



CALIBRAÇÃO DE TURBIDÍMETRO PARA ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA BACIA EXPERIMENTAL DE IGUATU-CE

*José Bandeira Brasil¹; Júlio Cesar Neves dos Santos²; Helba Araújo de Queiroz Palácio³;
Jacques Carvalho Ribeiro Filho¹; Antonio Gebson Pinheiro¹*

RESUMO - Reservatórios naturais e artificiais no Nordeste brasileiro são responsáveis pelo armazenamento da maior parte da água para o abastecimento público. O assoreamento desses mananciais compromete a disponibilidade hídrica, necessitando o monitoramento contínuo das entradas de sedimentos em suspensão que pode ser facilitada com uso de turbidímetros. Objetivou-se neste estudo calibrar um turbidímetro para as condições locais da Bacia Experimental de Iguatu-CE, no intuito de estimar com confiabilidade a concentração de sedimento em suspensão por turbidimetria. A área de estudo foi a Bacia Experimental de Iguatu (BEI) com área de 16,74 km². Para a calibração do turbidímetro, foram coletadas 16 amostras em campo. Avaliando a variação da turbidez com os valores de concentração de sedimentos suspensos durante os eventos de chuva individuais, mostram que houve correlação significativa entre as medidas de concentração de sedimentos suspensos e a turbidez, tendo a curva se ajustado à equação polinomial quadrática.

ABSTRACT - Natural and artificial reservoirs in northeastern Brazil are responsible for the storage of most of the water for public supply. Siltation of these sources compromises the water availability, necessitating the continuous monitoring of the inputs of suspended sediments that can be facilitated with the use of turbidity. The aim of this study to calibrate a turbidimeter local conditions of the Experimental Basin Iguatu-CE, in order to estimate reliably the concentration of suspended sediment by turbidimetry. The study area was the Experimental Basin Iguatu (EIB) with an area of 16.74 km². For calibration of turbidimeter, 16 samples were collected in the field. Evaluating the variation of turbidity with values averaged concentration of suspended sediment during individual rain events, show that there was significant correlation between measures of concentration of suspended sediment and turbidity, and the curve adjusted to the quadratic polynomial equation.

Palavras – Chave: Transporte de Sedimentos, turbidez, sólidos em suspensão.

¹ Graduando do curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, no Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Iguatu-CE. E-mail: josebbrasil@gmail.com; jacquesfilho1@hotmail.com; gebson10@hotmail.com.

² Doutorando na Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Fone: 0 (85) 96749368 E-mail: juliocesarns@yahoo.com.br.

³ Professora do Instituto Federal do Ceará, Campus Iguatu-CE. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje um dos maiores desafios dos estudos sedimentológicos é entender o padrão de variabilidade espacial e temporal da Concentração de Sedimentos Suspensos (CSS) em rios e os processos que governam a exportação de nutrientes, morfologia dos rios, assoreamento de reservatórios e degradação da qualidade da água (NAVRATIL et al. 2011). Portanto, melhorar a resolução temporal das medidas de CSS é imprescindível para as investigações sedimentológicas, principalmente para as condições semiáridas, onde os eventos de escoamento superficial são raros e geralmente efêmeros (PINHEIRO et al. 2013).

A quantificação dos sedimentos em suspensão, em bacias hidrográficas é fundamental, pois reflete as taxas erosivas causadas pela energia da chuva e da enxurrada sobre as diferentes proporções de uso do solo e tipos de manejos aplicados (MINELLA, 2008a). Daphne et al. (2011) exemplifica que a CSS pode ser medida pelo método direto e indireto. A medição direta para a determinação da CSS é geralmente realizado por rápida filtração de uma amostra de água. Uma medição indireta comumente utilizada para a determinação de CSS é a nefelometria ou método de turvação, sendo que turbidez pode ser facilmente medida utilizando o medidor de turbidez e leitura de turbidez é simples e rápido.

Amostragens do sedimento em suspensão feitas diretamente no exutório da bacia são essenciais para a quantificação e determinação da qualidade dos sedimentos. Contudo, o acompanhamento contínuo, por amostragem direta, demanda elevado custo em recursos humanos ou mesmo na aquisição de mostradores automáticos eficientes (Pellegrini et al 2011). O fluxo anual de sedimentos suspensos ocorre em uma percentagem muito pequena de tempo, correspondendo aos eventos responsáveis pelos picos elevados de vazão. Mano et al. (2009) mostram que entre 40-80% do fluxo anual de sedimentos suspensos ocorrem dentro de 2% do tempo. De acordo com Wren et al. (2000), mais de 50% dos sedimentos transportados pelos rios ocorrem durante os grandes eventos de cheias, fluxos esses que normalmente, acontecem à noite, dificultando predizer o horário.

A avaliação da turbidez da água em escoamento é um dos métodos indiretos para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão. O turbidímetro faz a determinação quantitativa da turbidez, que pode ser correlacionada com a concentração do material em suspensão (GUIMARÃES, 2010; DALBIANCO et al., 2012). No entanto, o êxito na validação dos resultados só é possível por meio de calibração. Minella (2008 b) estudando a relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão constatou que quando a calibração foi feita com os solos amostrados da bacia ocorreu a superestimação da CSS, enquanto que a melhor calibração foi obtida com as amostras coletadas durante eventos de chuva, e o material

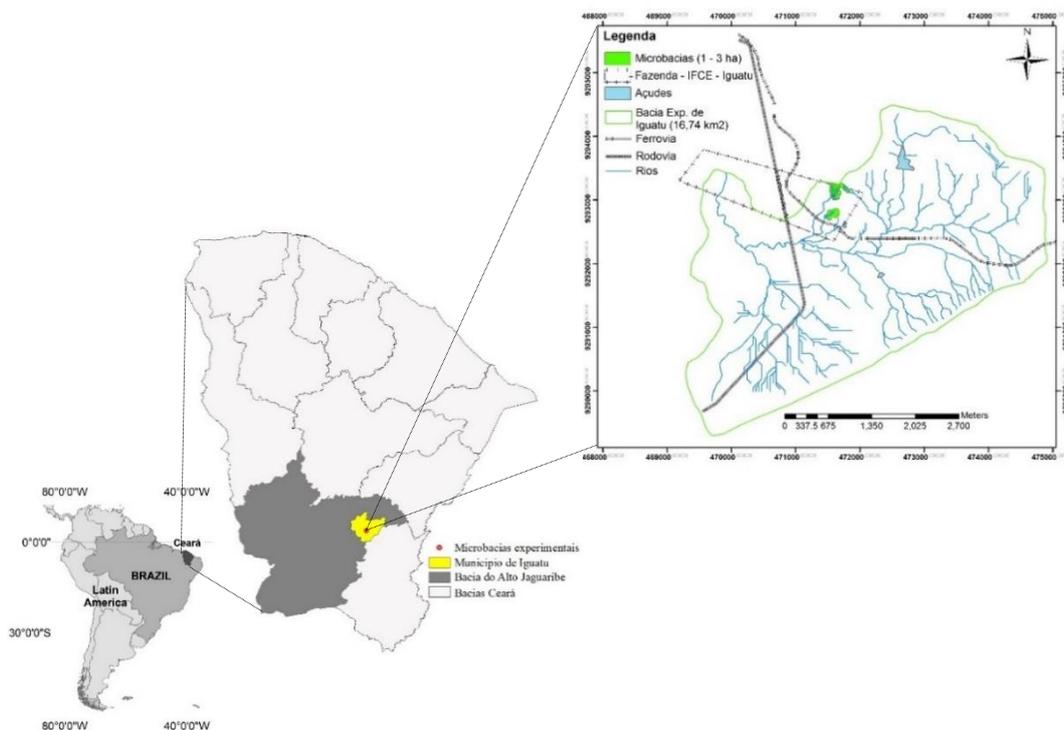
proveniente do mostrador torpedo apresentou comportamento intermediário, sendo uma alternativa eficiente de calibração.

De modo geral, não há uma metodologia ideal para a mensuração da CSS, mas as estimativas indiretas através da turbidez ganharam aceitação dentre os vários métodos de monitoramento, devido, principalmente, as dificuldades de se obter medidas diretas em alta resolução temporal. Quando não há limitação de recursos, mas existe uma logística para obtenção das medidas in situ, as medições diretas são bastante empregadas apesar de produzirem uma série de dados intermitentes, oriunda de uma árdua mão-de-obra envolvida em todas as fases (Francke et al., 2008).

Neste sentido, objetivou-se neste estudo calibrar um turbidímetro para as condições locais em uma pequena bacia hidrográfica no município de Iguatu - CE, no intuito de estimar com confiabilidade a concentração de sedimento em suspensão por turbidimetria.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Experimental de Iguatu (BEI) com área de 16,74 km² está localizada no Semiárido Cearense, inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe entre as coordenadas geográficas 6°23'36'' a 6°23'57'' S e 39°15'15'' a 39°15'30'' W, com altitude média de 217,8 m (Figura 1).



Fonte: Júlio Santos

Figura 1 – Localização da área em estudo no Estado do Ceará, Brasil.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez é de 0,44 (Semiárido). A evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm.ano⁻¹, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 867 ± 304 mm (SANTOS, 2012).

Para a mensuração do escoamento superficial, a seção foi equipada com um sensor de nível transdutor de pressão modelo CS450 da Campbell Scientific, conectado a um datalogger CR1000 com intervalos de aquisição de 5 min (Figura 2). Com os valores de altura de carga hidráulica, o escoamento superficial (hidrogramas, volume escoado e lamina escoada) foi mensurado através da equação do vertedor. Para a calibração e verificação da eficiência do linígrafo foram instaladas régua linimetricas próximas ao sensor e efetuadas leituras periodicamente quando da ocorrência do escoamento.



Fonte: Júlio Santos

Figura 2 – Sensor de nível, datalogger e Régua linimetrica na Seção de monitoramento da bacia experimental de Iguatu (BEI) de 16,74 km².

Já para quantificação da produção de sedimentos, próximo ao sensor de nível foi instalado sensor de Turbidez e Sedimentos (Turbidímetro), modelo OBS300 da Campbell Scientific, conectado a um datalogger CR1000 com intervalos de aquisição de 15 min (‘



Figura 3).



Fonte: Júlio Santos

Figura 3 – Turbidímetro OBS300 instalado na seção de monitoramento da bacia experimental de Iguatu (BEI).

Para a calibração do equipamento e eventual recuperação de dados foram efetuadas coletas de amostras de água periodicamente durante a ocorrência do escoamento (de 2 amostras por dia) e encaminhado para Laboratório de Água, Solos e Tecidos Vegetais (LABAS) para a realização das análises de concentração de sedimentos suspensos (CSS). Uma vez determinada a CSS através do turbidímetro e das amostras do laboratório (possibilidade de determinação do sedimentograma), e com as informações de escoamento pode-se calcular a produção de sedimentos para cada evento gerador de escoamento.

A calibração do turbidímetro ocorreu com amostras de água e sedimentos coletadas durante eventos de chuva-deflúvio entre os dias 9 a 16 de maio de 2013, período esse em que houve escoamento na BEI. Foram coletadas duas amostras diárias de água e sedimentos totalizando 16 amostras. Para simulação de eventos de elevada concentração foram geradas artificialmente 5

amostras com solo de deposição no exutório da bacia. Por fim, foi utilizada uma amostra com água destilada para determinação da leitura do equipamento sem sedimentos suspensos. No total para a calibração do equipamento foram utilizadas 22 amostras. Para geração da curva de calibração foi correlacionado o valor de turbidez em NTU, obtidos pelo turbidímetro, com o valor real da concentração de sedimentos em suspensão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os eventos de chuva-deflúvio que ocorreram nos dias 09 e 10 de maio de 2013, com precipitação de 162 e 45 mm, respectivamente, foram utilizados para a coleta das amostras utilizadas na calibração do turbidímetro. O escoamento na seção de controle foi até o dia 16/mai/13 sendo coletada amostras e a leitura do equipamento duas vezes ao dia. A geração de escoamento nesses eventos foi atrelada a alta magnitude das chuvas e a elevada intensidade e erosividades. Thomaz (2009) classifica a chuva como sendo o parâmetro físico que mais afeta a erosão do solo em regiões tropicais. Ceballos & Schnabel (1998) alertam em seus estudos que a produção de sedimentos em microbacias de escoamento efêmero tem sido pouco documentada na literatura brasileira, e as maiores contribuições são relatadas em zonas úmidas e de rios perenes. A escassez de estudos em regiões semiáridas está diretamente associada à dificuldade de monitoramento dos eventos que ocorrem nessa região, pois os mesmos se caracterizam por um pequeno número de ocorrência em um curto período de tempo.

Os valores de turbidez em NTUs e as concentrações de sólidos em suspensão determinados em laboratório para as amostras da calibração podem ser observados na Tabela 1. Observa-se que nos dois primeiros dias com a onda de cheia foram registrados os maiores valores de sólidos suspensos, tanto pelo turbidímetro como pela análise em laboratório. Nota-se que durante o escoamento após a precipitação, a concentração de sólidos vinha tendo um decréscimo, a exceção é a coleta realizada às 12 horas do dia 10/mai/13 que foi obtida após um evento de precipitação, havendo um aumento de 30,5% no valor registrado no turbidímetro e 27% no valor de CSS, evidenciando o poder dispersante das partículas que a chuva exerce sobre o solo. Daphne et al. (2011) em seus estudos de correlação de sólidos suspensos totais e turbidez mostrou que a ocorrência de chuvas pode aumentar 1,8 vezes a concentração de sólidos totais suspensos para Rivers, Cingapura.

Tabela 1 - Relação entre a turbidez e concentração de sedimentos suspensos (CSS) das amostras usadas na calibração do turbidímetro para bacia em estudo.

Data	Hora	Turbidez (NTU)	Css (mg/L)
09/mai/13	13:00	872	217
	16:00	884	123
10/mai/13	07:00	462	96
	12:00	608	122
	17:00	445	99
11/mai/13	07:00	265	31
	17:00	12	9
12/mai/13	07:00	12	21
	17:00	10	5
13/mai/13	08:50	8	8
	17:00	7	26
14/mai/13	07:00	6	2
	17:00	7	21
15/mai/13	08:00	6	21
	16:30	5	4
16/mai/13	08:00	4	6
	16:00	6	34
Calibração		1156	661
Calibração		4866	3492
Calibração		1115	672
Calibração		5020	3339
Calibração		1379	643
Água destilada		2	0

Avaliando a variação da turbidez com os valores de CSS durante os eventos de chuva individuais, mostram que houve correlação significativa entre as medidas de CSS e a turbidez, tendo a curva se ajustado à equação polinomial quadrática (figura 4). Minella (2008 b) estudando a relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão na bacia Arvorezinha - RS entre julho de 2004 e maio de 2005 fez uma comparação usando dois diferentes métodos de calibração montadas para oito eventos chuvosos. Encontrando $R^2=0,86$ para equação polinomial e $R^2=0,87$ para equação de potência. Estes dados foram utilizados para gerar uma relação de calibragem, a fim de estabelecer a forma mais adequada de medir a CSS. Para a calibração na BEI a calibração polinomial quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados de calibração, gerando um R^2 de 0,9892, sendo que das equações foi a que menos subestimou as concentrações. Em outros estudos Pinheiro et al. (2013) em calibração de turbidímetros no município de Aiuaba – CE, a melhor equação que se adequou foi a equação polinomial de 3ª ordem. Já Navratil et al. (2011) encontrou o melhor ajuste em uma curva potencial de calibração para uma bacia hidrográfica na França. Já Grutka et al. (2012) estudando a Relação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos na bacia hidrográfica contribuinte ao reservatório do rio Vacacaí - Mirim obteve um

resultado satisfatório para equação linear com $R^2 = 0,977$, aferindo que esse modelo de equação foi o que mais se adequou para o estudo desenvolvido.

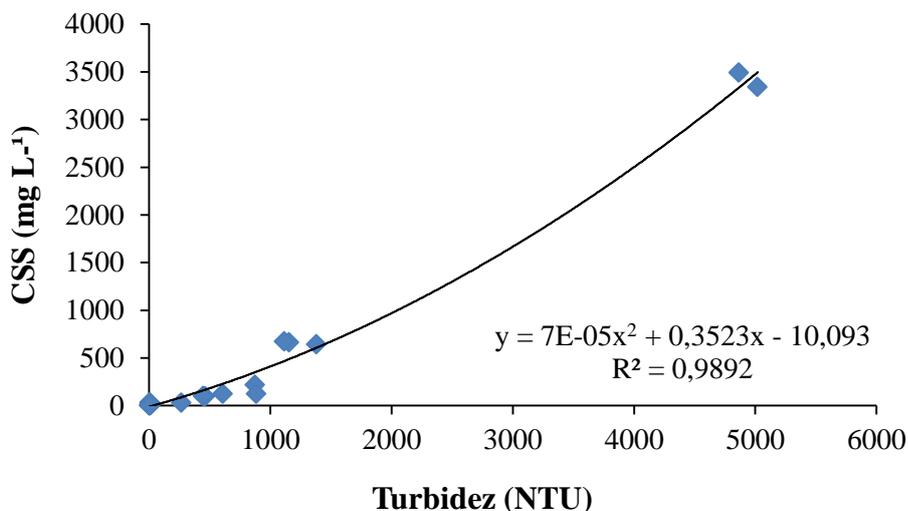


Figura 4- Curva de calibração do turbidímetro calibrada em campo para a seção em estudo.

CONCLUSÕES

O método de calibração do turbidímetro por meio de concentração de sólidos suspensos gerou uma equação representativa para estimar a concentração de sedimentos na BEI.

A turbidimetria pode ser utilizada para estimativa da CSS desde que esteja devidamente calibrada.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro pelas bolsas de produtividade e de iniciação científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

CEBALLOS, A.; SCHNABEL, S. Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system (Extremadure, SW Spain). **Journal of Hidrology**, v. 210, p.146-160, 1998.

DALBIANCO, L.; RAMON, R.; MINELLA, J. P. G.; BARROS, C. A. P. de; DIDONÉ, E. J.; KOCHER, M. L.; MERTEN, G. H. *Eficiência na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão por diferentes estratégias amostrais na calibração de turbidímetros*. In: X

Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 19p.

DAPHNE, L. H. X.; UTOMO, H. D.; KENNETH, L. Z. H. . Correlation between Turbidity and Total Suspended Solids in Singapore Rivers. **Journal of Water Sustainability**, V. 1, p.313–322, 2011.

FRANCKE, T.; LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; SCHRÖDER, B. Estimation of suspended sediment concentration and yield using linear models, random forests and quantile regression forests. **Hydrological Processes**, v.22, p.4892-4904, 2008.

GRUTKA, L.; ILHA, R.; SCHUCK, A.; RIZZARDI, A. S.; GUERRA, M.; PAIVA, J.B de. *Relação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos na bacia hidrográfica contribuinte ao reservatório do rio Vacacaí-Mirim*. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 12p.

GUIMARÃES, J. C. R. (2010). **Medidas de concentração de sedimentos e turbidez na bacia hidrográfica do Lajeado Grande, São Martinho da Serra (RS)**. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 121 p.

MANO, V.; NÉMERY, J.; BELLEUDY, P.; POIREL, A. Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): Influence of the climatic regime. **Hydrological Processes**, v.23, p.777-792, 2009.

MINELLA J. P.G.; WALLING, D.E.; MERTEN, G.H. (2008a). Combining traditional monitoring and sediment source tracing techniques to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. **Journal of Hydrology**.348, 546 – 563.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., CLARKE, R. T., REICHERT, J. M. (2008b) Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. **Hydrological Processes**., v.22(12), p.1819-1830, 2008.

NAVRATIL, O.; ESTEVES, M.; LEGOUT, C.; GRATIOT, C.; NEMERY, J.; WILLMORE, S.; Grangeon, T. Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. **Journal of Hydrology**, v.398, p.246-259, 2011.

PELLEGRINI, A. ; KOICHEM, M. L. ; SCHAEFER, G. L. ; RASCHE, J. W. A. ; REINHERMER, D. S ; MINELLA, J. P. G. *Calibração de turbidímetro para a estimativa de concentração de sedimento em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica*. In: XXXIII Congresso Brasileiro de

Ciência do Solo, 2011, Uberlândia, MG. Solos nos Biomas Brasileiros: Sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.

PINHEIRO, E. A. R. ; ARAUJO, J. C. ; FONTENELE, S. B. ; LOPES, J. W. B. . Calibração de turbidímetro e análise de confiabilidade das estimativas de sedimento suspenso em bacia semiárida. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 103-110, 2013.

SANTOS, J. C. N. **Mensuração da erosão do solo no semiárido em diferentes usos de terras e escalas espaciais**. 102 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2012

THOMAZ, E. L. (2009). *The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss*. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 130, p. 23–30.

WREN, D. G.; BARKDOLL, B. D.; KUHNLE, R. A.; DERROW, R. W. Field techniques for suspended sediment measurement. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.126, p.97-104, 2000.