

Estudo da evolução dinâmica fluvial dos rios do Amazonas com base em imagens de RADAR e satélite nos últimos 30 anos, balanço entre área de erosão e deposição e possíveis conseqüências para a ocupação humana

Amaro Luiz Ferreira ¹

Wesley Jefferson Silva Saraiva ²

¹Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Av. André Araujo, 2160 Aleixo, Manaus-AM, Brasil, CEP 69060-001

amaro@ma.cprm.gov.br

² Estudante de Graduação da UFAM e estagiário do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Av. André Araujo, 2160 Aleixo, Manaus-AM, Brasil, CEP 69060-001

wesley.saraiva@gmail.com

Abstract. The Amazon region as resultant of geologic history and the climate, shelters a more extensive fluvial system and of bigger liquid mass of the Land. The analysis of products of remote sensing in the Amazônia is the technique that still persists as the main tool to assist in the execution of diverse scientific works. The agreement of the fluvial dynamics can serve of important tool to study itself as the occupation if it gave throughout the gutters of the main rivers of Amazon and as if it holds this occupation front to the variations of the observed fluvial systems, however eroding however depositing sediments. The secular analysis enters the data of images of RADAR of Project RADAMBRASIL (70) and the images Landsat Geocover 2000 in allow them to quantify how much of these two processes (erosion and deposition) are represented in terms of superficial distribution, for where this fluvial system this migration e, therefore which the cities, in special its headquarters, are or will be affected in the future. This study through a simple exercise of overlapping of the images in it allows them to trace a panorama of the rivers dynamics and a rocking of the erosion tax front to the deposition. Both the processes can cause considerable damages to them to be able public municipal theatres. With this knowledge they can be suggested measured to discipline the use and occupation throughout the gutter of the rivers as well as influencing when of the installation of the municipal enterprises.

Palavras-chave: remote sensing, geoprocessament of data, geology, rivers dynamics, sensoriamento remoto, geoprocessamento de dados, geologia, dinâmica fluvial

1. Introdução

A região Amazônica como resultante da história geológica e do clima, abriga um sistema fluvial mais extenso e de maior massa líquida da Terra, sendo coberta pela maior floresta pluvial tropical, que Alexandre Von Humboldt chamou de hiléia do grego “zona de selva” (Sioli 1991). A bacia Amazônica possui área de drenagem de 6.112.000 km² e se estende por sete países da América do Sul: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,3%) (GUYOT *et al.*, 1999). A bacia é limitada a oeste e sudoeste pela cordilheira dos Andes, a norte pelo escudo das Guianas e a leste e sudeste pelo escudo Brasileiro. Desde a década de 60, estas drenagens têm sido investigadas através de imagens do projeto RADAMBRASIL e imagens de satélite que desvendaram o padrão geral caracterizado por um sistema fluvial misto formado por todos os estilos de canal, como o meandrante, entrelaçado, retilíneo e anastomosado (Baker 1978).

Importantes fenômenos que ocorrem nos cursos d'água da bacia Amazônica estão diretamente relacionadas aos processos hidrodinâmicos do rio Solimões-Amazonas e seus principais afluentes os rios, Negro e Madeira (Strasser *et al.*, 2005).

A análise de produtos de sensoriamento remoto na Amazônia é a técnica que ainda persiste como a principal ferramenta para auxiliar na execução de diversos trabalhos científicos (Sternberg 1950, Iriondo 1982, Almeida 1989, Franzinelli & Igreja 1990, Mertes *et al.* 1996, Souza Filho 1999, Franzinelli & Igreja 2002, Latrubesse & Franzinelli 2002, Roza *et al.* 2003, Roza 2004). O uso desta técnica em sistemas fluviais amazônicos auxilia na cartografia precisa da distribuição espacial das morfologias enquanto que a comparação de imagens geradas em diferentes anos permite avaliar a evolução da dinâmica sedimentar ao longo do tempo (Novo 1992, Mertes 2003).

A disponibilidade de dados sequenciais converte a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos e sedimentológicos de detalhe, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico ou mesmo paleogeográfico recente, e resulta em fundamental ferramenta para o entendimento da história evolutiva de sistemas deposicionais atual.

Este estudo procura através da análise multitemporal entre imagens de RADAR (70) e imagens de satélite (2000), fazer um panorama da dinâmica fluvial dos principais rios no Estado do Amazonas (Solimões, Madeira, baixo Rio Negro e Amazonas).

2. Revisão de conceitos

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Assim as atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Estes sistemas são mais comumente tratados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O termo SIG é aplicado então para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, gráficos e não gráficos (alfanuméricos), visando análises espaciais e modelagens de superfícies. O aspecto fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinho no espaço, e tão importante quanto localizá-los é descobrir os seus relacionamentos diversos. A integração de técnicas de sensoriamento remoto a sistemas de informações geográficas é de vital importância, pois permitem enxergarmos de maneira mais abrangente as transformações ocorridas na superfície da terra não só do ponto de vista espacial como sua variação ao longo do tempo com utilização de imagens de épocas distintas, integrando até mesmo sensores de características distintas como e o caso do RADAR comparado com sensores óticos, propiciando fazermos medições de forma mais rápida e além de confrontação com outras informações atreladas a um banco de dados espacial convencional.

3. Metodologia

O trabalho de processamento dos dados consiste no uso de ferramentas como geoprocessamento e programas computacionais para a construção dos arquivos de entrada do modelo. Inicialmente teve-se a aquisição das imagens. As imagens de RADAR foram obtidas através dos dados originais dos projetos de posse do Serviço Geológico do Brasil, que foram escannerizados e georreferenciado, a partir das cartas 1:250.000. As imagens Landsat foram obtidas através do download dos dados através do site NASA. Depois de obtidos os dados estes

foram organizados no SIG - Sistema de Informação Geográfica (Arcgis 9.1), onde foram feitas algumas tarefas de geoprocessamento como o georreferenciamento das imagens de RADAR bem como a reprojeção das imagens Geocover. A manipulação dos dados estruturados permitiu a interpretação da evolução temporal obtida na confrontação desses dois produtos de sensores. Optou-se pela interpretação manual em detrimento de processos automatizados em software de processamentos de imagens haja vista a necessidade se acompanhar as nuances do processo e não uma quantificação pura e simples. Os dados de imagens foram superpostos e utilizado o recurso de transparência em uma das imagens para permitir a confrontação. Esses dados interpretados foram então digitalizados em formato vetor *shape file* e posteriormente utilizados em técnicas de geoprocessamento, preenchimento de base de atributos de dados, cálculo de área, etc. Com os dados organizados no SIG foi permitindo a construção dos layouts de impressão, bem como a fase final da pesquisa que foi a confrontação dos resultados interpretados com os vetores de sede municipais e a construção da síntese da dinâmica fluvial frente à ocupação ao longo da calha dos rios. Apoiando todo esse processo de organização, processamento e interpretação deram a realização de pesquisa bibliográfica.

A primeira etapa de aquisição das imagens foi pesquisada o acervo de imagens de RADAR obtidas pelo projeto RADAM na década de 70. Este material foi escanizado e posteriormente georreferenciado utilizando o programa Arcgis 9.1, utilizando para o georreferenciamento o mosaico geocover 2000. As imagens geocover 2000 são um produtos desenvolvido pelo NASA utilizando as imagens Landsat ETM+ bandas 7, 4 e 2 respectivamente na composição RGB, na projeção UTM e datum WSG84 e tamanho de pixel de 14,25 metros, sendo utilizado o método de convolução cúbica para a interpolação dos dados, obtidos originalmente no formato compressivo MrSID e posteriormente reprojetoado para coordenadas geográficas e recordado no limite do estado do Amazonas. As imagens que levaram a construção do mosaico geocover são nominalmente do ano de 2000 podendo em algumas cenas ter uma variação de +/- 3 anos. Essas imagens por terem sido processadas e apresentarem um padrão confiável de georreferenciamento, estão sendo usadas como imagens âncora para os trabalhos de mapeamento do Serviço Geológico do Brasil especialmente em regiões onde não se dispõem de bases cartográficas conviáveis.

Esses dados por serem temporalmente distintos foram utilizados para o acompanhamento da evolução dos sistemas fluviais na área de estudo confrontando os dados de RADAR da década de 70 com as imagens de Landsat Geocover 2000, representando o ano de 2000. Nesse lapso de tempo de aproximadamente 30 anos profundas transformações pode ser observado em algumas regiões, como é exemplo clássico no rio Madeira, citado em Lima (2002).

4. Objetivo

O entendimento da dinâmica fluvial pode servir de importante ferramenta para se estudar como a ocupação se deu ao longo das calhas dos principais rios do Amazonas e como se comporta essa ocupação frente às variações dos sistemas fluviais observadas, ora erodindo ora depositando sedimentos. A análise temporal entre os dados do RADAM (70) e as imagens Landsat Geocover 2000 nos permite quantificar o quanto desses dois processos (erosão e deposição) estão representados em termos de distribuição superficial, para onde esse sistema fluvial esta migrando e, por conseguinte quais os municípios, em especial suas sedes, estão ou serão afetados no futuro. Esse estudo através de um exercício simples de superposição das imagens nos permitira traçar um panorama da dinâmica fluvial e um balanço da taxa de erosão frente à deposição. Como produtos iniciais têm-se um mapa de distribuição das áreas erodidas e das áreas de deposição neste período de análise, abrangendo os rios Solimões, baixo rio Negro, rio Madeira. A evolução desse trabalho na confrontação do resultado da dinâmica fluvial (erosão

e deposição) com o mapa de sede de municípios vão nos permitir obter um panorama daqueles municípios de onde estão ocorrendo processos atualmente (erosão da orla), aqueles que sofrerão processos no futuro e aqueles que estão relativamente isentos de tais processos. Em contraposição, em relação à deposição, poderemos ter municípios que pela sua posição dentro do processo terão suas orlas fluviais distanciadas da sede pela migração do sistema fluvial em direção oposta em virtude do aporte de sedimentos. Ambos os processos podem acarretar consideráveis prejuízos aos poderes públicos municipais. Com esse conhecimento podem ser sugeridas medidas para disciplinar o uso e ocupação ao longo da calha dos rios bem como influenciar quando da instalação dos empreendimentos municipais.

5. Resultados e Discussões

Os primeiros resultados quantificados nos permitiram concluir que as taxas de erosão e deposição quanto à distribuição superficial de área afetada são bem próximas (erosão 1494.224 km² e a deposição com 1222.189 km²). Isto leva-nos a propor com pequenas variações que o que está sendo erodido de uma forma ou de outra esta sendo depositado logo abaixo. Porém quando se fala de migração dos sistemas fluviais essa distribuição não é tão homogênea, existindo áreas perfeitamente imunes a essa variação, contrapondo a outras onde se observa alguns quilômetros de variação. Muito desse processo esta relacionado à velocidade da corrente e da carga de material em suspensão.

Os resultados apresentados mostram que, nas últimas três décadas, a dinâmica fluvial vem ocorrendo de forma significativa, pois se constata por meio das imagens que muitas áreas foram submetidas a hidrodinâmica dos rios Solimões-Amazonas, Negro e Madeira, sendo que por meio do estudo, os municípios São Paulo de Olivença, Amaturá, Borba, Fonte Boa, Jutai, Manicoré, Nova Olinda do Norte e Tonantins e em menor proporção o arquipélago de Anavilhanas estão sobre influência direta da erosão ou merece atenção quanto ao fato. Os municípios localizados na calha do rio Solimões, São Paulo de Olivença, Tonantins, Amaturá, Fonte Boa é perceptível alterações geomorfológicas com relação à erosão das margens fluviais destas cidades, em que estas sedes municipais podem em futuro próximo ter prejuízos de caráter socioeconômicos em função das variações da dinâmica fluvial que pode avançar para áreas, mas internas das cidades. Com relação à dinâmica do rio Solimões na área estudada pode-se verificar que houve erosão de uma área de aproximadamente 928.229 km², possivelmente associados a fatores como a velocidade da corrente, profundidade do leito do rio, assim como a sedimentação com aproximadamente 834.411km², e surgimento de bancos de areia e ilhas devido à existência de bifurcações que podem influenciar na expansão da corrente. Segundo (Strasser, 2002) a velocidade da corrente é maior no período da cheia favorecendo a ocorrência de deposição e da erosão.

Outras questões devem ser mais bem avaliadas como, por exemplo, o efeito da substituição da floresta por pastagem e atuação antrópica, sobre o processo de erosão do solo na bacia. O processo de erosão pode influenciar o escoamento nos rios da bacia, principalmente, os de pequeno porte. Nos rios principais, como o Solimões, Amazonas, Negro e Madeira, o efeito deve ser menor (Ribeiro Neto, 2006).

Foram encontradas na área em estudo, visualmente, modificações na morfologia do canal fluvial, variações que podem ser detectadas na migração das barras, na forma (geometria) do canal fluvial, erosão de ilhas muitas na sua totalidade, assim como modificação nas margens, formação de banco de areia (sedimentos), estes podendo migrar, desaparecer ou evoluir para uma ilha fato que pode ser constantemente identificado.

Os municípios de São Paulo de Olivença, Amaturá, Jutai, Fonte Boa, localizados na margem direita e do lado esquerdo à cidade de Tonantins fazem parte da bacia do rio Solimões, estas localidades, de acordo com os estudos preliminares possivelmente encontra-se atualmente sob a dinâmica erosiva em que tal ocorrência pode levar a danos sociais e econômicos para a região com o intuito de evitar prejuízos é preciso elaborar medidas ou fazer um estudo para solucionar possíveis problemas.

Na bacia do rio Negro onde o estudo abrange apenas uma parte de sua extensão mais precisamente no Arquipélago de Anavilhanas (maior arquipélago do mundo), a dinâmica erosiva ocorre com menor intensidade, assim como a deposição de sedimentos no caso não foi identificadas alterações que venham ou que mereça destaque, pois, não oferecem nenhum risco as comunidades área suas águas transportam pouco sedimento em comparação a rio Solimões, mas foi possível observar que houve variação na área. Verificou-se que a área de ocorrência da erosão é de 119.769 km² é de deposição com 14.812 km². Fica evidente que nesse sistema fluvial a dinâmica fluvial e bem menos intensa.

Na bacia do rio Madeira que tem extensão no estado do Amazonas cerca de 1090 km² (<http://www.transportes.gov.br/bit/hidro/detriomadeira.htm>, 13/08/2008), na região estudada apresentou uma dinâmica erosiva com aproximadamente 230.609 km² que se constatou através da análise temporal, em contrapartida a deposição obteve-se um valor de 244.920 km² mostrando que ocorre maior deposição talvez com contribuição de material do médio e alto curso, além dos limites do estado do Amazonas. As áreas susceptíveis a erosão estão nos trechos dos municípios de Manicoré, Borba e Nova Olinda do Norte e apresentam alterações que podem acarretar prejuízos a estas localidades que estão sob influência direta do processo erosivo, pelas observações as margens côncavas favorecem a erosão em quanto que as margens convexas, a deposição.

6. Conclusões

Quando comparamos as superfícies que sofreram erosão versus as áreas que sofreram deposição vimos que o balanço se equivale, porém seus efeitos não são homogêneos havendo região onde um processo apresenta-se mais intenso ora outro. E sabido que o processo de ocupação humana ao longo das calhas dos rios é feito de forma indiscriminada e não leva em contato esses fatores, mas a medida que estes estudos estão disponíveis estes podem ser utilizados na orientação de futuras ocupações bem como no auxílio a cidades que já vem sofrendo processo de perdas econômicas em função de processo de erosão fluvial como por exemplo a cidade de São Paulo de Olivença-AM, onde a muito tempo o poder público vem convivendo com problemas de perdas econômicas.

Referências Bibliográficas

BAKER, V.R. Adjustment of fluvial systems to climate and source terrain in tropical and subtropical environments. In: Miall A. D. (ed.) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 1978. p. 211-230.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Modern Sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, p. 259-271, 2002.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Utilização do sensoriamento remoto na investigação na área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., 1990, Manaus. Anais... Manaus: UFAM, 1990, v. 3. p. 641-648.

GUYOT, J. L., CALLÈDE, J., COCHONNEAU, G. et al., 1999. “Caractéristiques hydrologiques du bassin amazonien”, Manaus '99 - Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins, Manaus, Brasil.

IRIONDO, M. Geomorfologia da planície Amazônica. In: SBG, Simpósio do Quaternário do Brasil, 4, 1982. Anais... p. 323-348.

LATRUBESSE, E.M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, p. 241-257, 2002.

LIMA, Mário Ivan Cardoso de - Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico, Belém 2002

MERTES, L.A.K. Remote sensing of riverine landscapes. *Freshwater Biology*, v. 47, p. 799-816, 2002.

MERTES, L.A.K., DUNNE, T., MARTINELLI, L.A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of American Bulletin*, v. 108, p. 1089-1107, 1996.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher. 1992. p. 266-296.

RIBEIRO NETO, Alfredo. Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira Rio de Janeiro 2006. XVII 178 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D. Sc., Engenharia Civil, 2006) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROZO, J.M.G. NOGUEIRA, A.C. R. CARVALHO, A. S. Análise multitemporal do sistema fluvial do Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1875-1882.

ROZO, J.M.G. Evolução Holocênica do rio Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira. 2004. 93p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2004.

ROZO, J.M.G. CARVALHO A. S. NOGUEIRA A.C.R. Análise morfológica de depósitos holocênicos do rio Amazonas, setor ilha do Careiro-Ilha Grande do Soriano. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 8., 2003, Manaus. Anais... Manaus: UFAM, 2003. CD-ROW.

SIOLI, Harald. Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Editora Vozes, Rio de Janeiro, 1991. p. 22.

SOUZA FILHO, P.W.M.; Quadros M.L.E.S.; SCANDOLARA J.E.; SILVA E. P.; REIS M.R. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Marmoré Alto Madeira, Rondônia, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 29 n. 4, p. 469-476, 1999.

STERNBERG, H. O'R. Radiocarbon dating as applied to a problem of Amazonian morphology. In: Congrès International de Géographie, 18, 1960, Proceedings, v. 2, p. 399-424.

STERNBERG, H. O'R. Vales tectônicos na Planície Amazônica. Separata da Revista Brasileira de Geografia, n.4, 1950.

STRASSER, Maximiliano Andrés ; RIBEIRO NETO, Alfredo ; SILVA, Rui Carlos Vieira da ; MASCARENHAS, F. C. B. . Estudo da Variação do Coeficiente de Rugosidade de Manning em Rios da Bacia Amazônica por Meio de Modelagem Hidrodinâmica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa/PB. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005. v. 1.

STRASSER, Maximiliano Andrés. Estudo da geometria das formas de fundo no curso médio do rio Amazonas. Rio de Janeiro, 2002. XIII 100 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil, 2002) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> 30/07/2008

<http://www.transportes.gov.br/bit/hidro/detriomadeira.htm>, 13/08/2008