

Avaliação do uso de dados de precipitação gerados pelo CPC/NCEP na modelagem hidrológica em uma região hidrográfica do rio Araguaia

Flávio Augusto Altieri dos Santos¹

Pedro Alberto Moura Rolim²

Nathália Caroline Cordovil Ribeiro³

Erika Maia Santos³

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia / Centro Regional de Belém (CENSIPAM/CR-BE)

Av. Júlio César 7060 – 66820-000 – Belém – PA - Brasil

[flavio.santos, pedro.rolim, nathalia.ribeiro, erika.santos}@sipam.gov.br](mailto:{flavio.santos, pedro.rolim, nathalia.ribeiro, erika.santos}@sipam.gov.br)

Abstract. Hydrological models are essential for management actions and planning of water resources. The process of transformation of rainfall flow in a simplified form and is widely used to model the behavior of the hydrological basin. The lack of data in many regions of the country, especially in the Amazon, limits the development of study for this purpose. Thus, the use of rainfall data provided by the Climate Prediction Center (CPC) / National Centers for Environmental Prediction (NCEP) may become an alternative for the hydrological modeling of watersheds. In this study, we sought to evaluate through statistical analysis the correlation between the data of monthly flows observed and calculated from the rains of CPC / NCEP and application in a hydrological model of the empirical kind for a sub-basin of the Araguaia River. The results showed that the hydrological model evaluated performed well for calibration and validation, thus validating the use of data from CPC / NCEP in hydrologic forecasting.

Palavra chave: Hydrology, rain flow model, watershed flow, hidrologia, modelo chuva vazão bacia hidrográfica, vazão.

1. Introdução

Os modelos hidrológicos são essenciais em ações de gestão e planejamento dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema, através do qual uma variável de entrada, como a precipitação, é transformada numa variável de saída (a vazão), por diversos processos do ciclo hidrológico. Uma das maneiras de representar esse processo é através da modelagem hidrológica (Bravo et al, 2007). Tucci (1998) define que um modelo hidrológico permite equacionar os processos, representar, entender e simular o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Na previsão hidrológica em bacias hidrográficas sob diferentes condições, muitas vezes são desenvolvidos e aplicados modelos mensais de conversão de chuva em vazão. A vantagem dessa escala temporal está na simplificação da formulação de modelos hidrológicos, onde os números de parâmetros utilizados são menores do que naqueles desenvolvidos em base diária. O processo de conversão de chuva em vazão tem sido utilizado com frequência, como forma simplificada, de representar os diversos processos do ciclo hidrológico que ocorrem em uma bacia hidrográfica (Bravo, Collischonn & Tucci 2009). Alguns desses parâmetros representam abstrações da realidade e, em consequência, não podem ser medidos. Devido isso, o ajuste dos valores dos parâmetros é realizado através do processo de calibração e validação, com base nas informações hidrológicas existentes. Este tipo de previsão pode ser aplicado a programas de planejamento de recursos hídricos e estudos de impactos climáticos.

Em geral, a previsão hidrológica pode ser feita através de vários tipos de modelos, entre eles, os modelos empíricos que não tem qualquer relação com os processos físicos do ciclo hidrológico e são desenvolvidos a partir de funções fundamentadas em análises estatísticas.

Um dos principais problemas para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas em muitas regiões do país, em especial na região amazônica, está relacionado à deficiência da rede de estações de coleta de dados. Essa situação se agrava quando as poucas estações existentes apresentam problemas de funcionamento, deixando de coletar dados ou gerando dados inconsistentes.

Diante dessas dificuldades, vários centros de previsão de tempo e clima vêm disponibilizando produtos diários de estimativas de precipitação gerados com base em observações coletadas em plataformas orbitais de satélites e interpolados com dados de estações de observações de superfícies. A principal vantagem é a disponibilidade de uma série histórica de dados razoavelmente longa, consistentes e contínuas para diversas áreas do planeta. Um exemplo disso é a série histórica de precipitação gerada e disponibilizada pelo Climate Prediction Center (CPC) / National Centers for Environmental Prediction (NCEP) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Esta série histórica tem sido bastante utilizada em trabalhos de pesquisas. Por exemplo, PINGPING et. al. estudam indicador de precipitação diária sobre a Ásia Oriental (2006) usando dados do CPC/NCEP/NOAA.

Desse modo, nos últimos anos, a alternativa usada para a obtenção de dados meteorológicos em locais com poucas informações tem sido o uso de dados do CPC/NCEP. Esses dados poderão contribuir no desenvolvimento de futuras pesquisas em diversas áreas que necessitam de uma longa série de dados sem falhas, como por exemplo, na modelagem hidrológica de médias e grandes bacias hidrográficas.

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de dados de precipitação gerados pelo CPC/NCEP na modelagem hidrológica em uma região hidrográfica do rio Araguaia.

2. Metodologia de Trabalho

A Bacia do rio Araguaia consiste no conjunto de todos os recursos hídricos que convergem para a área banhada pelo rio Araguaia e seus afluentes, e é uma das doze regiões hidrográficas do território. A área de estudo corresponde a uma sub-bacia da bacia do rio Araguaia, tendo a estação fluviométrica de Torixoréu como a seção de controle estabelecida para a delimitação da área de drenagem, totalizando aproximadamente 16.301,678 km². As condições climáticas que predominam na sub-bacia são de natureza continental tropical, devido à sua posição continental, não sofre o efeito direto da confluência intertropical. O clima é marcado por uma estação chuvosa e uma seca, com um mês de transição entre elas. O período mais chuvoso estende-se de outubro a abril, e o mais seco está compreendido entre maio e setembro (SGM, 2006).

Nesta área de estudo estão inseridos de forma total ou parcial os municípios de Torixoréu (MT), Alto Araguaia (MT), Ribeirãozinho (MT), Ponte Branca (MT), Araguaína (MT), Alto Garças (MT), Alto Taquari (MT), Bom Jardim de Goiás (GO), Piranhas (GO), Santa Rita do Araguaia (GO), Mineiros (GO), Portelândia (GO), Doverlândia (GO), Caiapônia (GO), Santa Rita do Araguaia (GO) e Baliza (GO). A Figura 1 mostra a localização da sub-bacia no contexto da bacia hidrográfica do rio Araguaia, que tem como principal curso d'água formador da bacia o rio Araguaia.

Para este trabalho, foram selecionados os dados consistidos das vazões máximas mensais da estação fluviométrica de Torixoréu (24200000) que pertence a Agência Nacional de Água (ANA) referente ao período de 1979 a 2012, compiladas em <http://www.hidroweb.ana.gov.br>.

Os dados das vazões mensais observadas na estação fluviométrica de Torixoréu foram divididos em dois períodos: de 1979 a 1997 para a fase de ajuste e calibração do

modelo, ficando para a fase de simulação e verificação do desempenho do modelo o período de 1998 a 2012.

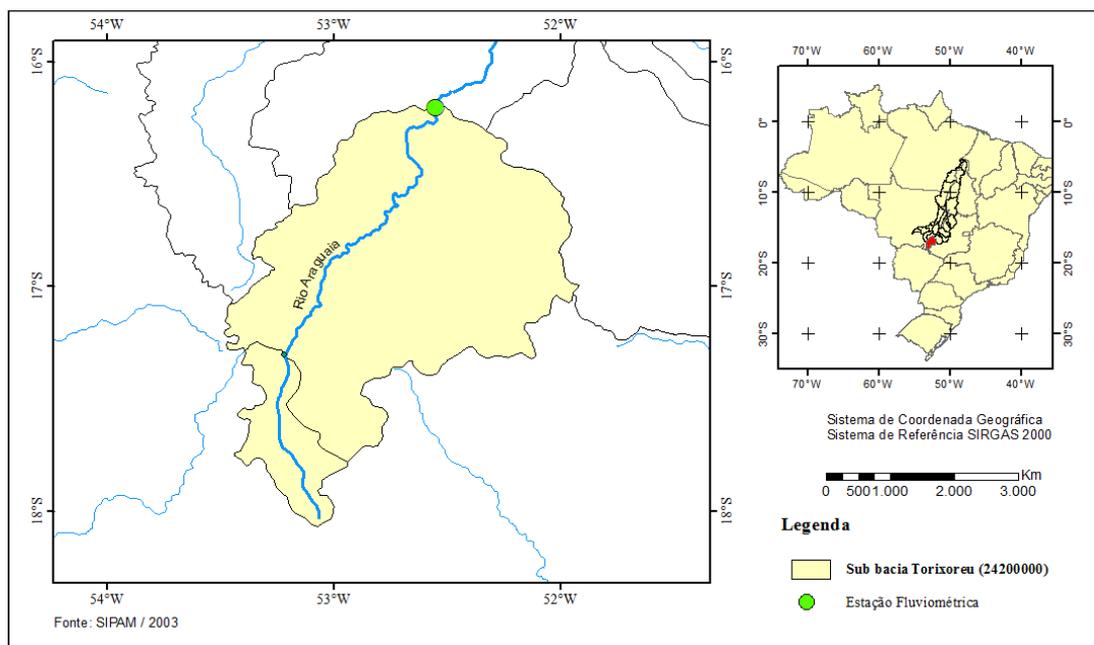


Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo (Fonte: Autores).

Também foram selecionadas as precipitações totais mensais, obtidas a partir da série histórica diária do CPC/NCEP, disponibilizados para uma grade de 0,5° x 0,5°, referente ao mesmo período dos dados das vazões máximas mensais observadas, obtidos no endereço <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.

A determinação dos valores da precipitação total mensal ocorrida na bacia hidrográfica foi calculada através da aplicação do método de Thiessen, tendo como referência os pontos da grade de 0,5° x 0,5° do CPC/NCEP. O método de Thiessen se caracteriza pela atribuição de pesos relativos aos postos considerados mais representativos para uma área específica. O método assume que em qualquer ponto da bacia o valor da precipitação é igual à medida no posto mais próximo, Villela (1975). Caso a grade extrapolar áreas à bacia, essa porção será eliminada no cálculo. Desta forma, a determinação da precipitação da bacia será obtida através do produto entre a área parcial de cada grade A_n e a sua respectiva precipitação P_n . Desta forma, a precipitação total mensal da bacia foi calculada através da Equação 1.

$$P_m = \frac{\sum_{n+1}^n A.P}{\sum_{n+1}^n A} \quad (1)$$

Onde:

P_m – Precipitação total mensal na bacia;

A – Área de cada grade pertencente ao limite da bacia;

P – Precipitação total mensal de cada ponto de grade.

As vazões mensais foram calculadas para a seção de saída da bacia, que corresponde ao mesmo ponto onde está localizada a estação fluviométrica de Torixoréu. O cálculo da vazão máxima mensal em m³/s foi realizado a partir da Equação 2.

$$Q_{cal} = P_m \cdot A_{Bacia} / N_{dias} \cdot 86,4 \quad \text{m}^3/\text{dia} \quad (2)$$

Onde:

Q_{cal} – Vazão máxima mensal calculada;

P_m – Precipitação total mensal do CPC/NCEP;

N_{dias} - Número de dias do mês.

A metodologia utilizada para a modelagem hidrológica será do tipo empírico, desenvolvida a partir de funções baseadas em análises estatísticas de correlação e regressão linear.

Para identificar a correlação existente entre a vazão máxima mensal observada e a vazão calculada a partir dos dados do CPC/NCEP, os dados foram defasados a cada mês (T-0, T-1, T-2, ... , T-n), considerado que esse tempo corresponde a resposta do escoamento superficial e subsuperficial de toda a água precipitada na bacia e escoada pela sua seção. Os melhores coeficientes de correlação obtidos entre esses tempos de respostas serão submetidos ao método de regressão linear múltipla para a determinação da equação que será aplicada ao modelo hidrológico.

O coeficiente de correlação é uma medida da intensidade ou do grau de associação entre as variáveis analisadas. O método estatístico para cálculo do coeficiente de correlação foi estabelecido por Karl Pearson, em 1896. Por essa razão é denominado *r* *Coefficiente de Correlação de Pearson*. O cálculo de *r* será realizado entre os dados das séries históricas da vazão máxima mensal observada e a vazão calculada com base nos dados de precipitações do CPC/NCEP conforme a Equação 3.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

O método de regressão linear múltipla considera uma variável qualquer como variável dependente (z_i , $i=1,2,3,\dots,n$; n é o número total de dados da série em estudo) e as outras como variáveis independentes (x_i , y_i , $i=1,2,3,\dots,n$), sendo que para os pontos $\{(x_i, y_i, z_i) \mid i=1,2, \dots, n\}$, pode-se aplicar a Equação 4.

$$z = a + bx + cy \quad (4)$$

Pelo método dos mínimos quadrados, os coeficientes de regressão a , b e c podem ser encontrados resolvendo as Equações 5, 6, e 7.

$$\sum z_i = a_n + b \sum x_i + c \sum y_i \quad (5)$$

$$\sum x_i z_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i y_i \quad (6)$$

$$\sum y_i z_i = a \sum y_i + b \sum x_i y_i + c \sum y_i^2 \quad (7)$$

Onde o valor de y dependente é uma função dos valores de x independentes. Os valores de m são coeficientes que correspondem a cada valor de x , e b é um valor constante.

A qualidade do ajuste na regressão está relacionada com Coeficiente de Determinação R^2 , quanto menor for este espalhamento, melhor a regressão representa o conjunto de valores observados. A variância amostral total, como estimador do espalhamento, pode ser decomposta conforme Equação 8.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (8)$$

$$\begin{array}{ccc} SQT & SQR & SQE \\ Total & Regressão & Erro \end{array}$$

Onde R^2 é o coeficiente de determinação ou variância como é mais conhecido, calculado através da Equação 8, o qual compara valores de y estimados e reais e seu valor varia entre 0 e 1. Se for igual a 1, existirá uma correlação perfeita na amostra –

não haverá diferença entre os valores de y estimados e os valores reais; r , coeficiente de correlação, é a raiz quadrada da variância.

Na avaliação da eficácia da simulação do modelo hidrológico, serão aplicados os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe C_{NS} e sua versão; e desvio entre vazões observadas e simuladas D (Liew et al., 2003).

Para o coeficiente de Nash-Sutcliffe C_{NS} será aplicada a Equação 9, onde Q_{obs} e Q_{cal} são às vazões observadas e calculadas, respectivamente, em m^3/s . Segundo Zhang et al (2007), o valor do coeficiente Nash-Sutcliffe indica o ajustamento dos dados simulados aos observados na reta 1:1, podendo variar de 0 a 1. O C_{NS} está associado à eficiência de estimativa de vazões doo hidrograma. Moriasi et al. (2007) apresentaram a seguinte classificação para este coeficiente, utilizando passo de simulação: $C_{NS} > 0,65$ o modelo é considerado muito bom; $0,54 < C_{NS} < 0,65$ o modelo é considerado bom e entre 0,5 e 0,54, satisfatório. Segundo Zaapa (2002), valores de C_{NS} acima de 0,5 qualificam o modelo para simulação.

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{OBSi} - Q_{CALi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{OBSi} - \bar{Q}_{OBS})^2} \quad (9)$$

Para avaliar o desvio entre vazões observadas e simuladas, Liew et al. (2003) apresentam os seguintes intervalos e respectivas interpretações de D : $< 10\%$, muito bom; entre 10% e 15% , bom; entre 15% e 25% , satisfatório e $> 25\%$, o modelo produz estimativas inadequadas no tocante à tendência (Equação 10).

$$D_{\%} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cal i} - Q_{obs i}) \cdot 100}{Q_{obs i} \cdot N} \quad (10)$$

3. Resultado e Discussão

O teste de correlação linear entre a vazão máxima mensal observada e a calculada, mostra que os melhores valores obtidos **0,75**, **0,79** e **0,59** foram para as defasagens de tempo ΔT_0 , ΔT_1 e ΔT_2 , respectivamente, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes da matriz de correlação entre a variável dependente (vazão observada) e as variáveis independentes (vazão calculada) para o período de 1979 a 1997.

		Qobs	Q-cal - 24200000 Torixoréu						
		Qx	(T-0)	(T-1)	(T-2)	(T-3)	(T-4)	(T-5)	(T-6)
Q-cal - 24200000	Qx	1							
	(T-0)	0,7500	1						
	(T-1)	0,7864	0,6444	1					
	(T-2)	0,5874	0,3761	0,6608	1				
	(T-3)	0,3233	-0,0255	0,3914	0,6633	1			
	(T-4)	-0,0420	-0,3925	-0,0211	0,3795	0,6564	1		
	(T-5)	-0,3524	-0,6565	-0,3773	-0,0156	0,3738	0,6549	1	
	(T-6)	-0,5894	-0,7585	-0,6477	-0,3713	-0,0061	0,3962	0,6638	1

Com base no resultado da matriz de correlação, foi calculada a regressão linear múltipla, considerando apenas as três melhores situações de defasagens encontradas, sendo, uma aplicada ao período de 1979 a 1997, utilizada para calibrar o modelo, e outra para o período de 1998 a 2012, utilizada para validar a calibração do modelo.

A estatística de regressão linear para a calibração do modelo, apresentada na Tabela 2, indica a existência de uma ótima correlação, $r = 0,87$. Para a fase de validação, também foi obtido um ótimo resultado de correlação, $r = 0,84$ (Tabela 3).

Tabela 2. Coeficientes de regressão linear múltipla para a fase de calibração do modelo.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,87345262
R-Quadrado	0,76291948
R-quadrado ajustado	0,75901156

Tabela 3. Coeficientes de regressão linear múltipla para a fase de validação do modelo.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,84102423
R-Quadrado	0,70732176
R-quadrado ajustado	0,70086562

As Figuras 2 e 3 apresentam os coeficientes estatísticos e os hidrogramas observado e calculado para a seção da sub-bacia nas etapas de calibração e validação, respectivamente. Os coeficientes estatísticos definidos para avaliar o modelo mostraram que o mesmo apresentou bom desempenho na simulação contínua das variações, acompanhando muito próximo os picos de recessões.

A eficácia do modelo hidrológico para as fases de calibração e validação segundo o coeficiente de C_{NS} e D atingiu o melhor patamar da classificação proposta por Zappa (2002) e Moriasi et al. (2007), como também a de Liew et. al. (2003), o que significa afirmar que o modelo apresenta uma boa eficiência de estimativa de vazões de pico e uma baixa tendência de superestimativa.

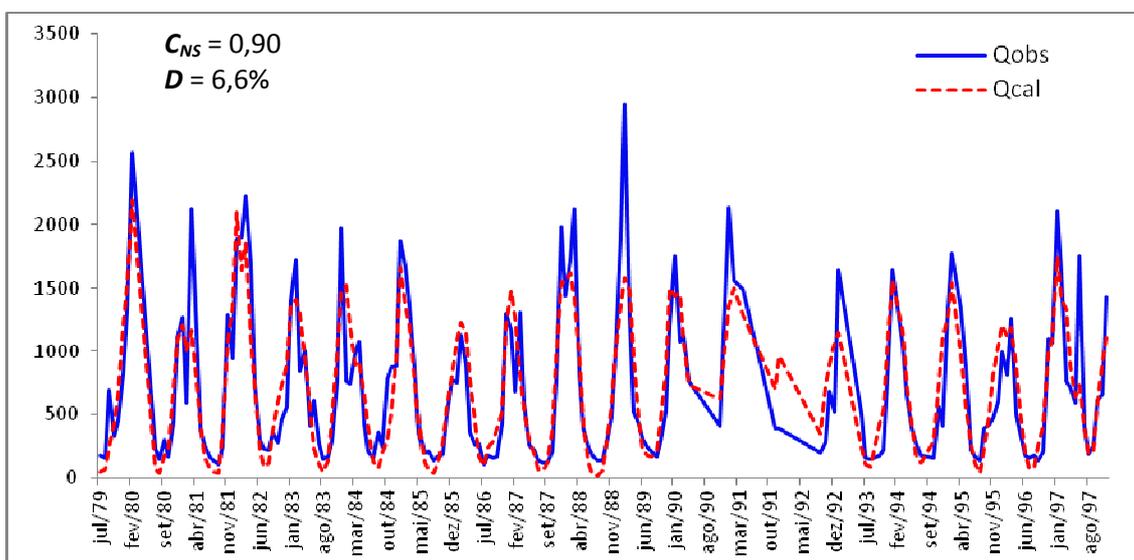


Figura 2. Hidrograma observado, hidrograma calculado e coeficientes estatísticos para a fase de calibração do modelo hidrológico.

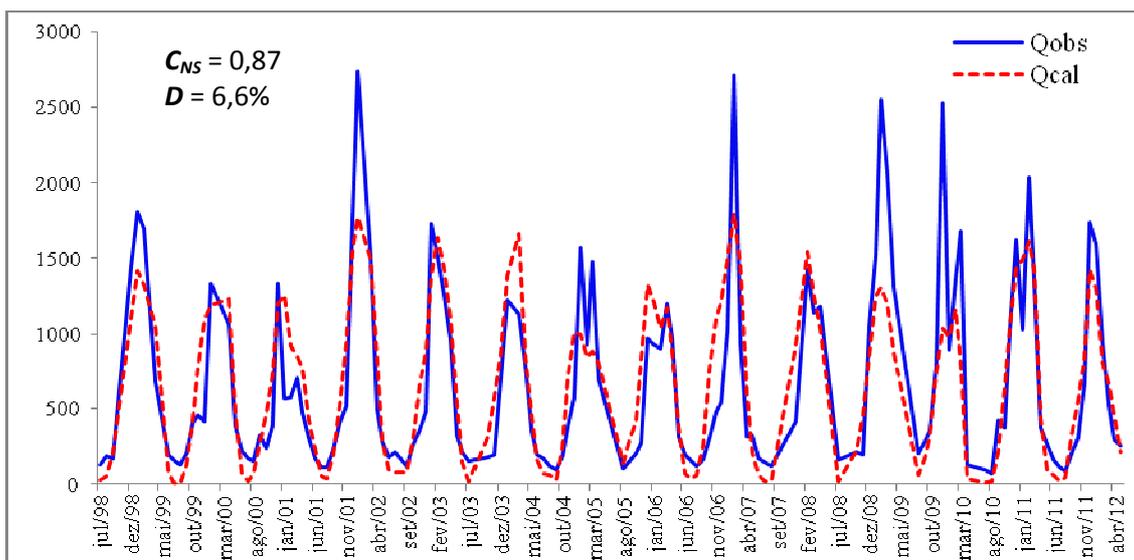


Figura 3. Hidrograma observado, hidrograma calculado e coeficientes estatísticos para a fase de validação do modelo hidrológico.

4. Conclusão

Os resultados dos coeficientes estatísticos aplicados para avaliar a performance do modelo hidrológicos para a sub-bacia hidrográfica de Torixoréu, mostram que o desempenho das etapas de calibração e validação indicam que o mesmo apresenta qualidades para o uso em ações de gestão e planejamento dos recursos hídricos.

Para a melhoria do modelo observa-se a necessidade e uma melhor depuração dos dados das vazões observadas, pois se assumiu neste trabalho que os mesmos estavam corretamente consistidos, entretanto, se faz necessário para a continuidade desse estudo uma análise a respeito da curva chave utilizada no cálculo das vazões para a série história trabalhada.

Ainda com base nos resultados alcançados, conclui-se que os dados disponibilizados pelo CPC/NCEP vêm contribuir como mais uma ferramenta disponível para a gestão e o planejamento de bacias hidrográficas em regiões onde os dados são escassos ou não existem. Por fim, observa-se também, uma grande possibilitando no futuro, de um potencial uso dos dados do CPC/NCEP na modelagem hidrológica visando o monitoramento e previsão de curto e médio prazo de inundações em bacias hidrográficas de médio e grande porte.

5. Citações e Referências

Aquino, S.; Latrubesse, E. M.; Souza Filho, E. E. de. (2009), Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **10**, 43-54.

ANA. Agência Nacional de Águas. Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins-Araguaia. Disponível em <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Tocantins-Araguaia>> Acesso em: 27 jul. 2012.

Bravo, J. M. et. al. 2007. **Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo-SP.

Bravo, J. M., Collischon, W., Tucci, C. E. M., 2009, **Verificação de eficiência de um algoritmo evolucionário multiobjective na calibração automática do modelo hidrológico IPH II**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH, Vol. 14, pp.37-60, Porto Alegre, RS.

Climate Prediction Center (CPC), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Acesso em 10 jan.2013.

Hidroweb: **banco de dados**. Disponível em : < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2013.

Liew, M. W. Van; Arnold, J. G.; Garbrecht, J. D. (2003), Hydrologic simulation on agricultural watersheds: choosing between two models. *Transactions of the ASAE*, **46**, 1539-1551.

Moriasi, D. N.; Arnold, J. G.; Liew, M. W. Van; Binger, R. L.; Harmel, R. D.; Veith, T. (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, **50**, 885-900.

Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970), River flow forecasting through conceptual models part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**, 282-290.

Tucci, C.E.M. Modelos hidrológicos. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p., 1998.

Villela, S.M. & A. Mattos, - Hidrologia Aplicada, São Paulo: Mc Graw - hill do Brasil, 1975.

Xie, P.; Yatagai, A.; Chen, M.; Hayasaka, T.; Fukushima, Y.; Liu, C.; Yang, S., A Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation over East Asia. 2006.

Zaapa, M. Multiple-response verification of a distributed hydrological model at different spatial scales. Thesis (Ph.D. in Natural Science) – Swiss Federal Institute of Technology, 2002.

Zhang, H. G.; Fu, S. H.; Fang, W. H.; Imura, H.; Zhang, X. C. (2007), Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. *Transactions of the ASABE*, **50**, 911-918.