

## PREVISÃO DE CHEIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL REGIONAL NA SUB-BACIA DO TAQUARI

WILLIAM TSE HORNG LIU<sup>1</sup>  
FABIO MARTINS AYRES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UCDB - Universidade Católica Dom Bosco  
Caixa Postal 100 – 79117-900 – Campo Grande – MS, Brasil  
(will, fabio)@ucdb.br

**Abstract.** This study presents a river water level prediction model for the Taquari sub basin using rainfall and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) generated from NOAA AVHRR GAC data. The data period of 1981 to 1993 were used for model construction and the period of 1994 to 1998 were used for model construction. A liner multiple regression technique was used to construct the model. The results showed that an averaged absolute error of 16.7% was obtained from the model validation. The Model tends to overestimate the peaks of maximum and minimum water level. But in general, the model can be applied to predict Taquari river water level with works reasonably well. It is suggested that the model may be used to predict the Taquari river water level with three months in advance. This information may provide us for better regional sustainable development by reducing floods damages and controlling river transportation traffics.

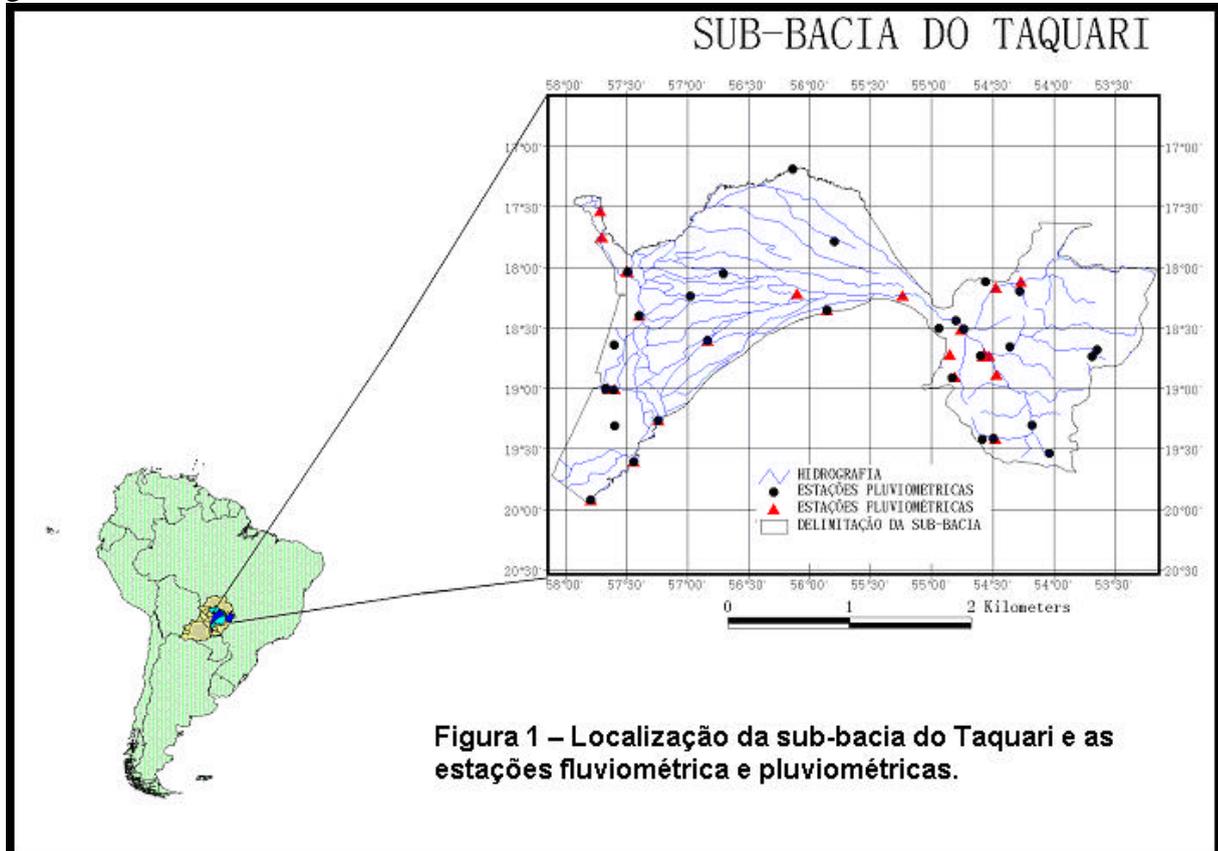
**Keywords:** inundation, Taquari, sub-basin, NDVI, river water level.

### 1. Introdução

A sub-bacia do rio Taquari é uma das dez sub bacias que compõem a Bacia do Alto Paraguai (Hamilton et al, 1996). A BAP ocupa três países, incluindo as regiões centro-oeste do Brasil, leste da Bolívia e nordeste do Paraguai. Esta bacia se divide em duas regiões distintas: a superior denominado planalto e a inferior de nomeada *planície* ou Pantanal. No planalto circundante, nascem os principais rios formadores do Pantanal. O ponto da saída dos afluentes dos rios das sub bacias do rio Paraguai localizado em Porto Murtinho. Portanto, os dados de cota e vazão inferem a quantidade de água captada pela BAP. No estado de Mato Grosso do Sul a bacia ocupa uma área aproximada de 188.178,94 Km<sup>2</sup>, correspondente a 52,54% da área do estado. O Pantanal representa no estado cerca de 24,6% de sua área. A **Figura 1** apresenta a localização da sub-bacia do Taquari inserida na planície Bacia do Alto Paraguai - BAP. A sub-bacia do rio Taquari tem uma área de 65,023km<sup>2</sup> com seus principais rios Taquari e Coxim que sofrem erosão severa pelo impróprio manejo das atividades agropecuárias no planalto ocasionando o depósito de sedimentação na planície.

As freqüentes alterações do sistema físico ambiental ocasionado, pelas variabilidades climáticas, hidrológicas e atividades antropogênicas. As freqüentes ocorrências de cheias resultam as severas perdas de gados e lavouras, e ainda, interrompendo os transportes terrestres. As freqüentes ocorrências das secas também causam perdas de gados e lavouras além de acelerar a erosão das margens do rio devido a intenso tráfego fluvial descontrolado. Portanto, é extrema importância procurar um método adequado de previsão de cheias para auxiliar o planejamento para um sistema de manejo socioeconômico sustentável para o desenvolvimento local. Hamilton et al. (1996) apresentaram um método de estimativa da área de cheias utilizando as imagens de Landsat e os dados de microondas (Scanning Multichannel Microwave Radiometer Sensor, SMMS). Galdino e Clarke (1997) apresentaram um modelo probabilístico de ocorrência de chuva correlacionada com a cota. Devido a complexibilidade do comportamento hidrológico da bacia alto Paraguai, o modelo baseado somente nos dados

de chuva de uma estação e cota não alcança a precisão satisfatória na previsão das cheias (Liu et al., 2002). Recentes avanços em aplicações de dados de satélite demonstraram que o NDVI inferi bem a seca (Liu et al., 1994; Liu e Juarez, 2001). Este trabalho apresentará um modelo de previsão da cota da sub-bacia Taquari utilizando-se dados de chuva e dados de NDVI gerados com os dados de NOAA AVHRR GAC.



## 2. Metodologias

### 2.1. Dados

Neste estudo, foram usados os dados mensais de cota (COTA) da estação fluviométrica de Forte Coimbra e precipitação (PCP) de vinte e sete estações pluviométricas no período de julho de 1981 a setembro de 1998, fornecidos pela Agência Nacional das Águas, (ANA). **Figura 1** apresenta a localização das estações pluviométricas e as estações fluviométrica na delimitação da sub-bacia do Taquari. Foram usados também os dados do mesmo período de “Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)” gerados com os dados de satélite NOAA AVHRR GAC de uma resolução de 8 x 8 km. O arquivo original da série temporal de imagens AVHRR é parte dos dados Pathfinder Land arquivados no Goddard Space Flight Center (GSFC), Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC) da NASA, obtidos das passagens diárias do NOAA, que são derivados dos dados do NOAA AVHRR Global Area Coverage (GAC) 1B. Os dados do AVHRR usados são fornecidos pelo GSFC/DAAC com as correções radiométricas pelo método standard do NOAA (Kidwell, 1990; Rao and Chen, 1995), e possuem correções atmosféricas incluindo o espalhamento molecular de Rayleigh pelo método sugerido por Gordon *et al.* (1988) e a correção da absorção de ozônio pelo método de Fleig usado pelo Eidenshink e Faundeen (1997).

## 2.2. Construção e Validação do Modelo

As correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI variando-se o tempo de atraso de COTA, foram feitas para selecionar os variáveis independentes (PCP e NDVI). Os dados de julho de 1981 para dezembro de 1993 foram usados para construção do modelo, enquanto os dados de janeiro de 1995 a maio de 1998 foram usados para validação do modelo.

## 3. Resultados e Discussões

**Tabela 1** mostra-se o resultado das correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI com a variação do tempo no atraso de COTA. A correlação mais alta entre COTA e PCP foi obtido para a COTA com 5 meses de atraso (coeficiente da correlação ( r )) de 0,7288. A correlação mais alta entre COTA e NDVI foi obtido para a COTA com 3 meses de atraso ( coeficiente de correlação ( r )) de 0,4587. Foram selecionados nove parâmetros incluindo PCP1, PCP2, PCP3, SPCP12, SPCP23, SPCP123, NDVI3, NDVI4 e SNDVI34 com variáveis independentes e COTA7 como variável dependente para construção do modelo. Os números 1, 2, 3, 4 e 7 representam respectivamente mês 1, 2, 3, 4, e 7. A letra S de SPCP e SNDVI representa a soma de meses indicados pelos números. A técnica de regressão linear múltipla foi aplicada para a construção do modelo. A equação 1 apresenta-se o modelo construído.

$$COTA7=88.2031+60.6718*(SNDVI34)+0.49426*(SPCP12)+0.42883*(SPCP3). \quad (1)$$

Onde: COTA7 = Cota do mês 7(cm);  
 SNDVI34 = Soma de NDVI dos meses de 3 e 4 (sem dimensão);  
 SPCP12 = Soma de PCP dos meses de 1 e 2 (mm);  
 SPCP3 = PCP do mês 3 (mm).

**Tabela 1** – Correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI da sub-bacia do Taquari (fonte: Os dados mensais de COTA, PCP e NDVI do período de 1981 a 1993, fornecidos pela Agência Nacional das Águas – ANA)

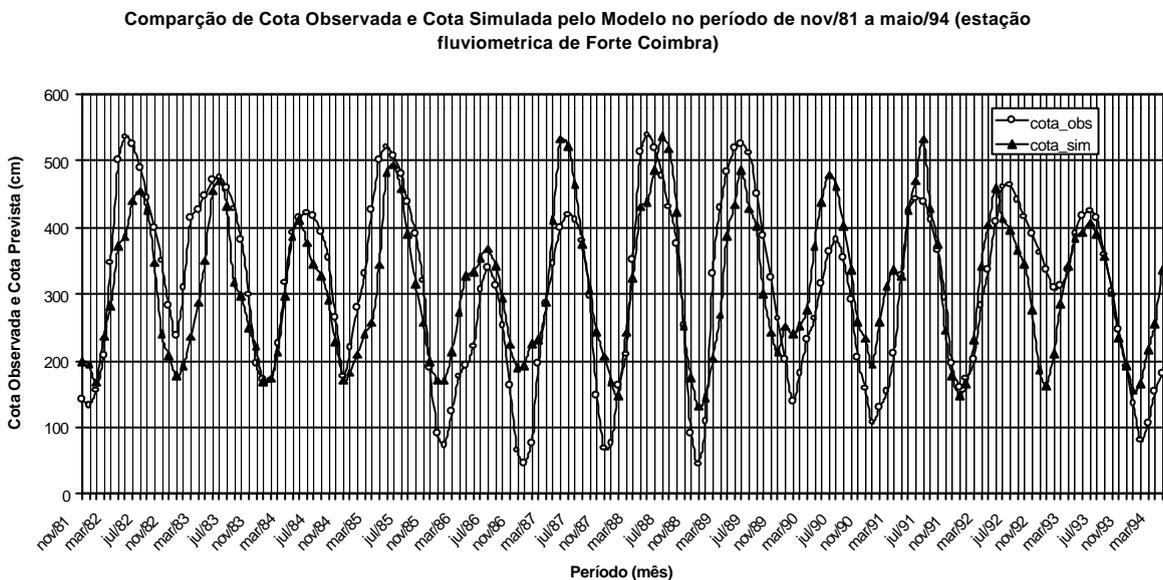
Mês atraso da COTA	PCP x COTA	COTA x NDVI
0	-0,62206	-0,05954
1	-0,35163	0,166755
2	0,012812	0,390682
3	0,381232	0,458698
4	0,652886	0,348587
5	0,728729	-
6	0,659629	-

O modelo tem o valor de R<sup>2</sup> de 0.6349 com MSE 6519.52 e SD 80.7435. **Figura 2** mostra a comparação das cotas observadas e simuladas pelo modelo. A média simulada dos erros absolutos comparados pelo modelo foi de 31,71%. **Figura 3** mostra a comparação das cotas observadas e estimadas pelo modelo. O modelo superestimou a cota mínima abaixo de 150cm nos anos de 1986, 1987, 1988, 1989 1990, 1991 e 1994. O modelo superestimou a cota máxima nos anos de 1987, 1990 e 1991. Em geral, o modelo não simulou bem as cotas máxima e mínima da sub-bacia Taquari devido à complexidade do comportamento hidrológico da Bacia Alto Paraguai que forma o Pantanal. A área inundada plana do Pantanal é composta com as áreas baixadas de 10 sub-bacias entrelaçadas que formaram um leque. A cota monitorada no Porto de Forte Coimbra registra o nível de água da área inundada naquele

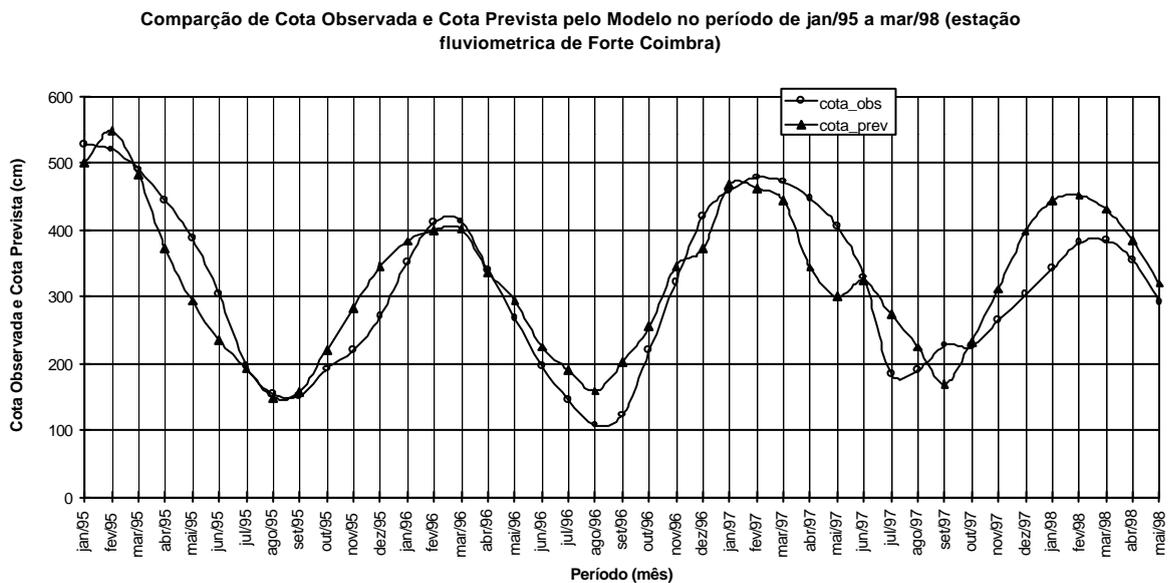
ponto que coleta as águas de um conjunto de sub-bacias na redondeza, não somente a água drenada pela sub-bacia Taquari. Portanto, o modelo baseado nos dados de PCP e NDVI da sub-bacia Taquari não estimou bem a cota no Forte Coimbra para as cotas extremas.

Na validação do modelo, a média dos erros absolutos foi de 16,7%. O desempenho do modelo melhorou comparando-se com os erros da simulação. Isto indica que o modelo é estatisticamente estável. Mesmo assim, o modelo também tem tendência de superestimar a cota mínima do 1996 e a cota máxima do ano 1998. Isto demonstra que o modelo de previsão da cota usando os dados de PCP e NDVI de uma sub-bacia tal como Taquari entrelaçado com outras sub-bacias no Pantanal não alcança a acurácia satisfatória nos casos das cotas máxima e mínima. Em geral, o modelo funcionou bem considerando o modelo é um tipo de modelo climatológico estatístico.

**Figura 2** – Comparação das cotas observadas e simuladas pelo modelo



**Figura 3** – Comparação das cotas observadas e prevista pelo modelo.



#### 4. Conclusões

Os resultados mostraram que o modelo tem a media de erro absoluto de 16,7% que é considerado aceitável. Entretanto, o modelo tem tendência de superestimar as cotas máxima e mínima devido a complexidade de avanços de água entre as sub bacias que compõem a Bacia Alto Paraguai. Em geral, o modelo funcionou bem considerando que o modelo é um tipo de modelo climatológico estatístico. Sugere-se um estudo mais detalhado de comportamento hidrológico do entrelaçamento das sub bacias para que possa melhorar o modelo de previsão. Mas em geral este tipo de modelo climatológico estatístico é um modelo simples e funciona razoavelmente bem. Isto demonstra que o modelo pode ser aplicado para prever a cota da sub bacia do rio Taquari três meses antes com boa precisão. Estas informações podem promover o melhor desenvolvimento sustentável regional, reduzindo danos de causados pelas cheias e controlando o tráfego de embarcações nos rios da sub-bacia.

#### 5. Referências Bibliográficas

KIDWELL, K. B., 1995, NOAA Polar Orbiter Data Users Guide. *Satellite Data Service Division, NESDIS/NOAA, Washington D.C., USA.* 435p.

Eidenshink, J.C. and Faundeen, J.L. 1997. The 1-km AVHRR global land data set: first stages in implementation. *International Journal of Remote Sensing*. 51:39-56.

Gordon, H.R.; Brown, J.W. and Evans, R.H. 1988. Exact Rayleigh scattering calculations for use with the Nimbus-7 coastal zone color scanner. *Applied Optics*, 27:2111-2122.

Liu, W.T.H.; Massambani O. and Nobre C., 1994. Satellite Vegetation response to drought in Brazil - *Int. Journal Climatology*, 14:343-354.

Liu, W.T.H. and Kogan F., 1996. Monitoring regional drought using vegetation condition index. *Int. Journal of Remote Sensing*, 17:2761-2782

Liu, W.T. and Juarez, R. N. 2001. ENSO drought Prediction of Northeast Brazil Using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, V22 (17): 3483-3501

Juárez, R. N. and Liu, W.T., 2001. "NDVI FFT analysis of spatial climatic variation in northeast Brazil". *International Journal of Climatology*, V21 (14): 1803-1820.

RAO, C.R.N., and CHEN, J., 1995, Inter-satellite calibration linkages for the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, -9, and -11 spacecrafts. *International Journal of Remote Sensing*. 16, 1931-1942.

Galdino, S. and Clarke, R. T. 1997. Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário. MS - Pantanal. 1997. *Circulação Técnica* N° 23, EMBRAPA-CPAP, Corumbá, MS. 58p.

M. S. Secretária de Estado de Meio Ambiente Fundação de Estado de Meio Ambiente Pantanal. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Alto Paraguai 1997-1998.

Hamilton S.K., S. J. Sippel and J. M. Melack, 1996. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. Arch. Hydrobiol. 137: 1-23.

Liu, W. T. ; Ayres, F. M.; Salles, A. T. and Padovani, C. 2002. Alto Paraguay river water level prediction using NOAA AVHRR NDVI. 1º International Symposium, Recent Advances In Quantitative Remote Sensing. 36p.