



RIO JUNDIAÍ - BACIA DO PCJ: DETERMINAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E TURBIDEZ NTU

Lucas Kenzo Mathi¹; Tássya Braz Mariano² & André Luís Sotero Salustiano Martim³

ABSTRACT - Sediment transport in water stream is directly related to the silting of rivers and reservoirs and has caused various environmental and economic damages. One can mention the decrease in the useful life of the reservoirs and the deterioration of the surfaces of the hydraulic structures as a consequence of the water flow with sediments, making indispensable the sedimentological studies in hydraulic works projects. Thus direct measurements of the sediment loading are of extreme importance for preliminary studies and also for a correct evaluation of the impact caused by this process. Considering that obtaining hydrosedimentological data is not an easy task and that for the Jundiaí River, the object of this study, there is no history of sampling, the use of indirect methods through turbidimeters is a practical and economical alternative to obtain this information. This work presents a correlation of the NTU turbidity with the concentration of suspended sediments of the Jundiaí River. Suspended sediments were obtained from the analysis of water samples collected directly in the Jundiaí River, PCJ basin, using conventional direct sampling techniques and NTU turbidity data obtained with a nephelometric turbidimeter. The results obtained in the correlation were used in conjunction with the values of suspended sediments obtained in the direct sampling, to elaborate a model, based on the selection of theoretical equations existing in the bibliography, able to represent the sediment transport phenomenon in the Jundiaí River, in a quantitative way.

Palavras chave - transporte de sedimentos, turbidez NTU, sedimentos em suspensão.

1) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, lucas.mathi@hotmail.com, (19) 3521-2304

2) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, tassya.braz@hotmail.com, (19) 3521-2304

3) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, sotero@fec.unicamp.br, (19) 3521-2304



1 - INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos afeta diretamente a vida útil das estruturas hidráulicas, tanto pelo depósito de sedimentos, e consequente diminuição do armazenamento dos reservatórios, como também pelo desgaste por abrasão das estruturas pelas partículas que passam pelos vertedores e outras estruturas hidráulicas. Desta forma torna-se indispensável a realização de estudos sedimentológicos (Carvalho et al., 2005). Também em função de interferências de obras hidráulicas inadequadas e da ocupação desordenada do solo e de seu uso indiscriminado, podem se intensificar o aporte de sedimentos, sendo então de fundamental importância que sejam realizados estudos relacionados às questões sedimentológicas. (Santos *et. al.*, 2013)

Segundo Sari (2015) conhecer e monitorar o transporte de sedimentos é tarefa essencial para o gerenciamento das bacias hidrográficas, sendo que a quantificação de sedimentos presentes em corpos hídricos se faz um dos passos iniciais para prevenção e controle dos problemas causados pelo transporte e deposição de sedimentos.

Diferentes métodos podem ser utilizados para a determinação da descarga sólida total transportada pelos cursos d'água, sendo eles: através de dados medidos nos rios, através da estimativa da erosão por modelos de perda de solo, a partir de levantamentos topo-batimétricos de reservatório ou através da regionalização dos dados (Coiado, 2001 e Carvalho, 2008). E ainda, a maneira mais precisa para se conhecer a descarga sólida transportada pelos rios é por meio de medições periódicas (Coiado, 2001). Sendo que a finalidade da amostragem é definir a tipologia e a concentração do material transportado no momento da medição, de forma a se obter amostras representativas na seção transversal do curso d'água.

Segundo Coiado (2001), a escolha do equipamento de amostragem deve considerar os seguintes critérios: (i) O aparelho não deve perturbar o escoamento, permitindo que a coleta da amostra seja realizada na mesma velocidade do escoamento para que a amostra coletada seja representativa; (ii) O aparelho deve ser hidrodinâmico e pesado, para evitar o desvio do aparelho.

A obtenção de dados hidrossedimentológicos não é tarefa fácil, envolvendo atividades em campo em condições adversas e em locais de difícil acesso, e muitas vezes devido a eventos de chuvas intensas, que trazem risco para os coletores. Além disso para o rio Jundiaí, bacia do PCJ, objeto deste estudo, não existe histórico de amostragens. Neste sentido a utilização de métodos indiretos através de turbidímetros é uma alternativa prática e econômica para obtenção dessas informações.

Este projeto tem por objetivo avaliar o transporte e a deposição de sedimentos no Rio Jundiaí, afluente do Rio Tietê no estado de São Paulo. Este trabalho apresenta uma correlação da turbidez NTU com a concentração de sedimentos em suspensão do rio Jundiaí, efetuada a partir de dados de coleta de água bruta do rio e da análise de sua turbidez por meio da técnica de nefelometria, em



que a partir desses dados e de abordagem teórica específica determinou-se a correlação entre os parâmetros estudados.

A bacia do rio Jundiá está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Piracicaba, Capivari e Jundiá, UGRHI/PCJ. Esta bacia possui área total de 1.114 km² e abrange 11 municípios que se encontram entre as regiões metropolitanas de São Paulo e de Campinas. Sua localização geográfica tem grande influência na importância econômica da bacia uma vez que ela se encontra em um dos grandes eixos de crescimento industrial paulista. (Barbaroto Junior, 2014; Haupt e Porto, 2009).

1.1 - Correlações

Lopes *et. al.* (2009) apresenta uma correlação obtida entre a turbidez NTU do turbidímetro e a concentração de sólidos em suspensão C_{ss} (mg/L). Os resultados apresentados demonstram duas correlações: uma para valores até 390 NTU e outra para valores de turbidez superiores a 390 NTU. Equação (1) obtida para $T < 390$. Equação (2) para turbidez NTU, $T > 390$. Em ambos os casos Sólidos suspensos C_{ss} em mg/L e T em NTU.

$$C_{ss} = 0,0006 * T + 0,0046 \quad (1)$$

$$C_{ss} = 0,0014 * T - 0,1646 \quad (2)$$

No trabalho de Lima *et. al.* (2011) para Turbidez e concentração de sedimentos C_{ss} está representada pela interpolação linear na forma da equação (3) para valores de T até 400.

$$C_{ss} = 1,114 * T + 1,4731 \quad (3)$$

A equação (4) apresentada pelo trabalho de Santos *et. al.* (2014) considera diferentes correlações de forma setorizada, e uma correlação considerando todos os pontos do levantamento.

$$C_{ss} = 0,4436 * T \quad (4)$$

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A partir dos dados de turbidez (NTU) e dos dados de concentração de sólidos em suspensão obtidos por métodos tradicionais (coleta com amostradores diretos), obtidos de coletas no Rio Jundiá, trabalhou-se para obter uma relação matemática entre a quantidade de sólidos em suspensão, C_{ss} , medido em mg/l, com os valores medidos de turbidez NTU, na forma apresentada na equação (5):

$$C_{ss} = a * T + b \quad (5)$$

A turbidez (NTU), sigla do inglês Nephelometric Turbidity Unit, consiste na análise quantitativa do material sólido em suspensão presente na água bruta, determinada através da técnica da nefelometria. A técnica em que um feixe luminoso atravessa a amostra de água bruta e uma fotocélula, instalada perpendicularmente ao feixe, mede a luz de espalhamento, que é diretamente proporcional à quantidade de material em suspensão na amostra (Santos *et. al.*, 2014).

As amostras de água bruta do Rio Jundiáí, foram coletadas em duas seções, a primeira está identificada na figura 1. No mesmo local são coletadas amostras pelas duas estações de tratamento de água instaladas no local do estudo, que realizam essa atividade diariamente e com grande regularidade, em geral a cada duas horas, e dessas coletas são fornecidos os resultados de turbidez NTU obtidos através de turbidímetro eletrônico.

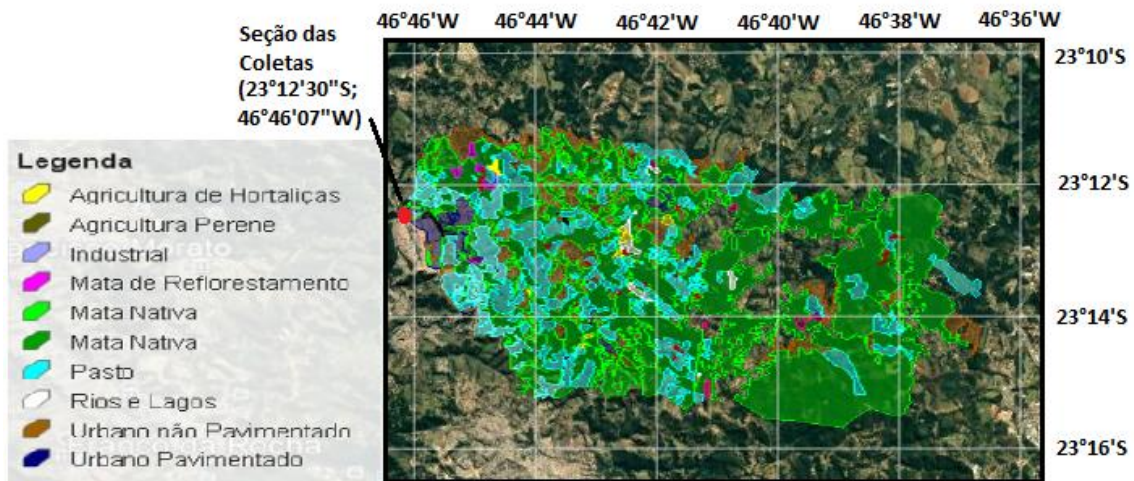


Figura 1 – Bacia do Rio Jundiáí com localização da seção de coleta de amostragem e da estação fluviométrica.

Para a obtenção da concentração de sólidos sedimentáveis que foi utilizada para a elaboração da correlação foram realizadas análises da água bruta e dos sedimentos em laboratório (a partir das amostras coletadas de forma convencional) que foi realizada pelo método de difração a laser, através do analisador de partículas Malvern Mastersizer 2000. O analisador gera um relatório de resultados com a concentração de sedimentos presentes na água, em %volume, e o gráfico de volume percentual pelo tamanho da partícula (figura 2).

As coletas na seção de estudo tiveram início em Agosto de 2017 nos dois pontos de coleta do rio Jundiáí, sendo o primeiro ponto próximo da comporta regularizadora de nível da captação da abastecimento público do município, enquanto o segundo fica numa seção 258m a montante do anterior, localizado em uma passarela de pedestres, coordenadas 23° 12.48'S e 46° 45.98'O.

A escolha de dois pontos de coleta foi feita com o objetivo aumentar a segurança nos dados obtidos e identificar possíveis influências da comporta existente no primeiro ponto de coleta. A quantidade e a maneira com que as amostras foram coletadas foram definidas a partir de análise bibliográfica inicial. Dessa forma, estabeleceu-se pelo menos quatro amostras de água bruta: três amostras em diferentes profundidades da seção (sendo a 25%, 50% e 75% a partir da superfície) e outra amostra coletada a partir de um movimento descendente e ascendente do coletor de água em velocidade constante, chamado de coleta por integração. (Carvalho, 2008).

3 - RESULTADOS

A partir da análise das amostras feita pelo método de difração a laser e dos dados de turbidez NTU fornecidos pela Estação de tratamento de água (ETA), foram elaborados os gráficos e a partir de regressão linear foi obtida a correlação apresentada. O resultado das análises é gerado em gráficos e tabelas que apresentam os valores de material das partículas presentes na água na faixa de 10 a 100 μm , conforme a figura 2.

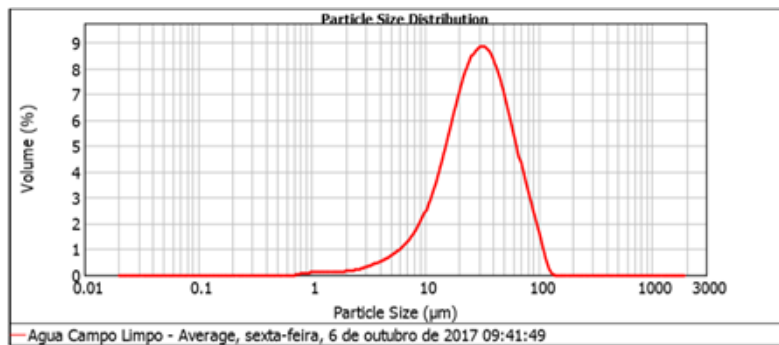


Figura 2 – Gráfico do tamanho da partícula em percentual de volume.

Com o objetivo de encontrar uma relação entre a turbidez (NTU) e a concentração de sólidos suspensos (Css), foi aplicado o método de regressão linear através do software SciDAVis utilizando os dados da Tabela 1, onde a Css utilizada é a média das concentrações das amostras do dia da coleta e a média dos resultados de turbidez respectiva a hora da coleta.

Os resultados da regressão linear está representado abaixo na Figura 3. Do método da regressão linear aplicada, foi possível obter uma equação da correlação, obtida pelo software utilizado, que apresentou um coeficiente de determinação bom, $R^2 = 0,8973$, e está apresentada na equação (6):

$$Css = 1,4972 * T + 176,6237 \quad (6)$$

Os resultados das coletas de água do rio Jundiá que foram tabelados e estão apresentados na Tabela 2. Para a obtenção da concentração de sólidos em mg/L, utilizou-se a massa específica das partículas igual a 2650 kg/m^3 e fez-se os devidos ajustes de unidades.

Tabela 1: Concentração de sólidos suspensos em relação a turbidez da água.

x = Turbidez (NTU)	y = Css (mg/L)
28	153,70
44	304,75
167	445,20
252	537,95



Tabela 2: Concentração das amostras coletas, em % volume e em mg/L.

Nº da amostra	Concentração da Amostra (%)	Css (mg/L)	Nº da amostra	Concentração da Amostra (%)	Css (mg/L)
1	0,0012	31,80	14	0,0161	426,65
2	0,0023	60,95	15	0,0188	498,20
3	0,0023	60,95	16	0,019	503,50
4	0,0026	68,90	17	0,0153	405,45
5	0,0033	87,45	18	0,0135	357,75
6	0,0045	119,25	19	0,0203	537,95
7	0,0081	214,65	20	0,0121	320,65
8	0,0083	219,95	21	0,0109	288,85
9	0,0041	108,65	22	0,0131	347,15
10	0,0028	74,20	23	0,0096	254,40
11	0,0193	511,45	24	0,0118	312,70
12	0,0164	434,60	25	0,0119	315,35
13	0,0163	431,95	-	-	-

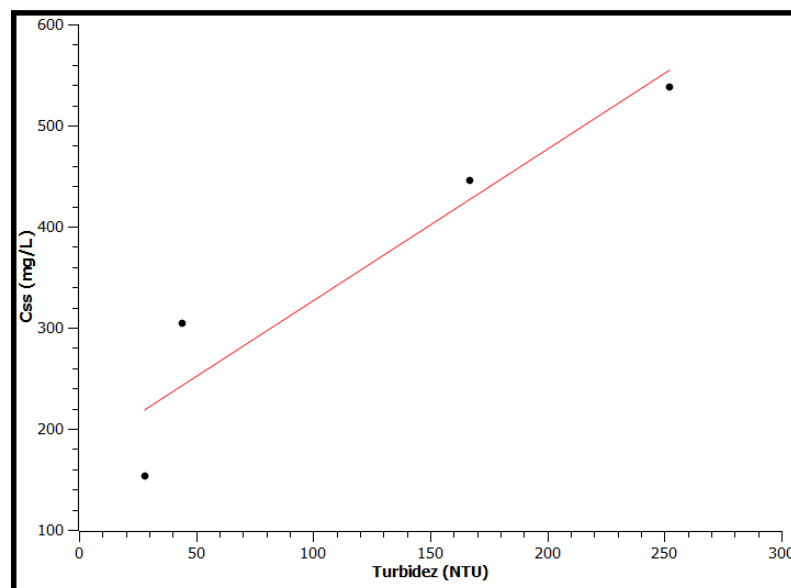


Figura 3: Correlação entre a C_{ss} e a Turbidez.

Utilizando a equação obtida, estimou-se a C_{ss} para os valores de turbidez utilizados no cálculo da correlação, os quais estão apresentados na Tabela 3.



Tabela 3: Comparação da C_{ss} estimada e da C_{ss} medida.

Turbidez (NTU)	C _{ss} Estimada (mg/L)	C _{ss} Medida (mg/L)
28	218,55	153,70
44	242,50	304,75
167	426,66	445,20
252	553,92	537,95

4 - CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que é possível obter uma correlação que relaciona turbidez NTU e sedimentos em suspensão C_{ss} (mg/l).

Os resultados preliminares obtidos com a pesquisa desenvolvida até o momento, apresentam que, assim como verificado em Lopes *et. al.* (2009) e Lima *et. al.* (2011) essa correlação é linear na forma $y=ax+b$ e apresentaram para o Rio Jundiá coeficientes a e b diferentes dos encontrados nas referências, entretanto com forte correlação positiva $R^2 > 0,85$.

A utilização da correlação permite uma avaliação mais rápida e prática da concentração de sedimentos em suspensão, e também de forma mais econômica e segura considerando a segurança do trabalho das pessoas envolvidas nas coletas.

Análises de turbidez NTU são realizadas diariamente nas Estações de Tratamento de Água, 24 horas por dia, em geral a cada duas horas, ou dependendo da situação em que ocorram grandes variações, em intervalos até menores, pois se trata de parâmetro importante para o tratamento de água. No Rio Jundiá existem pelo menos três seções em que estas análises são realizadas, permitindo que a metodologia aqui aplicada possa ser estendida a pelo menos mais três seções do Rio Jundiá (Itupeva, Indaiatuba e Salto), o que pretende-se realizar numa próxima etapa da pesquisa. Também pretende-se na próxima etapa correlacionar os dados obtidos com os dados de vazão utilizando-se as vazões da rede existente no Rio Jundiá, operada pelo FCTH-SAISP, denominado Rio Jundiá – Seção Planalto Paulista e Seção Indaiatuba, de forma a determinar as curvas de vazão sólida para o rio Jundiá.

AGRADECIMENTOS - À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, pela disponibilização dos dados de turbidez NTU das estações de tratamento de água. À FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro ao projeto, Projeto nº 2017/09921-2. Ao CNPq pelo apoio aos alunos de graduação bolsistas de IC que trabalham no projeto.



Vitória/ ES – Brasil

HIDROSEDIMENTOLOGIA NO CONTEXTO NEXO PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL

XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos
I Partículas das Américas

24 a 28 de setembro de 2018



BIBLIOGRAFIA

- Barbarotto Junior, J. L. (2014) *“Análise da disponibilidade hídrica da bacia do rio Jundiá por meio de simulações hidrológicas de cenários prováveis”* Dissert. de Mestrado, Unicamp, Campinas, 2014.
- Carvalho, N. O.; Salgado J.C.M.; Ross, J.; Ruiz N.C.P., Silva, L.F.A., Mesquita, J.B.; Neto, A.A.G.; Silva, L.P., (2005). *“Revisão Dos Estudos Sedimentológicos Do Rio Madeira E Mamoré, RO”* XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.
- Carvalho, N. O.(2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª.Ed. Interciência, Rio de Janeiro/RJ, 599 p.
- Coiado, E.M. (2001). *“Uso do amostrador fixo programável na determinação da concentração dos sedimentos transportados em suspensão no rio Atibaia-SP”* XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, SE.
- Haupt, J. P. O, Porto, M. F. A., (2009) *“Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do rio Jundiá”* in anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande/MS, Nov 2009.
- Lima, J. E. F.W.; Lopes, W. T. A. Oliveira, E. C.; Muniz, D. H. F. (2011). *“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”* XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.
- Lopes, G.R.; Távora, B.E.; Santos, R.M., Koide, S. (2009). *“Estudo Sobre Correlação Entre Turbidez e Sólidos em Suspensão Para Estimativa da Vazão Sólida em Uma Pequena Bacia”* XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2009.
- Santos, R.O.; Scudelari, A. C.; Cunha, C.L.N.; Righetto, A. M., (2013) *“Avaliação da Produção e Aporte de Sedimentos para o Rio Potengi, RN”*, RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 18 n.3 –Jul/Set 2013,149-163.
- Santos, B. B; Estigoni, M. V.; Miranda, R. B.; Botelho, D. A.; Mauad, F.F. (2014). *“Estudo da Relação Entre a Concentração de Sedimentos em Suspensão e a Turbidez do Reservatório de Mogi-Guaçu”* XI ENES 2014. ABRH. João Pessoa, PB.
- Sari, V.; Castro, N.M.R.; Kobiyama, M. (2015) *“Estimativa da Concentração de Sedimentos Suspensos com Sensores Ópticos: revisão”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH vol. 20 no. 4 Porto Alegre out./dez. 2015 p. 816 – 836.