

# **Avaliação da Concentração de Sedimento em Suspensão no Rio Caeté, em Alfredo Wagner/SC**

**Leandro Redin Vestena**

Bolsista do CNPq

Professor do Departamento de Geografia da UNICENTRO

Pós-Graduando em Engenharia Ambiental pela UFSC

*lvestena@unicentro.br*

**Henrique Lucini**

Bolsista CNPq

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFSC

*henrique.lucini@gmail.com*

**Masato Kobiyama**

Bolsista CNPq

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC

*kobiyama@ens.ufsc.br*

## **Resumo**

Este trabalho avaliou a relação existente entre descarga líquida ( $Q_L$ ) e concentração de sedimento em suspensão ( $C_{SS}$ ) na bacia hidrográfica do Caeté, município de Alfredo Wagner, região serrana de Santa Catarina. Para tal realizaram-se medições pontuais e integradas da seção da concentração de sedimento em suspensão, pelo método de amostragem por igual incremento de largura, utilizando-se de amostrador USDH-48 (AMS-1) e do nível de água na régua limimétrica na estação fluviométrica Baixo Caeté. A curva-chave de sedimento foi determinada pelo método de regressão linear entre  $Q_L$  e  $C_{SS}$ . Os resultados obtidos mostram variação entre a concentração de sedimento em suspensão média da seção transversal e a pontual, porém com elevado índice de correlação que permite a extrapolação. A curva-chave de sedimentos em suspensão é dada pela equação:  $C_{SS} = 4.4204 Q_L^{0.8656}$  onde  $Q_L$  é em  $m^3/s$  e  $C_{SS}$  em  $mg/L$ . A concentração de sedimento em suspensão varia com o tempo e no espaço exigindo medições periódicas.

*Palavras-chave:* Concentração de Sedimento em Suspensão; Curva-chave de Sedimento; Rio Caeté;

## **Abstract**

The present study evaluated the relationship between runoff ( $Q_L$ ) and suspension sediment concentration ( $C_{SS}$ ) in the Caeté river catchment in Alfredo Wagner city, Santa Catarina State. One-point and integrated measurements of the section of  $C_{SS}$ , were carried out with the sampling method for equal width increment at the Baixo Caeté gauge station. These measurements used the sampler USDH-48 (AMS-1) and the water-level demonstrated by the gauge ruler. The value of  $C_{SS}$  was determined by the linear regression method between  $Q_L$  and  $C_{SS}$ . Even though there was variation between the values gained with the one-point and the integrated measurements, its high correlation index permits the extrapolation. The obtained equation for this gauge station is:  $C_{SS} = 4.4204 Q_L^{0.8656}$ , where  $Q_L$  in  $m^3/s$  and  $C_{SS}$  in  $mg/L$ . The suspension sediment concentration varies with the time and in the space demanding periodic measurements.

*Keywords:* Suspended sediment concentration; Sediment-runoff equation; Caeté River.

## 1. Introdução

A avaliação correta do transporte de sedimentos em suspensão é importante entre outros estudos para a caracterização de bacias hidrográficas, quantificação de impactos do manejo do terreno e de alterações antrópicas.

A quantidade de sedimento em suspensão transportada pode variar consideravelmente no tempo. Um dos grandes problemas tem sido como entender a dinâmica dos processos a partir de medições pontuais em intervalos de tempo relativamente grandes. Pois, medições diárias podem esconder variações significativas, principalmente em pequenas e médias bacias hidrográficas.

O monitoramento, entendido como um processo contínuo de medição das características de um determinado fenômeno torna-se fundamental para a compreensão dos processos hidrossedimentológicos (Kobiyama et al., 2006). Porém, para o monitoramento automático, é necessária a calibração do sensor e a verificação periódica dos dados medidos, por meio de medições *in loco*, devido à gama de fatores que influenciam o monitoramento. Além de que nestes casos o sensor de sedimentos é fixo, ou seja, mede a concentração de sedimento em suspensão, de um determinado local da seção, não sendo representativo da seção toda, havendo para tal a necessidade de comparação entre as medições integralizadas da seção com a pontual.

A distribuição de sedimento transversalmente varia segundo a velocidade da corrente de água, a disponibilidade e a granulometria do sedimento. As partículas mais finas, como silte e argila apresentam uma distribuição aproximadamente mais uniforme na vertical, enquanto as partículas mais grossas apresentam uma variação crescente da superfície para o leito (Carvalho, 1994). Deste modo, as concentrações de sedimento geralmente são menores próximos às margens (Figura 1).

Para tanto é necessário dispor de uma série temporal longa e contínua da descarga sólida em suspensão. Tradicionalmente essa série é determinada através da chamada curva-chave de sedimentos que relaciona descarga sólida em suspensão e vazão líquida (Carvalho, 1994). Ela é obtida a partir de medidas de vazão líquida e a determinação simultânea da concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{SS}$ ).

A quantidade de sedimento transportado no curso fluvial está diretamente relacionada à quantidade do fluxo fluvial (vazão). Segundo Leopold e Maddock (1953) existe razoável correlação entre a carga do material em suspensão e o débito fluvial.

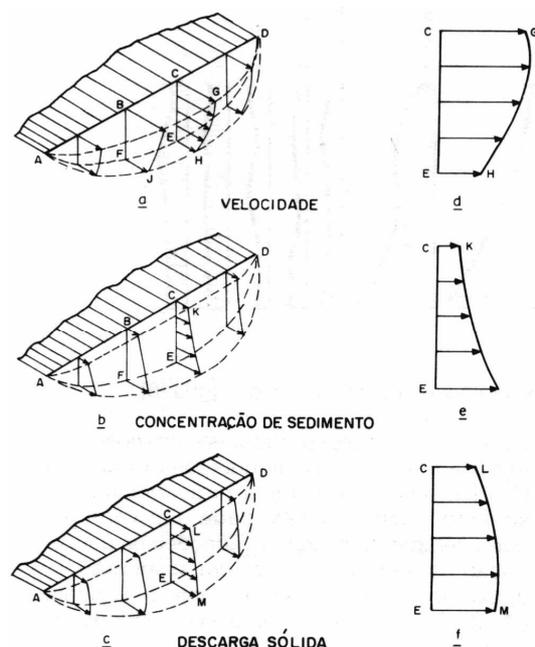


Figura 1 – Diagrama da distribuição da velocidade, da concentração de sedimento e da descarga sólida na seção transversal no curso de água (Carvalho, 1994)

A utilização da curva-chave de sedimentos decorre do fato de que a realização diária de coleta e análise de amostras é economicamente inviável, além de que deve ser executada por pessoal qualificado. Porém, em determinados casos o método da curva-chave de sedimentos tem se mostrado pouco preciso com um grau de dispersão bastante acentuado (Hicks et al., 2004). Isso decorrente dos fatores que influem no processo de transporte de sedimentos serem altamente variáveis no tempo e no espaço.

As concentrações de sedimentos e as vazões são influenciadas pela intensidade das precipitações e por sua distribuição; pela taxa de escoamento superficial; pelas distâncias percorridas; pelo armazenamento/mobilização dos sedimentos disponíveis e pela taxa de sedimentação (Williams, 1989).

Reid et al. (1997) destacam que vários são os fatores que influenciam a relação  $C_{SS}$  e  $Q_L$ , dentre eles apontam: 1) a intensidade da chuva; 2) a variação temporal e da forma do hidrograma - diante dos diferentes tipos de uso da terra que podem beneficiar ou dificultar a ocorrência dos processos erosivos; 3) a declividade da bacia hidrográfica; 4) a temperatura antecedente; e 5) as condições de umidade e descarga que influenciam na quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal.

A partir do grande número de fatores que interferem no transporte de sedimento, Carvalho (1994), Yang (1996), Julien (1998), Santos et al. (2001), entre outros destacam que a curva de sedimento pode também ser estabelecida por meio de relações com outras grandezas hidráulicas, como: nível d'água, profundidade, velocidade, declividade da linha d'água, tensão de cisalhamento, potência da corrente e potência unitária da corrente, entre outras.

Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar a concentração de sedimento em suspensão e estabelecer a curva-chave de sedimentos da bacia hidrográfica do Caeté (BHC), município de Alfredo Wagner/SC.

## 2. Área de estudo

A BHC localiza-se no município de Alfredo Wagner, região serrana do Estado de Santa Catarina, entre as latitudes  $27^{\circ} 52' 43''$  S e  $27^{\circ} 41' 49''$  S e longitudes  $49^{\circ} 20' 45''$  W e  $49^{\circ} 11' 17''$  W e apresenta uma área de  $163 \text{ km}^2$  (Figura 2). De acordo com Vestena et al. (2006) a bacia apresenta alta densidade de rios e de drenagem, decorrentes principalmente do relevo fortemente dissecado, caracterizadas pelo predomínio de corredeiras, saltos e cachoeiras.

O relevo é extremamente ondulado com encostas íngremes, onde atividades de uso inadequadas do solo na bacia tornam mais suscetíveis as ocorrências dos processos erosivos, destacam Checchia et al. (2006). A intervenção humana, através da agricultura em áreas com grande declividade e o desmatamento de encostas e margens de rios, propicia a redução da infiltração de água no solo e, por conseguinte, o aumento do fluxo superficial, desencadeando fluxo torrencial e elevada carga sedimentar no curso fluxo.

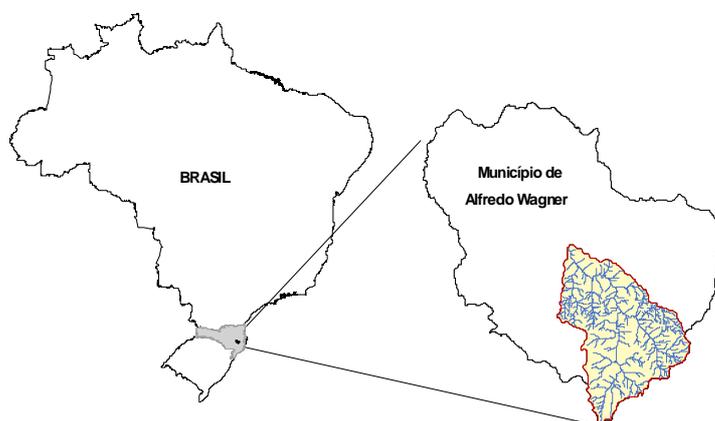


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do Caeté

O clima predominante na BHC é o mesotérmico úmido, com verões frescos, amenizados pelas altitudes, e temperaturas anuais médias entre 16°C e 20°C, inverno frio, com a ocorrência de geadas. As chuvas são abundantes e distribuídas ao longo do ano, com precipitações anuais em torno de 1700 mm (Santa Catarina, 1986).

Na Figura 3 apresenta-se um croqui da área da exutória da BHC onde foram realizadas as medições hidrossedimentológicas.

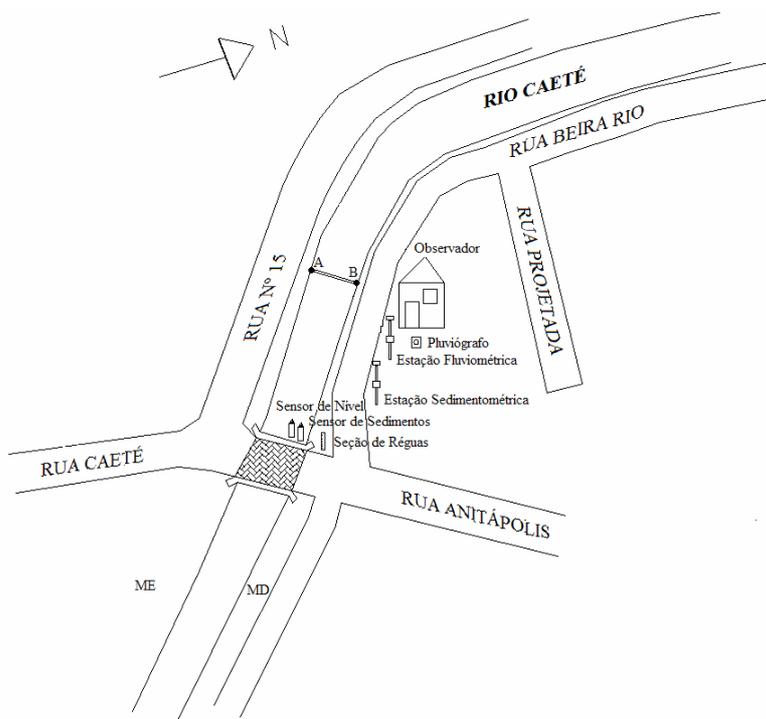
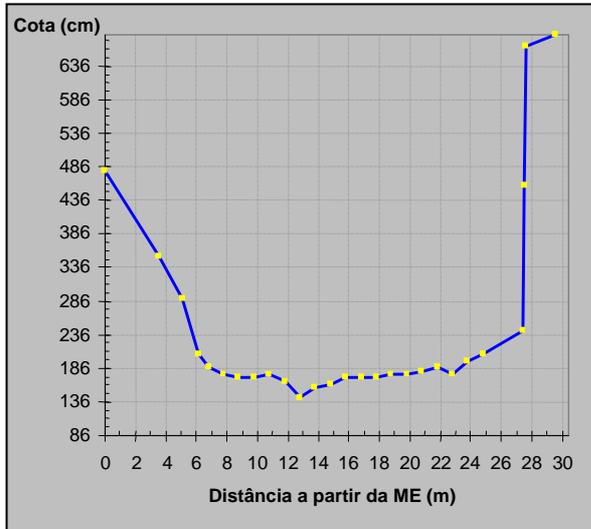


Figura 3 – Croqui da seção transversal de medição na exutória da BHC

### 3. Materiais e métodos

Os dados fluviométricos empregados foram obtidos a partir de leituras da régua linimétrica da estação fluviométrica Baixo Caeté, código 83101000 - ANA (Agência Nacional de Águas), localizada na exutória da BHC, na longitude 49° 20'0,40" W com a latitude 27°42'18,13" S, a uma altitude de 475 metros, monitorada pela EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.).

Para a determinação da concentração de sedimento em suspensão na seção transversal do Rio Caeté (Figura 4a) utilizou-se de um amostrador de sedimentos, modelo USDH-48 (AMS-1) (Figura 4b), por meio de amostras integradas na profundidade, pelo método de amostragem por Igual Incremento de Largura (IIL) (Carvalho et al., 2000).



a - Perfil transversal da seção do Rio Caeté (A-B)

b - Amostrador USDH-48 (MAS-1) em operação

Figura 4 – Perfil transversal da Seção do Rio Caeté (A-B) e amostrador de  $C_{SS}$  em operação

O método de IIL por sua simplicidade é um dos métodos mais utilizados. A área da seção transversal é dividida numa série de verticais igualmente espaçadas, no caso, realizou-se em 10 verticais. Em cada vertical se utiliza a amostragem por integração na vertical, mas com a mesma velocidade de trânsito em todas as verticais. As subamostras obtidas foram combinadas em uma amostra composta (Figura 5) (Carvalho et al. 2000).

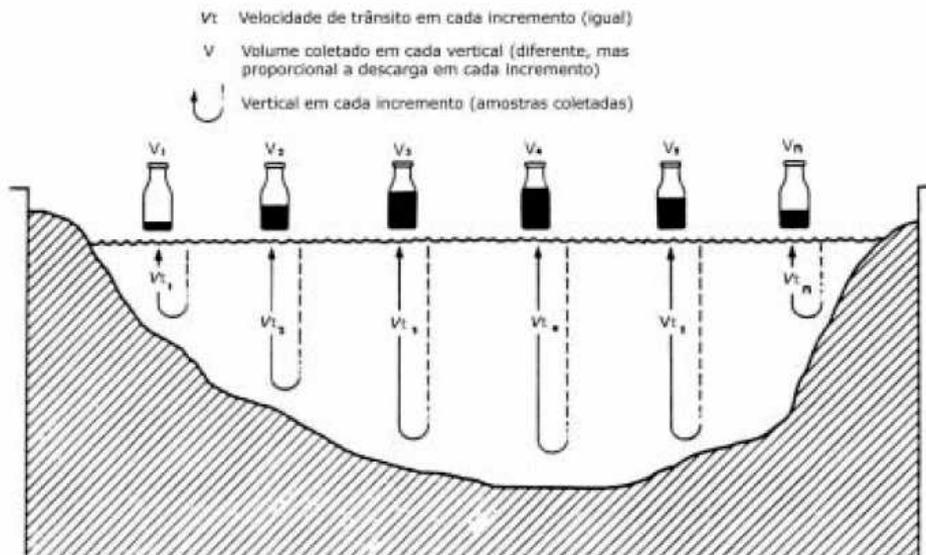


Figura 5 – Amostragem pelo método de IIL (Carvalho et al., 2000)

A determinação da concentração de sedimento em suspensão foi realizada por ensaio de filtração no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A  $C_{SS}$  média da seção transversal do curso fluvial foi correlacionada com a  $C_{SS}$  pontual e a curva-chave de sedimentos estabelecida pelo método da regressão linear, dado pela equação:  $C_{SS} = a.Q_L^b$ , onde,  $C_{SS}$  é a carga de sedimentos em suspensão,  $Q_L$  é a débito fluvial, e  $a$  e  $b$  são constantes numéricas. Quanto maior o valor do coeficiente “ $b$ ”, mais rápida será a resposta do fluxo de sedimentos em relação às variações de vazão.

#### 4. Resultados e discussões

O leito da margem direita (MD) é determinado por um gabião construído para evitar ato erosivo e desbarrancamento da encosta, dificultar o extravasamento fluvial, e conseqüentemente, diminuir ocorrências de inundação na cidade de Alfredo Wagner/SC (Figura 4a).

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos da  $C_{SS}$  médio e pontual. Nesta verifica-se uma pequena diferença entre a  $C_{SS}$  pontual e a  $C_{SS}$  média da seção transversal do curso fluvial (Figura 7). As mesmas apresentaram índice de correlação confiáveis ( $r = 0.997$ ), sendo que a  $C_{SS}$  pontual mostrou-se superior em algumas medições em relação a  $C_{SS}$  média da seção transversal.

Tabela 1 – Dados da  $C_{SS}$  média e pontual

Data	Horário	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	$C_{SS}$ (mg/L) pontual (A)	$C_{SS}$ (mg/L) média (B)	Diferença (%)
01/08/2007	16:26	2.33	3.25	3.25	0.00
21/09/2007	16:30	9.97	189.00	152.00	19.58
11/10/2007	15:00	1.46	3.00	7.00	-133.33
12/10/2007	10:00	3.02	18.00	12.00	33.33
13/10/2007	08:30	6.75	31.00	19.00	38.71
13/10/2007	16:30	5.16	14.00	14.00	0.00
02/01/2008	19:57	6.19	65.00	49.50	23.85
03/01/2008	09:18	3.40	39.50	30.50	22.78

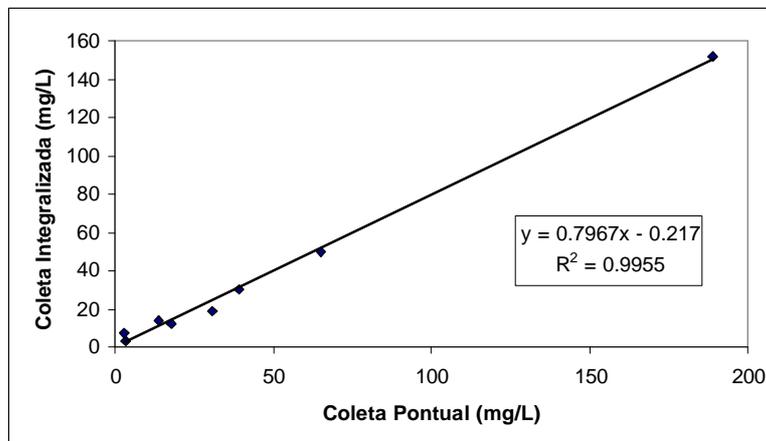


Figura 7 – Relação entre a  $C_{SS}$  pontual e média da seção fluvial

Os aspectos fluviais do Rio Caeté e as características da BHC, principalmente a grande diferença altimétrica entre as nascentes e a exutória, associados à solos rasos, que beneficiam o escoamento superficial em detrimento da infiltração, acabam por determinar um tempo de concentração pequeno (resposta hidrológica, após evento pluviográfico) e um fluxo turbulento decorrente de corredeiras e cachoeiras, com queda de nível, que de modo geral favorecem a dispersão dos sedimentos ao longo da seção transversal fluvial.

A curva-chave de sedimento em suspensão (Figura 8) determinada pela análise de regressão linear entre a  $Q_L$  ( $m^3/s$ ) e a  $C_{SS}$  (mg/L) (Tabela 2) para a BHC é expressa na equação:  $C_{SS} = 4.4204 Q_L^{0.8656}$ , com um  $r$  igual a 0.866.

Tabela 2 – Dados utilizados na determinação da curva-chave de sedimentos em suspensão

Data	Horário	Cota (cm)	Vazão ( $m^3/s$ )	$C_{SS}$ (mg/L)
01/08/2007	16:26	218	2.33	3.25
21/09/2007	16:30	248	9.97	152.00
11/10/2007	15:00	212	1.46	3.00
12/10/2007	10:00	222	3.02	12.00
13/10/2007	08:30	238	6.75	19.00
13/10/2007	16:30	232	5.16	14.00
02/01/2008	19:57	236	6.19	49.50
01/02/2008	14:30	270	19.85	46.50*
03/01/2008	09:18	224	3.40	30.50
01/02/2008	13:15	272	20.96	47.50*
01/02/2008	07:40	290	32.66	68.00*
31/01/2008	18:20	450	319.98	480.00*

Nota: \* Dados pontuais da  $C_{SS}$  extrapolados.

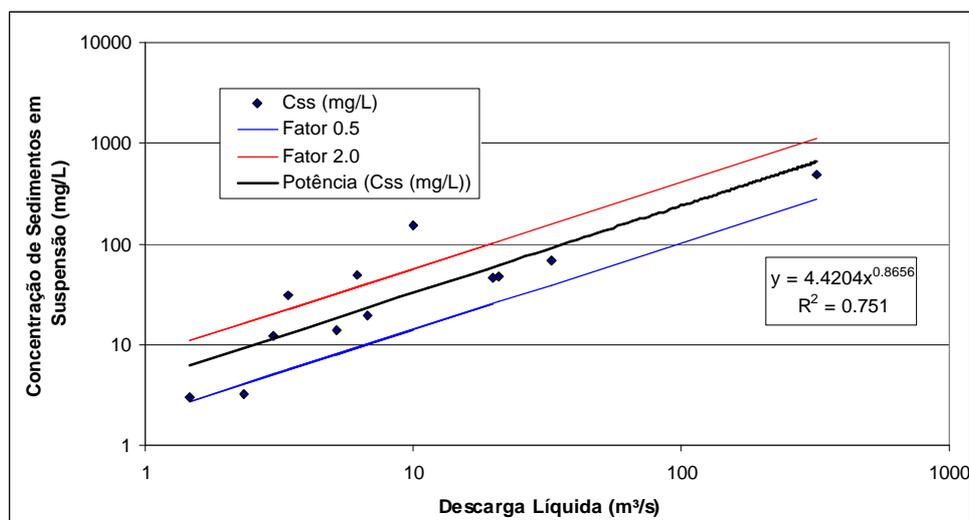


Figura 8 – Curva-chave de sedimentos em suspensão

## 5. Conclusões e considerações

A  $C_{SS}$  varia ao longo da seção transversal do Rio Caeté. Está apresentou grau de correlação elevado quando comparadas medições pontuais e integralizadas da seção. Dessa forma medidas pontuais podem ser extrapoladas para a seção transversal (média).

A  $C_{SS}$  pode ser obtida por meio da expressão  $4.4204 Q_L^{0.8656}$ , obtida da regressão linear entre estas variáveis.

A  $C_{SS}$  varia no tempo e no espaço exigindo medições em intervalos de tempo reduzidos, para que se possa entender a dinâmica dos processos hidrossedimentológicos, pois medições com grandes intervalos de tempo entre estas podem esconder variações significativas, principalmente em pequenas e médias bacias hidrográficas.

## Bibliografia

Carvalho, N. de O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

Carvalho, N. O.; Filizola JR, N. P.; Santos, P. M. C.; Lima, J. E. F. W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL, 2000, 132p.

Checchia, T.; Vestena, L. R.; Kobiyama, M.; Schröder, P. H. Interação entre climatologia, geologia e geomorfologia na bacia hidrográfica do Caeté, município de Alfredo Wagner, SC. In: XV Semana de Geografia, 4., 2006, Guarapuava. *Anais...* Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2006. p. 121-133.

Hicks, D.; Gomez, B.; Trustrum, N. A. Event suspended sediment characteristics and the generation of hyperpycnal plumes at River Mouths: East Coast Continental Margin, North Island, New Zealand. *The Journal of Geology*. v. 112, p. 471-485, 2004.

Julien, P. Y. *Erosion and Sedimentation*. New York: Cambridge University Press, 1998. 280p.

Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D. A.; Marcelino, I. P. O.; Marcelino, E. V.; Gonçalves, E. F.; Brazetti, L. L. P.; Goerl, R. F.; Moller, G. S. F.; Rudorff, F. M. *Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos*. 1ª ed. Curitiba: Organica Trading, 2006. v. 1. 109p.

Reid, I.; Barthurst, J. C.; Carling, P. A.; Walling, D. E.; Webb, B. Sediment Erosion, Transport and Deposition. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D. & NEWSON, M. D. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. New York: John Wiley & Sons, 1997. p. 95-135.

Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. *Atlas do Estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, 1986. 173 p.

Santos, I.; Fill, H. D.; Sugai, M. R. V. B.; Buba, H.; Kishi, R. T.; Marone, E.; Lautert, L. F. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

Vestena, L. R.; Checchia, T.; Kobiyama, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia Regional Conference on Geomorphology, 6., 2006, Goiânia. *Anais/Actes...* Volume II. Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira / International Association of Geomorphologists, 2006. 1 CD-ROM

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

Yang, C. T. *Sediment transport: Theory and practice*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996. 396p.