



AS MODIFICAÇÕES DO REGIME DE DESCARGA DO RIO PARAGUAI SUPERIOR

Edinéia Vilanova Grizio

Doutoranda da Universidade Estadual de Maringá - Rua Mandaguari, 228 - Zona 07 - Maringá, PR - CEP 97020-230 - e-mail: Edineia_grizio@hotmail.com

Edvard Elias de Souza Filho

Universidade Estadual de Maringá DGE/UEM - Rua Joaquim Murtinho 90 - Zona 4 - Maringá, PR - CEP 87014-210 - e-mail: edvardmarilia@wnet.com.br

Resumo

O rio Paraguai Superior apresentou modificação de descarga fluvial a partir do final da década de 1960, enquanto a ocupação extensiva de sua bacia teve início nos anos setenta. Uma vez que a descarga fluvial depende da entrada de água na bacia e de características da própria bacia, este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações do regime de descarga do rio no período entre 1966 e 2005 e comparar os resultados com os dados de precipitação da bacia para verificar se as modificações existentes foram provocadas por fatores climáticos. Para isso foram utilizados os dados das séries históricas das estações fluviométricas e meteorológicas de Barra do Bugres, Cáceres e Descalvados obtidas junto à ANA (Agência Nacional das Águas). Os dados de descarga fluvial foram utilizados para a obtenção da descarga média anual e da descarga máxima e mínima anual. Os dados de precipitação foram utilizados para a obtenção da precipitação anual. Os dados anuais foram tratados estatisticamente e comparados entre si. Os resultados obtidos demonstram que a descarga fluvial aumentou até 1980 devido ao aumento da precipitação pluvial. A partir desta data, os valores de descarga não mais puderam ser explicados pelas variações da precipitação indicando que a ocupação da bacia passou a interferir na relação precipitação/vazão. O comportamento temporal das descargas máximas anuais indicou um aumento do escoamento superficial. O comportamento das descargas mínimas anuais mostrou que houve um aumento do armazenamento subterrâneo no período entre o início da década de 1980 e o meio da década de 1990 e uma diminuição após esta data. Possivelmente a diminuição tenha sido causada pela implantação das pastagens, e o aumento tenha sido consequência da introdução da agricultura.

Palavras-chave: regime de descargas, precipitação, rio Paraguai.

Abstract

The Upper Paraguay River presented modification of river discharge from the late 1960s, while the extensive occupation of its basin began in the seventies. Since the river discharge depends on the entry of water into the basin and characteristics of the basin itself, this study aims to assess the changes of the discharge rate of the river in the period between 1966 and 2005 and compare the results with the data of precipitation basin to verify that the existing modifications were caused by climatic factors. For this we used data from time series of gauged and meteorological stations Barra do Bugres, Cáceres and Descalvados obtained from the ANA (National Water Agency). The river discharge data were used to obtain the average annual discharge maximum and minimum annual discharges. The rainfall data were used to obtain the annual rainfall. Annual data were treated statistically and compared. The results show that the river discharge increased until 1980 due to increased rainfall. From this date, the amount of discharge could no longer be explained by variations in precipitation indicating that the occupation of the basin started to interfere in the relationship rainfall/discharge. The temporal behavior of maximum annual discharges showed an increase in runoff. The behavior of the minimum annual discharges showed an increase in underground storage in the period

between early 1980 and mid-1990 and a decrease thereafter. Possibly the decrease was caused by the deployment of pastures, and the increase was a result of the introduction of agriculture.

Keywords: system discharges, precipitation, Paraguay River

Introdução

A bacia de drenagem do rio Paraguai Superior sofreu forte ação antrópica a partir da década de 1970, graças à ocupação de áreas de vegetação natural para a implantação de pastagens e de agricultura. A retirada da vegetação natural aparentemente resultou em uma sensível modificação das características do rio, em especial no que diz respeito ao regime de débitos e ao transporte de sedimentos (SILVA, 2006; SILVA *et al.* 2008).

A análise preliminar do regime de débitos efetuada pelos referidos autores indicou que os valores de descarga máxima, média e mínima aumentaram entre 1966 e 2003, e a avaliação do transporte de sedimentos indicou um aumento da carga sedimentar do canal durante o período em que a ocupação estava transcorrendo. Tais alterações seriam responsáveis pela troca de padrão de canal do segmento fluvial situada entre Cáceres e Descalvados (SILVA *et al.* 2008).

Os dados fluviométricos utilizados pelos autores mencionados deixaram claro a modificação do regime de descarga fluvial, mas não as suas causas. Portanto, há uma questão em aberto: o aumento da descarga fluvial do rio Paraguai Superior deve-se à ocupação da bacia ou está relacionado a um aumento dos valores de precipitação?

A retirada da vegetação natural pode proporcionar uma diminuição da rugosidade superficial das vertentes e proporcionar um aumento do escoamento superficial e diminuir a capacidade de armazenamento hídrico da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1981), ocasionando maiores valores de descarga máxima e menores valores de descarga mínima. Seguindo este princípio, a ocupação da bacia provocaria a redução da descarga mínima e, portanto, o aumento das descargas seria consequência do aumento da precipitação.

Por outro lado, os trabalhos de Bosch e Hewlett (1982) comprovaram a relação entre a retirada da vegetação e o aumento da descarga média em 149 bacias experimentais, enquanto que Tucci & Clarke (1997) demonstraram que o desmatamento pode diminuir ou aumentar a descarga mínima, dependendo do regime de chuvas ou da variação da evapotranspiração.

No caso do rio Paraguai Superior, a avaliação dos dados de precipitação na bacia pode resolver a questão caso seja verificada uma tendência de aumento de fornecimento de água. Caso contrário, há necessidade de verificar as alterações dos valores da evapotranspiração decorrentes da substituição da vegetação nativa por pastagens.

Diante de tais questões, o objetivo deste trabalho é avaliar as modificações do regime de descarga do rio Paraguai Superior no período entre 1966 e 2005 e comparar os resultados com os dados de precipitação na bacia.

A importância ambiental do sistema, as modificações que a bacia vem sofrendo, a escassez de informação a respeito das características do rio justificam a necessidade da realização de estudos que permitam um adequado conhecimento da região, para subsidiar o planejamento para um desenvolvimento sustentado.

Localização da área de estudo

A área de estudo está situada no sudoeste do Estado do Mato Grosso, entre os paralelos 14° e 16° 40' Sul e os meridianos 57° e 59° Oeste, compreendendo o chamado "Pantanal de Cáceres" (Figura 1). A bacia situada a montante da estação fluviométrica de Descalvados drena uma área de 48360km².

As nascentes do rio Paraguai estão situadas sobre rochas do Complexo Xingu, em altitude superior a 400 metros, mas logo a seguir, nas proximidades da cidade de Alto Paraguai, o rio passa a correr em altitude inferior a 220 metros. Após percorrer cerca de 110 quilômetros, o rio adentra a Depressão do Alto Paraguai, nas proximidades de Barra do Bugres, com o leito instalado em altitudes inferiores a 140 metros. Após um percurso de pouco mais de 275 quilômetros o rio ladeia a cidade de Cáceres, a uma altitude inferior a 110 metros. Por fim, após percorrer mais 130 quilômetros o rio adentra ao Pantanal Matogrossense e chega à estação de Descalvados, onde corre abaixo de 100 metros de altitude.

A bacia é muito assimétrica, com sua parte oriental limitada pela Província Serrana e a parte ocidental desenvolvida sobre a Depressão do Alto Paraguai (RADAMBRASIL, 1982). A Província Serrana é uma faixa montanhosa de aproximadamente 25 quilômetros de largura sustentada por rochas dobradas da Zona Externa da Faixa Paraguai. A Depressão do Alto Paraguai ocupa uma faixa de pouco mais de 170 quilômetros de relevo aplanado desenvolvido sobre a Zona de Plataforma da Faixa Paraguai, no conceito de Almeida (1964).

A Província Serrana apresenta relevo bastante movimentado, mas os afluentes do rio Paraguai que a cortam são curtos, com poucos quilômetros de comprimento, com bacias de drenagem de tamanho reduzido.

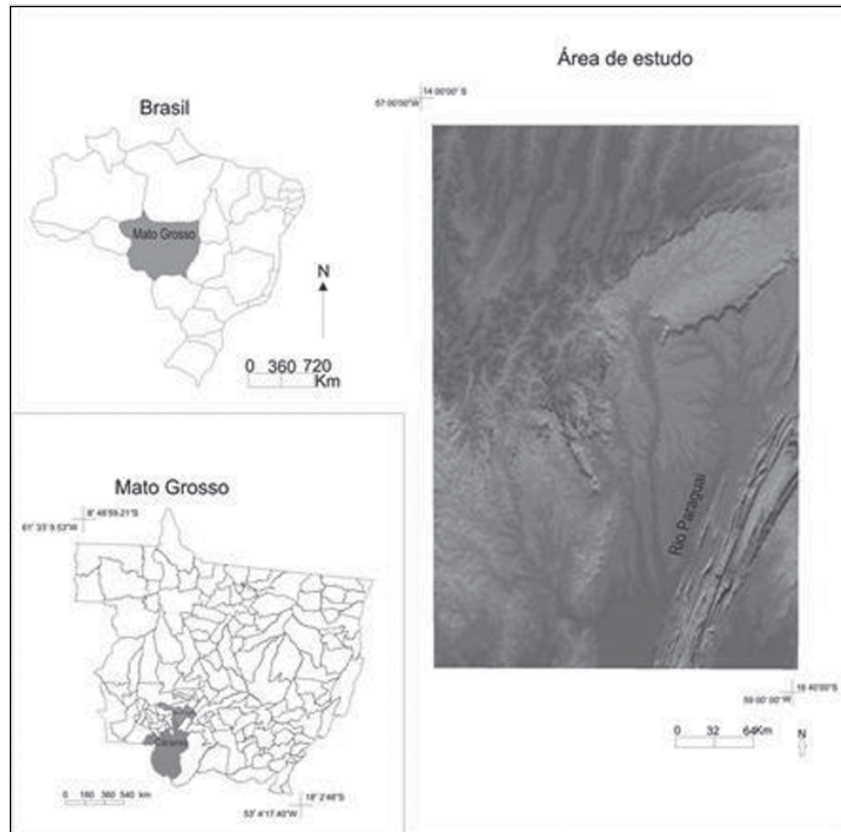


Figura 1 - Localização da área de estudo

A Depressão do Alto Paraguai apresenta relevo pouco dissecado, disposto em patamares com topo plano que se desdobram de 400 metros de altitude no extremo oeste da bacia para pouco mais de 100 metros nas proximidades do Pantanal. As partes mais altas constituem o Pediplano Inundado (RADAMBRASIL, 1982), com expressivos depósitos de pedimentos arenosos. As partes de altitude média estão instaladas sobre os espessos depósitos arenosos da Formação Pantanal e as partes mais baixas sobre a planície e terraços do rio Paraguai. A rede de drenagem da margem esquerda é formada por um conjunto de afluentes com padrão de drenagem paralelo, entre os quais destacam-se o rio dos Bugres, o Sepotuba, o Cabaçal e o Jauru.

A cobertura vegetal original era feita por vegetação arbórea de Floresta Submontana com Dossel Emergente em sua parte norte e de Savana Arbórea Densa em sua porção central e sul. Localmente ocorre vegetação arbustiva de Savana Parque sem floresta de galeria (RADAMBRASIL, 1982).

O clima da região caracteriza-se como Tropical com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão), temperatura média anual de 25° C e precipitação média

anual de 1.300mm. O período de janeiro a março é o mais úmido, com média histórica de 220mm por mês. O período entre setembro e outubro é o de maior índice de radiação solar, com temperaturas médias de 25,1° C e 27,1° C e precipitação média de 80mm.

Toda a área da bacia do rio Paraguai Superior era relativamente pouco ocupada no início da década de 1970, quando as principais áreas desmatadas eram utilizadas para pastagens e estavam situadas em Barra do Bugres, Nortelândia, Cáceres, Tangará da Serra, Rio Branco, Araputanga e Indavaí. Apenas nas proximidades de Mirassol do Oeste havia ocupação significativa para agricultura, (RADAMBRASIL, 1982).

A ocupação atual é bastante intensa. A vegetação natural foi substituída pela pecuária e por plantações de soja, algodão herbáceo, milho, arroz e sorgo. Grande parte da agricultura é efetuada por meio de plantio direto, de acordo com Silva (2006).

Materiais e Métodos

A hipótese de trabalho está baseada no conceito de que a bacia de drenagem é um sistema geomórfico, no qual qual-

quer mudança de uma de suas variáveis acarreta modificações sobre as variáveis que possuem relação de dependência. Dessa forma, as modificações da precipitação e/ou as modificações do uso do solo poderiam proporcionar alterações no regime de descargas fluviais. Assim, tanto o aumento da precipitação pluvial, como a diminuição da evapotranspiração, ou a combinação de ambos poderiam ser responsáveis pelo aumento dos valores de descarga máxima, média e mínima.

Os dados de descarga fluvial indicam que o sistema passou a ter mais água no período entre o final da década de 1960 e o início do século XXI. Para averiguar quais foram as modificações do regime de descargas foram levantados os dados fluviométricos das séries históricas das estações de Barra do Bugres, Cáceres e Descalvados (Quadro 1), compreendendo o período entre 1966 e 2005.

Os dados de descarga média diária das três estações foram utilizados para a obtenção da descarga média anual em cada seção monitorada. Em seguida, foram obtidos os valores máximos e mínimos da descarga média diária de cada ano.

Quadro 1 - Estações fluviométricas situadas na parte alta do rio Paraguai. (Agência Nacional das Águas – ANA)

	Barra do Bugres	Cáceres	Descalvados
Código da Estação	66010000	66070004	66090000
Latitude	15° 04'36"S	16° 03'47"S	16° 44'00"S
Longitude	57° 10'57"W	57° 41'16"W	57° 44'53"W
Altitude	140m	109,34m	99m
Área de drenagem	10120km ²	32774km ²	48360km ²
Data de início da Série	01/01/1966	01/01/1966	01/01/1968
Data de término da Série	08/2005	09/2005	09/2005
Interrupções		08/2000	10/2002
Vazão Média	135m ³ /s	537m ³ /s	593m ³ /s
Vazão Mínima	4,72m ³ /s	133m ³ /s	157m ³ /s
Vazão Máxima	1.334m ³ /s	2.659m ³ /s	1.148m ³ /s

Os valores de descarga média anual, descarga máxima anual e descarga mínima anual foram avaliados por meio de análise de regressão para verificar se a tendência de aumento de valores de descarga descrita por Silva (2006) seria confirmada. A análise de regressão foi realizada por meio do “software” “STATISTICA”.

Após a análise dos dados relativos à descarga fluvial, foram trabalhados os dados de precipitação pluvial registrados nas estações pluviométricas de Barra do Bugres, Cáceres e Descalvados, para verificar sua variação temporal. Tais dados permitiram a obtenção da precipitação anual no período entre 1969 e 2005, que também foram tratados por análise de regressão.

Para o estudo da relação precipitação/vazão foi realizado uma análise de correlação (regressão linear) entre os dados de precipitação anual (variável independente) e os dados de vazão média anual, por meio da utilização do programa “Statística 7”.

Resultados e Discussão

A análise de regressão linear dos valores de descarga média anual ao longo do tempo indica que há uma tendência de aumento da descarga média anual no período entre 1966 e 2005. Os gráficos mostram também que tal tendência aumenta de montante para jusante, assim como os valores de r² (Figuras 2 a, 2b, 2c). Contudo, os valores de r² são muito baixos, demonstrando que o aumento da descarga média anual não obedece ao modelo linear.

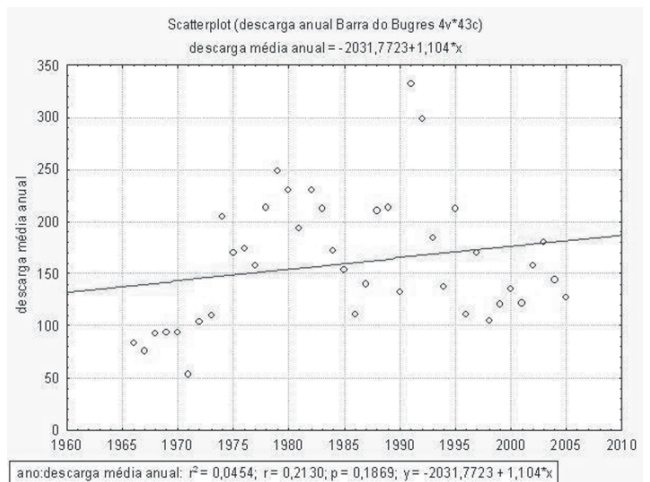


Figura 2a - Gráfico de regressão linear de valores de descargas média anuais em Barra do Bugres

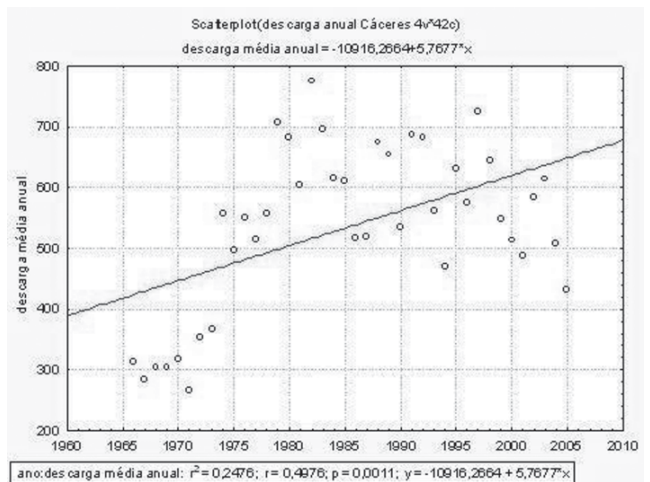


Figura 2b - Gráfico de regressão linear de valores de descargas média anuais em Cáceres

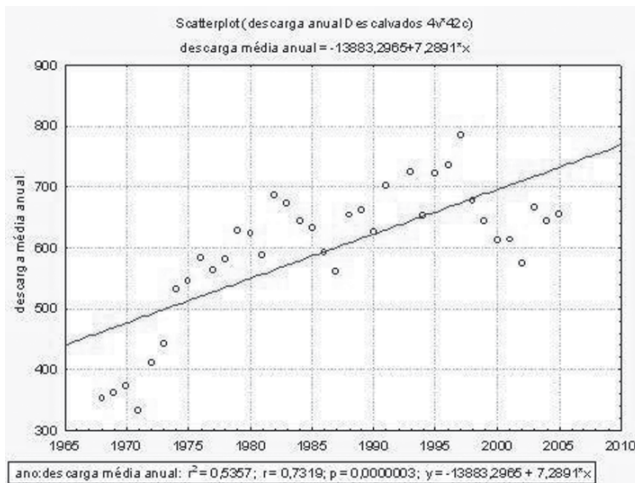


Figura 2c - Gráfico de regressão linear de valores de descargas média anuais em Descalvados

A análise de regressão linear dos dados de descarga mínima e máxima das três estações (Figuras 3a, 3b, 3c), mostra situação idêntica àquela descrita para os valores de descarga média anual. A comparação entre as tendências de aumento das descargas mínimas e das descargas máximas mostra que em Barra do Bugres e em Cáceres os valores de descarga mínima aumentaram em uma taxa um pouco superior às taxas da descarga máxima. Em Descalvados, os dados indicam que a descarga máxima aumentou em taxa muito superior à da descarga mínima.

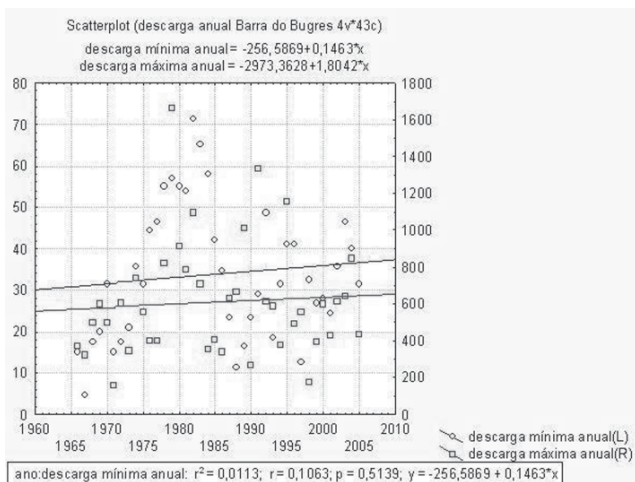


Figura 3a - Gráfico de regressão linear de valores de descargas mínimas e máximas anuais em Barra do Bugres

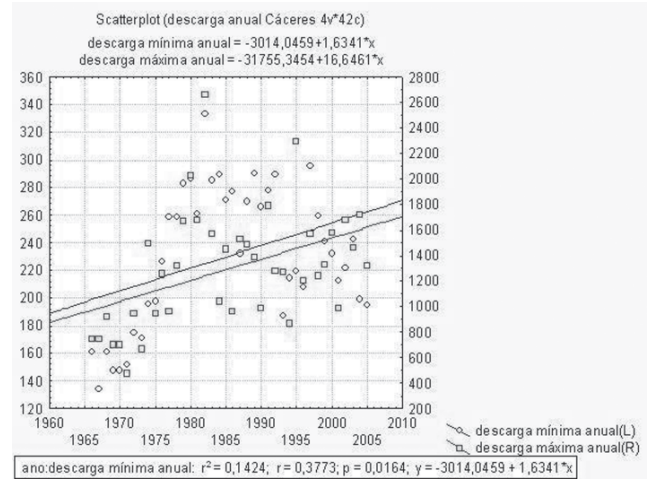


Figura 3b - Gráfico de regressão linear de valores de descargas mínimas e máximas anuais em Cáceres

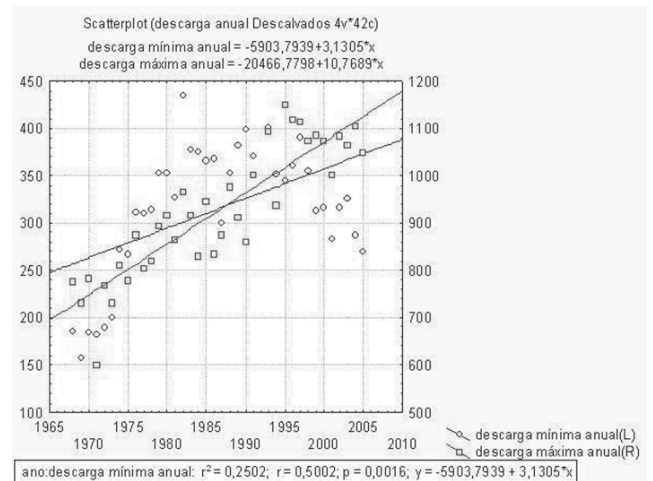


Figura 3c - Gráfico de regressão linear de valores de descargas mínimas e máximas anuais em Descalvados

A utilização do modelo de mínimos quadrados (“Distance Weighted Least Squares”) mostrou um quadro diferente daquele indicado pelo modelo linear (Figuras 4a, 4b, 4c). Nas três estações os gráficos mostram um forte aumento da descarga média anual até a década de 1980, mas em Barra do Bugres a descarga média anual diminui após a década de 1990, enquanto em Cáceres ela começa a diminuir já na década de 1980 e acentua tal tendência no final da década de 1990. Por fim, em Descalvados, a tendência de aumento continua até 1995 e após esse ano os valores de descarga média anual começam a diminuir. Apesar da diminuição dos valores de descarga média, os valores de 2005 são maiores que os registrados no início das séries históricas das três estações.

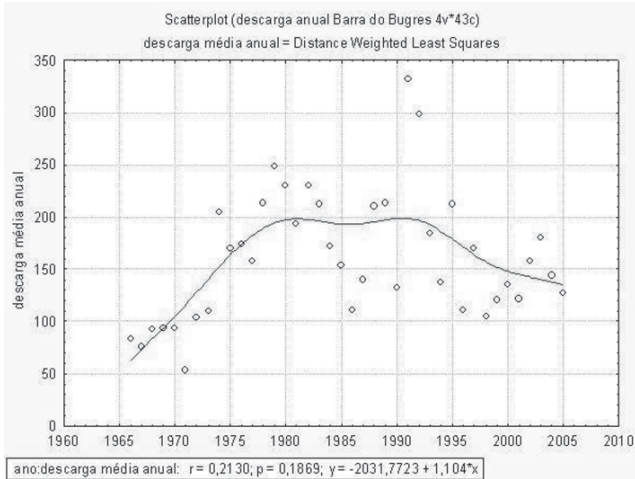


Figura 4a - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas média anuais em Barra do Bugres

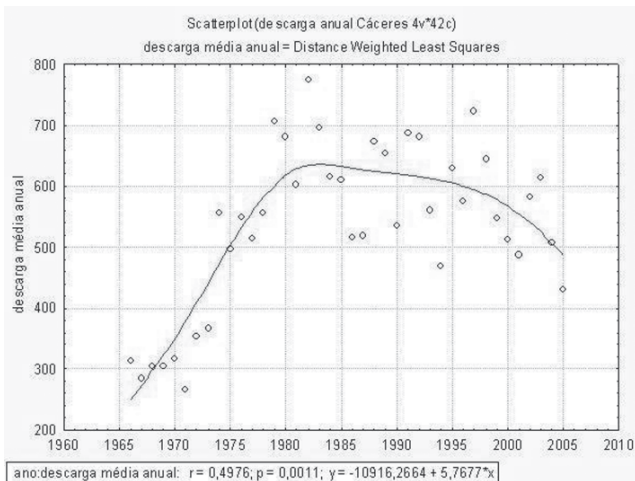


Figura 4b - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas média anuais em Cáceres

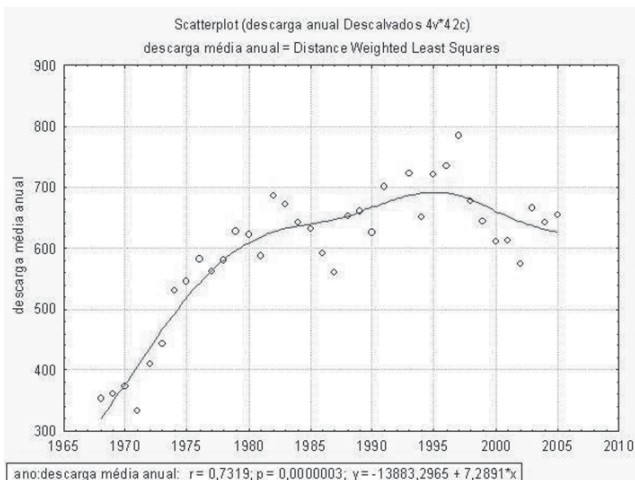


Figura 4c - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas média anuais em Descalvados

No caso das descargas mínimas e máximas, a análise mostrou um quadro diferente (Figuras 5a, 5b, 5c). Em Barra do Bugres, os valores de descarga mínima e máxima atingiram o seu valor máximo por volta de 1980 a partir de quando passaram a diminuir até que a partir do ano 2000 voltaram a aumentar. Contudo, as descargas mínimas mantiveram um patamar elevado entre 1985 e 1993, a partir de quando os valores voltaram a diminuir.

Em Cáceres, os maiores valores foram registrados em 1983 e a partir desta data as descargas mínimas mostram contínua diminuição, enquanto as descargas máximas anuais apresentaram valores estáveis com ligeira tendência de aumento a partir de 1988.

Em Descalvados, a descarga mínima anual teve aumento de valores até o início da década de 1990 e a seguir teve diminuição contínua, enquanto a descarga máxima anual aumentou até o ano 2000, a partir de quando passou a ter uma ligeira diminuição.

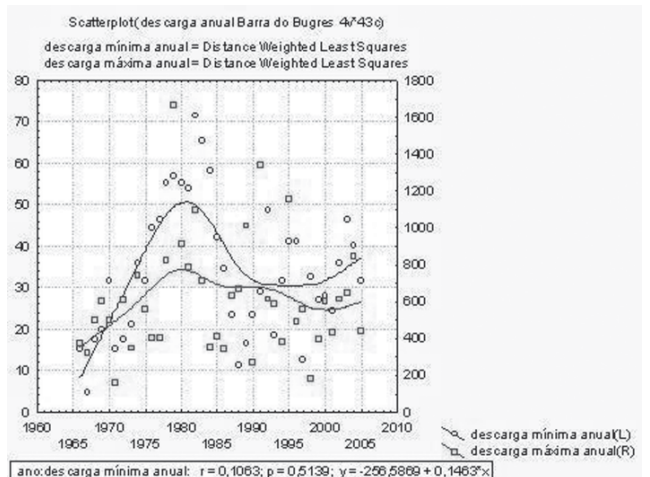


Figura 5a - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas mínimas e máximas anuais em Barra do Bugres

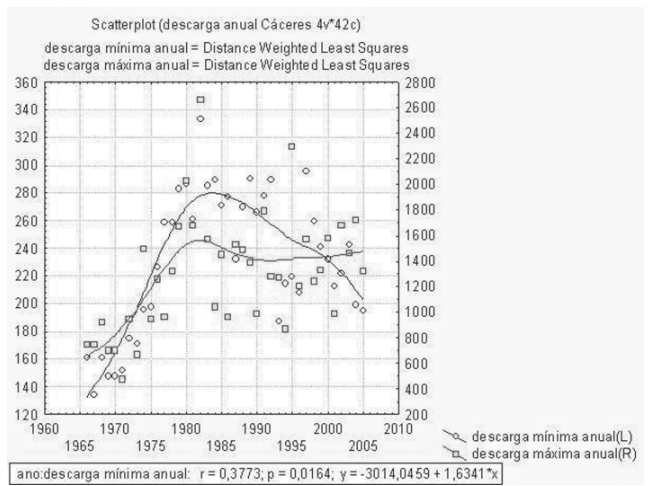


Figura 5b - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas mínimas e máximas anuais em Cáceres

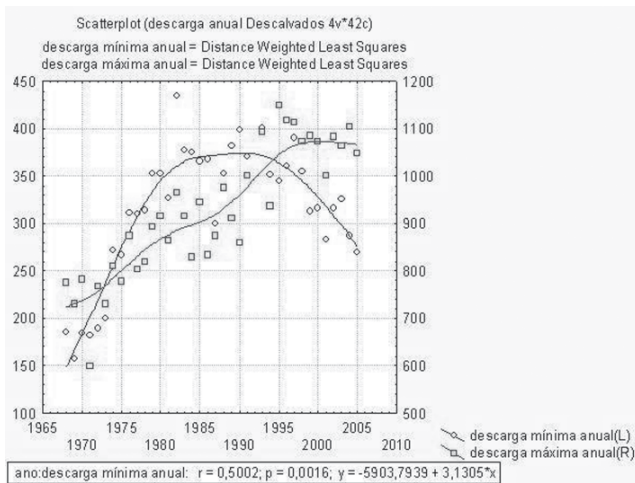


Figura 5c - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de descargas mínimas e máximas anuais em Descalvados

A análise de regressão linear dos dados de precipitação anual demonstrou que os valores registrados nas três estações tenderam a diminuir ao longo do tempo em Barra do Bugres e em Descalvados, mas mostraram uma ligeira tendência de aumento em Cáceres (Figuras 6a, 6b, 6c). Os baixos valores de r^2 indicam que a distribuição não é linear.

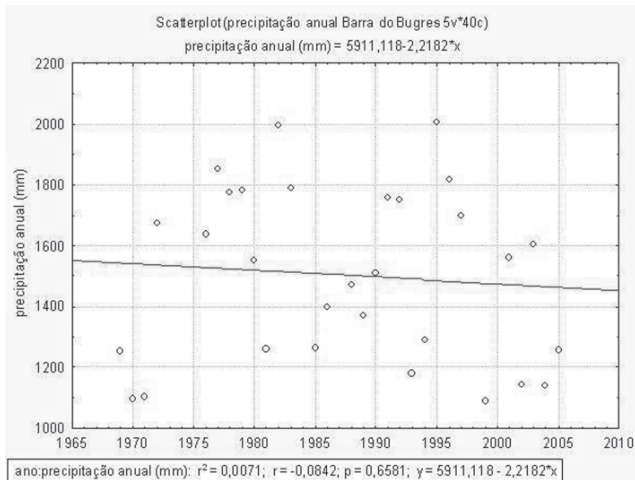


Figura 6a - Gráfico de regressão linear de valores de precipitação anual em Barra do Bugres

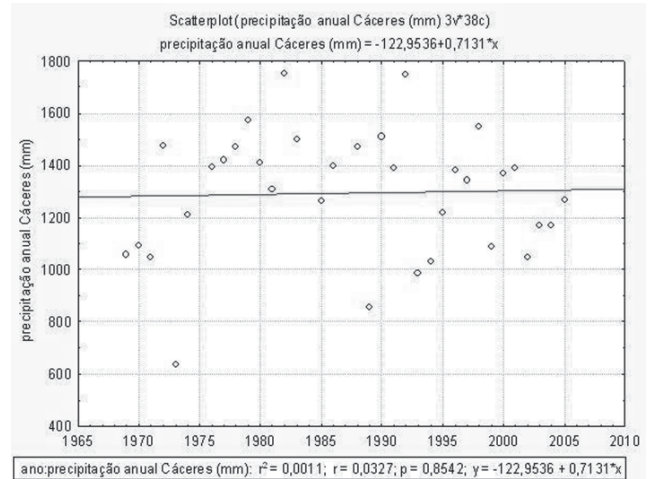


Figura 6b - Gráfico de regressão linear de valores de precipitação anual em Cáceres

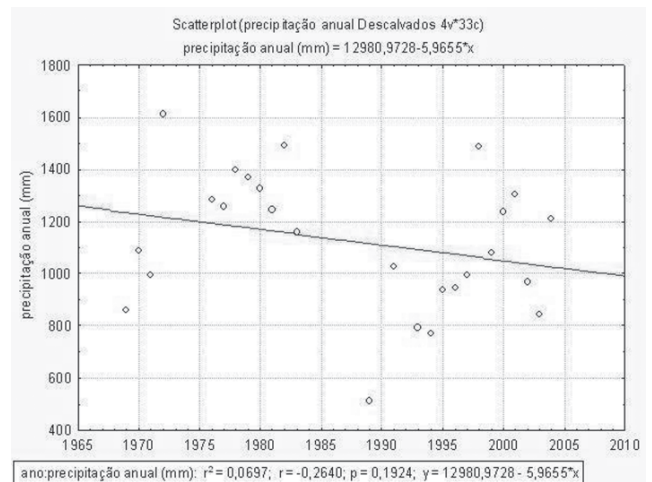


Figura 6c - Gráfico de regressão linear de valores de precipitação anual em Descalvados

A análise de regressão pelo modelo de mínimos quadrados (Figuras 7a, 7b, 7c) demonstrou uma tendência de aumento da precipitação nas três estações no período entre 1969 e o início da década de 1980, a partir de quando cada estação mostrou tendência diferente.

Em Barra do Bugres a precipitação diminuiu até 1989, voltou a aumentar até o meio da década de 1990 e passou a diminuir até 2005, quando os valores tornaram-se equivalentes aos do início da série. Em Cáceres os dados mostram uma tendência de diminuição da precipitação a partir do início da década de 1980, enquanto que em Descalvados houve uma pronunciada queda dos valores até o início da década de 1990, a partir de quando os valores voltaram a aumentar até o ano 2000, quando se estabilizaram.

A comparação entre a tendências da precipitação anual e a da descarga média anual obtidas pelo modelo linear (Figuras 6 e 2) mostra que a variação da descarga fluvial no período de tempo não é explicada pela variação da precipitação. Contudo, os gráficos obtidos por meio do modelo de mínimos quadrados (Figuras 7 e 4) mostram que o aumento da descarga média anual no período entre 1966 e o início dos anos de 1980 ocorreu devido ao aumento da precipitação anual nas três estações. Após esta data a relação entre a precipitação e a vazão se modifica e os valores precipitados não mais justificam os valores da descarga.

Tais dados mostram que após o início dos anos oitenta as modificações na bacia passaram a influenciar a relação precipitação/vazão. Uma vez que a principal alteração ocorrida foi a remoção da vegetação, é muito provável que a substituição da vegetação nativa tenha modificado a evapotranspiração.

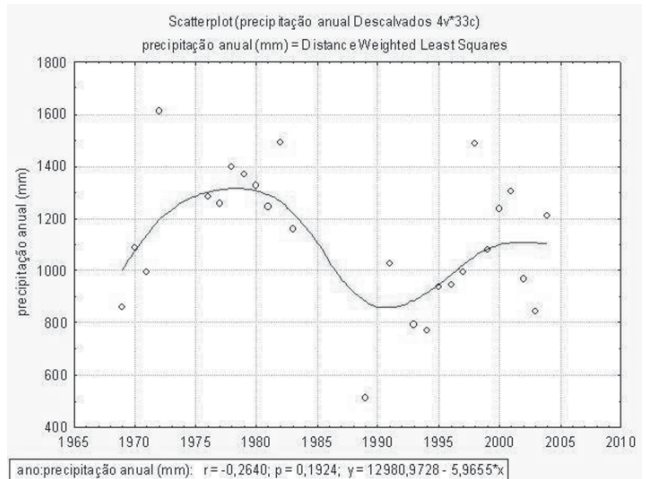


Figura 7c - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de precipitação anual em Descalvados

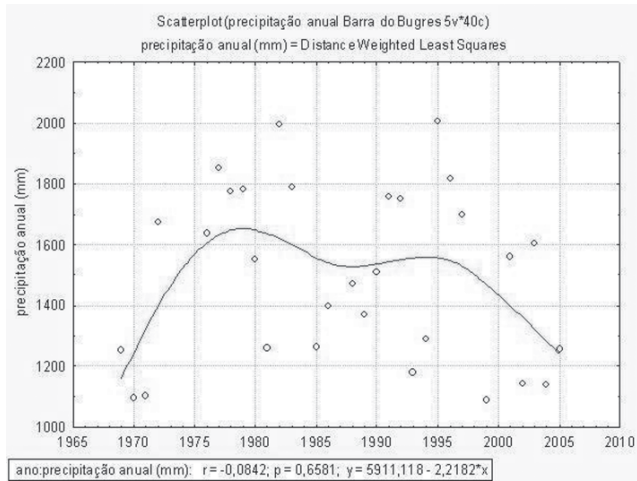


Figura 7a - Gráficos de regressão de mínimos quadrados dos valores de precipitação anual em Barra do Bugres

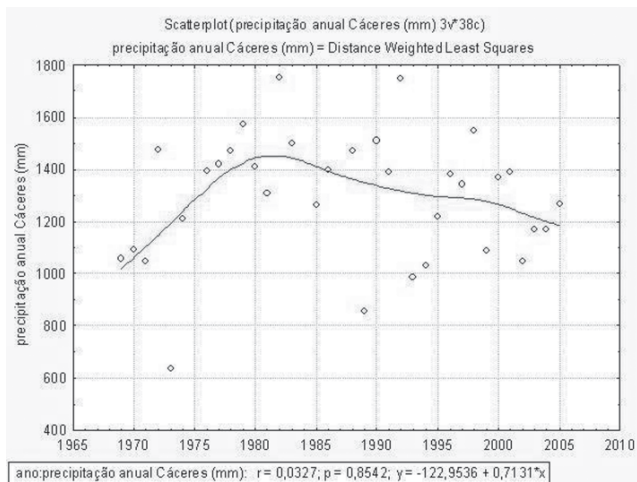


Figura 7b - Gráfico de regressão de mínimos quadrados dos valores de precipitação anual em Cáceres

A comparação entre a tendência da precipitação anual (Figura 7) e a tendência da descarga máxima anual e a da descarga mínima anual (Figura 5) mostram uma situação semelhante à descrita para a descarga média anual, embora o comportamento das curvas de descarga mínima e máxima seja diferente nas três estações.

A diferença de comportamento parece indicar que as alterações do uso do solo tornaram o escoamento superficial mais eficiente, permitindo um aumento da descarga máxima. Por outro lado, a implantação das pastagens teria provocado a diminuição da evapotranspiração, permitindo que os valores de descarga mínima aumentassem. Em um segundo momento é possível que a implantação da agricultura possa ter voltado a aumentar a evapotranspiração fazendo com que o armazenamento subterrâneo diminuísse, assim como os valores de descarga mínima.

A verificação destas possibilidades pode ser feita por meio do estudo da variação do uso do solo a partir da década de 1980, e do cálculo da evapotranspiração potencial média anual deste período.

Conclusões

A análise das séries históricas de descarga fluvial das estações fluviométricas de Barra do Bugres, Cáceres e Descalvados demonstraram que os valores de descarga média aumentaram nas três estações até 1980, a partir de quando as estações passaram a registrar diferentes tendências. Em Barra do Bugres a descarga média anual diminuiu após a década de 1990. Em Cáceres a descarga média anual começa a diminuir já na década de 1980 e acentua tal tendência no final da década de 1990. Em Descalvados a descarga média anual aumenta até 1995, a partir de quando começa a diminuir. Apesar da diminuição dos valores, em 2005 eles são maiores do que no início da série em todas as estações.

O aumento da descarga média anual até 1980 é justificado pelo aumento da precipitação registrada nas séries históricas das estações meteorológicas. Contudo os valores de descarga posteriores não podem ser explicados apenas pelas variações da precipitação, indicando que a ocupação da bacia passou a influenciar a relação entre a precipitação e a vazão. A causa mais provável é a modificação dos valores de evapotranspiração induzida pela retirada da vegetação nativa.

As tendências mostradas pelas descargas mínimas e máximas anuais demonstram que o escoamento superficial tornou-se mais eficiente após a ocupação da bacia, e que inicialmente a ocupação teria sido responsável pelo aumento do armazenamento subterrâneo e posteriormente, com a implantação da agricultura, teria sido a causa de sua diminuição.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. de, *Geologia do Centro-Oeste Mato Grossense*. (1964^a) Boletim da divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, 1-11.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Rede hidrometeorológica básica**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 14 de maio de 2004.

BOSCH, J. M., HEWLETT, J. D. (1982) **A Review of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration**. Journal of Hydrology, v 55, p 3-23.

CRISTOFOLETTI, A. (1981) *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher.

RADAMBRASIL. **Levantamentos dos recursos naturais**. (1982) Cuiabá-Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD 21, p. 448.

SILVA, A. **Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres-MT**. 2006 Dissertação (Mestrado em Geografia)- Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

SILVA, E.; SOUZA FILHO, E. E.; CUNHA, S. B. (2008) Padrões de Canal do Rio Paraguai na região de Cáceres (MT). Revista Brasileira de Geociências, v. 38(1), p. 169-179.

STATISTICA 7. *StatSoft inc. STATISTICA* (data analysis software system), version 7. [s. l.: s.n], 2004.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R.T. (1997). **Impacto do desmatamento no comportamento hidrológico: Revisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2 n.1, p.135-152.