

Produção de sedimento em suspensão na bacia hidrográfica do Alto Guaporé, município de Pontes e Lacerda – MT

Suspended sediment yield at upper Guaporé River basin, Central-West Brazil

Albert Teixeira Cardoso^{1(*)}
José Alexandre Pinto Coelho Filho²

Resumo

Os processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos são responsáveis por uma série de impactos ao ambiente. Apesar de acontecerem de forma natural, esses processos também estão relacionados diretamente à presença humana. Este trabalho avaliou a produção de sedimentos em suspensão (*PSS*) na bacia hidrográfica do Alto Guaporé, delimitada a partir da estação fluviométrica de Pontes e Lacerda. Os dados de chuva, vazão e Concentração de Sedimentos em Suspensão (*CSS*) foram obtidos a partir do portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA). Todas as séries possuem mais de 30 anos de registro. A partir das amostras de *CSS* foi gerada a curva-chave de sedimento para determinar os valores de *CSS* para toda a série. A curva-chave de sedimentos gerada foi do tipo polinomial de segunda ordem, com $R^2=0,34$. Os meses de fevereiro, março e abril respondem por mais de 55% da *PSS* da bacia; apenas o mês de março, responde por 23% da *PSS* anual. A análise estatística da série de *PSS* indicou que os valores de produção anual de sedimentos foram aleatórios em torno da média e não apresentaram tendência no decorrer do período.

Palavras-chave: erosão hídrica; curva-chave de sedimento; análise de estacionariedade.

Abstract

The processes of disaggregation, transport and deposition of the sediments are accountable for several environmental impacts. Though also happen in the natural environments, these processes are directly related to human presence. This study

1 MSc.; Engenheiro Ambiental; Pesquisador em Geociências no Serviço Geológico do Brasil, CPRM; Endereço: Rua 148, 485, CEP: 74170-110, Goiânia, Goiás, Brasil; E-mail: albert.cardoso@cprm.gov.br (*) Autor para correspondência.

2 MSc.; Engenheiro Civil; Pesquisador em Geociências no Serviço Geológico do Brasil, CPRM; Endereço: Rua 148, 485, CEP: 74170-110, Goiânia, Goiás, Brasil; E-mail: alexandre.coelho@cprm.gov.br

analyzed the Suspended Sediment Yield (*PSS*) at upper *Guaporé* River basin, delimited from *Pontes e Lacerda* gauging station. The rain, discharge and Suspended Sediment Concentration (*CSS*) data were collected from the National Water Agency of Brazil (ANA) website, all series has over 30 years of record. From the *CSS* samples, were generated the sediment rating curve to define the values of all *CSS* series. The sediment rating curve generated was a second order polynomial kind, with $R^2=0,34$. February, march and april months account for over 55% of *PSS* basin, while only march has 23% of the *PSS* annual. The statistical analysis of *PSS* data showed that the values of annual sediment yield were randomized around the mean and showing no kind of trend during the evaluated period.

Key words: Water erosion; sediment rating curve; stationary analysis.

Introdução

A erosão, processo de desagregação e remoção das partículas do solo, é responsável por uma série de impactos ao ambiente. Além da degradação do solo, o processo erosivo também governa os impactos desses sedimentos nos recursos hídricos (WALLING, 1988). O acúmulo de sedimento em determinados locais, também conhecido como assoreamento, pode causar problemas como enchentes dificuldades de navegação e diminuição da vida útil das barragens (CHETTRI; BOWONDER, 1983; SCAPIN et al., 2007). Além disso, o próprio sedimento gera implicações ambientais quando em excesso, como a diminuição da fotossíntese em plantas aquáticas e a diminuição da qualidade da água. Também existem problemas relacionados à capacidade que o sedimento possui de carregar agentes químicos ou patógenos (WALLING, 1988).

Apesar de acontecerem também de forma natural, os problemas relacionados aos sedimentos estão diretamente ligados à presença humana (DUNNE, 1979). Assim, a produção de sedimento em uma bacia pode

ser utilizada como um indicador dos impactos antrópicos nessa unidade fisiográfica.

A produção de sedimentos de uma bacia é resultante do processo de erosão, transporte, deposição e resuspensão dos sedimentos em um período de tempo. A produção de sedimentos inclui tanto os sedimentos transportados por suspensão quanto os sedimentos de leito, e pode ser expressa em termos absolutos ($t.\text{ano}^{-1}$) ou por unidade de área ($t.\text{km}^2.\text{ano}^{-1}$) (RESTREPO; SYVITSKI, 2006; KUSIMI et al., 2014).

O rio Guaporé, ainda pouco estudado, nasce a uma altitude de 630 metros, na Serra dos Parecis, no Estado de Mato Grosso. Até sua foz, no rio Mamoré, possui um comprimento de aproximadamente 1.470 quilômetros. Nesse ponto, a diferença de altitude em relação a nascente fica em torno de 500 metros. A bacia do rio Guaporé apresenta grande biodiversidade por estar em uma zona de transição entre o Pantanal Mato-grossense, o Cerrado e a Amazônia; sua flora e fauna apresentam espécies características desses ecossistemas. Em toda a bacia são observados impactos ambientais como desmatamento, para uso do solo como pastagem, queimadas ilegais e também

erosão do solo, inclusive com a ocorrência de algumas voçorocas nas cabeceiras (MOSS; MOSS, 2007).

O objetivo deste estudo é analisar o transporte de sedimento em suspensão na bacia hidrográfica do Alto Guaporé, tendo como referência a estação fluviométrica de Pontes e Lacerda, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

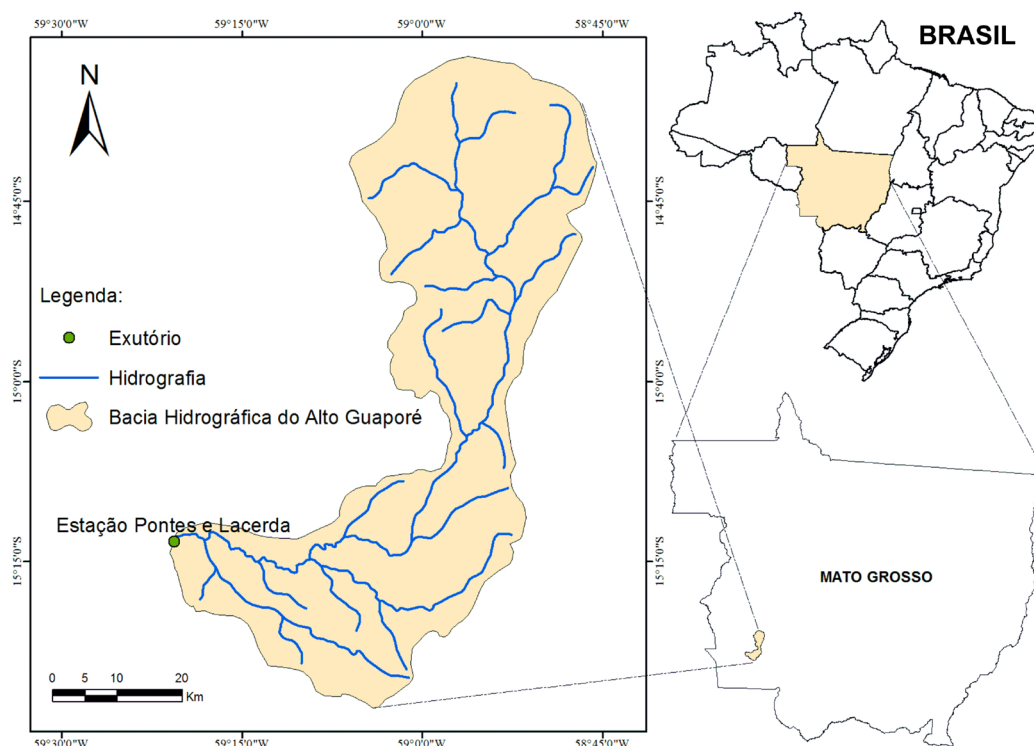
Material e Métodos

A área estudada, denominada nesse trabalho de bacia hidrográfica do Alto Guaporé, constitui-se na bacia delimitada a partir da estação fluviométrica de Pontes e

Lacerda (Código ANA 15050000). A bacia está localizada no sudoeste do Estado de Mato Grosso e está inserida dentro da bacia do rio Amazonas e dentro da sub-bacia do rio Guaporé, na região conhecida como alto Guaporé (Figura 1). A estação fluviométrica de Pontes e Lacerda, exutório da bacia, está localizada nas coordenadas 15°12'55" S e 59°21'14" O. A bacia de estudo drena uma área de aproximadamente 2.990 km².

A região da bacia em estudo, no alto rio Guaporé, apresenta cobertura vegetal bastante heterogênea, destacando-se as seguintes formações: Floresta estacional semidecidual, Savana e áreas de transição ecológica entre estas duas formações. O processo de ocupação humana da região

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Alto Guaporé, delimitada a partir da estação fluviométrica Pontes e Lacerda.



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

produziu profundas alterações na paisagem, convertendo formações savânicas e florestais em áreas de agricultura e pastagem (VALENTE et al., 2011).

Segundo Marcuzzo et al. (2011), o estado do Mato Grosso apresenta um clima com estações seca e chuvosa bem definidas. Os maiores valores precipitados ocorrem de outubro a março, que corresponde a cerca de 86,5% do total anual precipitado; o restante (13,5%) ocorre entre os meses de abril e setembro.

Conforme mapa produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009) na escala de 1:250.000, a área em estudo é composta, basicamente, por três tipos de solo. A cabeceira da bacia apresenta solos do tipo Neossolo Quartzarênico. Esse tipo de solo ocorre em relevo plano ou suave ondulado e, por esse motivo, os processos erosivos atuantes geralmente não são intensos, entretanto, deve-se precaver com a erosão pelo fato de a textura ser essencialmente arenosa. O tipo de solo que ocorre na área intermediária da bacia, até próximo ao seu exutório é o Argissolo Vermelho Amarelo, solo que ocorre em relevos mais acidentados e dissecados. O Latossolo Vermelho ocorre em uma pequena área da bacia, próximo ao seu exutório. Esse último tipo de solo ocorre normalmente em áreas de relevo plano a suave ondulado e em ambientes bem drenados.

Os dados históricos de chuva, vazão e Concentração de Sedimento em Suspensão (CSS) foram obtidos a partir do portal Hidro Web (*hidroweb.ana.gov.br*) da Agência Nacional de Águas.

Foram utilizados 35 anos de dados consistidos de vazão, entre junho de 1971 e dezembro de 2006. Essa série de vazão é obtida através do monitoramento da cota

da estação fluviométrica, cujo observador faz a leitura duas vezes ao dia: às 7 horas e às 17 horas, por meio de régua linimétrica (Figura 2b). A conversão dessas cotas em vazão é feita através de curva-chave, que é gerada pela CPRM, com base em medições regulares da vazão e da seção transversal do canal.

Além da estação Pontes e Lacerda (Figura 2a), que fica no exutório da bacia, também foram utilizados dados de chuva de outros dois pluviômetros que ficam fora da bacia em estudo: das estações Brasfor e Alto Jaurú, código ANA 01458002 e 01558004, respectivamente. A partir dos dados de chuva dos pluviômetros, foi estimado o valor médio de precipitação para toda a bacia com o uso do método dos polígonos de *Thiessen*.

A série de chuva utilizada, dos pluviômetros de Pontes e Lacerda e de Alto Jaurú, compreende o período monitorado entre setembro de 1975 a dezembro de 2006, enquanto a série do pluviômetro da estação Brasfor tem início em março de 1982 e término em dezembro de 2006. Dentro do período estudado ocorreram falhas ocasionais em um ou mais pluviômetros. Nessas ocasiões, os cálculos feitos pelo método de *Thiessen* levaram em consideração apenas os pluviômetros em operação.

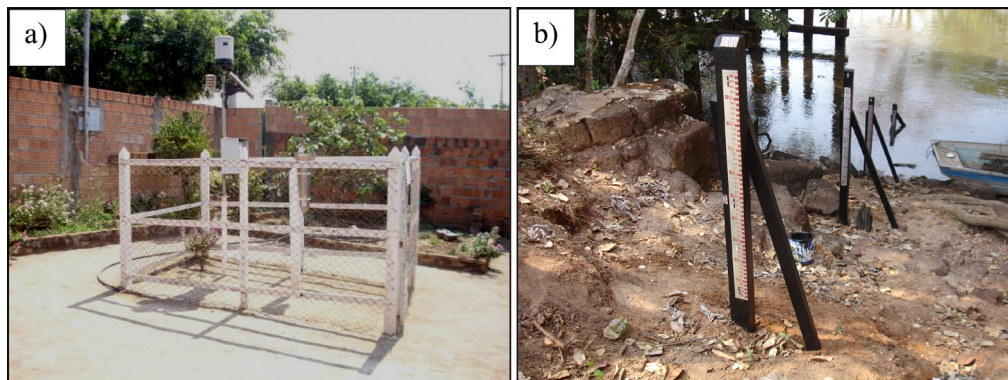
Foram analisados os acumulados mensais e anuais, separados por ano hidrológico. Foram excluídos das análises mensais os meses que possuíam registros de dias faltantes, assim como foram excluídos das análises anuais os anos que possuíam dados faltantes. Esse mesmo procedimento também foi realizado para a série de vazão e de CSS. Esse critério foi adotado com o intuito de reduzir as falhas nas observações que compõem as séries históricas, de forma a diminuir as possíveis variações na estimativa

das variáveis de precipitação, vazão e CSS. O período monitorado, assim como as falhas, é

apresentado no gráfico com toda a série.

A série de *CSS* foi obtida por meio

Figura 2 – Monitoramento hidrometeorológico em Pontes e Lacerda: a) Estação pluviométrica convencional; b) Régua linimétrica para monitoramento de nível.



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

da aplicação da curva-chave de sedimentos (CRAWFORD, 1991; CÓRDOVA; GONZÁLEZ, 1997), que foi gerada a partir de 54 amostras de sedimento em suspensão (Tabela 1). Essas amostras foram coletadas por técnicos da CPRM com o auxílio de amostradores de sedimentos em suspensão, compondo um período de monitoramento entre maio de 1979 e outubro de 2006. Em alguns anos foram coletadas duas amostras na mesma campanha, ou seja, foi coletada uma amostra extra; nessas ocasiões, foi utilizada a média aritmética do valor de ambas. A curva-chave de sedimento consiste em uma análise de regressão entre a *CSS* dessas amostras e a vazão do rio no momento em que as amostras foram coletadas. A partir da equação de melhor ajuste gerada, foi possível transformar a série de dados de vazão em uma série de dados de *CSS*.

A Produção de Sedimento em Suspensão (*PSS*), da bacia, foi calculada integrando o fluxo de sedimentos em suspensão no período de tempo, conforme

a equação:

$$PSS_{t_i, t_f} = \int_{t_i}^{t_f} Q(t) \cdot CSS(t) dt \quad (1)$$

onde *PSS* é a produção de sedimentos em suspensão [M], $Q(t)$ é a vazão [$L^3 \cdot T^{-1}$], *CSS* é a concentração de sólidos em suspensão [$M \cdot L^{-3}$], t_i é o tempo inicial e t_f é o tempo final de integração. A divisão da *PSS* pela área da bacia resulta na *PSS* específica.

A estimativa mensal da *PSS* foi realizada através da integração dos dados de *PSS* para cada mês, enquanto a estimativa anual foi feita com a integração dos dados mensais por ano hidrológico. O ano hidrológico definido para este estudo, conforme será apresentado posteriormente, teve início em setembro e término em agosto.

A série de dados de *CSS*, juntamente com as séries de dados de chuva e a série de dados de vazão, foram tabulados e analisados com o auxílio da planilha

Tabela 1 – Dados das amostras de sedimento em suspensão

Data Coleta	Cota (cm)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	CSS ₁ (mg.L ⁻¹)	CSS ₂ (mg.L ⁻¹)	CSS _{med} (mg.L ⁻¹)
29/05/1979	148	54,5	16,7	-	16,7
19/03/1981	214	81,8	12,5	15,7	14,1
27/09/1981	106	38,8	49,9	-	49,9
16/12/1981	147	54,0	17,0	-	17,0
20/06/1982	134	49,8	2,5	13,3	7,9
21/09/1982	121	44,0	8,7	-	8,7
21/12/1982	201	72,3	12,5	-	12,5
25/07/1983	122	43,7	53,4	-	53,4
27/09/1983	106	38,5	12,9	-	12,9
15/11/1983	119	38,4	25,1	-	25,1
29/01/1984	157	53,7	43,1	-	43,1
22/03/1984	229	87,6	30,5	-	30,5
14/05/1984	201	73,0	21,0	-	21,0
19/06/1984	132	46,7	7,5	-	7,5
01/08/1984	110	39,6	12,7	-	12,7
27/09/1984	108	38,3	32,7	-	32,7
17/10/1984	113	40,3	17,1	-	17,1
27/12/1984	177	62,5	29,8	-	29,8
22/01/1986	252	109,0	132,7	-	132,7
20/03/1986	245	95,6	66,9	-	66,9
20/05/1986	213	77,2	18,7	-	18,7
19/07/1986	129	46,1	5,1	-	5,1
19/09/1986	118	42,4	17,6	-	17,6
26/11/1986	127	46,1	18,8	-	18,8
19/07/1987	104	39,8	5,2	27,3	16,2
24/11/1987	135	49,5	23,7	-	23,7
14/01/1988	224	85,8	21,8	-	21,8
19/03/1988	237	89,6	28,9	-	28,9
31/05/1988	177	67,9	45,6	-	45,6
01/04/1993	199	79,6	86,1	-	86,1
14/03/1996	221	91,7	49,1	49,1	49,1
14/05/1997	155	59,4	19,7	-	19,7
15/08/1997	97	45,0	14,8	-	14,8
05/03/1998	218	93,9	28,5	-	28,5
25/05/1998	112	48,2	23,1	-	23,1
31/08/1998	88	40,4	9,9	-	9,9
16/02/2000	147	61,5	79,7	31,7	55,7
22/06/2000	88	42,1	18,3	-	18,3
30/08/2000	78	38,8	11,8	11,2	11,5

(Continua...)

Tabela 1 – Dados das amostras de sedimento em suspensão

(...Conclusão)

Data Coleta	Cota (cm)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	CSS ₁ (mg.L ⁻¹)	CSS ₂ (mg.L ⁻¹)	CSS _{med} (mg.L ⁻¹)
29/11/2000	110	50,6	31,1	16,8	23,9
10/05/2001	113	52,7	16,4	15,3	15,9
22/08/2001	71	36,6	8,0	7,8	7,9
01/12/2001	132	60,7	48,1	37,9	43,0
02/12/2001	132	60,7	48,1	37,9	43,0
15/04/2002	172	77,7	47,1	35,9	41,5
31/10/2002	75	39,0	19,7	44,8	32,2
07/02/2003	152	65,8	28,9	19,7	24,3
31/07/2003	64	33,2	15,0	15,6	15,3
30/08/2004	55	32,7	21,7	14,9	18,3
13/11/2004	82	58,8	28,6	6,7	17,6
23/09/2005	66	41,0	9,1	7,1	8,1
06/10/2006	87	50,6	33,5	18,0	25,8

Fonte: hidroweb.ana.gov.br (2014).

eletrônica microsoft excel e do *software* de análises estatísticas *Statistica*.

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), uma série de dados hidrológicos é considerada estacionária quando não ocorrem modificações nas características estatísticas da série ao longo do tempo. Para a realização da análise de estacionariedade da serie de PSS específica aplicou-se o teste não-paramétrico de *Spearman*, conforme descrito por NERC (1975).

Formalmente, para a hipótese nula H₀, a amostra não apresenta tendência temporal, a estatística (T) do teste não-paramétrico de *Spearman* pode ser formulada como:

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{Var(r_s)}} \quad (2)$$

Segundo Naghettini e Pinto (2007), demonstra-se que a distribuição r_s pode ser aproximada por uma Normal de média $E(r_s)=0$ e variância $Var(r_s)=1/(N-1)$. Dessa forma, a distribuição de r_s é obtida da

seguinte maneira:

$$rs = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (m_i - T_i)^2}{N^3 - N} \quad (3)$$

Onde mt é a ordem de classificação da série histórica, T_i os índices de tempo iguais a 1, 2, ..., N . Se tratando de um teste bilateral, a um nível de significância α , deve-se rejeitar a hipótese nula se $|T| > z_{1(\alpha/2)}$. Caso a série de produção anual de sedimentos seja considerada estacionária, tem-se a indicação de que os valores dessa variável não apresentam variações acentuadas ao longo do tempo, sugerindo uma produção aproximadamente constante de sedimentos na bacia hidrográfica em análise.

Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os valores em percentuais da área de influência dos pluviômetros, obtidos pelo método de *Thiessen*. No caso 1 são apresentadas as

divisões das áreas de influência na situação em que os três pluviômetros estivessem funcionando normalmente. Nos casos 2 e 3 são apresentadas as divisões da área de influência na ocasião em que o pluviômetro da estação Brasfor ou da estação Alto Jaurú não estivesse funcionando. Pelo fato de o pluviômetro da estação de Pontes e Lacerda possuir peso proporcional no cálculo dos polígonos de *Thiessen* muito maior que os demais, optou-se por não utilizar dados de chuva quando essa estação apresentasse falhas.

Tabela 2 – Área de influência dos pluviômetros pelo método de *Thiessen*

Estação Pluviométrica	Área de influência do pluviômetro		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Pontes e Lacerda	80,5%	88,7%	90,3%
Brasfor	11,3%	11,3%	-
Alto Jaurú	8,2%	-	9,7%
Total	100%	100%	100%

Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

O gráfico de *box plot* (Figura 3a) apresenta a distribuição dos dados acumulados mensais de chuva de toda a série. Os dados de chuva mensal acumulada revelaram a existência de dois períodos bem definidos na região, um período seco e um período chuvoso. Os maiores acumulados de chuva ocorrem nos meses entre dezembro e março, quando a média das alturas de chuva fica acima de 200 mm. Por outro lado, os menores valores acontecem nos meses de junho, julho e agosto, quando as alturas mensais não ultrapassam 20 mm, em média. Os meses de abril e maio e também os meses de setembro

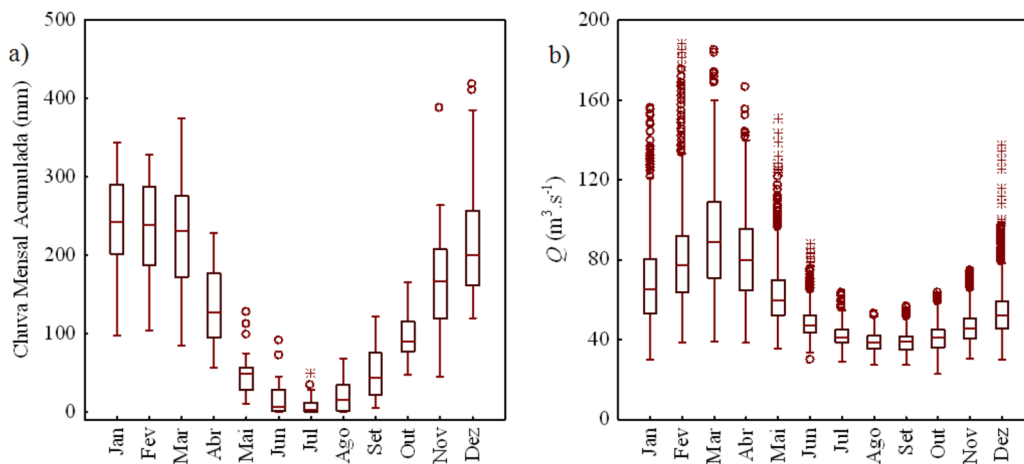
e novembro, são meses de transição entre o período chuvoso e o período seco. Na figura 3 (a) é possível observar que a transição entre o período chuvoso e o período seco, abril e maio, é mais acentuada em relação à transição do período seco para o período chuvoso, que ocorre entre setembro e novembro.

Os meses de dezembro a março apresentaram as maiores alturas de chuva, com os acumulados mensais variando entre 100 e 400 mm. Dentre esses meses, o maior valor foi registrado em dezembro de 1995, mês que acumulou um total de 410 mm, enquanto o menor valor ocorreu em março de 1994, com um total de 84,2 mm. Nos meses secos, entre junho e agosto, todos apresentaram registros de anos sem a ocorrência de chuva, ou seja, 0 mm. A média de precipitação mensal acumulada nos meses secos foi de 16,8 mm, 9,4mm e 21,7 mm, para junho, julho e agosto, respectivamente.

Como observado na figura 3 (a) e (b), os meses com maiores acumulados de precipitação também foram os meses que apresentaram os maiores valores diários de vazão. O mês de março foi o que apresentou os maiores valores, com a média de 90,8 $m^3 \cdot s^{-1}$ e o valor máximo de 185 $m^3 \cdot s^{-1}$. Diferente dos dados de chuva, dos meses com os menores valores diários de vazão foram agosto e setembro, com média de 39 e 39,1 $m^3 \cdot s^{-1}$, respectivamente.

A equação gerada para curva-chave de sedimento (Equação 4), através de regressão (Figura 4), foi do tipo polinomial de segunda ordem, o qual apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,34 e correlação (R) de 0,58. Apesar de ser utilizada com maior frequência, a equação potencial não foi aplicada neste trabalho, pois apresentou baixa aderência aos dados amostrados. A equação polinomial de segunda ordem

Figura 3 – Distribuição das séries de: a) chuva mensal acumulada e, b) vazão diária



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

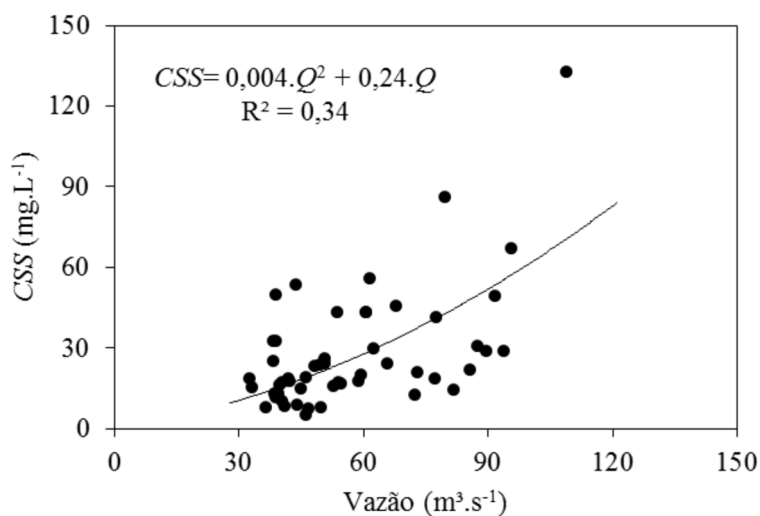
foi escolhida por apresentar melhor ajuste principalmente no ramo superior da curva, aderindo melhor os valores elevados de CSS. Como já conhecido na bibliografia (WALLING, 1977; FINLAYSON, 1985; CÓRDOVA; GONZALEZ, 1997) a pouca correlação entre vazão e CSS acontece pelo fato essas variáveis apresentarem, muitas

vezes, o atraso de uma em relação à outra, fenômeno esse que é conhecido como histerese (WILLIAMS, 1989).

$$CSS = 0,004.Q^2 + 0,24.Q \quad (4)$$

onde a CSS é expressa em $mg.L^{-1}$ e Q é a vazão, expressa em $m^3.s^{-1}$.

Figura 4 – Curva-chave de sedimentos em suspensão para a estação de Pontes e Lacerda



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

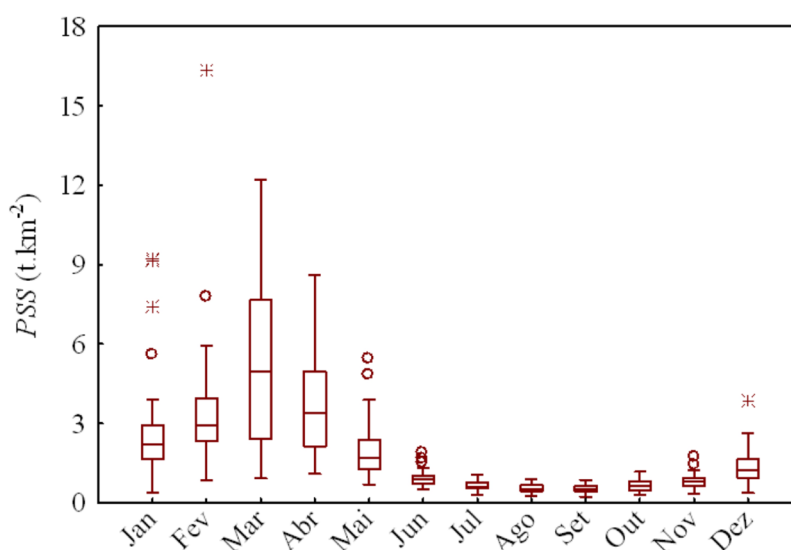
A figura 5 mostra a *PSS* mensal específica na bacia, ou seja, o acumulado mensal de sedimento em suspensão que passou pelo exutório, dividido pela sua respectiva área de drenagem. Observa-se que os meses de fevereiro, março e abril apresentam os maiores valores de *PSS*, todos com média acima de 3,5 t.km⁻², o mês de março sobressai, com média de 5,4 t.km⁻². Os meses de janeiro, maio e dezembro apresentaram valores e distribuições semelhantes, com média de *PSS* entre 1,4 t.km⁻² a 2,5 t.km⁻². A figura 5 também mostra que o intervalo entre os meses de junho e novembro apresentaram *PSS* consideravelmente menor quando comparado aos demais, com médias entre 0,5 t.km⁻² a 0,9 t.km⁻². O valor extremo observado no mês de fevereiro aconteceu

no ano de 1988, época em que foi registrada grande cheia no rio Guaporé.

A análise dos dados da figura 5 revela que, em média, 55,5% da *PSS* da bacia é transportada entre os meses de fevereiro e abril, que também são os meses com maior vazão. Apenas o mês de março transporta mais de 23% de toda *PSS* da bacia em um ano.

A figura 6 (a) apresenta toda a série de *PSS* específica e de chuva utilizada neste estudo, separada por ano hidrológico. Após a análise dos dados de chuva, foi estabelecido o ano hidrológico utilizado para a região compreendido entre setembro de um corrente ano até agosto do ano seguinte. Os anos ausentes no gráfico indicam períodos que possuem dados faltantes na série e que, por esse motivo, não foram utilizados.

Figura 5 – Produção de sedimentos em suspensão mensal específica



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A.P. (2016).

A média anual de chuva na bacia é de 1.485 mm, sendo o valor máximo de 1.914 mm registrado no ano hidrológico 1979/80, e o valor mínimo de 1.056 mm, ocorrido em

1991/92. Para a *PSS* específica, a média foi de 23 t.km⁻², sendo a mínima de 8,1 t.km⁻² e a máxima de 34,3 t.km⁻² registrados em 1971 e 1978, respectivamente (Figura 6 (a)).

A figura 6 (b) mostra os desvios percentuais dos valores de *PSS* específica anuais em relação à média. Observa-se que o ano de 1971/72 apresentou o maior desvio percentual da produção específica anual de sedimentos em relação à média (- 64,7%), enquanto o menor desvio foi para o ano de 2002/03 (- 3,2%).

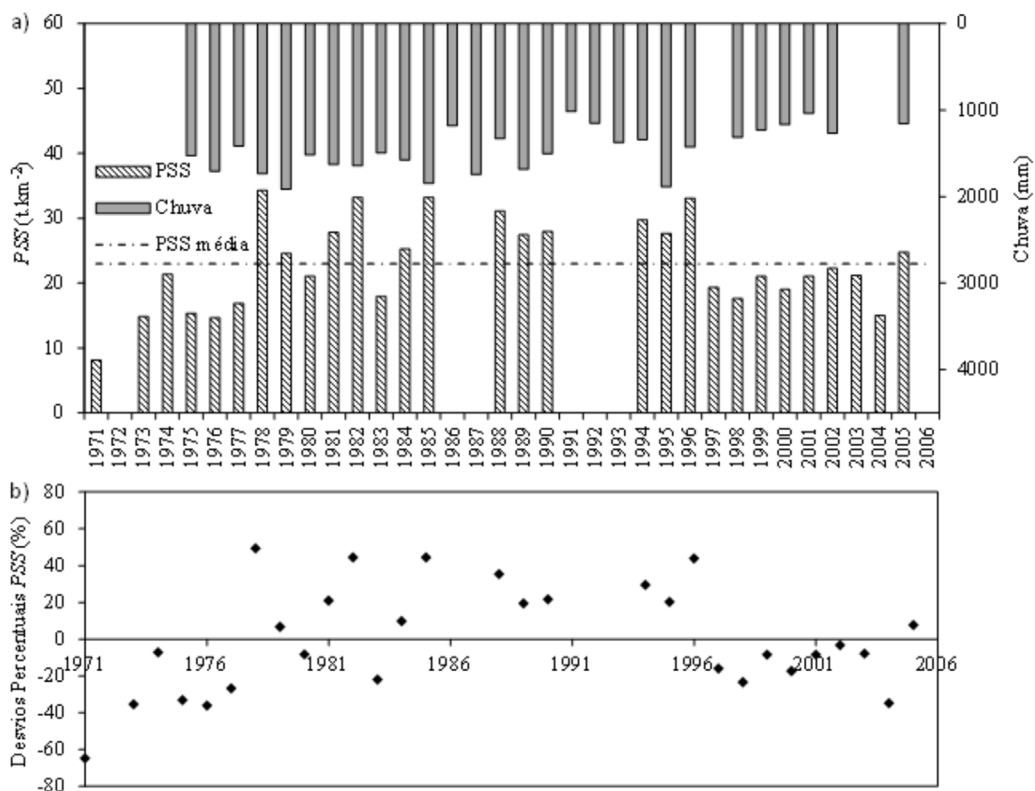
A análise da figura 6 (b) também mostra que os desvios dos dados de produção específica anual de sedimentos são próximos em relação à média, indicando uma produção aproximadamente constante de sedimentos na bacia. O coeficiente de variação da série de produção específica anual de sedimentos

(cômputo do desvio padrão dividido pela média) é de 0,29, sugerindo baixa variação da produção de sedimento na bacia.

A estacionariedade da série de produção específica anual de sedimentos também foi avaliada. De acordo com Naghettini e Pinto (2007), a estacionariedade refere-se ao fato de que, excluídas as flutuações aleatórias, as observações amostrais são invariantes, com relação à cronologia de suas ocorrências.

Dessa maneira, no presente estudo, uma série estacionária de produção específica anual de sedimentos pode indicar que não ocorreram alterações significativas na *PSS*

Figura 6 – a) Série anual (AH) de chuva, *PSS* específica e média da *PSS* específica; b) Desvios percentuais dos valores de *PSS* específica anuais em relação à média



Fonte: Cardoso, A.T.; Coelho Filho, J.A. P. (2016).

da bacia, e que essa produção de sedimentos, considerando suas flutuações aleatórias, é aproximadamente constante no tempo.

Nesse sentido, foi aplicado o teste não-paramétrico de Spearman, conforme descrito por NERC (1975), a um nível de significância de 5%. A hipótese nula é H_0 : a amostra não apresenta tendência temporal. O valor da estatística do teste, conforme aplicação da equação 2, é de 0,7716, que é menor que $Z_{1-(\alpha/2)}$, cujo valor é de 1,960. Portanto não se rejeita a hipótese H_0 e a série é considerada estacionária, sendo um indicativo da produção aproximadamente constante de sedimentos na bacia em análise durante o período estudado.

Conclusões

A análise dos dados mensais de chuva da bacia hidrográfica do Alto Guaporé mostrou que a estação chuvosa começa, usualmente, no mês de setembro. Dessa forma, o ano hidrológico escolhido para as análises anuais deste estudo foi setembro/agosto.

O término do período de chuvas ocorre de maneira acentuada, entre o último mês mais chuvoso (abril) até o mês mais seco (julho). Entretanto, a diminuição da vazão ocorre de forma mais lenta, levando em torno de cinco meses entre o período com as maiores vazões (março) até o período com as vazões mais baixas (agosto).

Apesar de o período chuvoso começar em setembro, observou-se que a resposta desse aumento pluviométrico, na vazão do exutório, só ocorre por volta dos meses de novembro e dezembro. Esse atraso pode estar relacionado às condições da bacia, que se encontra com o solo seco no início do período chuvoso. Dessa forma, é necessário que primeiro ocorra a recomposição da

umidade na bacia (solo e vegetação), para que, depois, possa ser observada a resposta da vazão aos eventos de chuva.

A análise mensal da *PSS* específica demonstrou que o período com as maiores vazões é responsável por transportar a maioria dos sedimentos em suspensão da bacia. Os meses de fevereiro, março e abril respondem por mais de 55% da *PSS* da bacia, enquanto só o mês de março tem 23% da *PSS*.

Excluídas as flutuações aleatórias, causadas pelas variações anuais na chuva e na vazão, pode-se considerar que a produção de sedimentos na bacia não apresenta tendência para o período analisado, uma vez que: (i) os desvios percentuais dos dados de produção específica anual de sedimentos são aproximadamente constantes em relação à respectiva média; (ii) o coeficiente de variação da série de produção específica anual de sedimentos apresentou baixo valor (0,29); (iii) o teste não-paramétrico de Spearman, a nível de significância de 5%, indica que a série de produção de sedimentos analisada é estacionária.

Apesar de a bacia não ter apresentado nenhum tipo de tendência linear na *PSS*, cabe ressaltar que as respectivas estatísticas, aqui apresentadas, podem ser modificadas em função de alterações na bacia hidrográfica, relocação da estação de monitoramento utilizada, eventuais modificações do leito fluvial, dentre outros fatores que possam implicar tendências ou alterações bruscas na *PSS*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil/CPRM pelo apoio e incentivo, e à Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados que viabilizaram a elaboração desse estudo.

Referências

- CHETTRI, R.; BOWONDER, B. Siltation in Nizamsagar management issues reservoir: environmental. **Applied Geography**, p. 193-204, 1983.
- CÓRDOVA, J. R.; GONZALEZ, M. Sediment yield estimation in small watersheds based on streamflow and suspended sediment discharge measurements. **Soil technology**, v. 11, p. 57-65, 1997.
- CRAWFORD, C. G. Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads. **Journal of Hydrology**, v. 129, n. 1-4, p. 331-348, 1991.
- DUNNE, T. Sediment yield and land use in tropical catchments. **Journal of Hidrology**, v. 42, p. 281-300, 1979.
- FINLAYSON, B. L. Field calibration of a recording turbidity meter. **Catena**, v. 12, n. 2-3, p. 141-147, 1985.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Pedológico de Mato Grosso**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- KUSIMI, J. M.; AMISIGO, B. A.; YAKUBO, B, K, B. Sediment yield of a forest river basin in Ghana. **Catena**, v. 123, p. 225-235, 2014.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.
- MOSS, G.; MOSS, M. **Projeto Brasil das Águas – Sete rios – Guaporé**. Brasília-DF: 2007. 62p.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- NERC. **Flood Studies Report**. V. 1. London: National Environmental Research Council, 1975.
- RESTREPO, J. D.; KJERFVE, B.; HERMELIN, M.; RESTREPO, J. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. **Journal of Hydrology**, v. 316, n. 1-4, p. 213-232, 2006.
- SCAPIN, J.; PAIVA, J. B. D.; BELING, F. A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 5-21, 2007.
- VALENTE, R. M.; SILVA, J. M. C.; STRAUBE, F. C.; NASCIMENTO, J. L. X. **Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil**. Belém: Conservação Internacional, 2011. 400p.

WALLING, D. E. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. **Water Resources Research**, v. 13, p. 531-538, 1977.

WALLING, D. E. Erosion and sediment yield research - some recent perspectives. **Journal of Hydrology**, v. 100, p. 113-141, 1988.

WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**, v. 111, n. 1-4, p. 89-106, 1989.