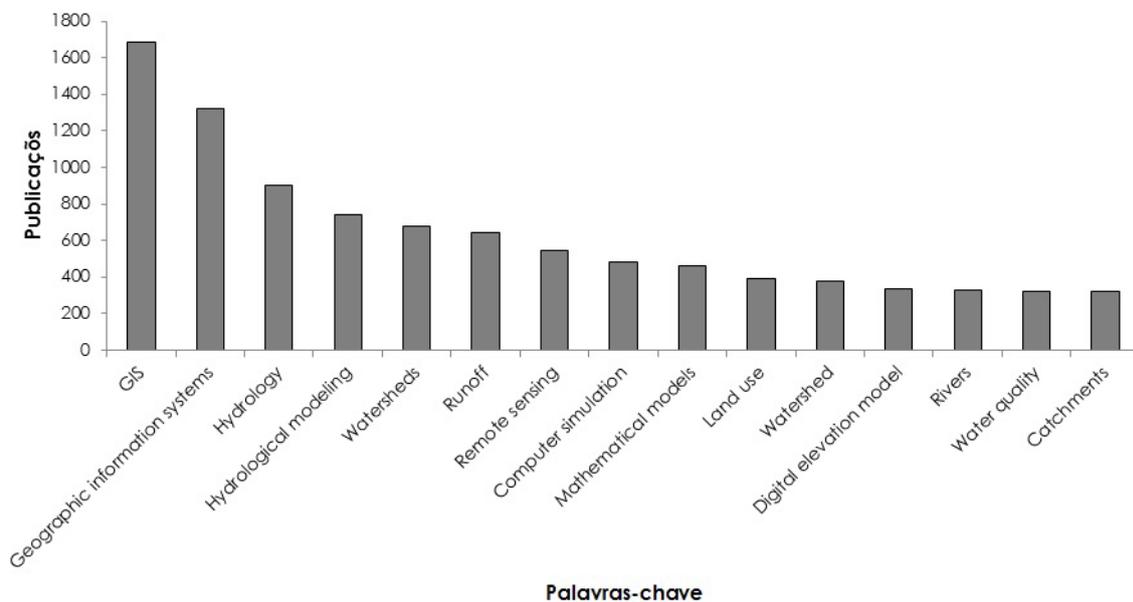


Figura 4. Palavras-chave mais frequentes nos trabalhos analisados

Observa-se que as quatro principais palavras-chave estão vinculadas aos sistemas de informação geográfica e à modelagem hidrológica. Assim, analisou-se os trabalhos quanto a sua temática principal, e obteve-se como resultado que cerca de 40% dos trabalhos

buscaram a integração desses dois temas (i.e., modelos hidrológicos e SIG) ou, principalmente, o desenvolvimento de metodologias sobre o assunto.

Os trabalhos seguem esse viés, pois, embora se verifiquem vantagens da aplicação

do SIG na modelagem hidrológica, o uso crescente dessas ferramentas vem demandando uma maior investigação, a fim de identificar os principais erros, problemas e incoerências desta integração. Segundo Sui & Maggio (1999), algumas metodologias necessitam de uma maior abordagem da problemática envolvida na integração, sobretudo, no que rege a aleatoriedade, o espaço e o tempo, para a aplicação de modelos hidrológicos. A partir destas análises, podem surgir restrições a respeito do tipo de modelos hidrológicos que podem ser desenvolvidos e/ou integrados a um SIG. Assim, para haver uma interface entre modelos e SIG, o modelo escolhido deverá levar em conta o processo hidrológico a ser analisado

e, conseqüentemente, o SIG deve oferecer funcionalidades que permitam gerar, editar e analisar o processo que o modelo solicita (Mendes, 1996).

A maioria dos trabalhos foi escrito na língua Inglesa ($n = 2.878$), sendo seguidos pelos idiomas Chinês ($n = 81$), Alemão ($n = 34$), Francês ($n = 30$), Espanhol ($n = 27$) e o Português ($n = 13$), além de outros 12 idiomas.

Assim, os Estados Unidos obteve o maior número de publicações ($n = 986$), representando 32,2% do total de trabalhos, sendo seguido pela China ($n = 349$; 11,4%), e Alemanha ($n = 208$; 6,8%), Índia ($n = 148$; 4,8%) e Itália ($n = 127$; 4,1%). O Brasil foi o 15º colocado em número de publicações ($n = 47$; 1,5%) (Figura 5).

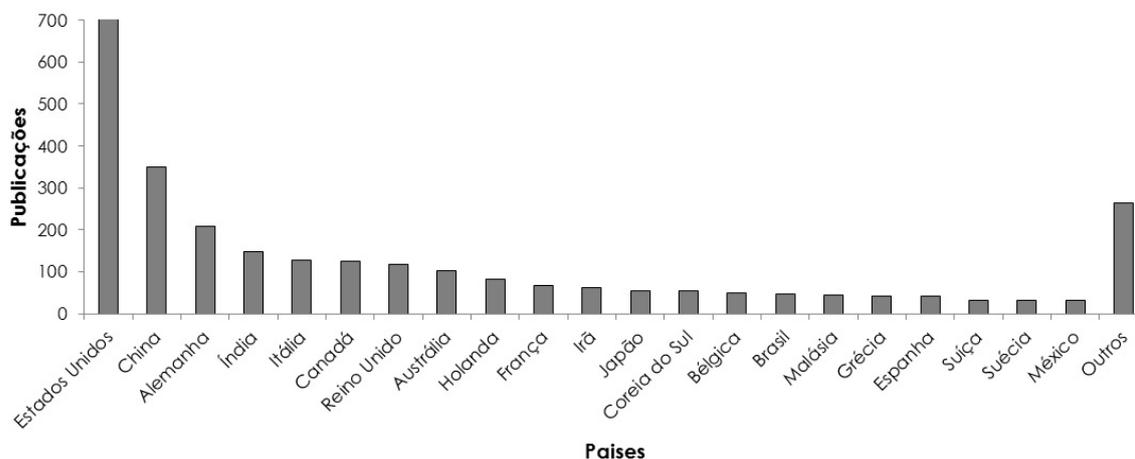


Figura 5. Números de trabalhos em função do país de publicação

O destaque tanto dos Estados Unidos quanto da China pode ser reflexo dos investimentos em infraestrutura e de financiamentos às pesquisas, não somente de instituições públicas, mas também de empresas privadas e organizações não-governamentais, além da criação de diversos programas de apoio às iniciativas científicas (Ferreira et al., 2014).

O primeiro trabalho publicado no Brasil foi em 1995 (ver Campana et al., 1995), e apenas seis anos após, em 2001, verificou-se outra publicação (ver Campana & Tucci, 2001), conforme Figura 6A. Até o ano de 2005 não houve um crescimento no número de trabalhos publicados, isto é, a taxa no número de publicações foi igual a zero. Entretanto, a partir de 2006 até 2014 houve uma taxa crescente de publicações, perfazendo cerca de 0,25 artigos por ano (Figura 6B). No ano de 2014 houve uma

queda nas publicações (Figuras 6A e 6B).

As publicações brasileiras apresentaram um crescimento exponencial, tanto considerando todo o período desde a primeira publicação até 2014 ($R^2 = 0,7139$, $p < 0,05$) quanto para o período com maiores taxas de publicação, entre 2005 e 2014 ($R^2 = 0,5373$, $p < 0,05$). Assim, pode-se afirmar que o Brasil segue a tendência mundial de popularização do uso de SIG, principalmente como ferramenta de apoio à modelagem hidrológica, nas etapas de preparação de dados de entrada dos modelos e na análise e visualização dos resultados, corroborando com a literatura especializada (Kaiser, 2006).

A Tabela 1 apresenta os modelos hidrológicos utilizados nos trabalhos publicados pelo Brasil e os SIGs utilizados de maneira integrada com tais modelos.

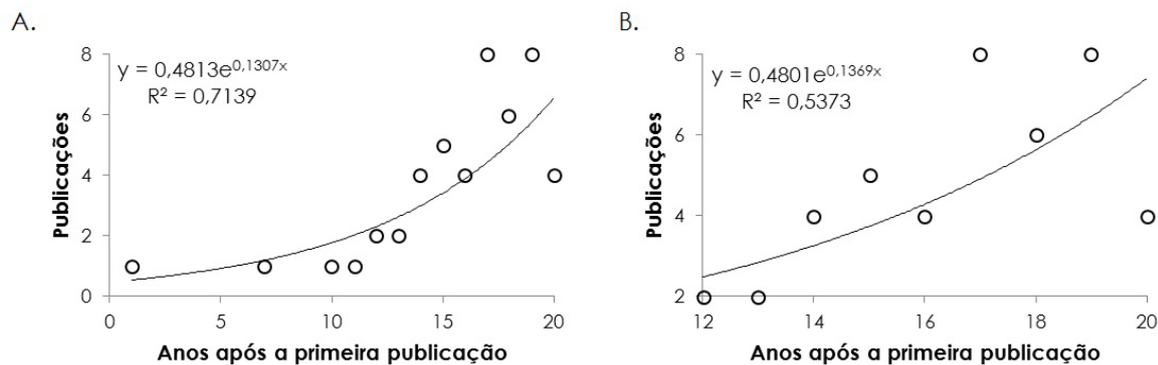


Figura 6. Número de trabalhos sobre modelos hidrológicos e sistema de informação geográfica publicados pelo Brasil ($n = 47$), para o período de 1995 até 2014, correspondentes ao primeiro ano após a primeira publicação e vigésimo ano após a primeira publicação, respectivamente (A); e para o período de 2006 a 2014, respectivamente, 12º e 20º anos após a primeira publicação (B)

Tabela 1. Modelos hidrológicos computados nos trabalhos sobre modelagem hidrológica, utilizando o sistema de informação geográfica (SIG), bem como, as ferramentas SIG utilizadas em modelos hidrológicos, publicados no Brasil

Modelo Hidrológico	n	SIG	n
Digital Elevation Model (DEM)	12	ArcGIS	16
Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH)	4	ArcView	2
Curva-Número Modificado (CN-MMS)	2	TerraLib GIS	2
Digital Terrain Model (DTM)	2	ArcHydro	2
Lavras Simulation of Hydrology (LASH)	2	ENVI	1
Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	2	NDHPlus	1
SWAT	2	PCRaster	1
Water Erosion Prediction Project (WEPP)	2	QGIS	1
Curva Número (CN-SCS)	1	SPRING	1
Geographical Aware-Graph Coupling Structure (G-GCS)	1	TNTmips	1
GTOPO30	1		
Hydrologic-hydrodynamic Model (IPH IV)	1		
MUSLE	1		
Self-organizing map (SOM)	1		
Semantic Import Model (SIM)	1		
TerraHydro	1		
TOTAL	36		28

Ressalta-se que os objetivos desses 47 trabalhos foram diversos, desde desenvolvimento de metodologias de modelagem hidrográfica (Maillard & Santos 2008, Mello et al. 2008), uso de modelos com integração de SIG para estudos hidrológicos em sub-bacias hidrográficas (Rocha et al., 2014; Santos et al., 2014), até estudos que versaram sobre a integração entre SIG e modelos hidrológicos (Leão et al., 2013; Simões, 2013). Além disso, dois trabalhos são capítulos de livro, assim, pode-se inferir que nem todos os trabalhos utilizaram as ferramentas SIG em modelos hidrológicos para a obtenção de dados para uma pesquisa específica, pois houve apenas procedimentos automáticos baseados em SIGs. Devido a isto o total de SIGs e modelos hidrológicos apresentados na Tabela 1 não

condiz com o número de trabalhos brasileiros sobre o tema.

A amplitude de objetivos dos trabalhos brasileiros que utilizam os modelos hidrológicos e a diversidade desses modelos acompanha o que ocorre no cenário mundial. A modelagem hidrológica é utilizada para atender a várias finalidades, podendo-se citar: o fornecimento de dados para projetos de engenharia, simulação e previsão de vazões em cursos de água de bacias submetidas ou não, a intervenções antrópicas e avaliação dos impactos de tais intervenções, além de possibilitar o estudo, equacionamento e reprodução das diversas fases do ciclo hidrológico (Kaiser, 2006). Além disso, o objetivo do estudo, a disponibilidade de dados e as dimensões hidromorfológicas

da bacia condicionam o tipo de modelo empregado, sendo que a correta escolha do modelo a ser utilizado é de suma importância no processo de modelagem.

Dos modelos hidrológicos destacam-se o *Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH)* e o *Lavras Simulation of Hydrology (LASH)*, ambos desenvolvidos por instituições de ensino superior brasileiras: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Universidade Federal de Lavras (UFLA). Essas duas universidades estão entre as três principais instituições brasileiras que mais publicaram trabalhos referentes à interação entre modelos hidrológicos e SIGs (UFLA = 8 e UFRGS = 6).

Com relação aos Sistemas de Informações Geográficas, pode-se destacar o ArcGIS®, com maior número de utilizações, entretanto, é um software que necessita de licença para a utilização, e o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo um SIG de uso livre que permite a integração de dados de sensoriamento remoto, dispõe de linguagem espacial de programação e pode ser usado tanto em estações de trabalho como em PC (INPE 2001).

Conclusões

O presente estudo traçou o estado do conhecimento sobre o uso dos modelos hidrológicos em integração com ferramentas SIG no Brasil. Destaca-se a importância dos modelos hidrológicos desenvolvidos por instituições brasileiras, dos quais vem sendo utilizados com frequência por pesquisadores brasileiros na realização de trabalhos científicos. Além disso, ressalta-se o interesse com o desenvolvimento de metodologias que buscam a otimização na integração de modelos hidrológicos com ferramentas SIG, sendo este um dos principais focos dos trabalhos científicos investigados.

Finalmente, estudos brasileiros que utilizam modelos hidrológicos e ferramentas SIGs estão em expansão nos últimos anos, acompanhando a tendência mundial.

Referências

- Bouda, M., Rousseau, A., Konan, B., Gagnon, P., Gumiere, S. 2012. Bayesian Uncertainty Analysis of the Distributed Hydrological Model HYDROTEL. *Journal of Hydrologic Engineering* 17: 1021–1032.
- Campana, N.A., Mendiondo, E.M., Tucci, C.E.M. 1995. A multi-source approach to hydrologic parameter estimation in urban basins. *Water Science and Technology* 32: 233-239.
- Campana, N.A., Tucci, C.E.M. 2001. Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water* 3: 113-124.
- Collischonn, W., Tucci, C.E.M. 2003. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8: 27-39.
- Elsevier. Scopus. Amsterdam: Elsevier, 2014. <http://www.elsevier.com/online-tools/scopus> <Acesso em 23 nov. 2014>
- Fadil, A., Rhinane, H., Kaoukaya, A., Kharchaf, Y., Bachir, O.A. 2011. Hydrologic modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) using GIS and SWAT Model. *Journal of Geographic Information System* 3: 279-289.
- Ferreira, R.B., Borges Neto, A.C., Nabout, J.C., Jesus, F.F., Caetano, J.M., Teixeira, I.R. 2014. Tendências na literatura científica global sobre o biodiesel: uma análise cienciométrica. *Bioscience Journal* 30: 547-554.
- Gong, Y., Shen, Z., Liu, R.; Wang, X., Chen, T. 2010. Effect of watershed subdivision on SWAT modeling with consideration of parameter uncertainty. *Journal of Hydrologic Engineering* 15: 1070–1074.
- Inpe. SPRING, *geoprocessamento ao alcance de todos*. Tutorial, versão Windows, SPRING básico. 2001. São José dos Campos: INPE, 172p.
- Kaiser, I.M. 2006. *Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos*. 400f. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- Kang, K., Merwade, V. 2011. Development and application of a storage–release based distributed hydrologic model using GIS. *Journal of Hydrology* 403: 1-13.
- Leão, R.A.O., Soares, A.A., Teixeira, A.S., Silva, D.D. 2013. Georeferenced database generation with the purpose of hydrologic modeling in reservoirs of the hydrographic basin of Jaguaribe river in the state of Ceará, Brazil. *Engenharia Agrícola* 33: 388-401.
- Lei, X., Liao, W., Wang, Y., Jiang, Y., Wang, H., Tian, Y. 2014. Development and application

- of a distributed hydrological model: EasyDHM. *Journal of Hydrologic Engineering* 19: 44-59.
- Louzada-Junior, P., Freitas, M.V.C. 2011. A Revista Brasileira de Reumatologia nos últimos dez anos: uma visão baseada em Cienciometria. *Revista Brasileira de Reumatologia* 51: 4-6.
- Maillard, P., Santos, N.A.P. 2008. A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed – Brazil. *Journal of Environmental Management* 86: 158–170.
- Marcionilio, S.M.L.O., Alves, M.T.R., BORGES, P.P., MACHADO, K.B., ARAÚJO, C.S.T., Cunha, H.F.; Nabout, J.C. 2015. The state of global scientific literature on chlorophyll-A. *Bioscience Journal* 31: 941-950.
- Mello, C.R., Viola, M.R., Norton, L.D., Silva, A.M., Weimar, F.A. 2008. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. *Catena* 75: 235–247.
- Mendes, C.A.B. 1996. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 1: 47-66.
- Pan, F., King, A. 2012. Downscaling 1-km topographic index distributions to a finer resolution for the TOPMODEL-based GCM hydrological modeling. *Journal of Hydrology* 17: 243–251.
- Pinto, M.P., Grelle, C.E.V. 2009. Seleção de reservas: estudos na América do Sul e revisão de conceitos. *Revista Oecologia Brasiliensis* 13: 498-517.
- Rocha, R.M., Lucas, A.A.T., Almeida, C.A.P., Menezes Neto, E.L., Aguiar Netto, A.O. 2014. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente e Água* 9: 276-287.
- Santos, J.Y.G., Silva, R.M., Carvalho Neto, J.G., Montenegro, S.M.G.L., Santos, C.A.G., Silva, A.M. 2014. Assessment of land-use change on streamflow using GIS, remote sensing and a physically-based model, SWAT. *IAHS-AISH Publication* 364: 38-43.
- Simões, S.J.C. 2013. Interaction between GIS and hydrologic model: A preliminary approach using ArchHydro Framework Data Model. *Revista Ambiente e Água* 8: 83-92.
- Sui, D.Z., Maggio, R.C. 1999. Integrating GIS with hydrological modelling: practices, problems and prospects. *Computers, Environment and Urban Systems* 23: 33-51.
- Vanti, N.A.P. 2002. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação* 31: 152-162.
- Viola, M.R., Mello, C.R., Beskow, S., Norton, L.D. 2013. Applicability of the LASH Model for Hydrological Simulation of the Grande River Basin, Brazil. *Journal of Hydrologic Engineering* 18: 1639-1652.