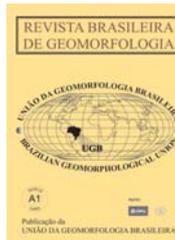




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 1 (2013)



# AVALIAÇÃO DA SENSITIVIDADE DO SISTEMA FLUVIAL NO ALTO-MÉDIO VALE DO RIO MACAÉ (RJ)

## ASSESSMENT OF FLUVIAL SYSTEM SENSITIVITY IN THE HIGH MIDDLE VALLEY OF MACAÉ RIVER (RJ)

**Guilherme Hissa Villas Boas**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Rua Athos da Silveira Ramos, n. 274, Prédio CCMN, Bloco I, sala I-11  
Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ - CEP 21941-916.  
E-mail: guilherme\_hissa@hotmail.com*

**Mônica dos Santos Marçal**

*Departamento de Geografia da UFRJ  
Rua Athos da Silveira Ramos, n. 274, Prédio CCMN, Bloco I, sala I-11  
Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ - CEP 21941-916.  
E-mail: monicamarcal@ufrj.br*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
18/03/2013

Data de Aprovação:  
09/06/2013

### Palavras-chave:

Sensitividade Fluvial; uso e cobertura da terra; bacia do rio Macaé (RJ).

### Keywords:

Fluvial sensitivity; land use; Macaé hydrological basin.

### Resumo

O trabalho foi desenvolvido no rio Macaé, norte do Estado do Rio de Janeiro com o objetivo de avaliar a sensibilidade do sistema fluvial da bacia no alto-médio vale do rio Macaé às variações dos agentes e mecanismos desencadeadores da dinâmica hidrossedimentar: pluviosidade e uso e cobertura da terra. Foi utilizado o *software* SPRING e imagens de satélite LANDSAT para os anos 2000 e 2005. Os dados pluviométricos foram adquiridos da Agência Nacional de Águas. Os dados diários foram somados e agrupados por mês e analisados por década. O mapeamento das feições geomorfológicas selecionadas foi realizado através de fotografias aéreas de 2000 na escala 1:10.000 e de 2005 na escala 1:25.000, e de imagens do *Google Earth*<sup>tm</sup>, dos anos 2003, 2004, 2006 e 2010. Foram analisados perfis transversais ao canal Macaé no período de 2007 a 2010. Os mapas de uso e cobertura da terra de 2000 e 2005 mostraram que houve estreita relação entre o percentual de crescimento da classe Agropecuária e redução da classe Floresta. Os totais pluviométricos no período de 1990-1999 apresentaram baixa intensidade de chuva quando comparados à década posterior. As variações de áreas nas ilhas fluviais e na seção transversal mostram que o rio Macaé teve comportamento mais deposicional entre 1990-1999 e mais erosivo entre 2000-2010. Assim, o sistema fluvial teve maior sensibilidade à influencia da pluviosidade em relação às alterações de uso e cobertura da terra, operando de forma direta nos (auto) ajustes do sistema hidrossedimentológico do rio Macaé.

## Abstract

The work has been done in Macaé River, in the north of Rio de Janeiro State. It aims to evaluate the fluvial sensitivity of the high middle valley of Macaé River to agent variations and factors that lead to hydrosedimentary dynamic: rainfall and land use. For mapping land use in the 2000 and 2005 *SPRING* software and *LANDSAT* satellite images have been used. Rainfall data were gotten from Agência Nacional de Águas. The daily data were grouped by month and analyzed by each decade. The geomorphologic features mappings were made from aerial photographs for the years 2000 and 2005, and for the years 2003, 2004, 2006 and 2010 were used *Google Earth* images. Cross-section profiles of the Macaé River were made from 2007 to 2010. The land use maps show that there are close relationship between the percentage growth of the class Agricultural and Forest reducing class. The total rainfall of 1990-1999 showed low intensity of rain compared to a decade later. Changes in river islands areas and in the cross section shown that the Macaé River had more depositional behavior between 1990-1999 and between 2000-2010 more erosive. So the river system had greater sensitivity to the influence of rainfall in relation to changes in land use, operating directly in the system hydrosedimentological settings of the Macaé River.

## Introdução

Na tentativa de entender o comportamento dos sistemas fluviais, pesquisadores vêm aplicando o conceito de **sensitividade** para estudar as mudanças ambientais ocorridas, tanto do ponto de vista dos processos naturais da dinâmica fluvial quanto em relação aos impactos das intervenções antrópicas nos sistemas fluviais (BRUNSDEN & THORNES, 1979; ALLISON & THOMAS, 1993; DOWNS & GREGORY, 1993; KNOX, 2001; THOMAS, 2001; BURT, 2001; BRUNSDEN, 2001; BRIERLEY *et al.*, 2002).

O termo sensibilidade está relacionado às possíveis alterações em um sistema natural e é definido por BRUNSDEN & THORNES (1979) como a probabilidade que uma mudança nos controles do sistema tem de produzir uma resposta sensível, reconhecível e persistente. Ou seja, de acordo com os autores, a estabilidade da paisagem é função da distribuição espacial e temporal do balanço entre forças de resistência e perturbação. Em inglês, esse termo é usado como *sensitivity*, podendo ser traduzido como sensibilidade ou sensibilidade, sendo que este último é mais usado para mapeamentos de sensibilidade ambiental.

**Sensitividade da Paisagem e Sensibilidade Ambiental.** Ambos são termos usados para avaliar as respostas dos sistemas ambientais às intervenções antrópicas. No entanto, o primeiro conceito está, segundo BRUNSDEN (2001), relacionado à grande capacidade que a paisagem tem em apresentar mudanças nas formas de relevo e, ao mesmo tempo, em resistir no tempo e no espaço, e absorver os impulsos das mudanças ocorridas. Já o segundo conceito é aplicado em mapeamentos de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, normalmente petróleo, em ambientes marinhos e costeiros, onde se levam em consideração tanto riscos biológicos quanto os riscos socioambientais (MICHEL *et al.*, 1978).

Para ALLISON & THOMAS (1993), o termo sensibilidade da paisagem pode se manifestar em inúmeras formas, porém o cerne do problema está em entender as respostas às influências externas. Os fatores externos são variados e incluem influências naturais e antrópicas.

DOWNS & GREGORY (1993) afirmam que o conceito de sensibilidade vem sendo utilizado em diversas ciências, porém poucos trabalhos em geomorfologia fluvial abordam esta temática. Apesar disso, os autores citam que alguns trabalhos, já na década de 1960, ao utilizarem os conceitos de equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico, estavam se baseando nos mesmos princípios de reajuste às mudanças.

Neste contexto, BRIERLEY *et al.*, (2002) colocam que a sensibilidade de um sistema fluvial e das suas paisagens envolve a avaliação de seu comportamento e de seu funcionamento, isto é, os processos atuantes, as respostas ou mudanças históricas e as trajetórias futuras. Mas os autores também destacam que se trata de uma avaliação multi-escalar que abrange a escala da bacia, do canal e das unidades geomorfológicas.

Nesta perspectiva, BRUNSDEN & THORNES (1979) colocam que a sensibilidade corresponde à “*soma da suscetibilidade e da vulnerabilidade de qualquer sistema fluvial*”, no qual vulnerabilidade remete o potencial de um rio em sofrer mudanças do seu estado que alterem a sua configuração natural, passando a ter um comportamento diferente. Já a suscetibilidade seria a capacidade de se ajustar dentro de um sistema a partir de suas características de evolução natural (BRUNSDEN, 2001).

Já THOMAS (2001) considera que existem dois tipos de sensibilidade, a temporal e a espacial. A sensibilidade temporal é em função da frequência e magnitude dos eventos de formação da paisagem, ao longo do tempo e a sensibilidade espacial ocorre através das fontes de sedimentos e da capacidade de transporte destes que propicia ou limita as diferentes taxas de mudanças, entre componentes da paisagem ou elementos.

No Brasil, destaca-se o trabalho apresentado por BARROS *et al.* (2010) onde os autores apresentam um mapa de sensibilidade da paisagem para a bacia do Riacho Mulungu, localizada no município de Belém de São Francisco no estado de Pernambuco, baseado nos possíveis impactos antropogênicos e suas eventuais interferências nos processos de seu sistema fluvial.

Nesta perspectiva, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a sensibilidade do sistema fluvial da bacia do alto-médio vale do rio Macaé às variações dos agentes e mecanismos desencadeadores da dinâmica hidrossedimentar. Considera-se que a pluviosidade funciona como a entrada de energia no sistema e é o principal agente de remobilização de sedimentos, enquanto que o uso e a cobertura da terra se apresentam como o principal elemento de proteção do solo.

Assim, as taxas de erosão e sedimentação do canal principal, entendido aqui como a principal via de transporte de sedimentos serviram como indicador da dinâmica geomorfológica do sistema. Neste sentido, buscou-se a análise temporal do uso e cobertura da terra, o levantamento histórico sobre as variações pluviométricas e a identificação e espacialização das mudanças históricas na forma em planta e em perfil do rio Macaé, através do monitoramento de morfofeições, para avaliar o seu comportamento e o funcionamento frente às mudanças ocorridas.

## Área de Estudo

O rio Macaé está localizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro e drena a escarpa litorânea da Serra do Mar no sentido oeste-leste percorrendo cerca de 140 quilômetros até desaguar no oceano Atlântico, próximo à cidade de Macaé (Figura 01). O Alto-Médio Vale do Rio Macaé abrange área de 461,03 km<sup>2</sup> definida como uma sub-bacia (SAM) cuja desembocadura está na confluência com o rio Sana (Figura 01).

O rio Macaé atravessa diversos compartimentos geomorfológicos definidos como escarpas serranas (com amplitudes topográficas acima de 200 metros), colinas e morros (amplitudes topográficas entre 200 a 20 metros) e planícies fluviais (até 20 metros de amplitude) (SILVA, 2002). Destaca-se que nas áreas de baixadas o rio Macaé e alguns de seus afluentes foram retificados durante as décadas de 1970 e 1980.

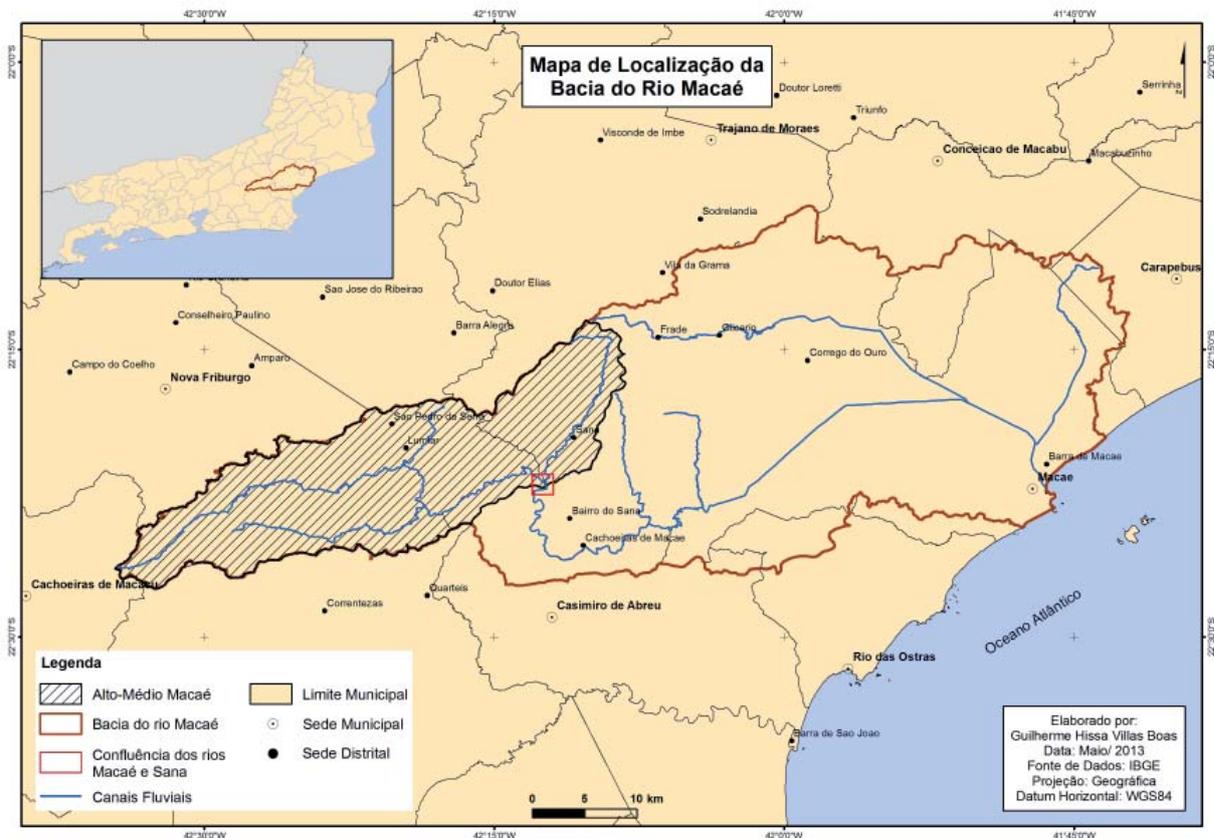


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia do rio Macaé (RJ).

## Materiais e Métodos

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra foram realizados utilizando o *software* SPRING 5.1. e a composição RGB das bandas 3, 4 e 5 das imagens do satélite Landsat 5, faixa 216 e cenas 076 e 075, das datas 24/ 09/ 2000, 04/ 07/ 2005. Estes mapas foram editados e finalizados no *software* ArcGis 9.3®. A seleção das classes utilizadas foi adaptada do Manual de Uso da Terra (IBGE, 2006) levando-se em consideração a visualização disponível e o interesse desta pesquisa. As classes são: Afloramento Rochoso, Agropecuária, Cobertura Florestal e Áreas Urbanizadas.

Os dados pluviométricos foram adquiridos através do site da ANA (Agência Nacional de Águas) da estação climatológica Galdinópolis (altitude 740 metros; N 7524578.700m, E 769725.172m, fuso 23 sul, datum SIRGAS 2000), locali-

zada em Nova Friburgo, próxima ao distrito de Lumiar. Os dados disponíveis em valores diários de precipitação foram somados e, portanto, agrupados por mês e analisados por década. Paralelamente são apresentados os valores máximos diários de cada mês.

O mapeamento das feições geomorfológicas selecionadas (ilhas fluviais) foi realizado através de fotografias aéreas disponíveis para a bacia do Rio Macaé, do ano de 2000 da AMPLA (empresa privada do setor energético), na escala 1:10.000 e do ano de 2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:25.000. Além disto, foram utilizadas imagens extraídas do *software* Google Earth, entre os anos 2003 e 2010, para completar esta análise com dados qualitativos. Em ambiente SIG observou-se se há acréscimo ou decréscimo de área das mesmas.

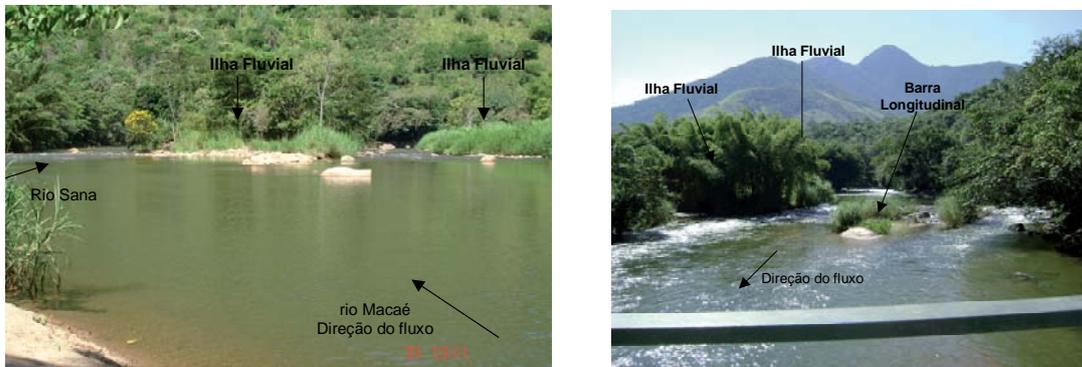


Figura 2 - Fotografias à montante e à jusante respectivamente das feições geomorfológicas analisadas.



Figura 3 - Confluência do rio Macaé com o rio Sana e feições geomorfológicas associadas.

Associado a isto, foram utilizados dados de perfis transversais ao canal do rio Macaé, em uma seção transversal localizada a menos de cinco metros das feições geomorfológicas analisadas. O monitoramento da seção transversal sendo realizado pelo grupo de pesquisas fluviais do LAGESOLOS/UFRJ (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos) desde outubro de 2007, sistematicamente nos meses de abril (final da estação chuvosa) e outubro (final da estação seca). Para esta pesquisa foram utilizados dados até outubro de 2010.

Após as coletas dos dados no campo foram elaborados gráficos para, além de uma melhor visualização,

possibilitar a mensuração da área do canal e distinguir se naquele ponto está havendo algum processo de erosão e/ou sedimentação.

## Resultados e Discussões

### Análises multi-temporais do uso e cobertura da terra

As figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, os mapas de uso e cobertura da terra da SAM nos anos 2000 e 2005; e a tabela 1 apresenta os respectivos percentuais das classes encontradas.

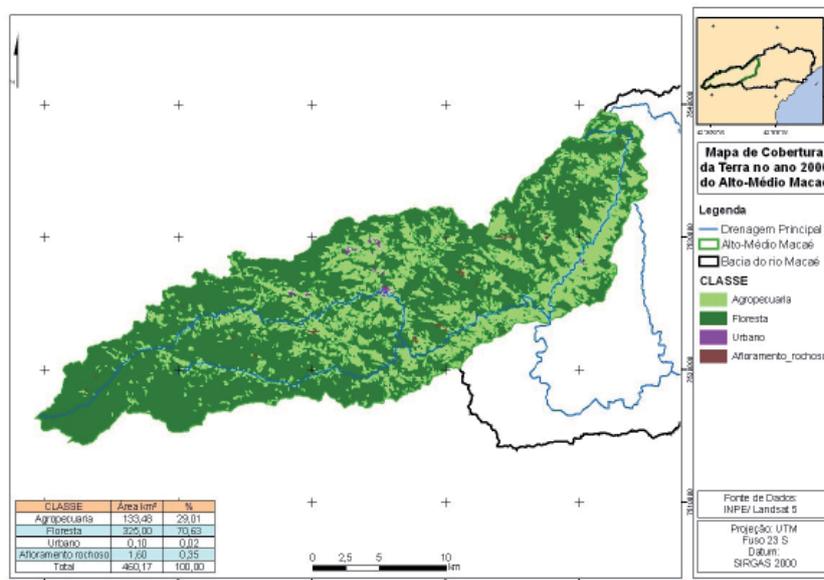


Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra no Alto-Médio Vale do rio Macaé em 2000.

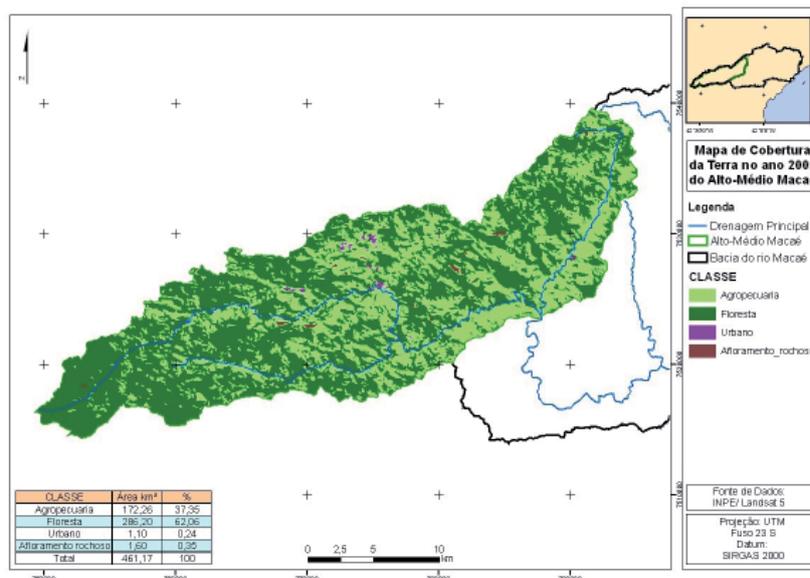


Figura 5 - Mapa de uso e cobertura da terra no Alto-Médio Vale do rio Macaé em 2005.

Observa-se que no ano 2000 a classe agropecuária ocupava menos da metade da área coberta com a classe de floresta (29,14 e 70,49%, respectivamente), isto é, para cada 1km<sup>2</sup> de agropecuária havia 2,42 km<sup>2</sup> de floresta. Já em 2005, essa proporção diminuiu e a classe de agropecuária ocupava pouco mais de 37% na sub-bacia SAM, enquanto que a classe de floresta reduziu para 62,05%. Assim, para cada 1km<sup>2</sup> de agropecuária havia 1,66km<sup>2</sup> de floresta.

**Tabela 1 - Relações entre áreas, percentuais das classes de uso e cobertura da terra e pluviosidade no Alto-Médio Vale do rio Macaé.**

Classe/Ano	Ano 2000	Ano 2005	Transformação	
			km <sup>2</sup>	%
Agropecuária (km <sup>2</sup> )	134,34	172,26	37,92	128,23
Floresta (km <sup>2</sup> )	324,99	286,07	-38,92	88,02
Urbano (km <sup>2</sup> )	0,10	1,10	1,00	1100,00
Afloram. Rochoso (km <sup>2</sup> )	1,60	1,60	0,00	0,00
Área Total (km)	461,03	461,03		
<b>Total Pluviométrico (mm)</b>	<b>472,30</b>	<b>559,80</b>		

Considerando a tabela 1 observa-se, ainda, que houve uma estreita relação entre o percentual de crescimento da classe “Agropecuária” e uma redução da classe “Floresta”. Enquanto a primeira cresceu 28,23% a segunda regrediu cerca de 22%. Ao verificar esta transformação no Mapa de Uso e Cobertura da Terra do ano de 2005 (Figura 3), observa-se que ela ocorreu de forma homogênea por toda a sub-bacia SAM. Considerando as áreas das classes “Agropecuária” e “Floresta” houve apenas uma diferença de 1km<sup>2</sup> entre o crescimento da primeira e a redução da segunda, isto é 37,92% e -38,92%, respectivamente.

Esta diferença, portanto, está contida na transformação da classe “Urbana”. Contudo, não se pode afirmar que a diferença de 1 km<sup>2</sup> tenha uma relação direta entre a redução da floresta e o crescimento urbano. Acredita-se que o crescimento urbano tenha ocorrido nas áreas antes ocupadas pela “Agropecuária” que circundavam estes centros.

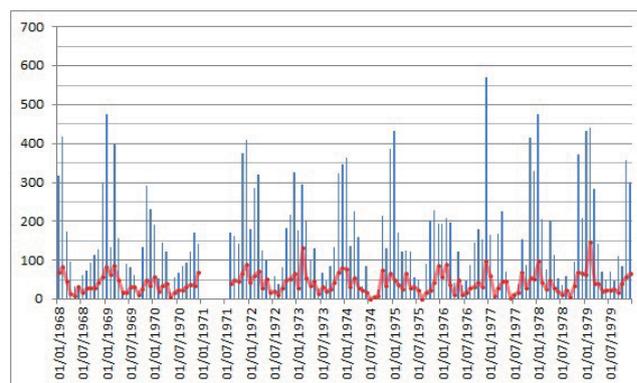
### Análises da Pluviosidade

Os gráficos de 1 a 4 apresentam os totais pluviométricos mensais e os valores diários máximos de cada mês divididos entre os anos 1968-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2009. Destaca-se que além do ano de 1971, os meses dezembro de 1984 e maio de 1986, não dispõem de informações. Assim como a caracterização climática da

região sudeste do Brasil, os meses de verão apresentam maiores valores para os índices pluviométricos em função do anticiclone migratório polar.

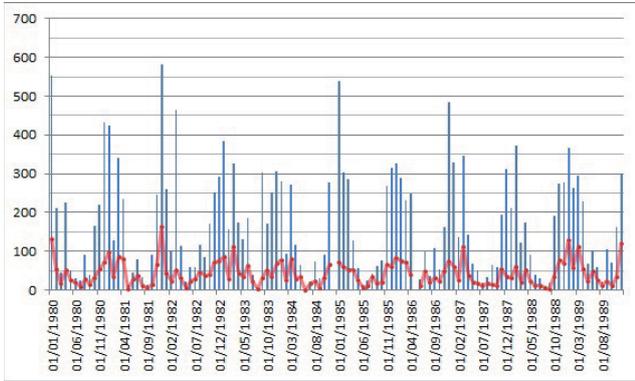
O gráfico 1 apresenta os totais pluviométricos nos meses entre janeiro de 1968 e dezembro de 1979. Observa-se que há uma média de três ou quatro meses por ano em que a pluviosidade alcança os 200 mm. Entretanto, nesta década pode-se destacar que nove meses acumularam chuvas maiores que 400 mm, com destaque para o mês de dezembro de 1976 quando choveu 569 mm. Os meses de inverno apresentam valores em torno de menos de 100 mm, porém somente em dois meses os valores não chegaram a 5 mm (julho/1974, 0 mm; agosto/1975, 2 mm). De um modo geral as chuvas acumuladas entre os meses maio e agosto não apresentam valores acima de 20 mm. Com relação aos valores diários máximos, dois eventos extremos fogem ao padrão dos outros dias: 07/02/1973 com 132 mm e 06/02/1979 com 146,8 mm. Nesta década foram registrados trinta e três eventos maiores que 60 mm (Gráfico1).

**Gráfico 1 - Pluviosidade mensal acumulada e valores máximos diários mensais entre janeiro/1968 e dezembro/1979**



O gráfico 2 apresenta os totais pluviométricos mensais e os valores diários máximos de cada mês entre janeiro de 1980 e dezembro de 1989. A recorrência de meses que acumularam valores maiores que 400 mm diminuiu, sendo nesta década encontrados apenas sete meses (Janeiro/1980, 552 mm; Dezembro/1980, 433 mm; Janeiro/1981, 425 mm; Dezembro/1981, 582 mm; Março/1982, 463 mm; Janeiro/1985, 537 mm; Dezembro/1986, 483 mm). Os meses que apresentam pluviometria acima de 300 mm também diminuíram, passando de 21 para 17. Já os meses do inverno registraram valores maiores que os do ano anterior, quando apenas três meses registraram menos de 15 mm acumulados (maio/81 12,2 mm; agosto/83 6,2 mm e junho/84 4,4 mm). Além disto, nesta década em nenhum mês a pluviosidade foi nula.

**Gráfico 2 - Pluviosidade mensal acumulada e valores máximos diários mensais entre janeiro/1980 e dezembro/1989.**

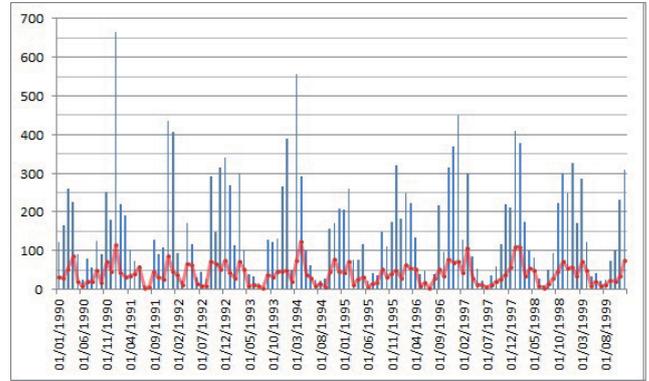


Quanto à recorrência de eventos diários acima de 60 mm, observa-se um aumento, passando de trinta e três para quarenta e um dias. Além disto, ocorreram sete dias com chuvas acima dos 100 mm (28/12/1980, 132 mm; 03/12/81, 163 mm; 04/03/83, 112 mm; 11/03/87, 112,8 mm; 15/01/89, 129 mm; 14/03/89, 111 mm e 21/12/89m 120 mm). Os Gráficos 1 e 2 mostram, portanto, que a década de 1980/89, de um modo geral, foi mais úmida que na anterior e com chuvas mais distribuídas.

O gráfico 3 apresenta os totais pluviométricos mensais e os valores diários máximos de cada mês entre janeiro de 1990 e dezembro de 1999. Observa-se uma maior disparidade entre os meses mais chuvosos e os meses mais secos quando comparado ao gráfico anterior. Além disto, dois meses se destacam dos demais por apresentarem altos índices acumulados: janeiro/1991, com 665 mm e maio/1994, com 556 mm. Entretanto, os meses com pluviosidade acima de 400 mm nesta década diminuiu novamente. Observam-se, além dos dois citados acima, apenas mais três meses alcançaram este total acumulado (Dezembro/1991, 435 mm; Janeiro/1992, 406 mm e Janeiro/1997, 450 mm). O Gráfico 3 apresenta, também, que os meses com pluviometria acima de 300 mm novamente diminuíram passando de 17 para 15 nesta década. Outro fato a ser destacado é o número de meses com totais iguais ou inferiores a 10 mm. Nesta década houve seis meses que os valores pluviométricos mensais ficaram quase nulos: julho/1991, 9 mm; agosto/1991, 10 mm; agosto/1993, 05 mm; julho/1996, 7 mm; julho/1997, 9 mm e julho/1998, 9 mm.

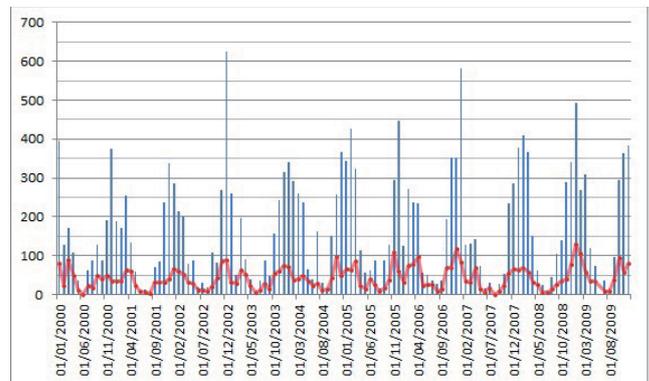
Nesta década destacam-se os trinta e cinco dias de chuvas com grande poder de mobilização de sedimentos, considerados aqui acima dos 60 mm. Considerando que na década anterior houve quarenta e um eventos como este, pode-se afirmar que houve um decréscimo nesta década. Já os eventos acima de 100 mm mantiveram-se com a frequência estável, sendo sete na década anterior e cinco nesta em questão.

**Gráfico 3 - Pluviosidade mensal acumulada e valores máximos diários mensais entre janeiro/1990 e dezembro/1999.**



O gráfico 4 apresenta o gráfico dos totais pluviométricos mensais e os valores diários máximos de cada mês entre janeiro de 2000 e dezembro de 2009. Nesta década nota-se que nos anos 2004, 2008 e 2009 houve cinco meses de totais pluviométricos acumulados acima dos 200 mm. Além disto, neste período registraram-se vinte e um meses onde a pluviometria acumulou mais de 300 mm, enquanto que na década anterior, apenas quinze meses alcançaram este valor. Já o número de meses com índices superiores a 400 mm manteve-se estável se comparado à década anterior, sendo cinco o número total de meses. Sendo assim, observa-se que nos meses chuvosos, além de manter a mesma frequência para índices acima de 400 mm, a recorrência de índices mensais altos, acima de 200 mm, aumentou. Nos meses secos destacam-se junho/2000, 4 mm; junho/2001, 11 mm; agosto/2001, 10 mm; agosto/2003, 7 mm; agosto/2007, 3 mm e julho/2008, 8 mm. Estes valores demonstram que na década entre 2000 e 2009 houve seis meses com chuvas menores ou iguais a 11 mm, isto é, a mesma frequência que na década anterior.

**Gráfico 4 - Pluviosidade mensal acumulada e valores máximos diários mensais entre janeiro/2000 e dezembro/2009.**



Enquanto a frequência de eventos diários acima da cota 100 mm manteve-se relativamente estável quando comparada às décadas anteriores com cinco eventos na década, a frequência da pluviosidade diária acima de 60 mm cresceu novamente, atingindo quarenta e três dias neste período. Destacam-se nesta década os dias 08/11/2005, 110 mm; 18/04/2006, 100 mm; 01/12/2007, 117 mm; 22/01/2009, 128 mm; e 13/02/2008, 106 mm (Gráfico 4).

### Perfis transversais ao canal Macaé

A variação do perfil transversal ao canal Macaé, conforme pode ser observado na figura 6, não tem relação direta entre o aprofundamento do leito e a estação do ano. Isto é, não foram encontradas informações capazes de inferir que o leito do canal do rio Macaé, naquele trecho, seja erodido nos períodos chuvosos e apresente deposição nos períodos secos. Entretanto, observa-se relação entre a área preenchida pela vazão do rio no perfil transversal e a estação do ano. As medições realizadas no mês de março apresentam valores maiores que 30 m<sup>2</sup> (07/03/2008 > 40m<sup>2</sup>; 06/03/2009 36,68m<sup>2</sup> e 28/03/2010 38,91m<sup>2</sup>), enquanto que as realizadas em julho e outubro não chegam a 25m<sup>2</sup> (06/10/2007, 14,89m<sup>2</sup>; 09/07/2008 24,03m<sup>2</sup>; 04/10/2008, 22,42m<sup>2</sup>; 17/10/2009, 22,44m<sup>2</sup> e 16/10/2010, 17,40m<sup>2</sup>) (Tabela 2). Entrevistas informais com moradores indicaram que o rio Macaé, neste ponto, chega a alcançar a cota de cerca de 1 metro acima da sua normalidade, alcançando toda a extensão de sua planície fluvial, em dias de vazão extremamente alta.

**Tabela 2 - Áreas do perfil transversal do rio Macaé, após a confluência com o rio Sana.**

Data	Área (m <sup>2</sup> )
06/10/2007	14,89
07/03/2008	> 40
09/07/2008	24,03
04/10/2008	22,42
06/03/2009	36,68
17/10/2009	22,44
28/03/2010	38,91
16/10/2010	17,4

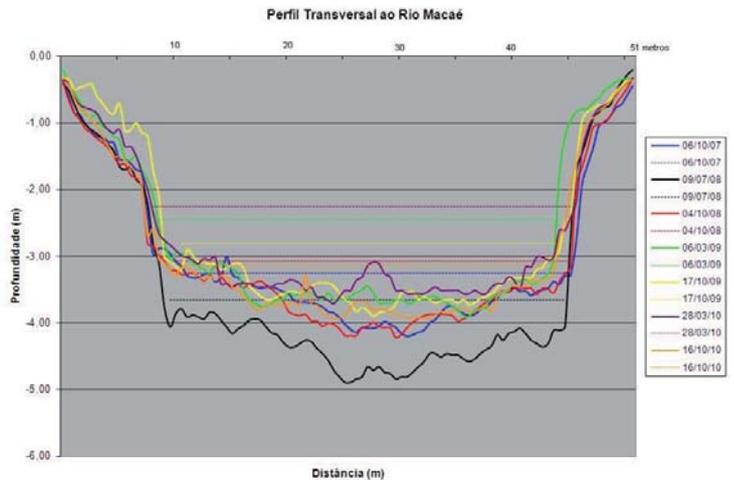


Figura 6 - Perfil transversal ao canal Macaé. Com destaque a área preenchida pela vazão do rio Macaé, na seção transversal.

A figura 7 apresenta o mapeamento temporal da confluência do rio Macaé com o rio Sana para os anos de 2000, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2010. Na figura 7A, há o desenvolvimento de feições geomorfológicas fluviais em forma de ilha vegetada, barra lateral e longitudinal. Para efeito de descrição, as feições geomorfológicas foram numeradas de um a três, sendo a ilha localizada na margem direita do rio Macaé, denominada de *feição 1*, a localizada na margem esquerda, de *feição 2*, e a ilha fluvial localizada à jusante das duas primeiras ilhas fluviais, a *feição 3*.

Com base nos mapeamentos apresentados podem-se estabelecer relações entre o comportamento da vazão no perfil transversal, os processos de deposição e erosão no canal Macaé e a pluviosidade.

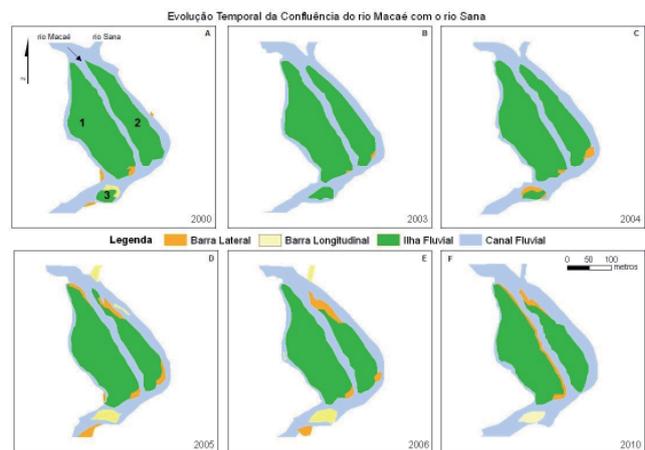


Figura 7 - Mapeamento temporal da confluência do rio Macaé com o rio Sana. Em (A) observa-se para o ano de 2000 o mapeamento das feições geomorfológicas fluviais denominadas de 1, 2 e 3. (B) para o ano de 2003, (C) para o ano de 2004, (D) para o ano de 2005, (E) para o ano de 2006, e (F) para o ano de 2010.

De acordo com o levantamento pluviométrico da década que precedeu a análise destas feições geomorfológicas (1990-1999) (gráfico 1), apesar de apresentar recorrência de eventos de alta magnitude foi uma década de baixa entrada de energia no sistema, na forma de chuvas catastróficas, quando comparada à década seguinte (2000-2009) (gráfico 2). Nos dois últimos anos (1998 e 1999) apenas três eventos diários alcançaram 60 mm. Neste sentido, o rio Macaé permaneceu um longo período com vazão relativamente estável e seu fluxo com baixa competência, indicando um comportamento mais deposicional que erosivo.

Este dado pode justificar, não só, a presença, como o aumento de área e a estável vegetação da ilha fluvial denominada de *feição 3*, no ano 2000 (figura 7A). Observa-se que na área à montante dessa ilha fluvial há uma concentração de sedimentos depositados pelo canal. Neste ano, poucas barras de sedimentos, sejam longitudinais ou laterais, são visíveis. Esta condição permanece até o ano de 2003 (figura 7B).

A partir do ano de 2003 ocorre a redução de área da ilha fluvial 2 (*feição 2*), à sua montante. Porém em 2004, esta erosão permanece estável (figura 7C). Este fato pode ser justificado pela recorrência de quinze eventos pluviométricos acima de 60 mm entre 2000 e 2004. Inclusive, em 2004 ocorre migração da barra lateral, antes localizada à montante da *feição 3*, para suas margens laterais (figura 7C).

Em 2005, a ilha fluvial 2 (*feição 2*) apresenta significativa redução de área e, em paralelo, crescimento de área de deposição à montante (figura 7D). Neste mesmo período são observados o crescimento de outras barras laterais na ilha fluvial 1 (*feição 1*) e outra na ilha fluvial 2 (*feição 2*) (figura 7D). A ilha fluvial 3 (*feição 3*), neste período, perde estabilidade e se transforma numa barra transversal, apresentando depósito de sedimentos à sua jusante. Destaca-se que neste ano a foz do rio Sana, afluente do rio Macaé pela margem esquerda, está assoreada e o canal apresenta uma vazão baixa e reduzida capacidade de transporte, quando alcança às áreas sob influência do rio Macaé.

Em 2006, este quadro tende a se intensificar. A ilha fluvial 2 (*feição 2*) reduz ainda mais e, em paralelo, cresce o depósito à montante (figura 7E). Além disto, a foz do rio Sana permanece assoreada e sua margem apresenta-se mais estreita. Destaca-se que entre o ano de 2000 e dezembro de 2005 vinte e dois eventos de chuva acima dos 60 mm foram registrados, sendo que um deles, em 08/11/2005, alcançou os 110 mm.

Em 2010, a ilha fluvial 1 (*feição 1*) apresenta uma extensa barra lateral em sua margem direita (figura 7F). Já a ilha fluvial 2 (*feição 2*) permaneceu praticamente estável, apresentando apenas uma redução na área localizado

à montante. Já a ilha fluvial 3 (*feição 3*), que desde 2005 apresentava-se como uma barra longitudinal, apresentou uma migração lateral em 2006, mas manteve sua área até 2010. Observa-se que entre 2000 e 2010 a margem externa direita do rio Macaé oscilou pouco se comparada à oposta (figura 7).

Considerando as mudanças ocorridas na cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2005, observa-se que apesar da redução da área florestada e simultânea ampliação da atividade agropecuária (Tabela 1), a carga de sedimentos que alcançou a calha fluvial não ficou retida nestas feições. Ainda que tenha havido a redução na cobertura florestal na região, em cerca de 30%, não necessariamente pode-se considerar que houve uma ampliação proporcional da carga de sedimento e que esta carga tenha ido ao canal fluvial. Porém, ainda que verdadeira essa possibilidade, observou-se pouca retenção de sedimentos no canal do rio Macaé, no período analisado. Tem-se, no entanto, a permanência das ilhas fluviais sendo pouco alterada em termos de diminuição de área, denotando predomínio de deposição dentro do canal neste ponto de confluência do rio Macaé com o rio Sana.

Neste sentido, considera-se que a diminuição da proteção dos solos não ampliou significativamente a produção sedimentar ou, se houve incremento no aporte de sedimentos na calha fluvial, a vazão deste período teve competência suficiente para transportar esta taxa adicional de sedimentos, ao menos deste trecho do rio Macaé.

Ou seja, o rio Macaé entre os anos de 2000 e 2010 apresentou um comportamento mais erosivo que deposicional, neste trecho da bacia. Algumas feições geomorfológicas na forma de barras de sedimentos carregados foram formadas pelo processo de retenção das ilhas fluviais, mas de um modo geral, considera-se que houve retrabalhamento destes sedimentos, sendo levados em outros episódios de cheias. Observa-se na Figura 7 que a ilha fluvial 2 (*feição 2*) apresentou significativa redução de sua área nesses dez anos e a ilha fluvial 3 (*feição 3*) perdeu sua estabilidade, tornando-se vulnerável às vazões extremas.

No entanto, a permanência das feições fluviais, tanto das ilhas fluviais como das barras laterais e longitudinais nos dez anos analisados mostram que o trecho da confluência do rio Macaé com o rio Sana caracteriza-se pela predominância de processos deposicionais. Os dados obtidos na pesquisa também podem indicar que se trata de um ambiente com boa capacidade de transporte de sedimentos com os ambientes fluviais subsequentes ao analisado, ou seja, o trecho analisado da confluência do rio Macaé com o rio Sana apresenta boa conectividade no transporte de sedimentos entre os trechos ou ambientes fluviais subsequentes.

## Conclusões

As variações de áreas nas ilhas fluviais e a elevação do leito na seção transversal mostram que o rio Macaé apresentou uma tendência de comportamento mais deposicional, pelo menos até o ano 2000, quando a pluviosidade, para este período, apresentou baixa intensidade de chuva mensal e apenas trinta e cinco eventos diários acima de 60 mm em relação ao período seguinte (2000-2010) quando houve quarenta e três dias de pluviosidade acima de 60 mm. Com isso, observou-se que as ilhas fluviais funcionaram ora como barreira para retenção de sedimento, ora como produção de sedimentos no canal, funcionando de acordo com a variação e intensidade de chuva na região. Por outro lado, no período correspondente aos anos de 2000-2010, observa-se um comportamento desse trecho do rio Macaé mais erosivo, ainda que as ilhas fluviais permanecessem. Ou seja, os dados da série histórica mostraram que o comportamento da pluviosidade no trecho analisado indicou que as chuvas acima de 60 mm têm maior possibilidade de operar ajustes no sistema fluvial, influenciando diretamente na dinâmica dos processos de erosão e sedimentação.

Já os dados multitemporais do uso e cobertura da terra (considerados como o principal elemento de proteção do solo) não apresentaram relação direta de interferência no sistema fluvial, para o período analisado. Ou seja, as variações de áreas ocorridas nas classes de floresta e agropecuária entre os anos de 2000 e 2005 apresentaram modificações importantes e, provavelmente, relacionadas à produção de sedimentos no sistema fluvial da área, mas não capazes de alterar a dinâmica hidrossedimentológica e/ou de impor novos ajustes na dinâmica do canal.

Assim, para o período analisado, considera-se que o sistema fluvial teve maior sensibilidade a influência da pluviosidade em relação às alterações de uso e cobertura da terra, onde a mesma operou de forma direta nos (auto) ajustes do sistema hidrossedimentológico do rio Macaé, correspondendo a um importante elemento de controle da dinâmica fluvial. As alterações do uso e cobertura da terra tiveram papel importante na produção de sedimentos, mas sua interferência no sistema fluvial ficou condicionada ao comportamento da pluviosidade da área.

Observa-se que a magnitude das transformações apresentadas na área pesquisada não se sobrepôs às forças de resistência, ou pelo menos, a área selecionada como diagnóstico não apresentou respostas a esta variação. Torna-se necessária a continuidade do monitoramento das variáveis selecionadas, no sentido de se obter melhor compreensão das respostas e o funcionamento do sistema fluvial, sendo ainda importante incorporar outras variáveis a essa avaliação. Considera-se, ainda, que tais informações são fundamentais para o planejamento e manejo dos rios e principalmente para gestão de bacias hidrográficas.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão das bolsas de estudo ao longo da graduação e do mestrado e pelo financiamento desta e demais pesquisas desenvolvidas no LAGESOLOS/UF RJ.

## Referências Bibliográficas

- ALLISON, R.J.; THOMAS, D.S.G. The sensitivity of landscapes. *In*: THOMAS, D.S.G.; ALLISON R.J. (ed). **Landscape Sensitivity**. Nova York. Ed John Wiley & Sons, 1993. p. 01-06.
- BARROS, A.C.M.; SOUZA, J.O.P.; CORREA, A.C.B. Sensitividade da paisagem na bacia do riacho do Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, vol. especial VIII SINAGEO, n. 2, p. 108-120, 2010.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Austrália. **Applied Geography**, v. 22, p. 91-122, 2002.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, v. 42, n. 1, p. 99-123, 2001.
- BRUNSDEN, D.; THORNES, J.B. Landscape sensitivity and change. **Transactions Institute of British Geographers**, v. 4, n. 4, p. 463-484, 1979.
- BURT, T.P. Integrated management of sensitive catchment systems. **Catena**, v. 42, n. 1, p. 275-290, 2001.
- DOWNS, P.W.; GREGORY, K.J. The sensitivity of river channels in the landscape system. *In*: THOMAS, D.S.G.; ALLISON R.J. (ed). **Landscape sensitivity**. Nova York. Ed John Wiley & Sons, 1993. p. 15-30.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro, 2006, 91 p.
- KNOX, J.C. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. **Catena**, v. 42, n. 2, p. 193-224, 2001.
- MICHEL, J.; HAYES, M.O.; BROWN, P.J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. **Environmental Geology**, v.2, p. 107-117, 1978.
- SILVA, T.M.. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 265 p.
- THOMAS, M. Landscape sensitivity in time and space – an introduction. **Catena**, v. 42, n. 1, p. 83-98, 2001.