

AVALIAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELO SATÉLITE TRMM PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI - PR, BRASIL

Iverson Italo Siebert ^{1*}; Gustavo Jaldin Ochoa ²; Daniel Henrique Marco Detzel ³; Julio Gomes ⁴

Resumo – Atualmente tem se tornado cada vez mais comum a elaboração de pesquisas envolvendo dados de precipitação estimados por satélites meteorológicos, fato que ocorre principalmente em países com esparsas redes de pluviômetros. Tendo esta premissa, foi desenvolvido no presente trabalho, a modelagem chuva-vazão para a bacia do rio Piquiri com a utilização direta dos dados do satélite da missão TRMM. Desta forma, procurou-se comparar a vazão superficial extraída de três eventos de cheias, ocorridos no rio Piquiri, com a vazão estimada pelo modelo concentrado HU-Clark para dois conjuntos de dados de precipitação, sendo um deles, dados de precipitação do satélite, e o outro, dados de estações pluviométricas da região. O processo de calibração ajustou bem o hidrograma de escoamento superficial “observado”, sendo que, para ambos os conjuntos de precipitação, o coeficiente de Nash-Sutcliffe resultou acima de 0,80, mostrando uma boa correlação entre os eventos simulados e observados.

Palavras-Chave – Satélite TRMM; HU-Clark; Bacia do Rio Piquiri.

EVALUATION OF ESTIMATED PRECIPITATION DATA FROM TRMM SATELLITE FOR THE PIQUIRI RIVER BASIN, PARANA STATE, BRAZIL

Abstract – It has become increasingly common to elaborate surveys that involve precipitation data estimated by meteorological satellites. This occurs mainly in countries with sparse rain gauge networks. Based on this assumption, a rainfall-runoff model was developed for Piquiri river basin, using data from TRMM satellite. In this way, it was compared the runoff extracted from three flood events occurred in Piquiri river basin to the estimated flow from the HU-Clark concentrated model. Two sets of precipitation data were used, one of them from TRMM satellite, and the other one from rainfall stations in the region. The calibration process achieved a good representation of the “observed” runoff hydrograph, resulting in Nash-Sutcliffe coefficient values above 0.80, showing a high correlation among simulated and observed events.

Keywords – TRMM satellite; HU-Clark; Basin Piquiri River.

INTRODUÇÃO

De acordo com Collischonn *et al.* (2007), países desenvolvidos costumam apresentar um maior número de radares meteorológicos, que são capazes de fornecer boas representações da distribuição espacial das chuvas. Desta forma, trabalhos de pesquisa relacionados à estimativa de chuvas por imagens de satélites não são muito numerosos nestes países. Porém, o mesmo não se aplica a países em desenvolvimento, que, em geral, possuem também uma esparsa rede de pluviômetros, que muitas

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - PPGERHA/UFPR: iverson.siebert@gmail.com

² Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - PPGERHA/UFPR: gusjaldin@gmail.com

³ Professor, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - PPGERHA/UFPR e Pesquisador dos Institutos Lactec: daniel@lactec.org.br

⁴ Professor, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - PPGERHA/UFPR: jgomes.dhs@ufpr.br

vezes se encontram em locais de difícil acesso, tornando falho o processo de operação das estações pluviométricas, o que se reflete na qualidade e constância dos dados.

Por este motivo, em países que encontram dificuldades na aquisição direta de dados de chuva, é cada vez mais frequente o desenvolvimento de pesquisas que buscam verificar a qualidade dos dados de precipitação estimados por satélites. Desta forma, as imagens de satélite tornaram-se uma ferramenta para obtenção de informações sobre os mais variados componentes do ciclo hidrológico.

Dentre os diversos projetos de monitoramento remoto que surgiram com o emprego de satélites meteorológicos, destaca-se o projeto desenvolvido em parceria pela Agência Aeroespacial Norte Americana (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*) e pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). Em novembro de 1997, estas agências iniciaram a exploração da atmosfera terrestre com o lançamento do primeiro satélite meteorológico equipado com detectores de precipitação da história. Esta missão foi denominada TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e teve como objetivo específico monitorar a precipitação nos trópicos e sua influência no clima global (Kummerow *et al.* 2000). Por 17 anos, o satélite TRMM forneceu informações que culminaram na criação de um vasto banco de dados usado em diversos estudos hidrológicos. Mesmo após o fim da missão em abril de 2015, com a retirada do satélite de órbita, seus dados continuam sendo utilizados.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a qualidade das estimativas de chuva fornecidas pelo satélite TRMM para a bacia do rio Piquiri, delimitada pela estação fluviométrica Porto Guarani (64771500), localizada no estado do Paraná. Esta avaliação foi realizada mediante a calibração de um modelo de transformação chuva-vazão concentrado, alimentado com os dados do satélite TRMM. Para permitir uma avaliação de forma mais objetiva, o mesmo modelo também foi calibrado, usando o mesmo conjunto de eventos hidrológicos, mas com os dados de precipitação obtidos de estações pluviométricas da região. As vazões simuladas foram então comparadas com as vazões observadas na bacia em estudo para a análise dos resultados.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada foi a bacia do rio Piquiri, delimitada pela estação fluviométrica Porto Guarani (64771500), localizada no estado do Paraná. A referida bacia possui área aproximada de 4.160 km², estando situada no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas de 24°47' a 25°15' de latitude sul e de 51°35' a 52°50' de longitude oeste (Figura 1), que corresponde à região centro-sul do estado. A bacia do rio Piquiri na sua foz, junto ao rio Paraná, apresenta uma área total de 24.156 km² (SEMA, 2007).

Ainda de acordo com SEMA (2007), o rio Piquiri, que dá nome à bacia principal, nasce na localidade do Paiquerê, município de Campina do Simão (terceiro planalto paranaense). Quanto ao uso e ocupação do solo, a bacia tem predominância da classe de uso misto, tendo ainda poucas áreas de agricultura intensiva e de cobertura florestal. Não possui consideráveis áreas de concentrações urbanas e industriais. Os solos predominantes são Latossolo, Argilossolo, Nitossolo vermelhos e Neossolos. A textura do solo preponderante é de característica mais argilosa. O relevo varia pouco entre suave ondulado a ondulado com altitudes que vão de 410 a 990 metros (SEMA 2007).

De acordo com a avaliação ambiental integrada da bacia do rio Piquiri, disponibilizada em SEMA (2007), a área de estudo está inserida no clima temperado, marcado por mudanças bruscas de tempo, durante qualquer época do ano. Desta forma, a região conta com um regime de precipitação quase uniforme, sem definição de períodos de mínimas ou máximas ao longo do ano, apresentando valores médios de precipitação anual em torno de 1600 mm.

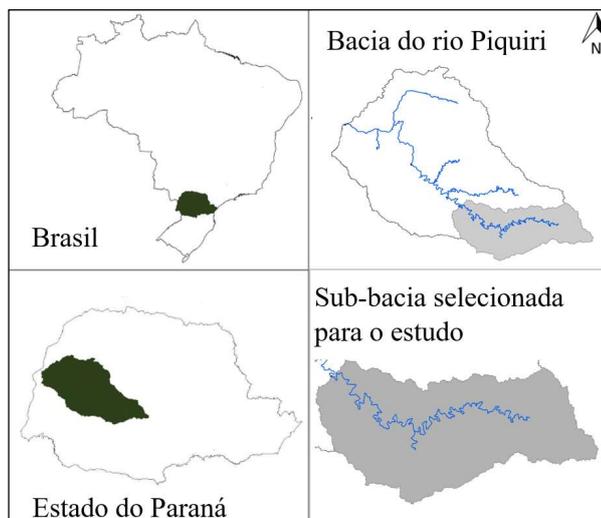


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica selecionada para o estudo

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo de avaliação da precipitação estimada pelo satélite meteorológico da missão TRMM passou previamente por etapas de obtenção e processamento de dados relativos à hidrologia, geologia e aspectos de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.

Essas informações foram utilizadas para alimentar o programa computacional usado para a modelagem hidrológica da bacia, denominado HEC-HMS, desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE) e fornecido gratuitamente. O HEC-HMS possui inúmeros modelos hidrológicos incorporados em sua interface e é capaz de simular todo o processo de transformação chuva-vazão, incluindo (USACE-HEC, 2008): cálculo de perdas por infiltração e evapotranspiração; cálculo de transformação chuva-vazão; composição do escoamento de base; e propagação do escoamento em canais.

Os dados de entrada para o HEC-HMS variam de acordo com a escolha dos modelos de simulação adotados. Foram utilizados neste estudo os seguintes modelos disponíveis no HEC-HMS (USACE-HEC, 2008): Curva-número para as perdas por infiltração (*Soil Conservation Service - SCS*) e Hidrograma Unitário de Clark para a transformação da chuva efetiva em vazão superficial. Portanto, além de dados meteorológicos, foram necessários para a modelagem hidrológica dados relativos à caracterização fisiográfica da bacia. Na sequência, apresenta-se a descrição do método adotado para obtenção dos parâmetros e informações necessários à modelagem hidrológica com o HEC-HMS.

Modelo digital de elevação (MDE)

Os parâmetros fisiográficos da bacia hidrográfica, exigidos na modelagem hidrológica com o HEC-HMS, foram obtidos por meio do processamento de um modelo digital de elevação (MDE) da área de estudo, mediante a utilização do programa computacional ArcGIS, produzido pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), específico para manipulação de sistemas informações geográficas (USACE-HEC, 2000).

O MDE pode ser considerado como a representação digital da variação do relevo no espaço (Chavez, 2002). O MDE utilizado foi obtido do projeto ASTER GDEM que é resultado de um consórcio entre a NASA e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI) para a construção de um MDE global de livre acesso (ASTER GDEM, 2017). O MDE utilizado tem uma resolução espacial de 30 m.

Outro parâmetro obtido pelo processamento de imagens digitais foi a curva-número (CN), utilizada pelo HEC-HMS para o cálculo de perdas por infiltração e está relacionada à capacidade de infiltração do terreno, em função da sua formação geológica, cobertura vegetal e uso do solo. Este método foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1971). O CN apresenta um valor máximo igual a 100 para regiões totalmente impermeáveis e um valor mínimo igual a *zero* para regiões totalmente permeáveis. O mapa de CN para a bacia hidrográfica foi obtido pelo processamento de imagens digitais de uso do solo e tipo de solo, fornecidos pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociência (ITCG, 2016).

Dados hidrológicos de estações fluviométricas

A estação fluviométrica selecionada para o estudo foi a estação fluviométrica Porto Guarani (64771500), localizada no rio Piquiri, estado do Paraná. A Tabela 1 apresenta os dados hidrológicos básicos desta estação, tais como vazão máxima, mínima e média de longo termo, área de drenagem, localização geográfica e nomenclatura. A Figura 2 mostra um esquema da localização da estação fluviométrica no exutório da bacia em estudo (área mais escura) e a sua localização em relação à área de drenagem total da bacia do rio Piquiri, considerando a sua foz no rio Paraná.

Tabela 1. Dados básicos da estação fluviométrica Porto Guarani (64771500) (Período: 1998 – 2010)

Código	Nome	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Q _{min} (m ³ /s)	Q _{max} (m ³ /s)
64771500	Porto Guarani	-24,8661 S	-52,7628 O	4160	104,38	2,92	2794,5



Figura 2 – Localização da estação fluviométrica Porto Guarani (64771500)

Considerando-se o período de observação (1998 a 2010), foram selecionados três eventos de cheia para a calibração do HEC-HMS. Os dados de vazão passaram por verificação de consistência com base nas curvas-chave das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Piquiri, disponibilizadas em SEMA (2007). A Tabela 2 apresenta os eventos de cheia selecionados para a avaliação da precipitação estimada pelo satélite TRMM para a bacia em estudo.

Tabela 2 – Eventos de cheia observados na estação fluviométrica Porto Guarani (64771500) utilizados na calibração do HEC-HMS

Evento	Período de duração	Vazões máximas (m ³ /s)
01	03/09/1998 a 13/09/1998	1072,5
02	15/05/2002 a 28/05/2002	1552,0
03	09/06/2004 a 18/06/2004	584,3

Dados de precipitação

Os dados de precipitação fornecidos pelo TRMM foram obtidos diretamente do site da Agência Aeroespacial Norte Americana (NASA). Para cada dia dos eventos selecionados, foram obtidas as alturas de precipitação diárias acumuladas. Estes dados de precipitação são definidos espacialmente em quadrantes de aproximadamente 25 km por 25 km.

A conversão da escala de cor (referente à altura de precipitação) em valores numéricos foi feita associando a altura de precipitação de cada quadrante a um ponto localizado no centro do próprio quadrante (célula). A interpolação da precipitação foi realizada a partir da distribuição espacial de pontos pelo método de Thiessen. Este procedimento foi realizado para cada dia que compõe os eventos hidrológicos. A Figura 3 (*porção esquerda*) mostra um exemplo da distribuição espacial das alturas de chuva para um determinado dia em relação à bacia em estudo e a divisão da bacia em áreas de influência no método de Thiessen, considerando-se os dados de chuva fornecidos pelo TRMM.

Foram também selecionadas sete estações pluviométricas localizadas na bacia, tendo como critério de escolha a sua posição na região de estudo e a consistência dos dados pluviométricos. A aquisição de dados foi realizada para o mesmo período levantado para o satélite TRMM diretamente do Portal de Informações Hidrológicas (*Hidroweb*) da Agência Nacional de Águas (ANA).

O processamento dos dados de chuva das estações pluviométricas deu origem às alturas pluviométricas diárias uniformes sobre a bacia, também usando-se o método de Thiessen. A Figura 3 (*porção direita*) mostra a localização das estações pluviométricas selecionadas e as suas respectivas áreas de influência.

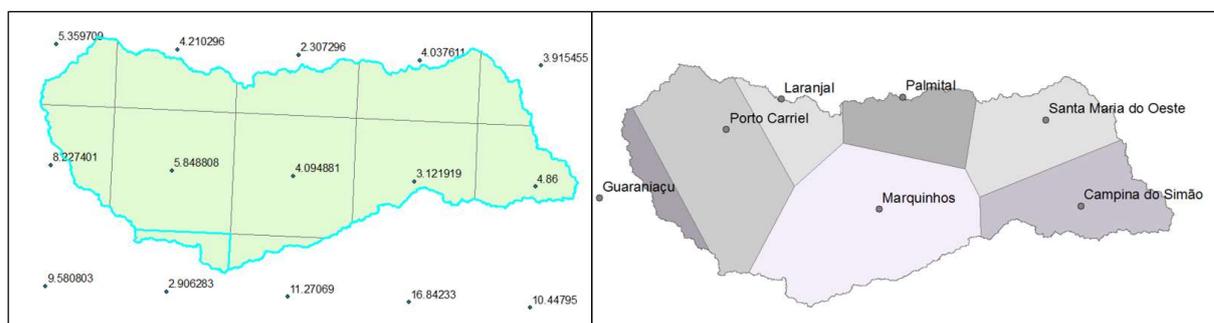


Figura 3 – Localização espacial das alturas de chuva do TRMM (*porção esquerda*) e das estações pluviométricas (*porção direita*) e respectivas áreas de influência do método de Thiessen

MODELAGEM HEC-HMS

Cálculo da precipitação efetiva

O cálculo da precipitação efetiva pelo método da Curva-Número (CN-SCS) requer a definição de três parâmetros: CN médio para a bacia, retirado do MDE; perdas iniciais em mm de chuva, consideradas inicialmente como iguais a *zero*; porcentagem de área impermeável, estimada em 0,5%, em função do uso e ocupação do solo predominantes na região. O valor de CN médio foi estimado como igual a 76 para a bacia intitulada Porto Guarani.

Transformação de chuva efetiva em vazão superficial

O escoamento superficial da bacia no método do hidrograma unitário de Clark é representado por meio de um processo de translação da chuva efetiva unitária até o exutório da bacia, utilizando-se uma ferramenta denominada de Histograma Tempo-Área (HTA). De modo simples, o HTA representa uma relação entre o tempo médio do percurso sobre a bacia de uma chuva que caiu em determinada área da bacia e a fração dessa área em relação à área total da bacia. O referido método apresenta como parâmetros: o tempo de concentração da bacia (t_c) e o coeficiente de armazenamento da bacia (R), ambos expressos em horas.

Escoamento de base

Não foram utilizados métodos para incorporar o escoamento de base ao hidrograma de escoamento superficial modelado. Por este motivo, os hidrogramas observados na estação pluviométrica Porto Guarani (644771500) tiveram as suas vazões de base descontadas, aplicando-se o método de filtros digitais com parâmetro único, apresentado em Arnold e Allen (1999). Portanto, optou-se por comparar diretamente apenas as vazões simuladas e observadas resultantes do escoamento superficial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os três eventos hidrológicos selecionados foram modelados a partir da inserção de dois conjuntos de dados de precipitação: a) dados estimados pelo TRMM; b) dados obtidos das estações pluviométricas. Como resultados, foram gerados dois hidrogramas de escoamento superficial para cada evento e que foram comparados diretamente aos hidrogramas de escoamento superficial, derivados dos hidrogramas observados na estação pluviométrica Porto Guarani (644771500), descontado o seu escoamento de base.

O modelo HEC-HMS foi calibrado, procurando reproduzir os hidrogramas de escoamento superficial “observados”. Basicamente, procurou-se ajustar os valores de CN e do coeficiente de armazenamento (R), mantendo-se constantes o tempo de concentração, as abstrações iniciais e a taxa de impermeabilização. O conjunto de parâmetros resultantes da calibração é apresentado na Tabela 3, que mostra também o coeficiente de Nash-Sutcliffe e o valor do parâmetro utilizado para a separação dos escoamentos superficial e de base dos hidrogramas observados.

Tabela 3 – Parâmetros de calibração dos eventos hidrológicos, considerando a precipitação observada nas estações pluviométricas e a precipitação fornecida pelo TRMM

Parâmetros	Evento 1		Evento 2		Evento 3	
	Pluviômetro	TRMM	Pluviômetro	TRMM	Pluviômetro	TRMM
t_c (h)	24	24	24	24	24	24
R (h)	24	24	24	48	24	24
Abstrações (mm)	15	15	15	15	15	15
CN	60	84	55	55	70	90
Filtro Digital	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Coef. Nash-Sut.	0,86	0,83	0,90	0,90	0,94	0,98

A calibração dos 3 eventos, considerando-se os dois conjuntos de precipitação (TRMM e rede pluviométrica), apresentou coeficiente de Nash-Sutcliffe acima de 0,80, mostrando uma boa correlação entre os hidrogramas de escoamento superficial “observados” e os resultantes da calibração do HEC-HMS. Não se verifica, olhando-se apenas os valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe, uma superioridade da qualidade dos dados da rede pluviométrica em relação aos dados do TRMM, quando se considera apenas a comparação dos dados de vazão. Por outro lado, é importante comentar, para os eventos 1 e 3, a diferença entre os valores de CN, e para o evento 2, a diferença de

valores de R. Embora não se tenham comparado diretamente os valores de precipitação dos dois conjuntos de dados, a diferença dos valores de CN e R para a calibração do modelo HEC-HMS torna explícito um dos paradoxos da modelagem hidrológica que é o fato de se produzir resultados semelhantes entre si, considerando-se entradas distintas em um mesmo modelo hidrológico, a partir de valores distintos para um mesmo conjunto de parâmetros.

A Figura 4 apresenta uma comparação entre os hidrogramas de escoamento superficial “observados” e os resultantes da calibração do HEC-HMS. Considerando ainda os dados apresentados na Tabela 3, tem-se, para os eventos 01 e 03, que apresentaram menores vazões máximas, o principal parâmetro ajustado na calibração foi o CN. No caso do modelo alimentado com dados extraídos do TRMM, o CN teve seu valor original (76) aumentado, o que indicaria que a precipitação obtida pelo satélite teria valores globais menores que a precipitação realmente ocorrida. Exatamente o contrário ocorreu com o modelo alimentado com dados de pluviômetro, que teve seu valor original (76) de CN diminuído, indicando que precipitação obtida pelos pluviômetros possuem valores globais maiores do que a realidade. Entende-se aqui, por hipótese, que o valor real de CN é igual a 76, obtido a partir do modelo digital de elevação e das informações de uso e ocupação do solo.

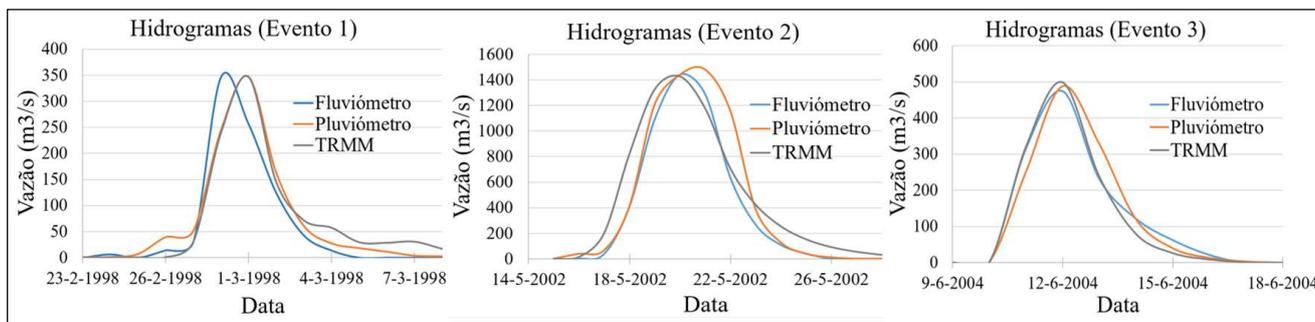


Figura 4 – Calibração dos eventos hidrológicos da sub-bacia Porto Guarani

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, a princípio, mostrou a possibilidade de se utilizar dados de precipitação provenientes do satélite TRMM para simular eventos de cheia na bacia hidrográfica do rio Piquiri, localizada no estado do Paraná, embora se entenda que o uso deste tipo de tecnologia seja mais propícia para regiões com baixa densidade de rede pluviométrica.

Os resultados obtidos mostraram que os hidrogramas resultantes da calibração do modelo HEC-HMS tendo como entrada a precipitação fornecida pelo satélite TRMM e tendo como entrada a precipitação observada pela rede pluviométrica representaram bem os hidrogramas de escoamento superficial, derivados dos hidrogramas observados na estação fluviométrica Porto Guarani (64771500), descontado o escoamento de base. Entretanto, sugere-se avaliar mais eventos de cheias na bacia de estudo para melhorar a calibração e possibilitar a validação do modelo. Processos de otimização também podem ser utilizados no auxílio da calibração dos parâmetros em razão das inúmeras combinações possíveis.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidroweb. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em fevereiro de 2017.
- ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. (1999). Validation of automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from stream flow records. *Journal of American Water Resources Association*. v.35, pp. 441 – 424.
- ASTER GDEM. Global Digital Elevation Model. Disponível em <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>. Acesso em fevereiro de 2017.
- CHAVES, M. A. (2002). Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica. Tese (Doutorado). Viçosa. 115 p.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2007). Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Rev. Bras. Cartografia*, v.59, n.1, pp. 93–99.
- FRANCO J. F. (2004). Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional. *PPGERHA - Universidade Federal do Paraná*. Dissertação de mestrado; 143 p.
- IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Avaliação Ambiental Integrada - Bacia do Rio Piquiri. Disponível em <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1074.html>. Acesso em fevereiro de 2017.
- ITCG – INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOGRAFIA. Disponível em <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em novembro 2016.
- KUMMEROW C., SIMPSON J., THIELE O., BARNES W., CHANG A. T. C., STOCKER E. (2000). The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, v.39, pp. 1965–1982.
- NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Giovanni - The Bridge Between Data and Science. Disponível em <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso em novembro 2016.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA (2007). Avaliação Ambiental Integrada - Bacia do Rio Piquiri. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1074.html>. Acesso em: 03/11/2016.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1971). National engineering handbook. *Hydrology*. USDA, Springfield, VA. 1971.
- USACE-HEC (2000). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Technical Reference Manual. *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*, Março 2000.
- USACE-HEC (2008). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Applications Guide, *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*, Março 2008.