

RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM RIOS DE UMA BACIA AGRÍCOLA TÍPICA DO CERRADO: O caso da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, DF

*Jorge Enoch Furquim Werneck Lima¹; Walszon Terllizzie Araújo Lopes²;
Eduardo Cyrino Oliveira-Filho¹; Daphne Heloisa de Freitas Muniz¹*

RESUMO --- A relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez oferece um método relativamente rápido e barato para a obtenção dos dados necessários para a realização de estudos hidrossedimentométricos. Além disso, tal relação facilita a obtenção de dados em eventos de cheia e a aquisição de um maior número de informações ao longo do tempo, por meio de medições automáticas. O objetivo deste trabalho é estabelecer a relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia agrícola com características físicas comumente encontradas no bioma Cerrado. A turbidez de 165 amostras coletadas na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim foi determinada com o uso de turbidímetro de bancada, enquanto a concentração de sedimentos em suspensão (Css) foi obtida por meio do método da filtração (#0,45 micrômetros). Os resultados indicam que relação gerada entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão obtida possa ser utilizada com relativa precisão para estudos hidrossedimentológicos utilizando séries temporais de dados na bacia de estudo.

ABSTRACT --- The relationship between suspended sediment concentration and turbidity provides a relatively quick and inexpensive method for obtaining the necessary data for hydro-sedimentological studies. Moreover, it facilitates the generation of data during flood events and the acquisition of more information over time through automatic measurements. The objective of this study is to establish the relationship between turbidity and suspended sediment concentration in a small agricultural basin with physical characteristics commonly found in the Cerrado biome (Brazilian savanna). The turbidity of 165 samples collected in the Upper Basin Experimental River Garden was determined using a bench turbidimeter, while the suspended sediment concentration (Css) was obtained by the filtration method (# 0.45 micrometer). Results from this study indicate that the relationship between turbidity and suspended sediment concentration obtained can be used with relative accuracy in estimating the river suspended sediment transport using time-series data in the studied basin.

Palavras-chave: Hidrossedimentometria, erosão, bacia experimental.

1) Pesquisador da Embrapa Cerrados; BR 020, km 18, Planaltina, DF, CEP 73301-970; jorge@cpac.embrapa.br; cyrino@cpac.embrapa.br; daphne.muniz@cpac.embrapa.br.

2) Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas - ANA e Professor do Instituto de Ensino Superior Planalto – IESPlan/DF, Departamento de Engenharia Civil Brasília, DF; walszon@ana.gov.br.

INTRODUÇÃO

Os estudos hidrossedimentológicos abordam os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos. O conhecimento sobre o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão territorial e dos recursos hídricos, servindo como importante ferramenta para o suporte a decisões relacionadas ao desenvolvimento de atividades antrópicas.

No caso das barragens construídas ao longo dos cursos d'água, seja para fins de geração de energia hidrelétrica, irrigação ou outro, estudos hidrossedimentológicos são importantes para avaliar a vida útil da obra, bem como a necessidade de medidas mitigadoras para otimizar o seu uso. Para o setor hidroviário, a identificação de zonas de deposição de sedimentos é fundamental para a análise da viabilidade do projeto e para a minimização dos custos com reparos nos canais de navegação. Para o setor de irrigação e aplicações congêneres que precisam bombear água dos rios, os sedimentos carregados no curso d'água, além de acelerar a degradação dos sistemas de bombeamento, ainda podem provocar entupimentos, principalmente nos sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão, que acabam dependendo de eficientes sistemas de filtragem. Quando a água apresenta elevadas concentrações de sedimentos, até o seu tratamento para o abastecimento humano pode ser interrompido. Os sedimentos também exercem grande influência nos demais parâmetros de qualidade das águas, uma vez que, ao serem transportados para os cursos d'água, carregam consigo outros elementos que, dependendo da situação do rio, podem ser benéficos ou maléficis ao meio ambiente e aos seus usuários.

Em geral, os estudos hidrossedimentométricos são efetuados por meio do método da curva-chave de sedimentos, que relaciona a descarga sólida com a descarga líquida com base em medidas efetuadas simultaneamente de ambas as variáveis, quando da visita da equipe de hidrometria (Carvalho, 2008). Tendo-se essa relação estabelecida, transforma-se a série de dados de vazão em série temporal de descarga sólida.

O método da curva-chave de sedimentos, muitas vezes, tem a qualidade de seus resultados limitada em função da própria complexidade dos processos de erosão e fluxo de sedimentos, que dificulta a obtenção de uma boa relação entre a descarga de sedimentos e a vazão (Walling, 1977a; Walling 1977b; Walling e Webb, 1996; Asselman, 2000).

A realização de medições de sedimentos em eventos de cheia, tão importantes no processo de transporte de sedimentos e na definição da curva-chave de sedimentos, por exemplo, é de difícil realização, envolvendo inclusive riscos a equipe de hidrometristas. A falta desses dados em

quantidade e qualidade adequada pode gerar grande incerteza nos estudos hidrossedimentológicos produzidos com base no método da curva-chave de sedimentos.

A dificuldade de previsão e a rapidez com que ocorrem os eventos de cheia, sobretudo em pequenas bacias, demandam maior presença das equipes de hidrometria em campo, o que representa um aumento no custo do monitoramento e a necessidade de mais dessas equipes de profissionais, o que nem sempre é possível (Hasholt, 1992).

Uma abordagem alternativa é o uso de amostradores automáticos, mas esses equipamentos são caros e geram um grande número de amostras para análise em laboratório (Grayson et al., 1996), sendo geralmente empregados na execução de estudos específicos e pesquisas.

Em resposta a estes problemas, a relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez oferece um método relativamente rápido e barato para a obtenção dos dados necessários para a realização de estudos hidrossedimentométricos (Morris e Fan, 1998; Sun et al., 2001).

O objetivo deste trabalho é estabelecer a relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia agrícola com características físicas (solo, clima, relevo, vegetação) comumente encontradas no bioma Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia do Alto Rio Jardim apresenta-se como uma área adequada para a elaboração de estudos hidrológicos mais detalhados por constituir área representativa das características físicas e de ocupação de outras parcelas do Bioma Cerrado.

Caracterização da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim

Situada na parte leste do Distrito Federal, entre as latitudes 15,71° e 15,86° S e as longitudes 47,55° e 47,64° W, a Bacia Experimental do Alto Rio Jardim está numa região mais central da área contínua do Bioma Cerrado (Figura 1), o que minimiza os efeitos das interações com outros Biomas.

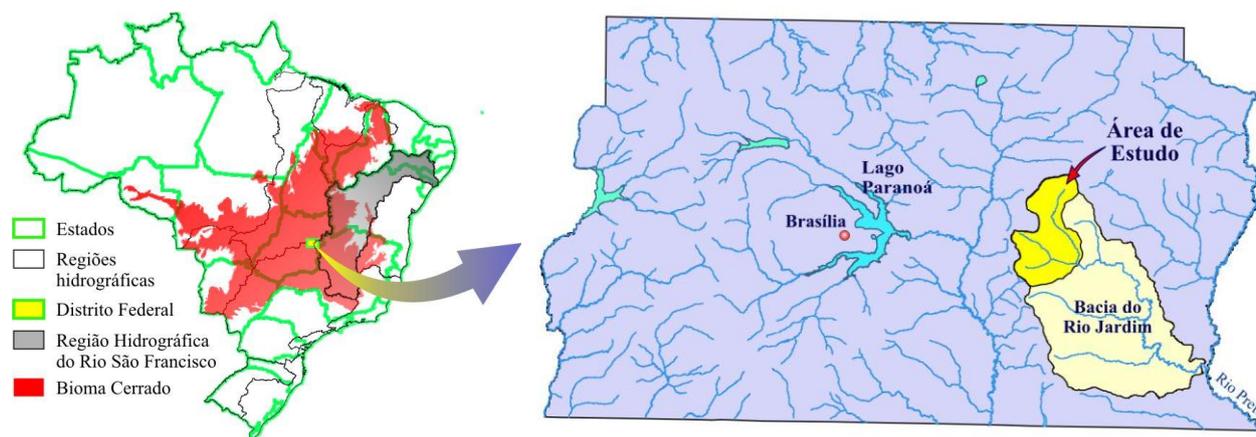


Figura 1 – Localização da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim em relação ao Brasil, às regiões hidrográficas brasileiras, à área contínua do Bioma Cerrado e ao Distrito Federal.

Em relação às grandes regiões hidrográficas brasileiras (CNRH, 2003), a Bacia do Rio Jardim está inserida na Região Hidrográfica do Rio São Francisco. O Rio Jardim é afluente do Rio Preto, que deságua no Paracatu, importante contribuinte da margem esquerda do Rio São Francisco.

Destaca-se que a Bacia Experimental do Alto Rio Jardim possui área de drenagem total de 104,86 km², dividida em duas bacias principais, a do Córrego Estanislau (49,71 km²) e a do próprio Rio Jardim (55,15 km²).

O clima na bacia é típico da Região de Cerrado, apresentando duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. O período seco começa entre os meses de março e abril e termina, geralmente, entre setembro e outubro. Nos demais meses ocorre o período chuvoso. Seguindo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Tropical AW (CODEPLAN, 1984).

Na Figura 2 são apresentadas informações extraídas do levantamento semidetalhado dos solos da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim (Reatto et al., 2000) e que se relacionam com as características dos sedimentos encontrados em seus cursos d'água.

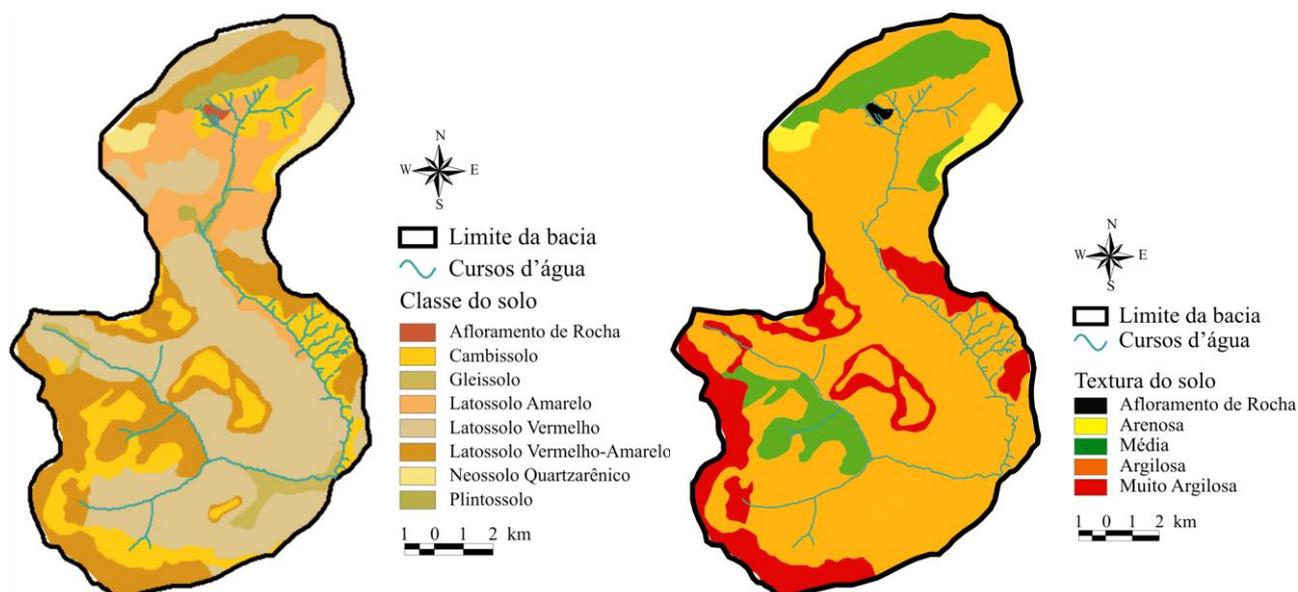


Figura 2. Classe e textura dos solos da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim (Adaptado de Reatto et al, 2000).

Com base nos dados da Figura 2, observa-se que grande parte da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim (76,38%) é composta por Latossolos, 16,68% é de Cambissolos e o restante é repartido entre as classes Plintossolo (2,54%), Gleissolo (2,41%), Neossolo Quartzarênico (2,09%) e, ainda, uma pequena parcela de Afloramentos de Rocha (0,24%). Reatto et al. (1998) afirmam que a maior parte da área contínua do Bioma Cerrado é coberta por Latossolos, o que corrobora a decisão de utilizar a Bacia Experimental do Alto Rio Jardim como área de estudo representativa desse ecossistema.

Amostras de solo coletadas na superfície do terreno em 37 pontos distribuídos na Bacia Experimental do Alto Jardim foram analisadas quanto à textura, sendo 65% classificadas como “Muito Argilosa”, 19% como “Argilosa”, 5% como “Franco Argilosa” e cerca de 3% como cada uma das seguintes classes “Franco Argilo Arenosa”, “Argilo Arenosa” e “Franco Argilo Siltosa”, e 2% “Franco Arenosa” (Lima et al., 2007).

Quanto ao uso e a ocupação do solo na área da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, destaca-se sua inserção na principal região agrícola do Distrito Federal. As principais atividades desenvolvidas na área da bacia são: cultivo de grãos (soja, feijão, milho, sorgo), algodão, cítricos, café, mandioca e hortaliças; criação de aves e de gado.

Lima et al. (2008), a partir da classificação da imagem de satélite apresentada na Figura 3, determinaram que, em 2003, a situação da bacia era a seguinte: 76,4% ocupada para fins agrícolas (pasto, agricultura irrigada ou de sequeiro), 14,9% de Cerrado, 7,5% de mata (ciliar ou de galeria), cerca de 1,0% de solo exposto e edificações, e o restante, aproximadamente 0,2%, de água.



Figura 3 - Imagem LANDSAT 5 (18.07.2003) da região da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

O desenvolvimento agrícola ocorrido na região, aliado à implantação indiscriminada de sistemas de irrigação e à falta de informações sobre as suas condições hidrológicas, faz da Bacia do Rio Jardim uma zona de constantes conflitos pelo uso da água em períodos mais secos, como já ressaltava Dolabella (1996).

Levantamento de dados

Na Figura 4 são apresentados os locais das estações fluviográficas onde foram coletadas as amostras utilizadas na realização deste trabalho.

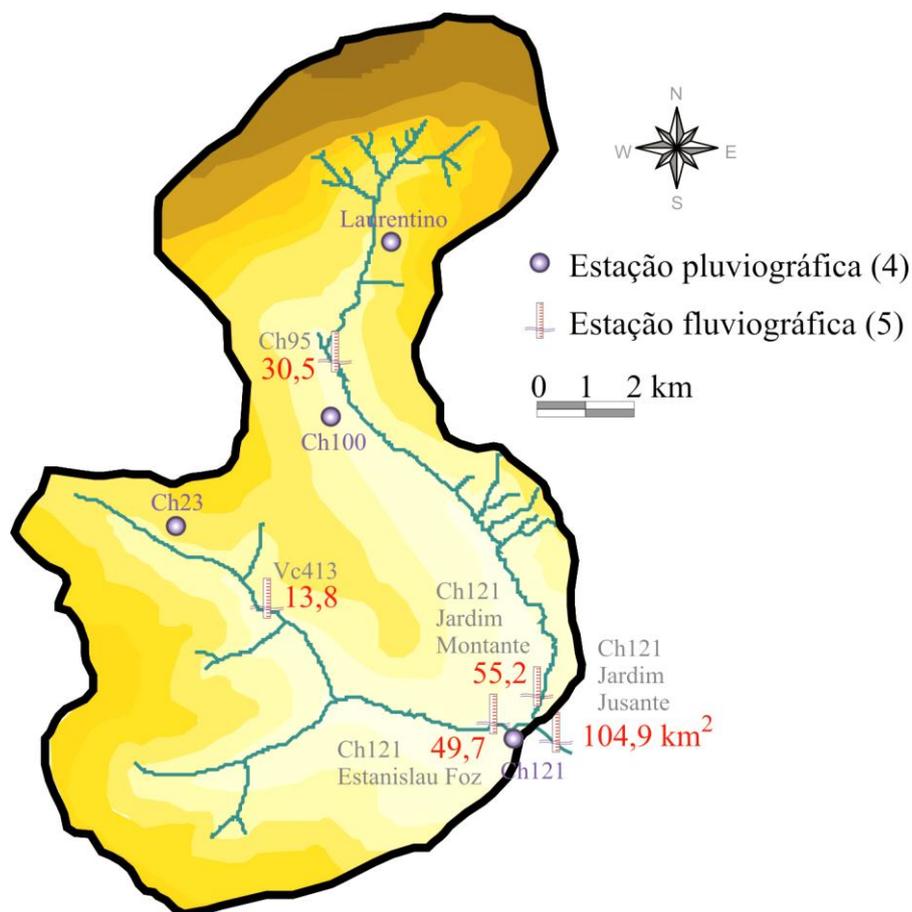


Figura 4 - Localização e área de drenagem das estações fluviográficas da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim nas quais foram coletadas amostras para a execução deste trabalho.

Destaca-se que, nos locais das estações fluviométricas, além das medições de vazões, também são coletadas amostras para trabalhos hidrossedimentológicos e de qualidade da água. Para facilitar os trabalhos de medição, em todas as estações foram instaladas pontes de eucalipto sobre os cursos d'água (Figura 5).



Figura 5 – Estrutura das estações fluviográficas da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim.

As amostras de água+sedimentos foram coletadas com equipamentos do tipo USDH 48 (Figura 6), que geram amostras integradas na vertical.



Figura 6 – Equipamento USDH 48 de coleta de amostra de água+sedimentos de forma integrada na vertical.

Buscando-se uma maior abrangência dos resultados da avaliação, foram efetuadas medições nos períodos de seca e de chuva. As características das seções de amostragem no momento da coleta, de uma forma geral, foram as seguintes: a vazão nas seções variando entre 160 e 2.000 L.s⁻¹ (na foz da bacia, no mesmo período, a vazão variou entre 460 e 3.800 L.s⁻¹); a profundidade nas

verticais onde foram levantados os dados variando entre 40 e 150 cm; e a velocidade média medida nessas verticais variando entre 0,2 e 1,0 m.s⁻¹.

As 165 amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Hidrometria e Hidrossedimentometria da Embrapa Cerrados, onde se efetuaram as determinações da turbidez e da concentração de sedimentos de cada uma delas.

A turbidez das amostras foi determinada com o uso de turbidímetro de bancada, enquanto a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) foi obtida por meio do método da filtração (#0,45 micrômetro).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 é apresentado o gráfico que confronta os dados de concentração de sedimentos em suspensão média nas verticais (C_{ss}) e os respectivos dados de turbidez medidos em cada amostra.

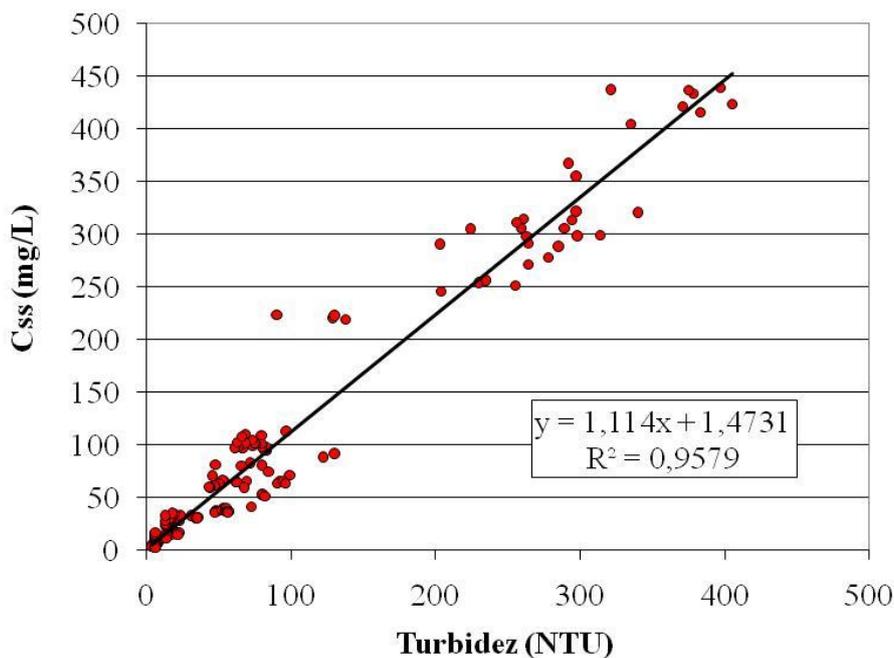


Figura 7 – Relação entre as concentrações médias de sedimentos em suspensão obtidas com o amostrador por integração na vertical USDH-48 e a respectiva turbidez das amostras.

Como se pode observar na Figura 7, conseguiu-se abranger uma grande faixa de variação da concentração de sedimentos em suspensão (0 – 450 mg/L), correspondente a um intervalo de valores da turbidez de 0 a 400 NTU, o que indica uma representatividade razoável da curva apresentada. O valor do coeficiente de determinação (R²) da curva de correlação em relação aos

dados, próximo a 1 (0,9579), indicam um bom ajuste, ou seja, a variabilidade dos dados de concentração explicam bem a variabilidade dos dados de turbidez, contudo, em alguns casos, o erro parece ser significativo.

Na Figura 8 é apresentada a curva de distribuição dos erros relativos obtidos na comparação entre os resultados medidos e aqueles que seriam estimados para cada amostra com o uso da curva indicada na Figura 7.

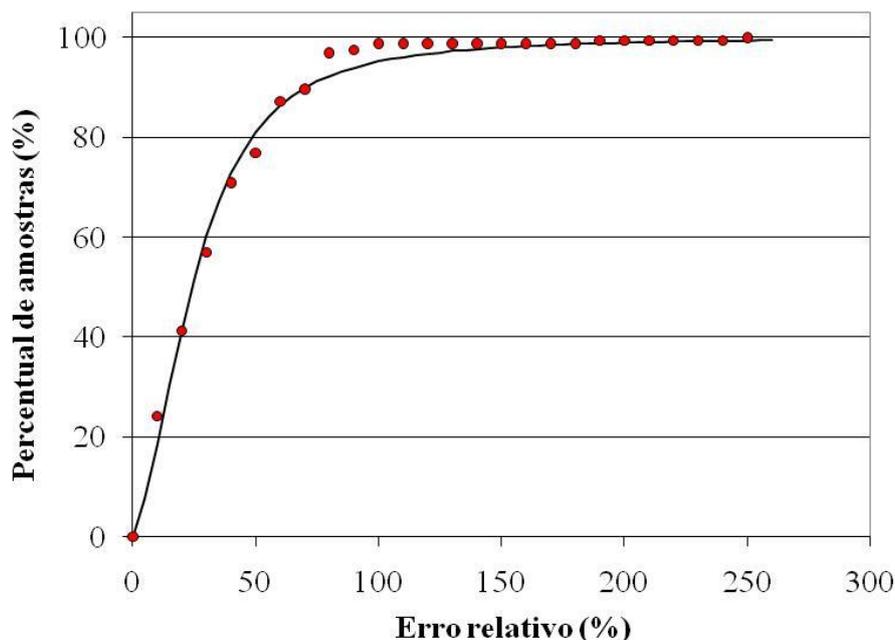


Figura 8 – Curva de distribuição dos erros relativos obtidos na comparação entre os resultados medidos e aqueles que seriam estimados para cada amostra com o uso com o uso da curva de correlação indicada na Figura 7.

Analisando-se a curva apresentada na Figura 8, tem-se que cerca de 25% das amostras apresentaram erro relativo menor que 10%, 40% delas erro menor que 20%, 60% erro menor que 30% e, assim, sucessivamente.

Na Figura 9 busca-se apresentar a relação entre os valores absolutos dos erros relativos observados e as concentrações médias de sedimentos em suspensão das amostras.

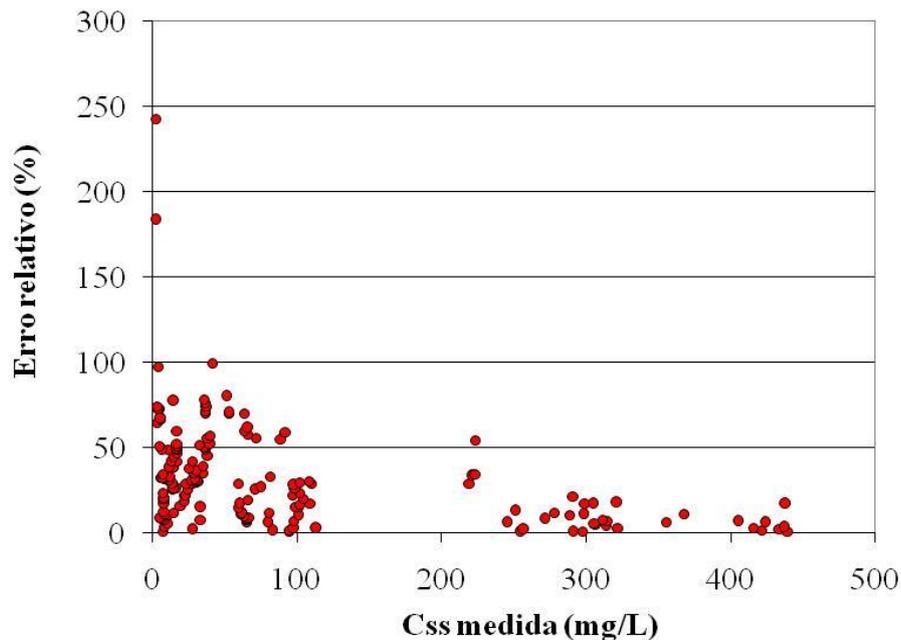


Figura 9 – Erros relativos absolutos observados em função da magnitude das concentrações médias de sedimentos em suspensão.

Como se observa na Figura 9, na medida em que a concentração de sedimentos em suspensão medida nas amostras aumenta, o erro relativo reduz. Destaca-se que essas maiores concentrações de sedimentos (e fluxo) são normalmente observadas durante o período chuvoso que, na maioria dos rios, responde por cerca de 70 a 90% da carga de sedimentos escoada no decorrer de todo o ano hidrológico (Carvalho et al, 2000). Dessa forma, os elevados valores dos erros relativos detectados nas medições sob condições de menores concentrações de sedimentos em suspensão, em rios mais “limpos”, não representam restrição significativa ao uso da relação turbidez x C_{ss} obtida nos rios estudados neste trabalho.

Outro ponto de destaque refere-se à dispersão quase que uniforme dos pontos acima e abaixo da curva de correlação, indicando que, apesar dos erros pontuais ocorridos na análise individual de cada amostra na aplicação da referida correlação, em termos gerais, na análise das séries temporais para geração dos fluxos de sedimentos, esses erros deverão ser compensados, obtendo-se valores médios com precisão mais razoável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a curva de correlação gerada entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão de amostras coletadas em rios da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, não é muito precisa na determinação pontual da concentração de sedimentos em suspensão de cada

amostra. Contudo, em decorrência da distribuição uniforme dos pontos medidos em relação à curva gerada e do fato de o erro relativo dos dados estimados serem menores para as maiores concentrações (que geralmente ocorrem nas maiores vazões), acredita-se que a relação gerada entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão obtida possa ser utilizada com relativa precisão para estudos hidrossedimentológicos utilizando séries temporais de dados na bacia de estudo. Nestes casos, os erros nos valores médios gerados em relação ao fluxo de sedimentos em suspensão não deverão ser significativos, o que será verificado em trabalhos posteriores.

BIBLIOGRAFIA

- ASSELMAN, N.E.M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234: 228 – 248.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2ª edição; revisada; atual e ampliada, Rio de Janeiro – RJ: Interciência, 599 p.
- CNRH (2003) Resolução nº32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003 – Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Publicado no DOU em 17/12/2003. 1p.
- CODEPLAN (1984) Atlas do Distrito Federal. Brasília, DF: Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação. Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central. 7. ed., 3 v.
- DOLABELLA, R.H.C. (1996) Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos do Rio Jardim - DF. Dissertação de Mestrado. Brasília, Universidade de Brasília. 105p.
- GRAYSON, R. B., FINLAYSON, B. L., GIPPEL, C. J.; HART, B.T. (1996). The Potential of Field Turbidity Measurements for the Computation of Total Phosphorus and Suspended Solids Loads. *Journal of Environmental Management*, 47, p.257–267.
- HASHOLT, B. (1992) Monitoring sediment load from erosion events. In: Bogen, J., Walling D.E.; Day, T.J. (Eds.). *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*. Proceedings of the Oslo Symposium, August 1992. IAHS Publication n°. 210, p.201–208.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. (2007). Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio Jardim DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, p.21-34.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; KOIDE, S. (2008). Implantação de unidade de monitoramento intensivo para apoio a estudos hidrológicos em área de Cerrado: a Bacia Experimental do

- Alto Rio Jardim - DF. In: Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. Cd-Rom.
- MORRIS, G.L.; FAN, J. (1998). Reservoir sedimentation handbook. McGraw-Hill, New York.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. (1998). Solos do Bioma Cerrado: Aspectos Pedológicos. In: Sueli M. Sano; Semiramis Pedrosa de Almeida. (Org.). Cerrado: ambiente e flora. 1 ed. Planaltina-DF: EMBRAPA-CPAC, p.47-83.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S.; ASSAD, M.L.C.L. (2000) Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do rio Jardim - DF, escala 1:50.000. Planaltina: Embrapa Cerrados. 63p. CD ROM (*Boletim de pesquisa* nº 18).
- SUN, H.; CORNISH, P.S.; DANIELL, T.M. (2001) Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia. In: *Journal of Hydrology*, 253, pp.227-238.
- WALLING, D.E. (1977a) Limitations on the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. IAHS Publication No. 122, p.34–48.
- WALLING, D.E. (1977b) Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. *Water Resources Research*, 13, p.531–538.
- WALLING, D.E.; WEBB, B.W. (1996) Water quality: physical characteristics. In: Calow, P. and Petts, G. E. (Eds.). *The River Handbook: Hydrological and Principles*. Vol. 1. London: Blackwell Scientific Publications, p.48 – 72.