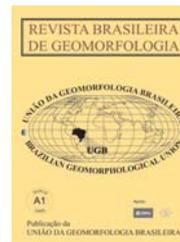




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, nº 1 (2013)



ANÁLISE DAS MUDANÇAS MORFOLÓGICAS EM SEÇÕES TRANSVERSAIS AO RIO MACAÉ/RJ

GEOMORPHIC CHANGES IN CROSS-SECTION MONITORING DATA ANALYSIS INSIDE MACAÉ RIVER/RJ

Mônica dos Santos Marçal

*Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação de Solos- LAGESOLOS/UFRJ. - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Departamento de Geografia. - Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza - Bloco I, sala I-09, Ilha do Fundão - CEP 21.941-909 - Rio de Janeiro/RJ.
E-mail: monicamarcal@ufrj.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
27/09/2012

Data de Aprovação:
03/06/2013

Palavras-chave:

Monitoramento em seções transversais; parâmetros estatísticos; rio Macaé.

Keywords:

Cross-section monitoring data; statistics parameters; Macaé river.

Resumo

O trabalho foi desenvolvido no rio Macaé, norte do estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de analisar uma série de levantamentos das profundidades do canal realizados em seções transversais. Foram implantadas seis seções transversais no rio Macaé antes e após as confluências com seus tributários rios Sana, D'Antas e São Pedro no médio/superior, médio/baixo e baixo curso, e avaliados a partir da aplicação de parâmetros estatísticos propostos por Olson-Rutz & Marlow (1992) na análise das mudanças de área e forma das seções transversais. As medidas foram realizadas entre os meses de Outubro de 2007 e Março de 2012. Em todas as seções transversais, a morfologia do canal variou de acordo com os períodos de maior ou menor concentração de chuvas na região. Os valores dos percentuais, líquidos e absolutos, das áreas das seções transversais foram positivos indicando predominância de processos fluviais de deposição no canal e os valores foram muito semelhantes entre as seções de anteriores e posteriores a cada confluência, com exceção da confluência com o rio São Pedro, onde as variações foram diferentes e mais acentuadas. Em todas as seções transversais, os valores de coeficiente Gini, usado para avaliar a forma do canal, foram mais próximos de 0 (zero) indicando que a forma do canal Macaé tende a ser mais plano ou raso e mais amplo, com exceção da seção transversal localizada mais à montante do rio Macaé. Dessa forma, a avaliação das mudanças morfológicas do rio Macaé, para o período de monitoramento, apresentou comportamento e tendência dos processos fluviais predominante de deposição para as seis seções transversais analisadas.

Abstract

This work was developed in the Macaé channel, north of the Rio de Janeiro state, with the aim of analyzing the data from consecutive surveys of channel depths made in cross sections. Six cross sections were implanted in Macaé channel before and after the confluence with the Sana, D'Antas and São Pedro Rivers in the medium/high, medium/low and downstream, respectively, and applied statistical parameters proposed by Olson-

Rutz & Marlow (1992) to assess changes in size and shape of the cross sections. Measurements were taken between the months of October 2007 and March 2012. In all cross sections, the channel morphology varied with periods of greater or lesser concentration of rainfall. The net and absolute percentage values of cross sections were positive indicating a predominance of fluvial processes of deposition in the channel and these values were very similar between the sections before and after each meeting, except the confluence with São Pedro River, where the variations were different and more pronounced. In all cross sections, the Gini coefficient values, used to assess the shape of the channel, were closer to 0 (zero) indicating that the Macaé channel tends to be flat or shallow and wider, with the exception of the cross section upstream Macaé River. Thus, the assessment of morphological changes of the Macaé channel, for the monitoring period, showed a trend of fluvial processes predominant deposition, at the six cross sections.

Introdução

As variações na produção e distribuição de sedimentos em bacias hidrográficas estão relacionadas diretamente com a magnitude e frequência dos processos naturais e/ou interferências antrópicas nos sistemas fluviais podendo estes ser responsáveis, em muitos casos, por um longo histórico de mudanças e ajustes nas formas e padrões dos rios. Assim, o conhecimento do comportamento dos canais fluviais, das mudanças e ajustes que adquirem com o tempo, tem sido um dos principais desafios a pesquisadores e gestores na construção de metodologias de manejo dos rios.

Os rios nunca são estáticos e seu comportamento pode ser definido a partir dos ajustes na sua morfologia induzidos por uma série de parâmetros processuais (de erosão e deposição), pelos quais a água modela e refaz formas fluviais produzindo ambientes com características que se diferenciam dentro e entre as paisagens (Brierley & Fryrs, 2005).

Nesse sentido, inúmeros são os processos envolvidos na construção e evolução dos ambientes fluviais, onde mudanças espaciais e temporais ocorrem em intervalos variados de tempo. Para diversos autores (Schumm, 1977; Christofolletti, 1981; Cooke & Doornkamp, 1994; Cunha, 2003; Ro Charlton, 2008), os estudos que abordam a morfologia dos canais fluviais apontam que parâmetros geomorfológicos, hidrológicos e sedimentológicos, juntos, exercem forte influência na dinâmica e forma dos canais e as mudanças de comportamento ou mesmo variações na morfologia podem ser observadas através da análise da geometria do canal, tanto na sua forma em planta como em perfil transversal. Simon & Castro (2003) destacam que na análise em perfil inclui-se largura e profundidade e características relacionadas ao leito, margens, planície de inundação e terraços. Já na forma em planta, as características referentes à sinuosidade, circunferência dos meandros, entrelaçamento e canais abandonados.

Segundo Cooke & Doornkamp (1994), as propriedades geométricas do canal (largura, profundidade e declividade) definem a sua forma tridimensional e estão sujeitas a sempre sofrerem mudanças, conforme as transformações que acontecem na bacia hidrográfica. O levantamento sistemático, através de seções transversais ao canal pode ajudar a avaliar

as características e comportamento do canal em determinado período de monitoramento. Para superar a simples análise visual de perfis transversal superpostos, a utilização de técnicas estatísticas na análise da geometria da seção transversal pode ser empregada visando à quantificação da variação da seção transversal, ao longo do tempo (Olson-Rutz & Marlow, 1992).

No Brasil, destacam-se alguns trabalhos que avaliam a morfologia dos canais fluviais a partir do monitoramento em seção transversais. Fernandez *et. al.*, (2001) aplicam as técnicas de levantamento e análise proposta por Olson-Rutz & Marlow (*op.cit*) num córrego urbano de segunda ordem e apontam que os índices são importantes na quantificação da variação da seção transversal ao longo do tempo, podendo inclusive serem utilizados para analisar perfis transversais obtidos por meio de levantamentos batimétricos para rios de médio e grande porte.

No estado do Rio de Janeiro, Oliveira & Mello (2007) monitoraram a morfologia do canal do rio São João através de seções transversais para avaliar a interferência da atividade de mineração na dinâmica fluvial nas áreas de extração, durante o funcionamento dos areais e após o seu fechamento. Já Vieira & Cunha (2008) avaliaram os ajustes ocorridos na morfologia do canal dos rios urbanos de 3ª ordem na cidade de Teresópolis, através de dados em seções transversais coletados em 1997/98 e em 2001. A capacidade do canal foi calculada pela diferença entre os valores de largura e profundidade alcançados através de levantamentos consecutivos que, segundo as autoras, indicaram a tendência erosiva ou deposicional do rio na sua seção transversal.

Nesta perspectiva, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar dados de levantamentos consecutivos de profundidades em seções transversais ao rio Macaé, nas áreas de confluência com importantes tributários, como forma de avaliar o comportamento do rio Macaé e fornecer subsídios para o reconhecimento das respostas do sistema fluvial às intervenções natural e antrópica, às quais vem sendo submetido. As avaliações nas mudanças de área e forma das seções transversais foram realizadas a partir de índices e parâmetros estatísticos propostos por Olson-Rutz & Marlow (1992).

Área de Estudo

O Rio Macaé tem sua nascente na região serrana ao norte do Estado do Rio de Janeiro, no município de Nova Friburgo. Encontra-se no contexto da Serra do Mar, onde

nasce com altitude aproximada de 1.600 metros, e percorre 136 quilômetros até desaguar no Oceano Atlântico, próximo à cidade de Macaé (Figura 1A).

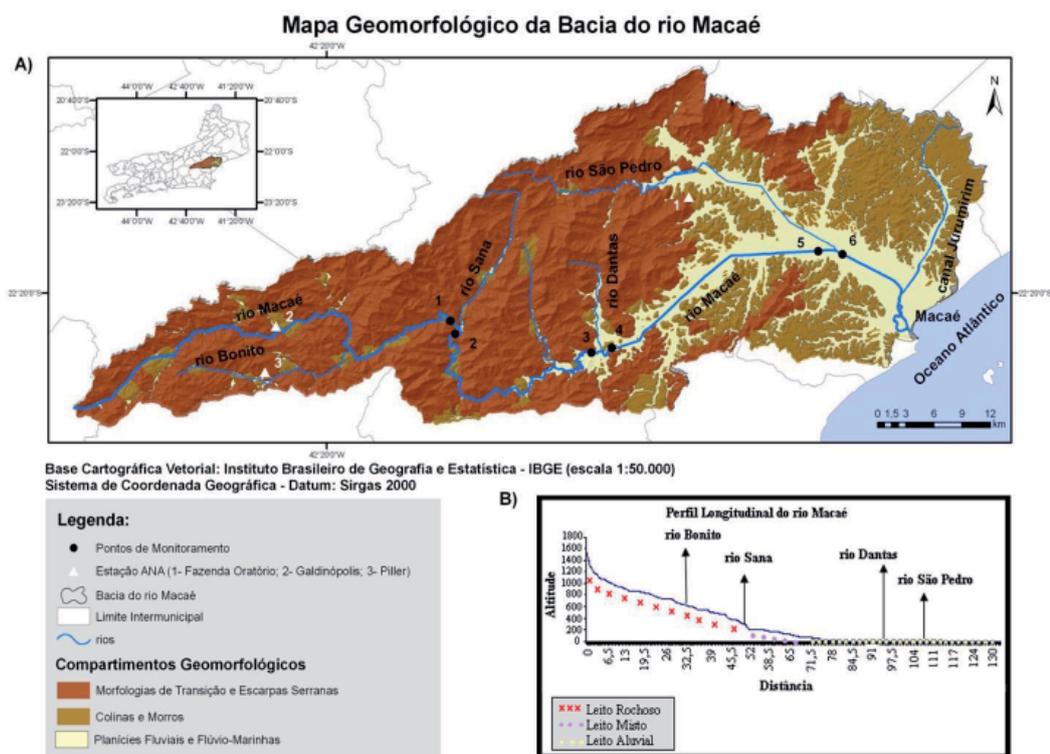


Figura 1 – (A) Localização da área de estudo e distribuição dos pontos de monitoramento por seção transversal ao rio Macaé. (B) Perfil Longitudinal do Rio Macaé. Fonte: LAGESOLOS/R.N.S.Lima e modificado por P.S.Amadeu.

Ao longo de seu percurso, o rio Macaé atravessa diferentes compartimentos geológicos, cujo embasamento rochoso está relacionado às rochas pré-cambrianas, em sua maioria metamórfica, composta por diversos tipos de gnaisses de origem metassedimentares e ortognaisses bandados e dobrados, entremeadas às rochas graníticas pós-tectônicas que juntos compõem o complexo de rochas denominado “Serra Macaé de Cima” (Silva & Cunha, 2001). Em menor extensão, o rio percorre rochas sedimentares relacionadas ao Grupo Barreiras de idade Plio-Pleistoceno e sedimentos quaternários que ocorrem de forma expressiva nas planícies fluviais do rio Macaé (Figura 1B).

A compartimentação geomorfológica da bacia é condicionada pela estruturação geológica da região e definida em Morfologias de Transição e Escarpas Serrasanas (acima de 200 metros), Colinas e Morros (20 a 200 metros) e Planícies Fluviais (até 20 metros) (Figura 1A). A configuração geológico-geomorfológica caracteriza

grande parte do sistema hidrográfico da bacia do rio Macaé como zonas de produção de sedimentos nas áreas mais elevadas da bacia, com cerca de 1.100 km² (61% da área da bacia) drenadas por estilos fluviais com elevada energia e potencial erosivo que apresentam implicações no fluxo de água e sedimentos ao longo do sistema como um todo. E nas áreas mais baixas (caracterizadas por morros, colinas e planícies fluviais), denominadas como zonas de transferências, correspondem à cerca de 530 km² (29% da área da bacia) onde predominam processos de transporte gradual de sedimentos em detrimento da produção (Lima & Marçal, *no prelo*).

Destaca-se que vários canais na planície fluvial do rio Macaé tiveram seus canais modificados através de obras de retificação realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) durante a década de 1960 a 1980 (Marçal & Luz, 2003; Marçal, *et al.*, 2009).

Metodologia

Os métodos usados no trabalho foram baseados tanto em Olson-Rutz & Marlow (1992) quanto Fernandez, *et al.*, (2001), os quais apresentam as técnicas de análise e construção de seções transversais em canal fluvial e índices e parâmetros estatísticos para avaliar a variação da área e da forma do canal.

Foram implantadas seis seções transversais no canal Macaé, próximas à desembocadura de três principais afluentes: rios Sana, D'Antas e São Pedro localizados no médio/superior, médio/baixo e baixo curso, respectivamente. Em cada desembocadura, foram instaladas duas seções transversais, aproximadamente 100 metros antes e após as confluências, para avaliar a contribuição no aporte de sedimentos dos afluentes no canal Macaé. As medidas foram realizadas sistematicamente sempre nos meses de Abril (final do período chuvoso) e Outubro (final do período seco). O início do monitoramento foi em Outubro de 2007 e o último em Março de 2012, mas devido às dificuldades encontradas em campo, o monitoramento não foi realizado de forma contínua em todas as seções transversais.

Em cada seção transversal foram colocadas estacas fixas nas margens do rio e tensionado cabo de aço, por onde foram tomadas as medidas da calha fluvial até a lâmina d'água, em intervalos de 50 em 50 cm. Foram obtidos dados da estação Pluvio-Fluviométrica "Galdinópolis" do site ANA- Hidroweb (2008), localizada próximo à nascente do rio Macaé, a cerca de 740 metros de altitude.

Na quantificação da variação da área e da forma do canal foram aplicados quatro parâmetros estatísticos, conforme descritos em Olson-Rutz & Marlow (1992) e Fernandez *et al.* (2001):

Índice de Forma do Canal (F) ou Razão w/d (largura/ profundidade): descreve a mudança na profundidade do canal. A largura é a extensão da seção transversal, e a profundidade é a média das profundidades, tendo como referência o mesmo nível. Quando os valores de F são elevados, indica canais rasos e largos e quando os valores de F são baixos, correspondem a canais estreitos e profundos. E para se conhecer a tendência do processo dominante na área da seção transversal faz-se a diferença entre os valores de F obtidas nos levantamentos consecutivos ($\Delta F = F_{post} - F_{ant}$). Um valor negativo de ΔF indica predominância de erosão e valores positivos, o de deposição.

Variação do Percentual líquido da área ($\Delta A\%$): quantifica a mudança na área da seção transversal. Um valor negativo de $\Delta A\%$ indica predominância de erosão e valores positivos, o de deposição. Destaca-se que, se uma degradação em determinado ponto da seção for igual ao valor de deposição, isso resultará na não mudança do percentual líquido da área podendo conferir uma falsa impressão de estabilidade do canal.

$$\Delta A\% = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \text{ antes} - y_i \text{ depois})}{\sum_{i=1}^n y_i \text{ antes}}$$

$$\Delta A\% = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \text{ antes} - y_i \text{ depois})}{\sum_{i=1}^n y_i \text{ antes}}$$

Onde, Y_i corresponde à profundidade do canal, n é o total de leituras de profundidade, Y_{antes} e Y_{depois} são os levantamentos anterior e posterior, para cada comparação.

Variação do Percentual absoluto da área ($|\Delta A\%|$): quantifica todo movimento de material do canal na seção transversal.

$$|\Delta A\%| = \frac{\sum_{i=1}^n |(y_i \text{ antes} - y_i \text{ depois})|}{\sum_{i=1}^n y_i \text{ antes}}$$

$$|\Delta A\%| = \frac{\sum_{i=1}^n |(y_i \text{ antes} - y_i \text{ depois})|}{\sum_{i=1}^n y_i \text{ antes}}$$

Coefficiente de GINI (média aritmética da diferença entre pares de profundidade ($Y_i - Y_j$): descreve a distribuição das profundidades mensuradas no canal.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |y_i - y_j|}{2n^2 \bar{Y}} \quad G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |y_i - y_j|}{2n^2 \bar{Y}}$$

Para Olson-Rutz & Marlow (1992) e Fernandez *et al.*, (2001) os valores de $|\Delta A\%|$ representam a porcentagem total da área da seção afetada pela erosão e a deposição. Já os valores de $\Delta A\%$ apontam para a predominância do processo (erosão ou deposição) em cada seção monitorada, sendo que, quando negativos, indicam predominância de erosão e valores positivos, deposição.

As medidas entre o cabo de aço e o leito do rio foram utilizadas para o cálculo das seções transversais para os sucessivos levantamentos. As estacas foram implantadas nas áreas da planície fluvial do rio (nível da descarga máxima do rio) com o objetivo de mensurar as alterações nas margens e no fundo do leito. A partir dos valores alcançados, foram construídos tabelas e gráficos utilizando os programas *Microsoft Excel* e *ArcGIS 9.3*.

Resultados e Discussões

As variações de área do canal entre Outubro de 2007 a Março de 2012

Em todas as seções transversais a morfologia do canal variou de acordo com os períodos de maior ou menor concentração de chuvas na região (Figura 2). Os meses de Outubro são caracterizados por apresentar um volume de chuva e vazão dos rios bem menor em relação aos meses de Março e isso, geralmente, corresponde a um aumento (erosão) e

diminuição (deposição) nas áreas das seções transversais para esses períodos, respectivamente (ANA - Hidroweb, 2005).

As análises das variações de área da seção transversal foram realizadas a partir dos parâmetros estatísticos como o Índice de Forma do Canal e através da Variação Relativa e Absoluta da Área. A seguir são apresentados os resultados alcançados para as seis seções transversais no rio Macaé, antes e após as confluências.

Médio/Alto curso do Rio Macaé, confluência com rio Sana (Seções Transversais 1 e 2)

A área de confluência está localizada em Domínio Montanhoso com abertura de vale em formato de alvéolo fluvial com formação de planície de inundação e terraços fluviais (Figura 1). Neste trecho, o rio Macaé apresenta sinuosidade 0,019 e com gradiente do talvegue 0,026. Há o predomínio de vegetação nas encostas, mas com vegetação ripária escassa à medida em que se aproxima do baixo curso do rio Macaé. O trecho que se segue após a confluência é marcado pela presença de ilhas vegetadas de variados tamanhos.

A *Seção Transversal 1* está localizada antes da confluência em área conhecida localmente como “poção” por ser uma depressão que faz com que a variação do nível d’água, nesse ponto, seja baixa em decorrência da zona de remanso formada antes da confluência (Figuras 1A e 2). A *Seção Transversal 2* está localizada após a confluência, numa área caracterizada pela ocorrência de ilhas fluviais de grande variedade granulométrica (Figuras 1A e 2).

Os valores correspondentes às variações das áreas nas duas seções transversais alternaram-se em relação à predominância de processo de erosão e sedimentação (Tabelas 1 e 2). No entanto, a soma dos valores de variação absoluta ($|\Delta A\%$) para estas duas seções transversais foram de 168,5% e 66,02%, respectivamente, indicando maiores mudanças da área total da seção transversal à montante da confluência (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%$) referentes à Seção Transversal 1 localizada no rio Macaé, antes da confluência com rio Sana.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\%$	Processo Dominante	
Seção Transversal 1	1º Levantamento - Out07	88,1	14,06			
	2º Levantamento - Mar08	91,0	13,62	-3,17	29,3	Erosão
	Diferença	-3,0	-0,43			
	2º Levantamento - Mar08	91,0	13,62			
	3º Levantamento - Out08	100,3	12,37	-10,11	13,7	Erosão
	Diferença	-9,3	-1,25			
	3º Levantamento - Out08	100,3	12,37			
	4º Levantamento - Mar09	112,4	11,04	-12,06	16,5	Erosão
	Diferença	-12,1	-1,33			
	4º Levantamento - Mar09	112,4	11,04			
	5º Levantamento - Out09	72,0	17,21	35,84	36,3	Deposição
	Diferença	40,5	6,17			
	5º Levantamento - Out09	72,0	17,21			
	6º Levantamento - Out10	68,5	18,08	4,85	15,4	Deposição
	Diferença	3,5	0,88			
	6º Levantamento - Out10	68,5	18,08			
7º Levantamento - Out11	53,0	23,34	22,53	28,5	Deposição	
Diferença	15,4	5,26				
7º Levantamento - Out11	53,0	23,34				
8º Levantamento - Mar12	79,5	15,58	-16,08	28,8	Erosão	
Diferença	-26,5	-7,76				

Tabela 2 – Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%$) referentes à Seção Transversal 2 localizada no rio Macaé, depois da confluência com rio Sana.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\%$	Processo Dominante	
Seção Transversal 2	1º Levantamento - Out07	157,8	16,31			
	2º Levantamento - Mar08	179,6	14,30	-14,1	16,31	Erosão
	Diferença	-21,8	-2,02			
	2º Levantamento - Mar08	179,6	14,30			
	3º Levantamento - Out08	157,7	16,31	12,34	14,32	Deposição
	Diferença	21,9	2,01			
	3º Levantamento - Out08	157,7	16,31			
	4º Levantamento - Mar09	153,4	16,74	2,57	3,21	Deposição
	Diferença	4,3	0,43			
	4º Levantamento - Mar09	153,4	16,74			
	5º Levantamento - Out09	152,1	16,89	0,86	12,63	Deposição
	Diferença	1,3	0,15			
	5º Levantamento - Out09	152,1	16,89			
	6º Levantamento - Mar10	142,2	18,09	6,67	9,2	Deposição
Diferença	9,9	1,21				
6º Levantamento - Mar10	142,2	18,09				
7º Levantamento - Out10	150,7	17,06	-6,07	10,35	Erosão	
Diferença	-8,5	-1,04				

A diferença entre as somas dos valores acumulados de variação do percentual líquido da área ($\Delta A\%$) nos períodos em que predominaram a deposição e a erosão, em cada seção transversal, irá corresponder ao percentual (ou área) modificado, após as precipitações ocorridas no período de monitoramento. Assim, tem-se para antes da confluência (ST 1) valores de $\Delta A\%$ negativos de 41,42% (indicando predomínio de erosão com aumento de área) e os positivos de 63,22% (indicando predomínio de deposição com diminuição de área). Observa-se que os valores de Índice de Forma do Canal (F) também são positivos e negativos para o predomínio de processos de deposição e erosão, respectivamente. Com isso, a diferença entre os valores acumulados de $\Delta A\%$ nos períodos em que predominou a deposição (63,22%) e a erosão (41,42%), indica que a área da seção transversal, no período do monitoramento, diminuiu 21,8%, ou 8,5 m², sendo este último valor também calculado através da diferença entre as áreas do primeiro e último levantamento (Tabela 1). Já para a seção transversal à jusante da confluência (ST 2), os valores de $\Delta A\%$ negativos (erosão) correspondem a 20,17% e os positivos (deposição), a 22,44%. A diferença entre esses valores de deposição e erosão é de 2,27%, ou 7,11 m². Apesar de ter havido para as duas seções transversais (antes e após a confluência) valores próximos na variação do percentual líquido da área ($\Delta A\%$), observa-se que para a seção transversal antes da confluência obtiveram-se valores bem diferentes entre os do predomínio de processos de erosão e deposição, diferentemente do que ocorreu com a seção transversal à jusante da confluência.

No entanto, apesar da *Seção Transversal 2* ter um número menor de levantamentos consecutivos (de Outubro de 2007 a Outubro de 2010) em relação à *Seção Transversal 1* (de Outubro de 2007 a Março de 2012), observa-se que para um mesmo período de monitoramento para ambas seções transversais (de Outubro de 2007 a Outubro de 2010) há o predomínio dos processos de deposição entre ambas as seções sendo que, neste caso, a ST 1 dos valores de $\Delta A\%$ positivos é igual a 40,69% e os valores negativos, a 25,34% (Tabelas 1 e 2).

Ou seja, para o período do monitoramento, tem-se na seção transversal à montante da confluência maior variação da área absoluta e relativa com o predomínio do processo de deposição. Já na seção transversal à jusante da confluência, esses valores de variação são menores, porém, também, com o predomínio do processo de deposição, mas em percentuais bem menores que a ST 1.

Médio/Baixo curso do Rio Macaé, confluência com rio D'Antas (Seções Transversais 3 e 4)

A área de confluência está localizada em Domínio Colinoso entremeado a Morros e em ampla Planície Fluvial (Figura 1). Neste trecho, o rio Macaé apresenta sinuosidade de 0,010 e gradiente do talvegue 0,02 e com ausência de vegetação ribeirinha. A confluência com o rio D'Antas fica cerca de 200 metros acima do início do trecho retificado do rio Macaé.

A *Seção Transversal 3* está localizada antes da confluência, próximo à estação de captação de água da CEDAE e a *Seção Transversal 4* está localizada após a confluência e cerca de 200 metros à montante do trecho retificado do rio Macaé (Figuras 1A e 2).

Os valores correspondentes às variações das áreas nas duas seções transversais não se alternaram em relação à predominância de processo de erosão e sedimentação havendo maior predominância dos processos de deposição em ambas as seções transversais (Tabelas 3 e 4). A soma de $|\Delta A\%|$ para estas duas seções transversais foram de 101,55% e 61,1%, respectivamente, havendo também, maiores mudanças da área da seção transversal à montante da confluência (Tabela 3).

Tabela 3 – Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%|$) referentes à Seção Transversal 3 localizada no rio Macaé, antes da confluência com rio D'Antas.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\% $	Processo Dominante
Seção Transversal 3	1º Levantamento - Out07	88,9	10,26		
	2º Levantamento - Out08	86,6	10,54		
	Diferença	2,3	0,28		Deposição
	2º Levantamento - Out08	86,6	10,54		
	3º Levantamento - Mar09	106,0	8,62	-22,25	24,9
	Diferença	-19,4	-1,92		Erosão
	3º Levantamento - Mar09	106,0	8,62		
	4º Levantamento - Out09	84,6	10,77	19,92	28,4
	Diferença	21,4	2,14		Deposição
	4º Levantamento - Out09	84,6	10,77		
	5º Levantamento - Out10	79,0	11,54	6,72	13,1
	Diferença	5,6	0,78		Deposição
	5º Levantamento - Out10	79,0	11,54		
	6º Levantamento - Out11	76,7	11,92	3,12	11,1
Diferença	2,3	0,37		Deposição	
6º Levantamento - Out11	76,7	11,92			
7º Levantamento - Mar12	77,6	11,00	-8,30	16,15	
Diferença	-0,9	-0,91		Erosão	

Tabela 4 – Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%|$) referentes à Seção Transversal 4 localizada no rio Macaé, depois da confluência com rio D'Antas.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\% $	Processo Dominante
Seção Transversal 4	1º Levantamento - Out07	138,5	17,20		
	2º Levantamento - Mar08	150,9	15,68	-9,7	14,3
	Diferença	-12,4	-1,52		Erosão
	2º Levantamento - Mar08	150,9	15,68		
	3º Levantamento - Out08	128,1	18,55	15,47	15,8
	Diferença	22,7	2,87		Deposição
	3º Levantamento - Out08	128,1	18,55		
	4º Levantamento - Mar09	132,0	17,91	-3,55	11,7
	Diferença	-3,9	-0,64		Erosão
	4º Levantamento - Mar09	132,0	17,91		
	5º Levantamento - Out09	131,5	18,10	1,03	10,4
	Diferença	0,6	0,19		Deposição
5º Levantamento - Out09	131,5	18,10			
6º Levantamento - Out10	130,2	18,17	0,38	8,9	
Diferença	1,3	0,07		Deposição	

Os valores de variação percentual líquidos da área ($\Delta A\%$) mostram que ocorreu nas duas seções transversais, a predominância de processos de deposição (Tabelas 3 e 4). A soma dos valores de $\Delta A\%$ positivos e negativos, para antes da confluência, foram de 32,45% e 30,55%, respectivamente. E a diferença entre esses dois valores foi de 1,9% ou 11,3m² indicando elevada variação na morfologia do canal (Tabela 3). Na à jusante da confluência (ST 4) a diferença entre o valor de $\Delta A\%$ com processo de deposição e erosão (16,88% - 13,25%) foi de 3,63% ou 8,3m², ou seja, com variação de área menor que a seção à montante (Tabela 4).

O mês de Outubro de 2009 apresentou índice de pluviosidade e vazão média do rio bem acima para esse período, com 296 mm e 3,8 m³/s, respectivamente. As médias de chuvas mensais para os meses Outubro entre os anos de 2007 e 2012 foram de 115 mm para dados de chuvas e 1,9 m³/s para a vazão do rio. Observa-se que no trecho que corresponde a essas duas seções transversais houve variação acentuada na forma do canal (Figura 2). Esse evento pode explicar o processo de recuo da margem registrado entre o monitoramento de Março/2009 e o seguinte, Outubro/2009. Porém, de forma diferente, à jusante da confluência, para o mesmo período, há o predomínio do processo de deposição ou diminuição da área da seção transversal, significando que os sedimentos erodidos à montante foram depositados à jusante.

Para o período do monitoramento, tem-se para as seções transversais à montante e à jusante da confluência valores próximos referentes às variações absolutas e relativas da área da seção transversal, com predomínio de deposição em ambas as seções.

Baixo curso do Rio Macaé, confluência com rio São Pedro (Seções Transversais 5 e 6)

A área de confluência está localizada em ampla Planície Flúvio-Marinha entremeada a Morros e Colinas espaçadas e, tanto o rio Macaé como o São Pedro, apresentam o canal retificado em mais de 9 km e 20 km, respectivamente (Figura 1). Não há vegetação ripária ao longo de todo o trecho retifi-

cado dos rios e nas margens tem-se ocorrências de erosão em trechos alternados devido ao (auto) ajuste do canal.

As Seções Transversais 5 e 6 estão localizadas antes e após a confluência, respectivamente (Figuras 1A e 2). Para o mesmo período de monitoramento em ambas as seções transversais (de Outubro/ 2007 a Outubro/2010) tem-se alternância na ocorrência dos processos de erosão e deposição sendo que, após esse período, a seção à jusante da confluência (com maior número de levantamentos consecutivos) aponta predominância de deposição até o último levantamento realizado em Março de 2012 (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 – Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%$) referentes à Seção Transversal 5 localizada no rio Macaé, antes da confluência com rio São Pedro.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\%$	Processo Dominante	
Seção Transversal 5	1º Levantamento - Out07	102,5	12,09			
	2º Levantamento - Mar08	107,5	11,53			
	Diferença	-5,0	-0,55	-4,81	7,23	Erosão
	2º Levantamento - Mar08	107,5	11,53			
	3º Levantamento - Out08	103,5	11,99			
	Diferença	4,0	0,45	3,72	12,48	Deposição
	3º Levantamento - Out08	103,5	11,99			
	4º Levantamento - Out09	119,1	10,42			
	Diferença	-15,6	-1,56	-15,01	39,99	Erosão
	4º Levantamento - Out09	119,1	10,42			
5º Levantamento - Mar10	117,2	10,59				
Diferença	1,9	0,17	1,59	5,19	Deposição	

Tabela 6 - Índices de forma do canal (F), variação relativa da área da seção transversal ($\Delta A\%$) e a variação absoluta da seção transversal ($|\Delta A\%$) referentes à Seção Transversal 6 localizada no rio Macaé, depois da confluência com rio São Pedro.

	Área da Seção (m ²)	F (w/d)	$\Delta A\%$	$ \Delta A\%$	Processo Dominante	
Seção Transversal 6	1º Levantamento - Out07	156,1	19,40			
	2º Levantamento - Mar08	214,9	14,08			
	Diferença	-58,8	-5,32	-37,79	38,84	Erosão
	2º Levantamento - Mar08	214,9	14,08			
	3º Levantamento - Out08	166,2	18,15			
	Diferença	48,7	4,08	22,46	22,87	Deposição
	3º Levantamento - Out08	166,2	18,15			
	4º Levantamento - Mar09	180,1	16,78			
	Diferença	-13,9	-1,38	-8,22	10,02	Erosão
	4º Levantamento - Mar09	180,1	16,78			
	5º Levantamento - Out09	159,8	18,90			
	Diferença	20,3	2,13	11,26	15,04	Deposição
	5º Levantamento - Out09	159,8	18,90			
	6º Levantamento - Mar10	157,2	19,21			
	Diferença	2,6	0,31	1,51	7,55	Deposição
	6º Levantamento - Mar10	157,2	19,21			
	7º Levantamento - Out10	148,6	20,56			
	Diferença	8,6	1,35	6,57	11,31	Deposição
	7º Levantamento - Out10	148,6	20,56			
	8º Levantamento - Mar11	83,4	36,28			
Diferença	65,3	15,72	43,32	45,34	Deposição	
8º Levantamento - Mar11	83,4	36,28				
9º Levantamento - Mar12	84,2	36,70				
Diferença	-0,8	0,42	1,15	10,38	Deposição	

A soma dos valores de variação percentual absoluta da área ($|\Delta A\%$) para as seções transversais 5 e 6 foram de 64,89% e 161,39%, respectivamente, indicando que houve uma variação bem maior à jusante da confluência, mesmo se considerarmos o mesmo período de monitoramento para ambas as seções transversais (até Outubro/2010, para as duas seções transversais).

Os valores de variação percentual líquida da área ($\Delta A\%$) para as duas seções transversais são bastante distintos. À montante, os valores negativos de $\Delta A\%$ 19,82% e os positivos

5,31% e a diferença entre esses valores de $\Delta A\%$ (deposição-erosão) foi de -14,51% ou -14,63m² mostrando elevada variação com predomínio do processo de erosão (valores negativos de ΔF e $\Delta A\%$) (Tabela 5). Já à jusante, a diferença entre os valores de $\Delta A\%$ com processo de deposição e erosão (86,27% - 46,01%) foi de 40,26%, ou 72m². Há com esses valores, o predomínio dos processos de deposição e, conseqüentemente, diminuição da área da seção transversal.

Para o período do monitoramento tem-se, para as seções transversais à montante e à jusante da confluência, valores bem diferentes em termos de variações de áreas absolutas e relativas. À montante há o predomínio dos processos de erosão e à jusante, o predomínio de processos de deposição. Destaca-se que a seção transversal à jusante foi a que apresentou o maior número de variação relativa da área e isso pode ser atribuído à influência da entrada do afluente rio São Pedro, mas, também, nas conseqüências que as obras de retificação causam na dinâmica dos processos fluviais.

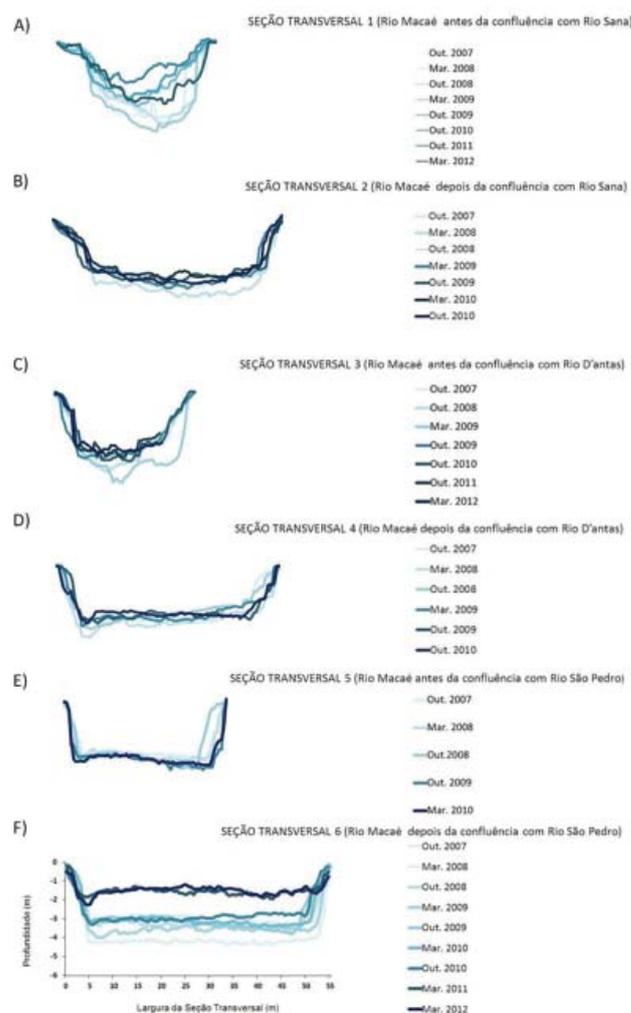


Figura 2 – Monitoramento das seções transversais ao rio Macaé, antes e após as confluências com os tributários rios Sana, D'Antas e São Pedro.

As variações de forma do canal

Para avaliar as mudanças ocorridas na forma do canal Macaé foi aplicado o coeficiente Gini (G) utilizado para calcular a desigualdade e distribuição de uma variável em um espaço ou área determinada. É uma medida muito usada no setor da Economia para avaliar a distribuição de renda na população, ou mesmo para analisar as desigualdades que ocorrem nessa distribuição.

De acordo com Olson-Rutz & Marlow (1992), na análise da morfologia de canais fluviais, o coeficiente Gini pode ser usado para descrever o perfil transversal do canal em levantamentos consecutivos sobre as profundidades do canal, podendo-se avaliar comportamentos e tendências que o mesmo adquire, frente aos processos fluviais em curso. Segundo esses autores, mudanças nos valores desse coeficiente, ao longo do tempo, podem descrever se um canal está se tornando mais largo e plano ou mais estreito e profundo em resposta a acontecimentos naturais ou de uso e manejo do rio.

Dessa forma, quando os valores de G se aproximam de 1 (um), mais profundo e estreito será o canal e mais próximo de 0 (zero), mais plano será o canal (nesse caso as profundidades serão iguais). A diferença entre os valores do coeficiente Gini para levantamentos posteriores e anteriores ($G_{dif} = G_{post} - G_{ant}$) é calculado para descrever a mudança na forma do canal. Quando a diferença é positiva, indica que o canal está se tornando mais profundo e estreito e um valor negativo, mais plano/superficial e mais amplo (Olson-Rutz & Marlow, *op.cit*).

Em todas as seções transversais monitoradas no rio Macaé (Figura 3) os valores de G são mais próximos de 0 (zero) indicando que a forma do rio Macaé, no período do monitoramento, tende a ser mais plano ou raso e mais amplo, sendo que na *ST 1* (à montante da desembocadura com o rio Sana) o valor de G é o mais elevado (G= 0,030) mostrando que mais à montante, a forma do rio Macaé apresenta, ainda que sutilmente, características de incisão e estreitamento do canal.

No entanto, nas *Seções Transversais 2, 3, 4 e 6* os valores de G são negativos e nas seções 1 e 5, positivos. Ou seja, nas seções transversais à montante dos afluentes Sana e São Pedro, a forma do canal tende a ser mais estreita e profunda, enquanto que nas demais seções tende a ser mais plano com os pares de profundidades semelhantes.

Essa tendência de predomínio dos processos de deposição no rio Macaé pode ser corroborada ao se comparar os valores das variações de área relativa e absoluta encontrados nas *seções transversais*, onde se tem para todas as seções transversais o predomínio de processos de deposição, à exceção da *ST 5* onde tem-se valores negativos.

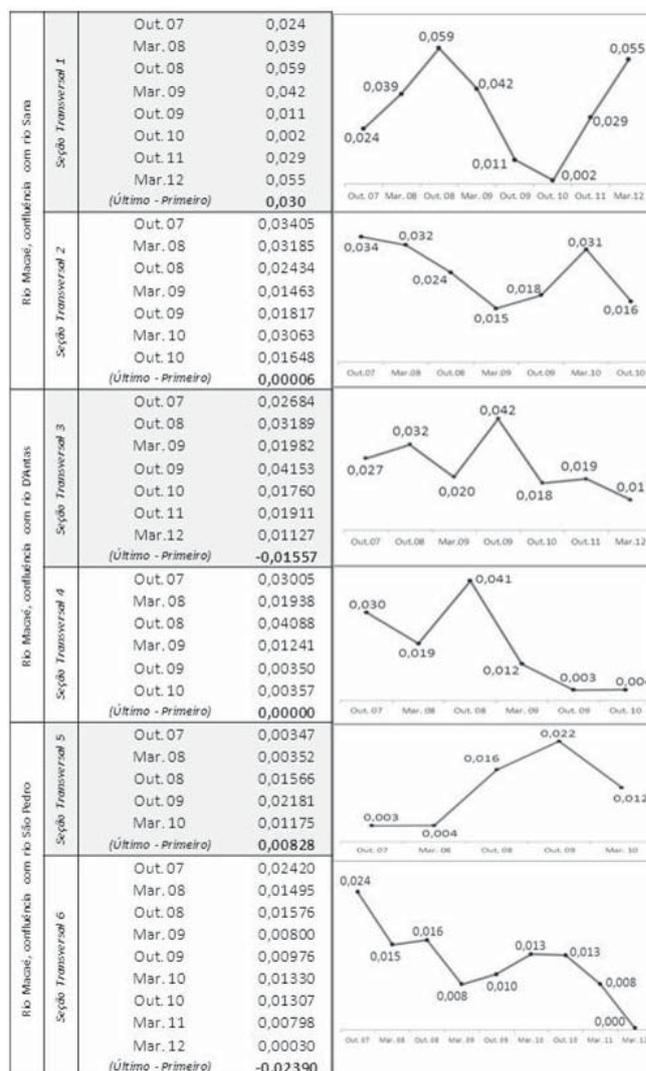


Figura 3 – Valores correspondentes ao coeficiente Gini calculados para as seis seções transversais ao rio Macaé.

Conclusões

Os levantamentos de dados de profundidades em seis seções transversais ao rio Macaé, num intervalo de aproximadamente cinco anos, documentaram as variações da morfologia do canal em termos de predominância de processos fluviais e modificações da sua forma. A aplicação de parâmetros estatísticos permitiu conhecer, de forma quantitativa, a dinâmica das oscilações da topografia do leito em períodos de pouca e muita chuva na região.

No período entre Outubro de 2007 a Março de 2012, a análise dos dados das seções transversais apresentou comportamento e tendência dos processos fluviais predominantes de deposição, onde as intensificações das variações nas áreas das seções transversais ocorreram de acordo com os períodos mais ou menos chuvosos na região.

As análises estatísticas aplicadas nos dados de profundidade do canal nas seis seções transversais, localizadas à montante e à jusante das confluências, mostraram índices com variações semelhantes, à exceção da confluência com o rio São Pedro. Já em relação às análises relacionadas à forma do canal, os dados mostraram que, após a desembocadura com os três afluentes (rios Sana, D'Antas e São Pedro), o rio Macaé tendeu a ser mais plano e amplo mostrando a influência que os canais contribuintes exercem, de forma variada, no canal principal.

No entanto, chama à atenção a confluência com o rio São Pedro, localizada no setor retificado da planície fluvial. A seção transversal à montante não apresentou grandes variações na morfologia do canal, com leve tendência erosiva no período do monitoramento. Mas, na seção transversal à jusante da confluência, o rio Macaé apresentou elevada variação de erosão e deposição no canal, quando comparados às confluências dos rios Sana e D'Antas. Vários fatores podem estar relacionados a esse comportamento do canal na confluência com o rio São Pedro. Um deles seria a combinação entre as características físicas, ambientais e morfométricas do rio São Pedro, possibilitando maior aporte e mobilização de sedimentos no rio Macaé e a condição da retificação de ambos os canais, conferindo de forma mais acentuada novos ajustes à hidrodinâmica local.

Apesar de o trabalho corresponder a um período curto de monitoramento, de aproximadamente cinco anos, foi possível observar que as variações no aporte e distribuição de sedimentos no rio Macaé se dão de forma variada, mas com um comportamento definido em termos de predominância do processo de deposição. Importante destacar, no entanto, que as variações da morfologia do canal podem oscilar de acordo com as interferências de variáveis diretas (retificações, construção de pontes, extração de areia), indiretas (mudanças no uso e cobertura do solo) e naturais (cheias anômalas ou estiagens prolongadas) no sistema fluvial, ao longo do tempo, sem se configurarem em mudança efetiva no comportamento fluvial. Com isso, a continuidade do monitoramento em seções transversais é necessária para se alcançar um melhor reconhecimento dos padrões de ajustes e respostas em termos de comportamento do sistema fluvial, a fim de permitir compreender a relevância das diferentes matrizes de intervenções existentes na bacia.

Ressalta-se aqui que a construção de séries históricas de dados em seções transversais para canais fluviais de pequenas e médias bacias hidrográficas, a exemplo da

Bacia do rio Macaé, são fundamentais uma vez que irão permitir estabelecer, sempre, os padrões de comportamento do sistema fluvial, ao longo do tempo. E esse tipo de conhecimento do sistema fluvial deve ser considerado sempre quando se busca informações voltadas ao planejamento e manejo dos rios.

Agradecimentos

A autora agradece à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos auxílios concedidos e aos alunos do Grupo de Pesquisa Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ envolvidos nos trabalhos em campo e compilação de dados.

Referências Bibliográficas

- ANA. Agência Nacional de Águas. *Hidroweb*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>> Acesso em 10 de Nov. de 2012.
- BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005. 398 p.
- CHARLTON, R.O. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Routledge: London e New York, 2008. 234p.
- CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management**. Oxford University Press. 1974. 412 p.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia Exercícios Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 345 p.
- FERNANDEZ, O. V. Q.; REBELATTO, G. E.; SANDER, C. Análise Quantitativa de Seções Transversais em Canais Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p. 85-92, 2001.
- LIMA, R.N.S.; MARÇAL, M.S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé – RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. No Prelo.
- MARÇAL, M.S.; LUZ, L.M. Planejamento e gestão da Bacia do Rio Macaé – Litoral Norte Fluminense, com base em estudos integrados de Geomorfologia e uso do solo. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 9., Recife. **Anais...** 2003, 1CD.
- MARÇAL, M.S.; LIMA, R.N.S.; VILLAS BOAS, G.H. Channel Bed Morphology and Hydrosedimentological Research in Macaé

Catchment, Rio De Janeiro, Brazil. In: International Conference on Geomorphology (ANZIAG), 7., Melbourne, Australia. 2009. 1CD.

OLIVEIRA, F.L.; MELLO, E.F. A Mineração de Areia e os Impactos Ambientais na Bacia do Rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo: v.2, n.37, p. 374-389. 2007.

OLSON-RUTZ, K. L.; MARLOW, C. B. Analysis and interpretation of stream channel cross-sectional data. **North American Journal of Fisheries Management**, United States, v.1, n. 12, p. 55-61. 1992.

SCHUMM, S.A. **The fluvial System**. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 338p. 1977.

SILVA, L.C.; CUNHA, H.C.S. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, Brasília. 2001. 1CD.

SIMON, A.; CASTRO, J. Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology**. John Wiley & Sons Ltda, 2003, 322p.

VIEIRA, V.T.; CUNHA, S.B. Mudanças na Morfologia dos Canais Urbanos: Alto Curso do Rio Paquequer, Teresópolis – RJ (1997/98 – 2001). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.3-22. 2008.