

Estimativa do volume e massa dos processos erosivos e sedimentares do canal do médio rio Araguaia utilizando imagens Landsat TM 5 e Geoprocessamento

Roberto Prado de Moraes ¹

¹UniEvangelica – Centro Universitário de Anápolis
Programa de Pós-Graduação – Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente
Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade Universitária - CEP: 75083-515 - Anápolis - GO, Brasil
rpmorais@hotmail.com

Abstract. The dynamic of the Araguaia river along the decades of 1960 and 1990, modified the morphology of the channel causing major unbalances in the erosive and sedimentation processes. The lateral migration of the channel unchained the erosion of the banks associated to the alluvial plains, promoting an intense sedimentation of channel bed. The purpose of this study was to determine the annual average estimation of the volume and mass of the eroded and sedimented sediments in the channel was done. The methodology evolved areal quantification data of the erosion and lateral sedimentation processes along the decades of 1960 and 1990, obtained from mapping of satellite image (Landsat TM5), the use of the GIS (Geographic Information System), and also, calculations of volume and mass of the sediments. It was verified that the erosive processes action is more intensely destroying old units of the alluvial plains where the sediments that return to the fluvial channel contribute to the formation of the newest unit of the plain, which is intensely rebuilt by the erosive and sedimentary processes. Annual average estimations of removal sediments of alluvial plain reveals numbers like 18.220 million tons a year and 25.440 million tons a year of sedimented materials in the banks and beds of the channel. This means that the annual average estimation is 7.220 million tons of sediments stored in the system, intensifying the channel sedimentation.

Palavras-chave: remote sensing, fluvial geomorphology, hidrology. sensoriamento remoto, geomorfologia fluvial e hidrologia.

1. Introdução

Estudos conduzidos no médio rio Araguaia diagnosticaram que o rio iniciou uma intensa atividade de mudanças no seu canal fluvial entre as décadas de 1960 e 1990, que sugeriam uma rápida resposta fluvial ao desmatamento e mudanças do uso da terra na área da bacia do médio Araguaia, desde o início da década de 1970 (Morais, 2002).

A rápida resposta do Araguaia chamou atenção pela sua velocidade em relação a curta escala temporal abordada. Durante curtos períodos de tempo, anos ou décadas, os canais fluviais depositam sedimentos no seu leito e ao longo de suas margens. Esses sedimentos podem permanecer armazenados no sistema formando depósitos de canais, como ilhas e barras, ou serem remobilizados, caso haja mudanças nas condições de fluxo e na descarga de sedimentos no sistema fluvial.

Os rios depositam sedimentos no seu leito e ao longo de suas margens, constituindo depósitos de canal ou associados na construção de sua planície de inundação. Para Meade (1988), o tempo que leva para que ocorra a remobilização de sedimentos armazenados na planície de inundação é muito superior em relação ao tempo necessário para remobilizar os sedimentos do leito. Os depósitos da planície de inundação dos rios são removidos principalmente pela erosão das margens, através do processo de migração lateral do canal.

Segundo Leopold et al. (1964), para que haja uma grande remobilização dos depósitos das planícies, são necessários períodos de tempo da ordem de milhares de anos, no caso, considerando que o rio não tenha uma tendência ao encaixamento formando terraços fluviais. Mas, segundo Schumm (1977), existem consideráveis variações na duração das escalas temporais para que as planícies de inundações possam ser remobilizadas.

Estudos realizados no médio rio Araguaia sobre as mudanças na morfologia do canal desencadeadas por processos de erosão e sedimentação, dentro de um curto intervalo de tempo entre as décadas de 1960 e 1990, demonstraram o rápido processo de migração lateral do canal pela planície aluvial. Além de uma intensa sedimentação nas margens do canal e no seu leito, sendo interpretados como indícios de processos de assoreamento (Morais, 2002). Partindo desta base de dados com abordagem multidisciplinar entre as áreas de sensoriamento remoto, geomorfologia, hidrologia, engenharia hidráulica e sedimentologia, Latrubesse et al. (2009) estimaram que aproximadamente 233 milhões de toneladas de sedimentos foram armazenados no canal e na planície do rio Araguaia no período analisado, em consequência ao rápido processo de desmatamento do Bioma Cerrado.

Em razão dos processos acelerados de erosão e sedimentação no canal desencadeados ao longo do período, o canal do médio Araguaia passou a erodir as unidades mais velhas da planície aluvial e utilizar os sedimentos removidos anexando-os lateralmente ao canal contribuindo para a formação de uma nova planície (Morais, 2008).

Utilizando dados hidrológicos, geomorfológicos, imagens de satélite e geoprocessamento para quantificar o processo acelerado de sedimentação no canal, o trabalho aqui apresentado tem como objetivo estimar a média anual dos sedimentos erodidos e sedimentados no canal do Médio Araguaia determinando sua massa e o volume armazenados no canal entre as décadas de 1960 e 1990.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

O Araguaia é um grande rio aluvial que tem cerca de 2.110 km de extensão, sua bacia tem uma área de 380.000 km² com vazão média de 6.420 m³/s. O clima na área da bacia é do tipo continental tropical úmido (Cw) na classificação de Köppen com temperatura média anual de 22° C e precipitação média entre 1300 mm a 1800mm. Inserida totalmente dentro da região de Cerrado, o Araguaia se constitui no principal sistema fluvial que drena este Bioma.

O rio Araguaia no médio curso caracteriza-se por ser um canal do tipo anabranching de baixa sinuosidade, com tendência ao entrelaçamento. Transporta abundante carga de fundo (areias), e as barras e ilhas são as feições aluviais principais ao longo do canal (Morais, 2006).

Os resultados apresentados neste trabalho abrange parte do canal do Médio Araguaia, com aproximadamente 580 km de canal, localizada entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a confluência do Araguaia com o rio Cristalino na Ilha do Bananal. O canal está dividido em dez segmentos segundo os padrões tectônicos que controlam o canal principal (Morais, 2002) (figura 1).

2.1 Calibração de dados

Esse procedimento metodológico consiste em realizar a calibração das imagens de satélite Landsat TM 5 (1997) e produtos cartográficos do canal com dados de medidas hidrológicas obtidas diretamente no canal fluvial. Objetivando maior confiabilidade dos dados areais obtidos nesse trabalho foi realizado um controle da variação das cotas do rio Araguaia desde o ano de 1970 até 1997. Justifica-se que não há registros hidrológicos de medidas de cotas para anos anteriores a 1970 nas estações fluviométricas da bacia do Araguaia no trecho de estudo. Os dados de cotas foram obtidos junto à CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Foi escolhida a estação fluviométrica de Aruanã para processamento dos dados considerando ser a estação com maior quantidade de registros históricos.

Os produtos cartográficos utilizados têm registros de aquisição que correspondem ao mês de julho, tanto para fotografias aéreas (década de 1960), imagens de radar (década de 1970) e imagens de satélite (década de 1990). Foram calculadas as médias do mês de julho desde o ano de 1970 até 1997.

A média do período fixou uma cota de 1,70 metros e o desvio padrão apresentou um valor de 0,34 o que significa que o desvio em relação à média é relativamente pequeno. A cota média do mês de julho do ano de 1970 é de 1,14 metros e do mesmo período referente ao ano de 1997 de 2,63 metros. Considerando que a cota média de julho de 1997 está 1,57 metros acima da cota do ano de 1970, este valor é indicativo de que os dados areais aqui apresentados, principalmente da área sedimentada dentro do canal, podem ser ainda maiores

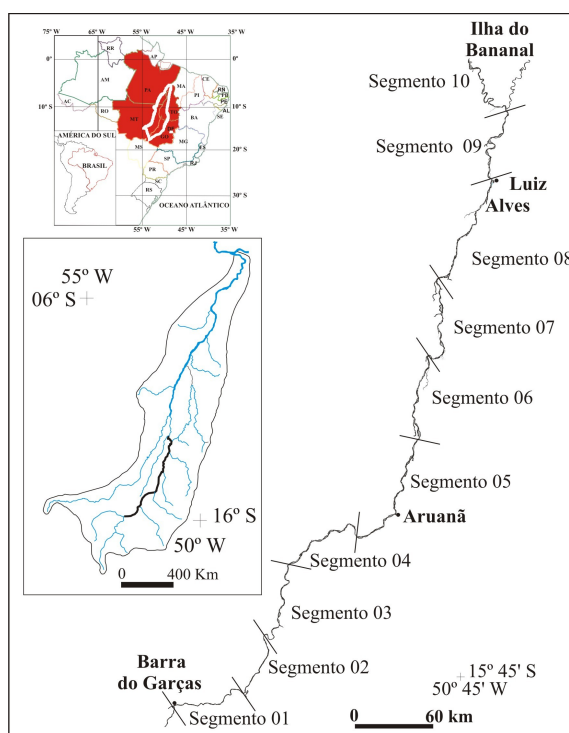


Figura 1: Localização da área de estudo – Bacia do rio Araguaia e trecho do canal do médio Araguaia.

2.3 Mapeamento e Geoprocessamento

O mapa de processos erosivos e sedimentares do canal do médio Araguaia entre as décadas de 1960 e 1990 (Morais, 2002), foi cruzado com o mapa de unidades da planície aluvial do canal, que é composto por três unidades (planície de escoamento impedido, planície de paleomeandros e planície de acreção de barras e ilhas), todos elaborados na mesma escala de 1:100000 a partir de imagens de satélite Landsat TM 5 (Morais, 2006).

Com a sobreposição desses dois produtos cartográficos, foi possível obter as áreas de cada unidade removidas pelos processos de erosão lateral, e das áreas sedimentadas no canal ao longo do período analisado. Foram gerados relatórios areais pelo programa SPRING (Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada).

O mapa de processos erosivos e sedimentares, obtido a partir das imagens de satélite é composto por treze categorias que foram agrupadas de acordo com o processo a que pertencem:

I – Processos Erosivos no Canal Fluvial: 1 – Erosão lateral; 2 – Erosão em ilhas residuais; 3 – Ilhas erodidas; 4 – Erosão em ilhas anexadas à planície de inundação.

II – Processos Sedimentares no Canal Fluvial: 1 – Sedimentação lateral; 2 – Sedimentação em núcleo de ilhas residuais; 3 – Ilhas anexadas à planície de inundação; 4 – Ilhas residuais anexadas por sedimentação para formação de uma nova ilha; 5 – Sedimentação em ilhas residuais em setores erosionados; 6 – Núcleo de ilhas residuais; 7 – Ilha nova em setor erosionado; 8 – Ilha nova no canal; 9 – Sedimentação lateral em setor erosionado (figura 2).

As classes 3, 4 e 6 não entram no balanço areal por serem consideradas morfologias residuais do canal.

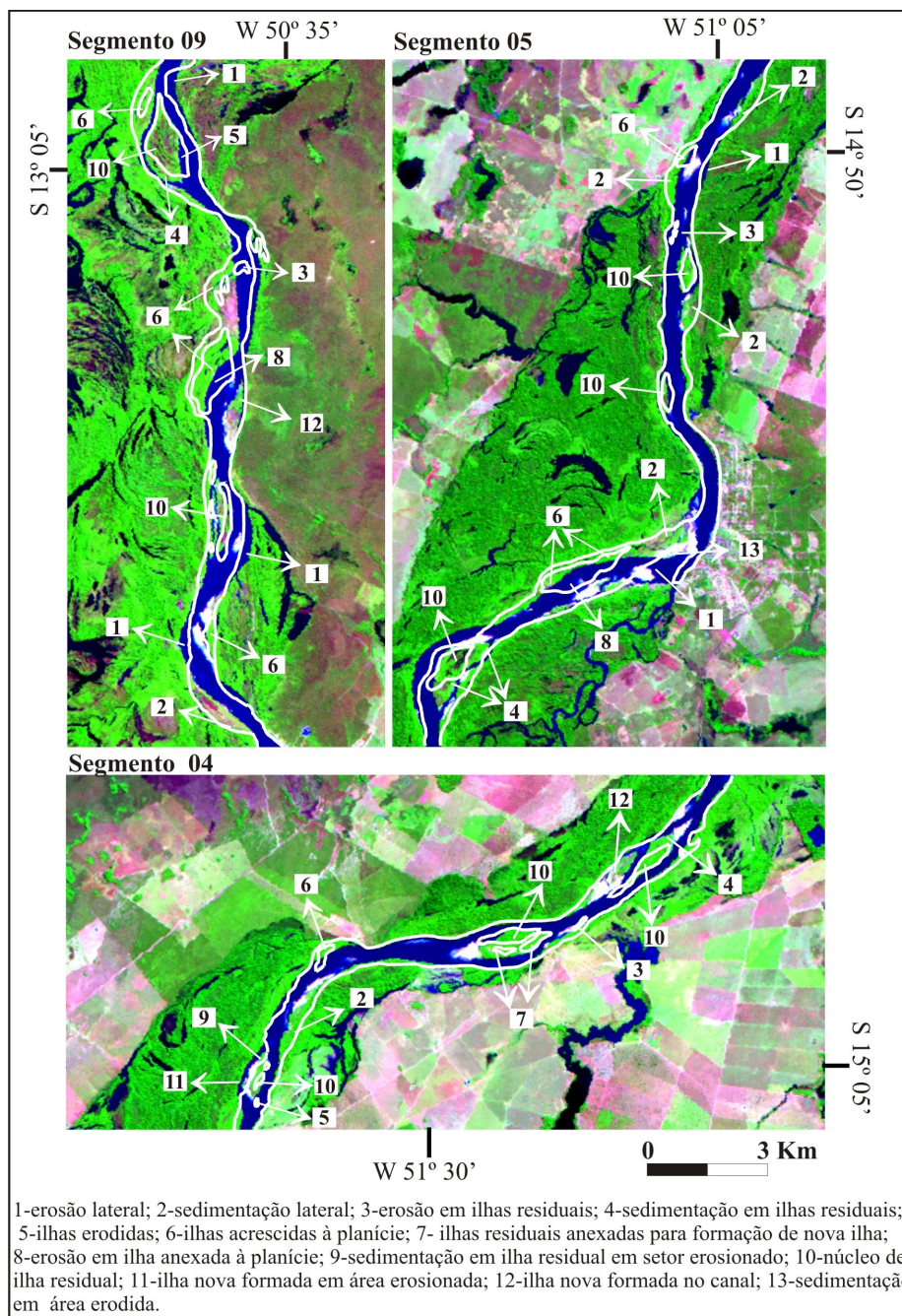


Figura 2: Processos erosivos e sedimentares associados ao canal do Médio Araguaia. Imagens de satélite Landsat 5 TM do ano de 1997, as linhas brancas indicam a posição do canal no ano de 1965.

2.4 Determinação de volume e massa dos sedimentos

Para determinar a quantidade de sedimentos remobilizados por erosão e sedimentação ao longo do período analisado, procedeu-se a quantificação do volume e massa. Esse cálculo foi realizado nos dez segmentos do canal. A primeira base de dados utilizada foram os valores areais dos processos erosivos e sedimentares do canal entre as décadas de 1960 e 1990 e a espessura dos depósitos sedimentares da planície, ilhas e barras de canal, obtidas em trabalhos de campo.

As espessuras dos sedimentos foram obtidas a partir da análise de vários perfis sedimentológicos levantados ao longo do rio Araguaia nos barrancos do canal e perfurações na planície aluvial por sonda vibra-core. Definiu-se uma média da espessura dos depósitos de 6,7m, sendo 4,7m de areias (base) e 2m de sedimentos finos silte-argila (topo). A equação 1 foi utilizada para calcular o volume de sedimentos.

$$V = A \times E \quad (1)$$

onde, V=volume; A=área erodida e sedimentada; E=espessura dos depósitos. A unidade de medida do volume das áreas foram estimadas em m³.

Obtido o volume, procedeu-se o cálculo da massa para determinar a quantidade de material erodido e sedimentado. A equação 2 foi utilizada para o cálculo de massa.

$$M = \rho \times V \quad (2)$$

onde, M=massa; V=volume; ρ =densidade aparente dos sedimentos (em função da porosidade dos sedimentos) (Latrubesse et al., 2009). A densidade aparente das areias é de 1,490 kg/m³ e para os sedimentos finos 1,328 kg/m³. A unidade de massa dos sedimentos foi estimada em toneladas.

O balanço médio anual de material erodido e sedimentado foi obtido dividindo-se os valores de volume e massa de cada segmento do canal pelo tempo em que os processos erosivos e sedimentares atuaram, no caso cerca de 32 anos.

3. Resultados e Discussões

3.1 Estimativa média anual do material erodido e sedimentado no canal do médio rio Araguaia

A erosão marginal está diretamente ligada à migração lateral do canal, portanto, pode ser considerada um dos principais processos na remobilização de sedimentos nos canais fluviais. Segundo Hooke (1997), a mudança no curso dos rios provocada pela erosão marginal está associada ao desenvolvimento da planície. A compreensão dos seus processos é de fundamental importância para se entender o desenvolvimento das morfologias fluviais.

No Brasil, os estudos sobre erosão marginal são poucos, e tem suas causas ligadas a construção de barragens. Destacam-se nesse sentido trabalhos no rio Paraná (Fernandez, 1990), no rio São Francisco (Fontes, 2002).

Na área de estudo ao longo de 580 km de extensão, a remoção de sedimentos por erosão ao longo de 32 anos foi de 402.560 milhões de m³, o que equivale a 584 milhões de toneladas, e quanto a sedimentação foi de 565.620 milhões de m³ correspondente a 818.650 milhões de toneladas. Latrubesse et al. (2009) estimou que nesse período a quantidade de sedimentos que ficaram efetivamente armazenados no sistema foi de aproximadamente 233 milhões de toneladas.

A média anual do volume erodido estaria em torno de 12.540 milhões de m³, o que corresponde a 18.200 milhões de toneladas, e sedimentando cerca de 17.610 milhões de m³, equivalente a 25.440 milhões de toneladas.

A tabela 1 traz os valores de volume e massa calculados para os dez segmentos do canal do médio Araguaia, no período entre as décadas de 1960 e 1990, onde também se obteve uma estimativa média anual da quantidade de material sedimentar dos processos de erosão e sedimentação do canal. Pela diferença entre o que foi sedimentado e o que foi erodido, é possível estimar, em função do tempo, a quantidade de sedimentos arenosos que ficaram retidos em cada segmento de canal a cada ano.

Tabela 1: Dados referentes ao volume e massa de sedimentos erosionados e sedimentados no canal do Médio Araguaia.

Segmentos	Período entre as décadas de 1960 e 1990				Média anual estimada			
	Volume 10 ⁶ (m ³)		Massa 10 ⁶ (ton)		Volume 10 ⁶ (m ³)		Massa 10 ⁶ (ton)	
	Erosão	Sedimentação	Erosão	Sedimentação	Erosão	Sedimentação	Erosão	Sedimentação
1	16,34	19,69	23,55	28,38	0,51	0,61	0,73	0,88
2	9,44	19,9	13,61	31,57	0,29	0,62	0,42	0,98
3	47,31	56,06	72,53	80,84	1,47	1,75	2,26	2,52
4	29,81	74,1	42,97	106,82	0,93	2,31	1,34	3,33
5	58,96	84,42	84,99	121,69	1,84	2,63	2,65	3,80
6	52,72	70,68	76,01	101,89	1,64	2,20	2,37	3,18
7	50,92	68,4	73,4	98,61	1,59	2,13	2,29	3,01
8	56,07	61,03	80,84	87,98	1,75	1,90	2,52	2,74
9	42,07	63,24	60,64	91,17	1,31	1,97	1,89	2,84
10	38,92	48,1	56,11	69,35	1,21	1,5	1,75	2,16
Total	402,56	565,62	584,65	818,3	12,54	17,62	18,22	25,44

Fonte: autor

De acordo com a tabela 1, as quantidades de volume e massa podem variar bastante entre um segmento do canal e outro. Isso porque, cada segmento está condicionado a receber volumes diferenciados de descargas de sedimentos que são transportados pelos afluentes do médio Araguaia. Destaca-se dez grandes sub-bacias afluentes que deságuam ao longo do canal na área de estudo. Os sedimentos produzidos na área dessas sub-bacias, em consequência do uso da terra, são transportados pela rede hidrográfica onde o destino final é o canal principal do Araguaia.

Os segmentos de canal 4, 5, 6 e 7 de acordo com a tabela 1, apresentam as maiores diferenças entre volume e massa de material erodido e sedimentado. A estimativa média anual é de que no segmento 4, o volume de sedimentos armazenados são de 1.990 milhões de toneladas. Analisando a figura 3, segundo a distribuição do percentual areal das sub-bacias, é possível notar que no final segmento 3, mais de 51% de toda a área de drenagem das sub-bacias já aportaram no canal ao longo dos segmentos 1, 2 e 3. A diferença no volume de material removido e sedimentado nos segmentos 1 e 2, juntos, é pequena quando comparados a outros segmentos; cerca de 710 mil toneladas por ano aproximadamente. Os segmento 1 e 2 são trechos do canal encaixados em rochas cristalinas e condicionados por estruturas de falhas tectônicas, estas características naturais proporcionam uma resistência maior a intensidade das atividades erosivas. Nesse sentido eles assumem uma maior capacidade de transferir para jusante os sedimentos provenientes das sub-bacias que neles aportam.

No segmento 3, verifica-se um aumento considerável do volume e massa dos sedimentos, contudo, estima-se que ao longo de um anos cerca de 260 mil toneladas ficaram retidas nesse trecho do canal. A partir do segmento 4 até o 7, evidencia-se um aumento no volume e massa referentes à intensidade da dinâmica anual dos processos erosivos e sedimentares. Os

segmentos 4 e 5 são as áreas correspondentes às maiores quantidades de material armazenado, superior a 1 milhão de toneladas anuais e vai decrescendo daí em diante em relação aos segmentos de jusante. No segmento 8, esses valores diminuem bastante, considerando que a entrada de grandes afluentes ocorreram no início do segmento 7 e posteriormente no final do segmento 8. No segmento 9, a quantidade armazenada de sedimentos chega a 850.000 milhões de toneladas anualmente.

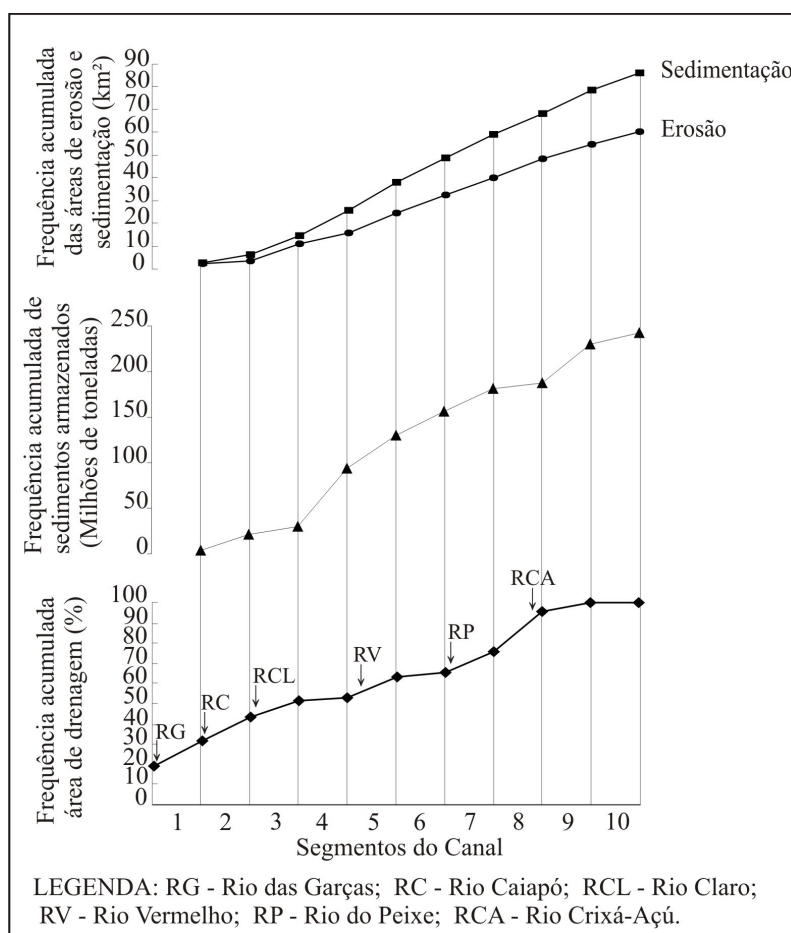


Figura 3: Frequência acumulada da área de drenagem associada aos processos de erosão e sedimentação e quantidade de sedimentos armazenados ao longo dos dez segmentos do canal do médio Araguaia.

4. Conclusões

Considerando as altas taxas de erosão e sedimentação associadas ao canal, e a remoção de sedimentos da planície aluvial do médio Araguaia, estimou-se as taxas anuais de volume e massa dos sedimentos erodidos, depositados e armazenados em cada um dos dez segmentos de canal.

A diferença ressalta entre um segmento e outro pela intensidade da capacidade erosiva e sedimentar. Verificou-se que esses processos tem relação direta com as sub-bacias que deságuam no canal principal do médio Araguaia e estão distribuídas ao longo dos segmentos. De um total de 118.021 km² de área de drenagem que deságuam no trecho analisado, cerca de 51% da drenagem total acumulada já se distribuiu até o segmento 3. Com isso, nota-se que a partir do segmento 4 até o segmento 7, onde a área de drenagem alcança mais de 75%, esta a área de maior concentração dos volumes e massa de sedimentos erodidos no canal e

depositados ao longo da planície de acreção de barras e ilhas. A estimativa média anual de armazenamento de sedimentos ao longo do canal é de 7.220 milhões de sedimentos por ano.

A rápida intensidade dos processos erosivos e sedimentares nesse sistema fluvial, considerando o tempo em que vem ocorrendo, são indicativos claros de que fatores indiretos, como desmatamento e uso da terra intensificaram a descarga de sedimentos no sistema. Esses sedimentos foram distribuídos pela rede hidrográfica dos afluentes e aportaram no canal principal, causando, assim, um reajuste nas formas e nos processos geomórficos do canal e da planície aluvial do médio Araguaia.

Pode-se concluir que quanto maior o volume de sedimentos no canal principal, maior a quantidade de barras de canal, canais assoreados e conseqüentemente, de ilhas anexadas à planície por sedimentação, processos estes, que vem conduzindo mudanças para a morfologia do canal, com impactos geomorfológicos e ecológicos na planície aluvial, alterações na seção transversal do canal e no seu regime de fluxo, bem como, mudanças no talvegue do canal que alteram e comprometem a sua navegabilidade.

Referências Bibliográficas

Fernandez, O.V.Q. **Mudanças no canal do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico (PR)**. 1990. 96p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, SP. 1990.

Fontes, L.C.S. **Erosão marginal o baixo curso do rio São Francisco: um estudo de caso de impactos geomorfológicos à jusante de grandes barragens**. 2002. 249 p. Dissertação (Mestrado) – Núcleo de Pós-Graduação Estudos do Semi-árido, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE.2002.

Hooke, J. M. Styles of channel change. In: Thorne, H.; Newson, T. (eds). **Applied Fluvial Geomorphology for river engineering and management**. London: Wiley, 1997.

Latrubesse, E. M., Amsler, M. L., Morais, R. P., Aquino, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**. Amsterdam. v.113, p.239 - 252, 2009.

Leopold, L. B.; Wolman, M. G.; Miller, J. P. **Fluvial process in geomorphology**. San Francisco: H.W.Freeman. 1964.

Meade, R. H. Movement and storage of sediment in river systems. In: Lerman, A.; Meybeck, M., (eds). **Physical and chemical weathering in geo-chemical cycles**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p.165–179. 1988.

Morais, R. P. Estimativa da intensidade dos processos de remoção e remobilização de sedimentos da planície aluvial do médio Rio Araguaia por erosão fluvial In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. **Anais**. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia: Dinâmica e Diversidade de Paisagens. Belo Horizonte: Editora TecArt, 2008.

Morais, R. P. **A planície aluvial do Médio Rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais**. 2006. 148 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006.

Morais, R. P. **Mudanças históricas na morfologia do canal do rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (Mt) e a foz do rio Cristalino na Ilha do Bananal no período das décadas de 1960 e 1990**. 2002. 176 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002.

Schumm, S. A. **The Fluvial System**. John Wiley and Sons, New York, 338 p. 1977.