

RETIFICAÇÃO DOS CANAIS FLUVIAIS E MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS NA PLANÍCIE DO RIO MACAÉ (RJ)

André Polly Assumpção ¹, Mônica dos Santos Marçal ²

¹ Geógrafo e Mestre em Geografia pela UFRJ. Email: andrepolly@gmail.com

² Prof. Dr^a Departamento de Geografia / UFRJ. Email: monicamarcal@ufrj.br

Artigo recebido em 14/11/2011 e aceito em 02/04/2012

RESUMO

No contexto de bacias hidrográficas, o processo de retificação dos canais fluviais nas áreas de planícies tem sido alvo de análise para compreender suas interferências e implicações na evolução da rede de drenagem. Entre as décadas de 1940 e 1980, o extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) realizou obras de retificação dos canais fluviais em várias bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, visando a evitar inúmeros problemas ambientais. Dentro deste contexto, a Bacia do Rio Macaé teve cerca de 60 km do canal principal, além de trechos de afluentes retificados. O objetivo do trabalho é apresentar discussão da interferência dessa obra na evolução da bacia, apontando as mudanças ocorridas na morfologia dos canais fluviais, nos períodos anteriores e posteriores às obras de retificação. Foram utilizadas fotografias aéreas referentes aos anos de 1968 na escala de 1:20.000, ano de 2000 na escala de 1:10.000 e ano de 2007 através das imagens de satélite colocadas à disposição na internet pelo Software Google Earth, além das cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000. Os mapeamentos temporais na forma em planta dos canais e nas feições geomorfológicas indicam mudanças significativas e isso pode ser observado através dos ajustes aos quais os canais fluviais são submetidos, redirecionando ou potencializando áreas de erosão e sedimentação em escalas não compatíveis com a dinâmica atual do rio.

Palavras-Chaves: Retificação de canais fluviais, Mapeamento de Feições Fluviais, Bacia do rio Macaé.

STRAIGHTENING OF RIVER AND GEOMORPHIC CHANGES IN DOWNSTREAM OF MACAÉ CATCHMENT, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

ABSTRACT:

In the context of hydrology basin the process of straightening of fluvial river in floodplains areas has been the subject of analysis to understand the interference and implication of its drainage. From the 1940s until 1980s, the defunct National Department of Works and Sanitation – DNOS accomplish straightening of fluvial rivers in many hydrology basins from Rio de Janeiro State aim to avoiding a number of environmental problems. Within this context, the Macaé catchment has 60 kilometers of its principal channel and tributaries straightening. This study aim to show the discussion about the effect of straightening of fluvial river in the basin evolution, it highlights the changes in channel's morphology, before and after periods of works. Aerial photographs from year's 1968 1:20.000 scale, 2000 1:10.000 scale and 2007 satellite image of Google Earth were used to conduct the mapping, in addition topographic maps 1:50.000 scale. The temporal channel planform includes channel units showing significant changes observed through the adjustment of their fluvial rivers that it has given other erosion and sedimentation places in a different scale different from now.

Keywords: Straightening of Fluvial River, Channel Planform, Macaé Catchment.

INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 1940 e 1980 diversas planícies de inundação de importantes bacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro foram submetidas a transformações nos seus canais fluviais. Foram obras realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) através da concretização e alargamento de diversos rios do estado cujos múltiplos objetivos seriam “limpar ou enxugar” as planícies de inundação, controlar as enchentes, evitar a proliferação da malária e aumentar as terras secas facilitando com isso o acesso às mesmas e a manutenção da atividade agropecuária.

A retificação de canais fluviais é um processo no qual os rios são artificialmente modificados na sua forma através do aprofundamento e/ou alargamento da calha fluvial e da retirada de meandros alterando, sobremaneira, a forma em planta e o perfil longitudinal dos canais, o que interfere diretamente e indiretamente em todo o sistema fluvial da bacia.

Esse tipo de intervenção já foi realizado em várias bacias hidrográficas de várias partes do mundo, de maneira geral, com o intuito de facilitar ou propiciar a navegação fluvial, controlar enchentes,

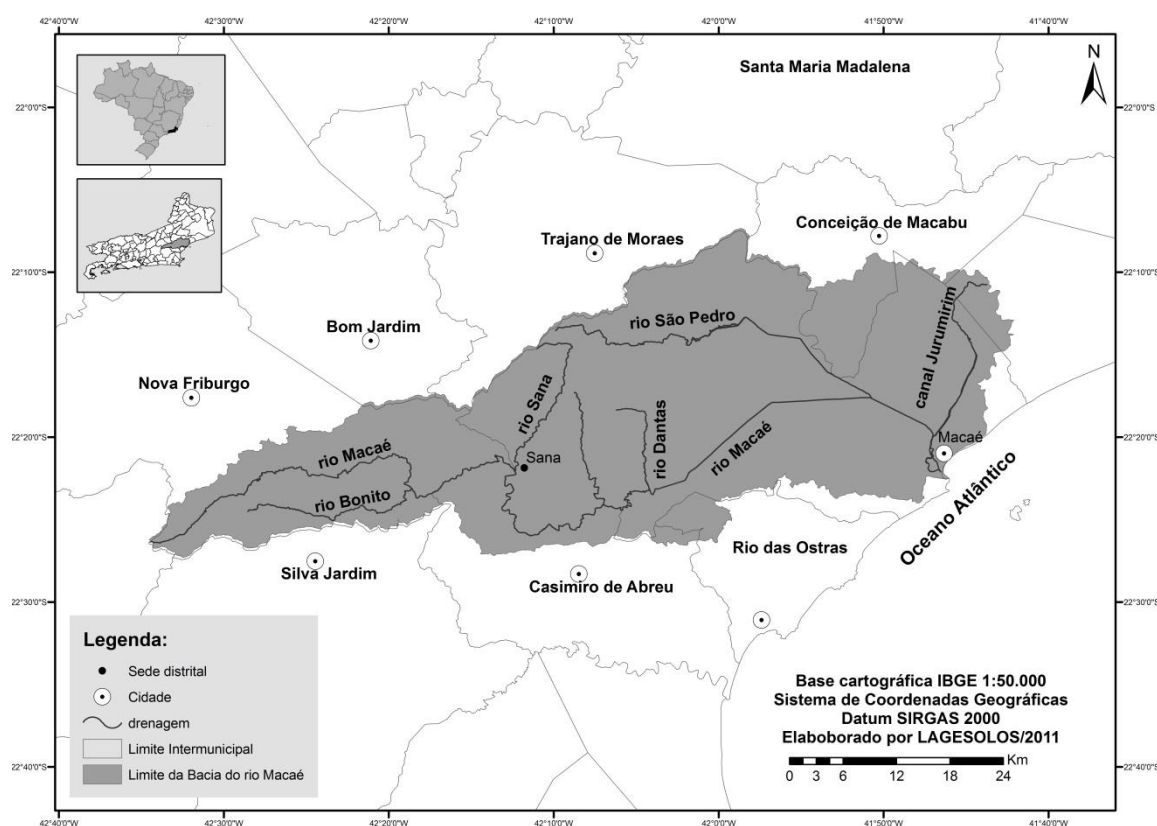
melhorar a drenagem de zonas pantanosas, contribuindo para a eliminação de focos de possíveis doenças.

Muitos são os benefícios dessas obras para as regiões onde são realizadas, mas inúmeros impactos negativos sobre os sistemas fluviais também são constatados. Esses impactos relacionam-se à modificação no comportamento natural do rio, como a perda de sinuosidade do canal, modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas, no padrão de escoamento, na velocidade dos fluxos, elevação dos picos de descargas nos tributários, bem como aumento da carga de sedimentos, diminuição da rugosidade do leito, aumento da erosão nos afluentes, ocasionado pelo abaixamento do nível de base, além da perda ou destruição de *habitats* naturais, da mata ciliar e de mangues, entre outros impactos (KELLER, 1978; BROOKES, 1988; CUNHA, 1995; TUCCI & BERTONI, 2003).

A Bacia do rio Macaé, localizada na região norte do Estado do Rio de Janeiro, teve cerca de 60 km do canal principal, além de trechos de afluentes como os rios São Pedro, D’Antas e o canal Jurumirim retificados pelo DNOS já na década de 1940 (Figura 1). As planícies destes rios sempre estiveram susceptíveis à ocorrência de enchentes e, conseqüentemente, à

proliferação de mosquitos transmissores de doenças como a malária.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio Macaé (RJ).



Sem dúvida, a retificação dos canais principais da bacia minimizou os problemas relacionados a doenças e saneamento nas baixadas e permitiu a manutenção da agricultura e da pecuária na região por meio da “regularização” de canais de drenagem. Porém, as enchentes se seguiram até os dias atuais e, além delas, o assoreamento do canal do rio Macaé vem preocupando a comunidade local, uma vez que dificulta a captação de águas para a cidade.

Com o objetivo de discutir a interferência dessa obra na Bacia do Rio Macaé, o trabalho visa a apresentar as

mudanças ocorridas na morfologia dos canais fluviais na área da planície fluvial, nos períodos anteriores e posteriores às obras de retificação. O mapeamento foi realizado com base na interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélites disponíveis para o canal do rio Macaé e seus dois principais afluentes pela margem esquerda nas áreas de baixadas, os rios São Pedro e D’Antas.

Observa-se atualmente que os canais fluviais vêm gradualmente se ajustando às novas condições impostas pela retificação do canal e demais intervenções modificando a dinâmica geomorfológica e

hidrossedimentológica do sistema fluvial. Dessa forma, o mapeamento das mudanças morfológicas dos canais nas áreas de baixadas, além de contribuir na análise integrada com as demais variáveis que interferem no sistema fluvial e ajudar na compreensão dos ajustes dos canais às intervenções realizadas sobre os mesmos, possibilita iniciar uma discussão acerca da avaliação das obras no sistema fluvial.

Retificação e Modificações em Canais Fluviais

A palavra *channelization*, em inglês, é o termo utilizado para se referir a todos os processos de engenharia em rios com o objetivo de controle de enchentes, melhoria da drenagem, manutenção da navegabilidade, redução da erosão das margens ou realocação para a construção de rodovias (BROOKES, 1988; CUNHA, 1995). No Brasil, o que se verifica é que o termo canalização é usado para referir-se a projetos que envolvam a modificação do canal fluvial com posterior concretização da calha do mesmo.

Já o termo retificação é utilizado para obras que envolvam principalmente a retirada de meandros e curvas do canal em questão, buscando torná-lo retilíneo e mais íngreme para que haja aumento da velocidade do fluxo d'água, concentrando-o e permitindo a rápida transferência das

cheias para jusante. Normalmente é utilizada para evitar ou diminuir a ocorrência de enchentes em uma área de planície de inundação, bem como para facilitar a navegação. É possível também encontrar na literatura brasileira o termo canalização, em sentido amplo, como ocorre com o termo em inglês, abarcando todos os processos que envolvem modificação da calha do rio, e o termo retilinação, usado como sinônimo de retificação.

Geralmente os canais modificados, ou criados, são mais largos e profundos que os canais naturais que “substituem” para suportar a vazão máxima estabelecida. Tal aprofundamento provoca a diminuição do nível freático nas planícies de inundação, o que pode aumentar a produtividade da agricultura praticada nas mesmas, havida como objetivo da obra, muitas vezes.

De acordo com BROOKES (1988), um canal projetado deve ter uma seção transversal que forneça o máximo de eficiência da descarga com o mínimo de escavação. No entanto, de acordo com o autor, isso não é sempre possível devido à instabilidade das margens, à porosidade do leito e à proximidade de construções que restringem a largura ou profundidade necessárias. A Tabela 1 apresenta alguns dos principais métodos de canalização de rios e termos utilizados nos EUA e na Inglaterra. A canalização, em sentido

amplo, pode ser executada para alargar, existente ou pode ainda envolver a criação retificar, margear ou proteger um canal de novos canais.

Tabela 1 - Terminologias utilizadas para os métodos de canalização (baseado em NUNNALLY & KELLER, 1979* e THORN, 1966+ *apud* BROOKES, 1988).

TERMO AMERICANO*	EQUIVALENTE BRITÂNICO+	PROCEDIMENTO
Widening	Resectioning	Manipulação da largura e/ou profundidade do canal para aumentar sua capacidade.
Deepening	Resectioning	
Straightening	Realigning	Aumento do gradiente para aumento da velocidade.
Levee construction	Embanking	Confinamento das águas de cheias pelo aumento da altura das margens do canal.
Bank stabilization	Bank protection	Uso de estruturas como gabiões de aço para controle da erosão marginal.
Clearing and snagging	Pionner tree clearance	Diminuição da resistência hidráulica e aumento da velocidade do fluxo através da remoção de obstruções.
	Weed control	
	Dredging of silt	
	Clearing trash from urban áreas. (Desobstrução do canal por troncos, controle de capinzais, dragagem e limpeza do lixo em áreas urbanas)	

Importante destacar que desde as primeiras civilizações, o homem tenta exercer controle sobre o fluxo das águas dos principais rios que abastecem as populações onde diversas técnicas foram empregadas na busca de melhorar as condições ambientais em planícies de inundação de rios para a manutenção das culturas agrícolas, das pastagens e das cidades, seja para abastecimento humano,

para irrigação ou para impedir a ocorrência de catástrofes.

Na Mesopotâmia, por exemplo, a construção de canais de irrigação ligando o rio Tigres ao Eufrates provocou gradualmente a mudança de curso dos rios, pois as águas de irrigação espalhavam os sedimentos transportados pelos rios e, conseqüentemente, as terras foram ficando mais altas onde os sedimentos eram

depositados. Aumentaram os problemas de enchentes e de assoreamento e a dificuldade de irrigação, resultando no declínio da agricultura. Onde os canais de irrigação eram abandonados, os campos adjacentes transformavam-se em desertos, como ocorreu com o nordeste de Bagdá (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Porém, os impactos ambientais causados pelas obras de engenharia em canais fluviais tornaram-se alvo de críticas somente após a década de 1950, depois de um período de proliferação dos projetos de canalização que ocorreu a partir da segunda metade do século XIX, nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, principalmente, na Inglaterra e na Dinamarca, onde o percentual de rios modificados por intervenção humana chega a 100% dos rios em seu território (BROOKES, 1988).

Apesar de haver grande quantidade de trabalhos publicados internacionalmente sobre os efeitos das obras de modificação de canais fluviais (BROOKES, 1994; NAKAMURA *et al.*; 1997; BINDER, 1998; WIZGA, 2001; COLLINS & KNOX, 2003), existem muito poucos trabalhos publicados no Brasil a respeito do tema (CUNHA, 1995; VIEIRA & CUNHA, 2005). Além disso, até hoje ainda são usadas, não só no Brasil, como em diversos países, as mesmas técnicas que foram alvo

de críticas durante a segunda metade do século XX nos países centrais.

Atualmente, em diversos países já se buscam o estudo ambiental interdisciplinar, incorporando as ciências da biologia, engenharia e ecologia, além do paisagismo para a recuperação de bacias hidrográficas degradadas a partir da renaturalização dos rios (BINDER, 1998). A proposta de renaturalização trata-se, portanto, do processo de trazer de volta a condição de rios mais natural (original) possível. Esta técnica é ainda pouco discutida no Brasil, mas muito difundida nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e países europeus como Inglaterra, Alemanha e Dinamarca, onde existem exemplos de aplicações bem sucedidas.

METODOLOGIA

A análise dos parâmetros morfométricos dos canais fluviais e dos perfis longitudinais do rio Macaé, antes e após a retificação, foi realizada através da hidrografia e das curvas de nível da base cartográfica do mapeamento sistemático do IBGE, na escala de 1:50.000, para os anos de 1969 a 1974. Utilizaram-se os softwares ArcGIS 9.3 para mapeamento das áreas analisadas e Excel 2003 para elaboração dos gráficos. A análise espacial e temporal da morfologia dos canais dos rios Macaé, São Pedro e D'Antas foi realizada através

da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite disponíveis para a área de estudo.

As fotografias aéreas e demais produtos utilizados foram (1) **Para antes das obras de retificação** - Ano de 1968 – fotografias aéreas na escala de 1:20.000, do projeto SA-383 de 1968 do Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (DRM-RJ). Ano de 1969 a 1974 – Cartas topográficas na escala de 1:50.000, correspondente à base cartográfica do mapeamento sistemático do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esta base corresponde ao período em que foram elaboradas as cartas topográficas do ambiente retificado e que antecede a maior parte das obras realizadas pelo DNOS nos canais estudados. (2) Para depois das obras de retificação - Ano de 2000 – na escala 1:10:000, fotografias aéreas ortorretificadas obtidas pela Ampla Energia e Serviços S.A., cedidas pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA/RJ). Ano de 2007 - imagens de satélite colocadas à disposição na internet através do *Software GoogleEarth*.

O georreferenciamento de todas as fotografias aéreas fornecidas foi realizado através do *software ArcGIS 9.3*, para posterior mapeamento das feições de interesse para a pesquisa, utilizando o mesmo *software*. Foram mapeadas feições deposicionais do tipo “*point bars*” (praias

fluviais), *barras arenosas* e *ilhas fluviais*, além de *paleocanais* e *meandros abandonados*. Foram produzidos mapas da forma em planta anterior às obras do extinto DNOS, além da forma atual dos canais em questão através do *software ArcGIS 9.3*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentadas, inicialmente, informações acerca do início do planejamento das obras de retificação realizada pelo extinto DNOS no baixo curso do rio Macaé, seguido de dados referentes às características da morfometria e do mapeamento em planta dos canais fluviais, antes e após as obras de retificação.

O histórico do processo das obras de retificação

As pesquisas que relatam a intervenção no canal fluvial indicam seu início durante a década de 1940, porém não deixam claro quanto tempo estas levaram e que canais fluviais realmente haviam sido retificados. Somente a partir do acesso (através da Secretaria de Obras e Urbanismo do Município de Macaé) à *Planta do Plano de Execução das Obras de Retificação de Canais* elaborada pelo extinto DNOS pôde-se observar que além dos canais dos rios Macaé e São Pedro,

diversos outros pequenos canais fluviais tiveram obras de retificação planejada e grande parte destas foram executadas e concluídas pelo órgão.

Ao analisar as fotografias aéreas de 1968 do DRM, de 2000 da empresa AMPLA (Energia e Serviço S.A.) e as cartas topográficas do IBGE, elaboradas por volta de 1970, pode-se observar que, no canal do rio Macaé, as obras de retificação foram realizadas em grande parte após o ano de 1968, uma vez que, nas fotografias aéreas deste ano, apenas um pequeno trecho do canal aparece retificado. No rio São Pedro, principal afluente, grande parte da obra de retificação havia sido realizada até 1968, mas ainda não tinha sido completada. Com relação ao rio D'Antas, também afluente pela margem esquerda do rio Macaé, observou-se que algumas obras haviam sido realizadas até 1968, porém a maior obra ocorreu próximo ao ano 2000.

Nas fotografias aéreas do ano de 2000, observa-se que a rede de drenagem é igual à rede já apresentada no ano de 1969, exceto para os canais dos rios Macaé, São Pedro e D'Antas. Ou seja, grande parte dos canais fluviais que compõem a planície do rio Macaé foi alterada até o ano de 1968 (os canais Jurumirim, que possui 10,6 km de extensão totalmente retificado; Pedrinhas, que de 11,7 km teve 4,3 km retificados; além de pequenos canais afluentes do rio Macaé, próximos ao canal principal), ficando os canais principais e maiores

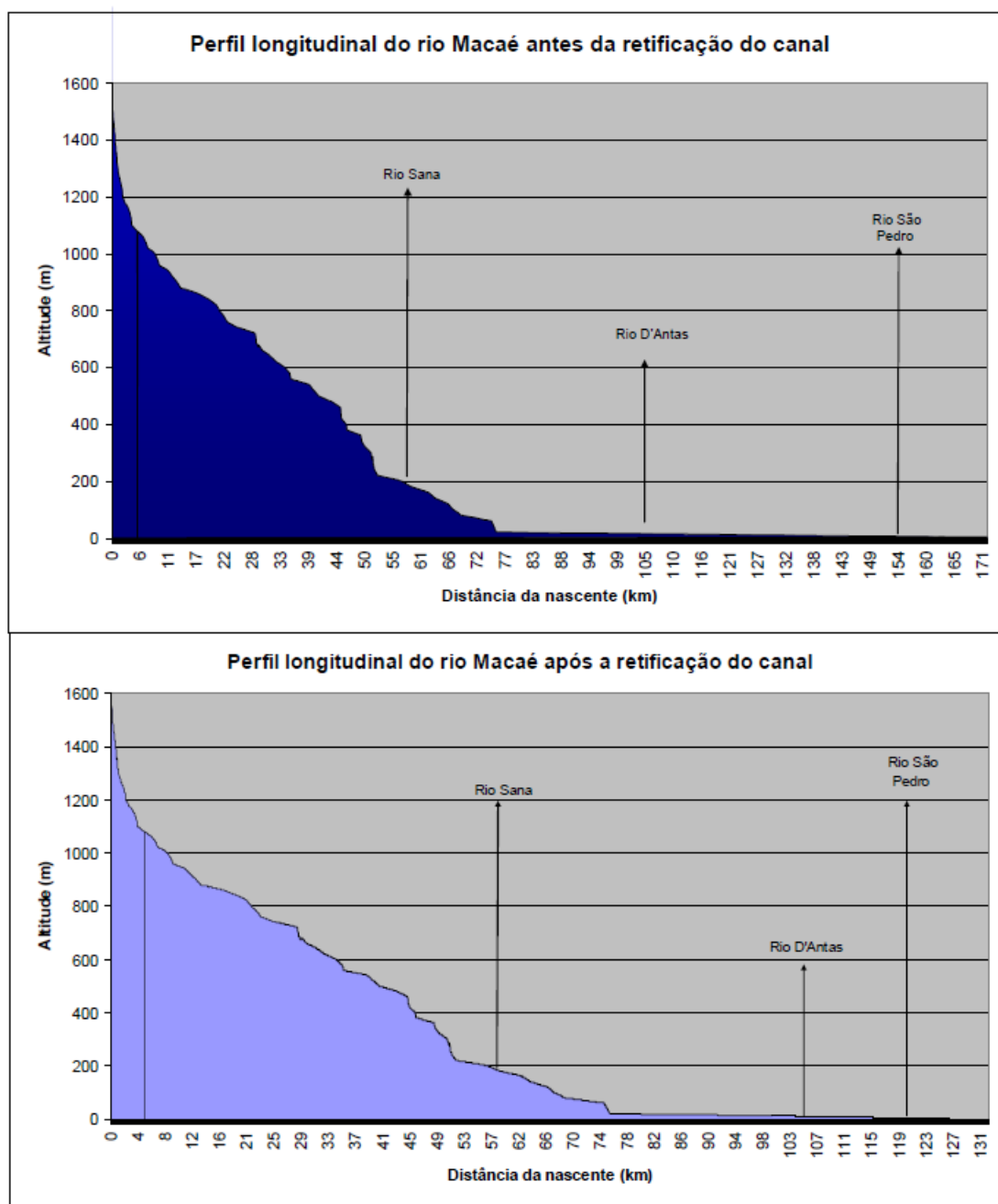
afluentes (rios Macaé, São Pedro e D'Antas) para serem modificados após esse período. Neste artigo serão apresentados e discutidos dados referentes aos rios Macaé, São Pedro (maior afluente) e D'Antas, cuja desembocadura se encontra pouco acima do trecho retificado do rio Macaé.

Morfometria dos canais fluviais antes e após a retificação

A Tabela 2 apresenta os parâmetros morfométricos analisados para os rios Macaé, São Pedro e D'Antas na área do baixo curso da bacia do rio Macaé. Tais parâmetros referem-se apenas ao trecho modificado do canal fluvial, antes e após a retificação. São eles o comprimento do canal, o índice de sinuosidade e a largura média do canal.

Os dados mostram que os rios Macaé e São Pedro tiveram grande parte do curso alterado com as obras de retificação. Há uma redução no comprimento dos canais do rio Macaé e São Pedro em mais de 20 km e 9 km, respectivamente. Já no rio D'Antas, essa redução foi de 890 metros. Essa redução no comprimento dos canais levou ao aumento significativo do gradiente dos mesmos para compensar a redução no meandramento, o que pode ser constatado no perfil longitudinal do rio Macaé, quando comparados os dois períodos (Figura 2).

Figura 2 – Perfil Longitudinal do rio Macaé, antes e após a retificação dos canais.



Os demais parâmetros morfométricos tiveram, em consequência, alterações significativas. O índice de sinuosidade para o rio Macaé passou de 1,585 a 1,01 evidenciando a passagem do padrão de rio meândrico para o padrão

retilíneo. Essa mudança se reflete, por sua vez, na granulometria e na carga sedimentar do canal. Já no rio São Pedro, o índice de sinuosidade passou de 1,502 para 1,01. O mesmo ocorreu com o rio D'Antas

que passou de um índice de sinuosidade de 1,41 para 1,23 (Tabela 2).

A Tabela 2 apresenta informações referentes à largura média dos canais dos rios Macaé e D'Antas, não sendo possível apresentar informações sobre o rio São

Pedro, pois as obras de retificação já haviam iniciado e grande parte do canal já passava por obras de retificação no período em que as fotografias aéreas foram tomadas.

Tabela 2: Morfometria dos canais retificados na área do baixo curso da Bacia do rio Macaé: canais Macaé, São Pedro e D'Antas.

	RIO MACAÉ		RIO SÃO PEDRO		RIO D'ANTAS	
Parâmetros/Ano	1968	2000	1968	2000	1968	2000
Comprimento do canal no trecho retificado (m)	61.433	39.171	28.582	19.372	6.881	5.991
Eixo central do vale (m)	38.767	38.767	19.024	19.024	4.878	4.878
Índice de Sinuosidade	1,585	1,010	1,502	1,018	1,411	1,228
Largura Média do canal (m)	37	57	-----	-----	22	17

A largura média dos canais foi calculada a partir da razão entre a área do espelho d'água e o comprimento do canal, no trecho retificado. A largura média do rio Macaé aumentou de 37 metros no ano de 1968, para 57 metros no ano de 2000. Este resultado é esperado, pois na maioria das obras de retificação de canais fluviais, o alargamento da calha também é realizado

(BROOKES, 1988; CUNHA, 1995). O rio D'Antas, ao invés de ter seu canal alargado, teve redução na largura média do canal, que passou de 22 metros para 17 metros (Tabela 2).

Destaca-se que a área do espelho d'água obtida por meio da fotointerpretação em Sistemas Geográficos de Informação (SIG) é uma variável dependente do

volume de chuvas na época do ano em que foi realizado o voo para obtenção das fotografias aéreas. Portanto, seria esperado que a largura maior do rio Macaé, no ano de 2000, fosse devida ao regime de chuvas da estação do ano em que as fotografias foram realizadas. No entanto, se compararmos a largura do trecho que já estava retificado em 1968 com a largura do mesmo trecho do canal em 2000, vê-se que a diferença é pequena e não justificaria um aumento de 20 metros na média em todo o canal.

O alargamento da calha fluvial desencadeia inúmeros efeitos sobre a hidrodinâmica do rio. FRIEDENREICH & PINHEIRO (2002) destacam que o mesmo constitui-se em uma obra de engenharia com resultados bastante contraditórios. Nas áreas à montante da obra, o aumento da velocidade do escoamento provoca, simultaneamente, a redução do nível de cheias e o aumento da ação erosiva sobre a margem fluvial, já à jusante da obra, conseqüentemente, aumenta a tendência de cheias, que também eleva as possibilidades da ocorrência de erosão das margens, através do processo de escorregamento. Além disso, de acordo com os mesmos autores, quando se aumentam as variações no nível da água de um determinado canal, o solo fica saturado com mais frequência durante as cheias, proporcionando suscetibilidade à queda; e quando o nível da

água diminui o solo mais seco e menos resistente ao atrito fica mais suscetível à erosão. Tal amplitude na variação do nível das águas também pode ser responsável pela deposição de sedimentos e assoreamento em determinados locais, em períodos mais secos.

Esta análise se torna preocupante uma vez que os estudos de séries históricas hidrológicas abrangendo período de 41 anos e disponibilizados no *site* da Agência Nacional da Água (ANA) para a Bacia do rio Macaé, mostram que os eventos pluviométricos máximos interanuais estão ficando cada vez mais fortes no baixo curso, enquanto o alto curso mantém sua regularidade de ritmo pluviométrico (NASCIMENTO *et al.*, 2010). De acordo com o autor, as tendências pluviométricas sazonais, tanto para o alto curso, como para o baixo curso, demonstram congruência de comportamento com registro de aumento dos totais acumulados de verão e redução dos totais de inverno.

Mapeamento da morfologia em planta dos canais, antes e após as obras de retificação.

O mapa das alterações da forma em planta dos canais mostra que os rios tiveram fortes deslocamentos para o centro de suas planícies em função do processo de retificação (Figura 3). Para o canal do rio

Macaé, tal mudança foi bastante alongada e assimetria acentuada significativa por este constituir-se no canal principal da bacia e esta possuir forma

(ASSUMPÇÃO & MARÇAL, 2006).

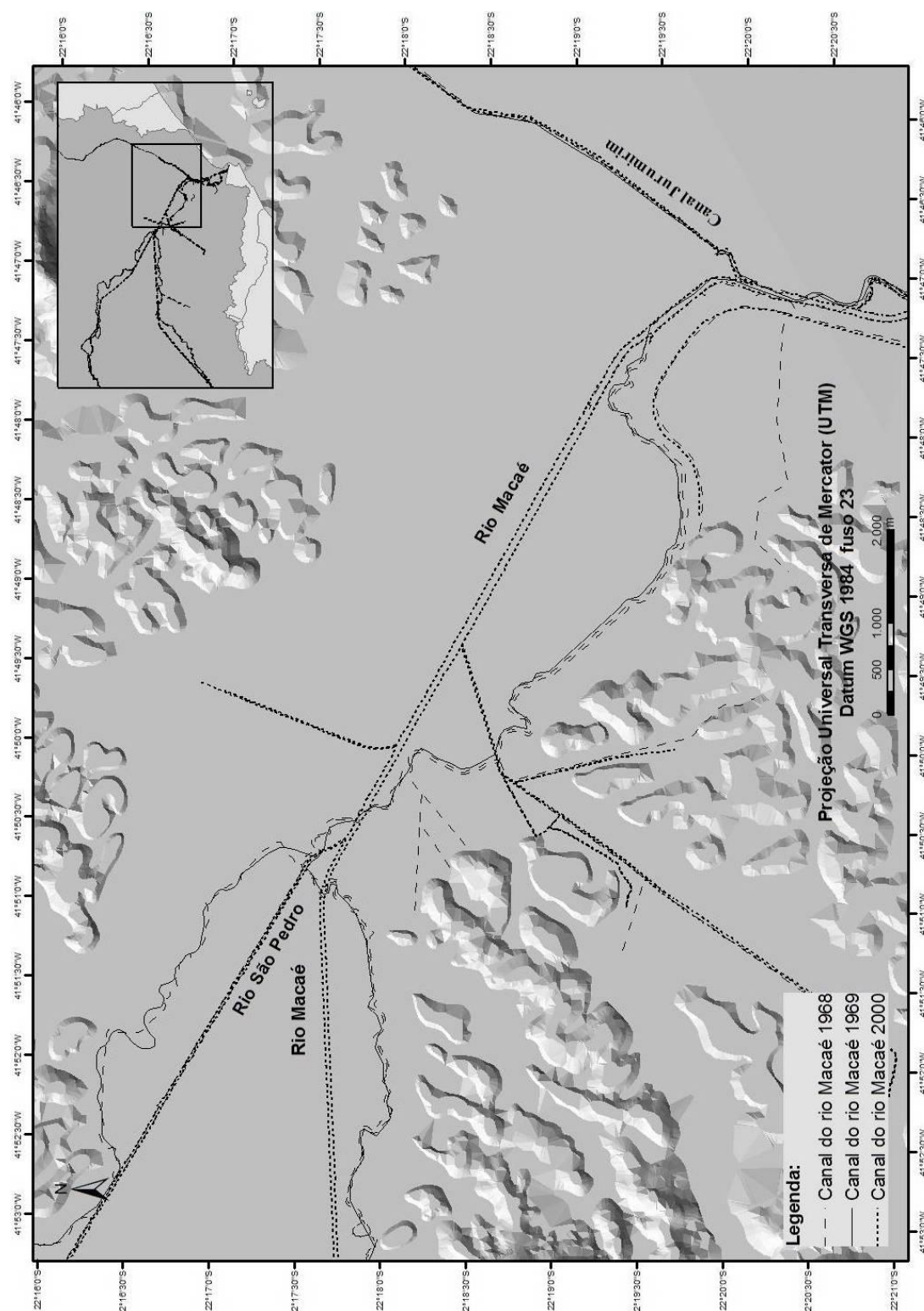


Figura 3- Mapa da forma em planta dos canais na planície do Rio Macaé (RJ).

Antes da realização das obras de retificação (fotografias aéreas do ano de 1968 e 1970), observa-se que desde a confluência com o rio D'Antas, localizado à montante da retificação, até a desembocadura do canal Jurumirim, localizado próximo à foz, o rio Macaé apresentava seu canal posicionado à direita do vale, no sentido nascente-foz, caracterizando uma assimetria acentuada. Tal assimetria é característica marcante da bacia como um todo e segundo ASSUMPÇÃO & MARÇAL (2006) atinge um índice de 0,87 (em uma escala que varia de 0 a 1, sendo o valor 1 correspondente ao mais assimétrico) utilizando-se a metodologia elaborada por COX (1994). Ressalta-se que esta assimetria do canal pode estar relacionada a vários fatores regionais, incluindo-se aqui os de movimentação tectônica cenozóica. Conforme Assumpção & Marçal *op.cit.*, o canal principal foi deslocado em até 1,5 km da sua posição original no vale, o que pode ter provocado alterações na granulometria do sedimento do leito e, portanto, do sedimento transportado desde a realização das obras de retificação. Tal deslocamento trouxe como efeito a remobilização de sedimentos mais antigos presentes na nova posição do canal na planície aluvial. Ademais, é possível que haja tendência do canal a migrar de volta para sua posição original.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1990), os meandramentos realizados pelo canal fluvial em sua planície de inundação são o meio pelo qual os rios efetuam seu trabalho com a menor e melhor distribuição de gasto de energia. Nesse sentido, o meandramento dos canais está mais diretamente associado à granulometria dos sedimentos do que ao gradiente do substrato e, portanto, quando o canal é desviado do seu leito natural nas obras de retificação, um novo período de ajuste da forma do canal à granulometria é necessário, já que a composição do leito também é alterada.

Segundo SCHUMM (1977 *apud* WIZGA, 2001), mudanças no fornecimento de sedimentos são diretamente refletidas na tendência de erosão ou aggradação do leito de um canal, enquanto que mudanças no tamanho dos grãos carregados resultam na alteração da proporção entre sedimentos em suspensão e sedimentos de fundo, o que afeta diretamente a forma em planta e da seção transversal do canal.

Observa-se que o rio Macaé, particularmente em seu trecho retificado, vem apresentando erosão das margens, formação de depósitos em ilhas, barras e outras feições geomorfológicas menores, como podem ser observadas no mapa das feições geomorfológicas fluviais nas áreas de baixada do rio Macaé (Figura 3).

Feições fluviais no canal do rio Macaé:

antes das obras de retificação (fotografias aéreas dos anos de 1968 e 1970), o rio Macaé possuía padrão meandrante apresentando inúmeras feições deposicionais, destacando-se principalmente as formas em *point bars*, que somam ao todo setenta e uma (71) na área mapeada. A migração dos meandros é evidenciada através da ocorrência de inúmeras formas do tipo *paleocanais* e *meandros abandonados*. Tais feições apresentam-se dispersas na planície aluvial demonstrando que o rio Macaé, em épocas anteriores as atuais, já teve seu leito em várias posições na planície, e que, por conseguinte, possui sedimentos de origem fluvial relacionados a vários períodos, além de sedimentos de origem marinha referente ao período em que a planície fluvial foi invadida pelo mar na última transgressão marinha (SILVA & CUNHA, 2001). São encontradas feições do tipo *ilhas vegetadas*, próximo à confluência com o rio São Pedro e formadas em função da deposição de sedimentos devido à redução na velocidade do fluxo e perda de competência das águas do rio Macaé. Essas formas deposicionais no canal podem corresponder tanto ao resultado da redução na velocidade do fluxo como à causa de redução dessa velocidade, uma vez que estas feições funcionam como obstáculos para as águas dos rios e excelentes locais para reprodução

de peixes (BROOKES, 1988; CUNHA, 1995).

Após as obras de retificação (fotografias aéreas do ano de 2000), o rio Macaé deixa de apresentar as formas deposicionais que antes eram comuns no seu leito e na planície. Porém, ainda são identificadas feições geomorfológicas como *barras laterais* e *ilhas fluviais* em tamanhos menores que as anteriormente mapeadas, no período que antecede às obras de retificação. As feições mapeadas nesse ano de 2000 estão relacionadas à retificação do canal, muito em função da ação direta da obra, pois onde elas ocorrem o novo canal (ora retificado) foi escavado muito próximo ao canal original, sendo que o primeiro passou a ter o fluxo principal e o segundo, mais antigo, passou a formar um canal ramificado, e a porção emersa de terra entre eles passou, então, a formar uma ilha fluvial. Destaca-se que na área urbana de Macaé, na desembocadura do rio Macaé, há registros de cheias frequentes durante o período chuvoso do ano (de novembro a março), ocorrendo também eventos extremos com danos de diversas ordens aos moradores de bairros localizados nas proximidades do canal fluvial e em sua extensa planície fluvial, em períodos intervalares de dois a quatro anos aproximadamente. Tais eventos têm sido relacionados às intervenções no canal

fluvial, uma vez que se tornaram freqüentes após as obras de retificação.

Feições fluviais no canal do rio São Pedro: da mesma forma que o rio Macaé, o rio São Pedro, antes das obras de

retificação, possuía forte padrão meandrante apresentando inúmeras feições deposicionais, destacando-se inicialmente as formas em *point bars* (Figura 4).

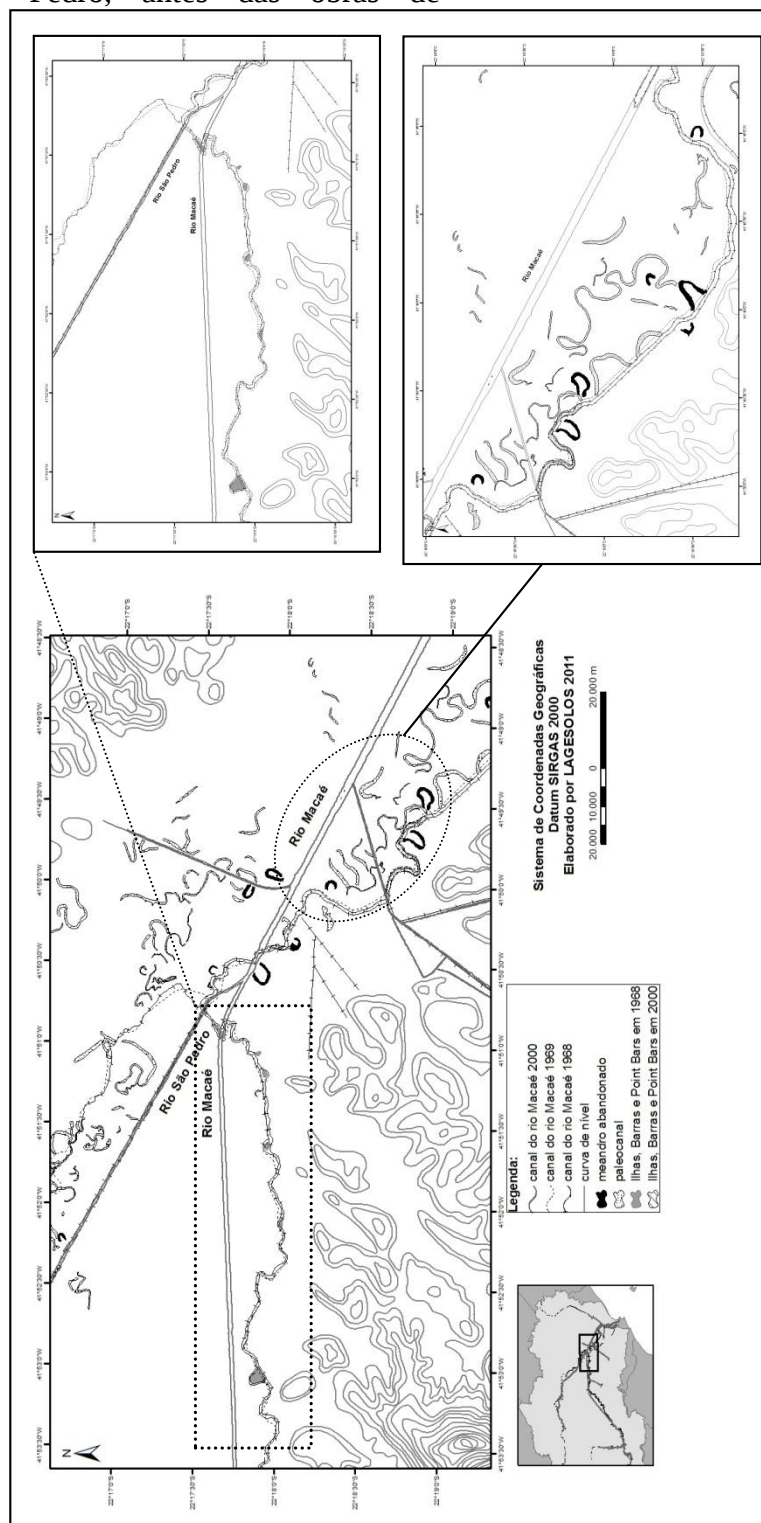


Figura 4 - Mapa das feições geomorfológicas fluviais no rio Macaé (RJ).

Devido à falta de fotografias aéreas referentes ao ano de 1968 que abrangesse toda área de baixada, não foi possível quantificar o total de feições para esse período. No entanto, próximo à localidade de Córrego do Ouro, à montante do trecho retificado, o rio São Pedro apresenta diversas feições em forma de *meandros* e *point bars* estendendo-se até a confluência com o rio Macaé (Figura 4). Com base na interpretação de fotografias aéreas de 2000 e imagens mais recentes obtidas pelo *Google Earth* para o ano de 2007, observa-se a rápida migração dos meandros em um curto espaço de tempo. A rápida migração dos meandros está associada à razão entre a largura e a profundidade do canal, pois de acordo com CHRISTOFOLETTI (1990), quando esta relação é pequena, a movimentação do mesmo é rápida e, à medida que cresce esta razão, aumenta a estabilidade das margens dificultando seu deslocamento.

Após as obras de retificação, aproximadamente trinta anos decorridos das intervenções, as fotografias aéreas do ano de 2000 mostram que o rio São Pedro deixou de apresentar as suas inúmeras formas deposicionais. Porém, podem ser vistas, em poucos trechos, feições do tipo *point bars* e *ilhas fluviais* (Figura 4). Destaca-se que não foi possível mapear a área logo após o processo de retificação,

uma vez que não há disponível fotografia aérea ou imagens de satélite com resolução compatível com a escala de trabalho no período que sucedeu às obras. Pode ser identificado em alguns pequenos trechos do rio São Pedro o desenvolvimento de curvas abertas devido à imposição do meandramento do seu talvegue, desencadeando mecanismo de erosão e deposição alternadas nas margens, indicando ajuste do canal às novas condições impostas. Nesse novo ambiente retificado ocorre a formação de feições como *ilhas fluviais*, decorrentes da elevada carga sedimentar que chega ao canal proveniente das áreas à montante da bacia e da sua própria planície intensamente ocupada pela agricultura e pastagem. Essas ilhas ocorrem de forma bem espaçada e apresentam tamanhos variados entre dois e cinco metros de comprimento e um de largura, sendo mapeada uma única ilha fluvial que ultrapassa essas dimensões chegando a quase dez metros de comprimento e dois de largura localizada na confluência com o rio Lório.

Feições fluviais no canal do rio D'Antas:

o rio D'Antas é um canal afluente pela margem esquerda do rio Macaé que deságua pouco antes do início do trecho retificado. A interpretação das fotografias aéreas mostra grande diferença na forma em planta do seu canal, nos três períodos

mapeados: 1968 (DRM), 2000 (AMPLA) e 2007 (imagens *GoogleEarth*).

Antes das obras de retificação, as fotografias aéreas do ano de 1968 mostram a retirada de pequenas curvas do canal, tanto no seu alto curso como já próximo à confluência com o rio Macaé. Neste mesmo ano, apresenta pequenos trechos já modificados pelas obras, com depósitos de areia na planície (provavelmente retirados na escavação). Feições na forma de *colo de meandro*, cortados para criação do novo leito do rio, e *meandros abandonados* podem ser mapeadas.

Nas fotografias aéreas do ano de 2000, nota-se que houve uma obra maior que retificou um trecho de 1.440 metros, transformando-o em um canal retilíneo de 690 metros. Entre os anos de 2000 e 2007 não foram verificadas muitas alterações no curso do rio D'Antas, exceto pela migração dos meandros encontrados após a área retificada mais recentemente para jusante, evidenciando o aumento da velocidade do fluxo no trecho retificado, o que tem provocado a erosão das margens.

Observa-se que as modificações ocorridas no intervalo de 30 anos neste trecho retificado do canal foram muitas, uma vez que houve crescimento da praia fluvial à jusante da foz do rio D'Antas e crescimento de feições geomorfológicas *point bars* e *migração de meandros* à montante e à jusante deste trecho, além da

modificação direta ocasionada pelas obras. No entanto, por cerca de trinta anos, o curso do rio Macaé, na foz do rio D'Antas, modificou-se menos do que em sete anos de intervalo entre as fotografias aéreas de 2000 e a imagem de satélite de 2007. Acredita-se que tal diferença deva-se à realização de obras recentes de retificação no rio D'Antas, que tem provocado aumento da velocidade do fluxo e, conseqüentemente, da carga sedimentar.

CONCLUSÕES

As obras realizadas na década de 1940 pelo extinto DNOS na planície do rio Macaé foram importantes sob o aspecto da resolução em curto prazo de problemas ambientais. Porém, sob a perspectiva de médio e longo prazo, vem produzindo mudanças na dinâmica dos processos fluviais do canal Macaé. O novo traçado do canal imposto pela retificação impôs modificações realizadas na forma em planta dos canais fluviais, o que pode ser observado através das mudanças nas feições morfológicas encontradas nos mesmos podendo influenciar nas mudanças sobre as características hidrossedimentológicas do rio Macaé, uma vez que as formas estão intimamente associadas às características do fluxo e da carga sedimentar do canal. Após cerca de trinta anos, podem ser observados através

do mapeamento realizado o redirecionamento das áreas de erosão e sedimentação em escalas não compatíveis com a dinâmica atual do rio. As feições geomorfológicas fluviais mapeadas neste estudo são indicadores importantes dessas alterações na região da baixada do rio Macaé, considerando seu mapeamento e comportamento anterior.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPERJ e CNPq pelos auxílios concedidos. À Geógrafa Pilar Amadeu de Souza pela contribuição na realização das figuras.

REFERÊNCIAS

- ASSUMPÇÃO, A.P.; MARCAL, M.S. (2006). Anomalias de Drenagem na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sana (RJ). In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. Goiânia. v.2. p.1-10.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (2005). Conservação do Solo. Ícone. 5ª edição. São Paulo. 355 p.
- BINDER, W. (1998). Rios e córregos: preservar, conservar e renaturalizar. SEMADS. Rio de Janeiro, 39p.
- BROOKES, A. (1988). Channelized Rivers: Perspectives for environmental management. Wiley – Interscience. 326p.
- BROOKES, A. (1994). Geomorphology/Geology. In: GARDINER, J. L. (org.) River Projects and Conservation: A Manual for Holistic Appraisal. John Wiley & Sons. Chichester. p. 57-66.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (2005). Conservação do Solo. Ícone. 5ª edição. São Paulo. 355 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1990). Geomorfologia Fluvial. E. Blucher, São Paulo, 313 p.
- COLLINS, M.J. & KNOX, J.C. (2003). Historical Changes in Upper Mississippi River Water Areas and Islands. In: Journal of The American Water Resources Association. p. 487-500.
- COX, R.T. (1994). Analysis of Drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. Geological Society of American Bulletin, University of Coluymbia, Missouri, v. 106, p. 571-581.
- CUNHA, S. B. (1995). Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Editora do Instituto de Geociências da UFRJ: Rio de Janeiro. 378p.
- FRIEDENREICH, G. & PINHEIRO, A. (2002). Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC). Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, nº 1, p. 1-9.
- KELLER, E.A. (1978). Pools, riffles and channelization. Environmental Geology, 2: p. 119-127.

- NAKAMURA, F.; SUDO, T.; KAMEYAMA, S.; JITSU M. (1997). Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japa. *Geomorphology*. v. 18. p. 279-289.
- NASCIMENTO, F.J.B.; HINGEL, R.L.; SOUZA, P.A.; MARÇAL, M.S. (2010). Caracterização Espaço-Temporal das chuvas em Associação às vazões na Bacia do rio Macaé (RJ). In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010, Fortaleza. *Anais*. Fortaleza: SBCG.
- SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. (2001). Geologia do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, Brasília.
- SCHUMM, S.A. (1977). *The fluvial System*, Chichester, UK: John Wiley and Sons, 338p.
- TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. (2003). *Inundações urbanas na América do Sul*. Ed. Universidade, GWP WMO – ABRH. Porto Alegre. 150p.
- VIEIRA, V.T. & CUNHA, S.B. (2005). Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro) In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.). *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro. 3º ed. p.111-145.
- WIZGA, B. (2001). A Geomorphologist's Criticism of the Engineering Approach to Channelization of Gravel-Bed Rivers: Case Study of the Raba River, Polish Carpathians *Environmental Management*. v 28, nº3, p. 341-358.