

## Dinâmica fluvial do rio Amazonas entre Manaus e Itacoatiara com o uso de imagens de satélite

Ericka C. Souza Oliveira , Rogério Ribeiro Marinho

Departamento de Geociências – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Av. Gal. Rodrigo Otávio, 3000 – Manaus – AM – Brasil

Departamento de Geografia – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Av. Gal. Rodrigo Otávio, 3000 – Manaus – AM – Brasil  
ericka.christiane@gmail.com, rogeo@ufam.edu.br

**Abstract.** *The Amazon river is subject to major geomorphological changes between the hydrologic periods of flood and dry. Such changes can be mapped and detected by remote sensing techniques. In this context, this research had as objective to evaluate the dynamics of this great fluvial system, in the stretch between the cities of Manaus and Itacoatiara, in the period of 20 years. The results showed the predominance of erosive processes in relation to the depositional ones. However, this river presents few changes in its morphology, in relation to the geomorphs of islands and sand bars along the studied section, demonstrating the high fluvial stability of this river.*

**Resumo.** *O rio Amazonas está sujeito a grandes mudanças geomorfológicas entre os períodos hidrológicos de cheia e seca. Tais mudanças podem ser mapeadas e detectadas por técnicas de sensoriamento remoto. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica deste grande sistema fluvial, no trecho entre os municípios de Manaus e Itacoatiara, no período de 20 anos. Os resultados mostraram o predomínio dos processos erosivos em relação aos deposicionais. Entretanto, este rio apresenta poucas mudanças em sua morfologia, em relação às geoformas de ilhas e barras de areia ao longo do trecho estudado, demonstrando a alta estabilidade fluvial deste rio.*

### 1. Introdução

O rio Amazonas é o principal canal da maior e mais volumosa bacia hidrográfica do mundo (Pacheco e Brandão 2012), com suas nascentes localizadas nos Andes peruanos. Em território brasileiro recebe o nome de Solimões e somente após a cidade de Manaus, em confluência com o rio Negro, recebe a denominação de rio Amazonas, permanecendo com esta toponímia até desaguar no oceano Atlântico. Este sistema fluvial apresenta variações em sua descarga sedimentar com aproximadamente 90% desta oriunda de tributários andinos, estimada em cerca de 800 milhões de toneladas por ano (Filizola 2011).

Devido essa grande carga sedimentar, o rio Amazonas apresenta modificações em sua geomorfologia, tais como processos erosivos e deposicionais, migração de canais, formação de ilhas e barras arenosas, terraços fluviais, que podem ser mapeadas a partir de imagens de satélite em análise multitemporal. A análise de produtos de sensoriamento remoto na Amazônia é a técnica que persiste como a principal ferramenta para estudos de dinâmica fluvial em sistemas amazônicos (Rozo 2005). Dessa forma, esta pesquisa teve

como objetivo principal analisar processos morfodinâmicos no sistema fluvial do rio Amazonas entre as cidades de Manaus e Itacoatiara, no período de 1988 e 2008, a partir de imagens de satélite.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

A área de estudo consiste no trecho do rio Amazonas localizado entre os municípios de Manaus e Itacoatiara, estado do Amazonas. Geologicamente nesta área ocorrem depósitos da Formação Alter do Chão (Cretáceo Superior) composta por rochas siliciclásticas finas e grosseiras, e por depósitos aluvionares tais como, areia, silte, argila, e cascalhos inconsolidados. Além destas, próxima a área de estudo ocorrem depósitos da Formação Iça, composta por arenitos silto-argiloso de coloração amarelo-avermelhado.

O regime de precipitação média anual na bacia Amazônica é de cerca de 2.460 mm/ano, proveniente essencialmente do oceano Atlântico com intensa reciclagem por evapotranspiração da floresta Amazônica. A distribuição sazonal das precipitações regionais se dá em épocas distintas. No hemisfério sul o máximo pluviométrico é observado de dezembro a março e no hemisfério norte de maio a julho (Filizola 2002).

### **2.2 Materiais e softwares utilizados**

Inicialmente foi produzido um acervo de imagens no espaço temporal de 30 anos, de 1985 a 2015, da série de satélites Landsat 5 e 8, porém devido à grande quantidade de imagens com presença de nuvens, o espaço temporal de estudo foi reduzido para 20 anos (1988 a 2008). Estas imagens foram obtidas no portal Glovis do Serviço Geológico Americano (USGS). O critério de seleção das imagens foi considerando a menor cobertura de nuvens possível e os períodos hidrológicos de cheia (meses de abril, maio e junho) e seca (meses de setembro, outubro e novembro), de acordo com os dados de cotas fluviométricas registradas na estação Jatuarana obtidas no portal SO HYBAM. Dados vetoriais referentes ao canal principal do rio Amazonas foram utilizados e obtidos no site do BDGEx (Banco de dados geográficos do Exército Brasileiro) e no site do CPRM (Serviço Geológico Brasileiro).

O processamento digital das imagens de satélite foi realizado através do software PCI Geomatic 2012 e o pós-processamento e mapeamento temático foi realizado pelo software Arcgis 10.1.

### **2.3 Procedimentos metodológicos**

A caracterização da dinâmica fluvial do rio Amazonas entre os municípios de Manaus e Itacoatiara foi realizada a partir de um conjunto de imagens do satélite Landsat 5 e 8, cena 230/62, com resolução espacial de 30 metros, obtidas gratuitamente no site do USGS (Serviço Geológico Americano). No levantamento do acervo de imagens Landsat foram selecionados pares de imagem para cada período hidrológico de cheia e seca para cada ano entre 1988 e 2008, totalizando 16 imagens.

### **2.3.1 Processamento das imagens de satélite**

A etapa de processamento das imagens de satélite consistiu na classificação das imagens em áreas ocupadas por água, através da técnica de fatiamento dos números digitais da banda 5 do sensor TM e da banda 6 do sensor OLI dos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente. Foram utilizadas 16 imagens sem cobertura de nuvens selecionadas com base nos dados hidrológicos da estação Jatuarana.

O método de fatiamento da banda 5 (sensor TM) e 6 (sensor OLI) considera que bandas espectrais localizadas na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR) são adequadas para delimitação de corpos hídricos devido aos baixos valores de reflectância da água que contrastam com outros alvos neste comprimento de onda (Zani et al. 2010). Foram definidos limiares mínimos e máximos dos números digitais, através da análise exploratória de regiões que representam corpos hídricos em cada imagem, com maior enfoque para o canal principal do rio Amazonas.

As imagens classificadas resultaram em dados binários, onde o valor digital ND=1, representam áreas com presença de água, e valor digital ND=0, áreas com ausência de água. A classificação automática das imagens foi realizada através do software PCI Geomatica 2012, utilizando o algoritmo THR (Thresholding Image to Bitmap). Estes produtos binários foram utilizados para determinação do hidroperíodo ou frequência de inundação do rio Amazonas.

### **2.3.2 Hidroperíodo**

A etapa de pós-processamento consistiu na caracterização do hidroperíodo ou frequência de inundação e mapeamento das áreas de erosão e deposição do rio Amazonas, utilizando o sistema de informações geográficas ArcGis 10.1.

Para obtenção da frequência de inundação do rio Amazonas foram utilizadas as imagens classificadas em áreas ocupadas por água (ND = 1) e áreas com ausência de água (ND = 0). Foi realizada uma operação de aritmética de bandas sobre as imagens classificadas utilizando a ferramenta Raster Calculator, no software ArcGis. O resultado desta operação consistiu em uma imagem com a representação de áreas com frequência de inundação baixa, média ou permanente.

### **2.3.3 Mapeamento de áreas de erosão e deposição**

O mapeamento das áreas de erosão e deposição foi realizada através do software ArcGis utilizando duas imagens dos anos de 1988 e 2008, do período de seca, que permitiu gerar um mapa destacando as mudanças geomorfológicas do canal principal do rio Amazonas. Além disso, permitiu obter a taxa anual de deposição ou erosão do rio Amazonas no período de 20 anos.

## **3. Resultados e discussão**

As imagens classificadas foram utilizadas para produção do mapa de hidroperíodo ou frequência de inundação e de caracterização hidrogeomorfológica do sistema fluvial Amazonas.

### 3.1 Frequência de Inundação

O mapa de hidroperíodo (Figura 1) permitiu caracterizar o trecho estudado em áreas sujeitas ou não a inundação. Notou-se que as grandes ilhas distribuídas ao longo do trecho entre Manaus e Itacoatiara mantiveram-se estáveis em relação a dinâmica fluvial deste rio, devido a frequência de inundação ser mínima nestas áreas.

O mapa de hidroperíodo revelou que apenas as regiões frontais e as bordas destas ilhas apresentam maior frequência de inundação. As principais geoformas do canal do rio Amazonas são ilhas e barras marginais e em pontal, as quais são menos estáveis devido sua ocorrência estar associada aos períodos de seca do rio Amazonas.

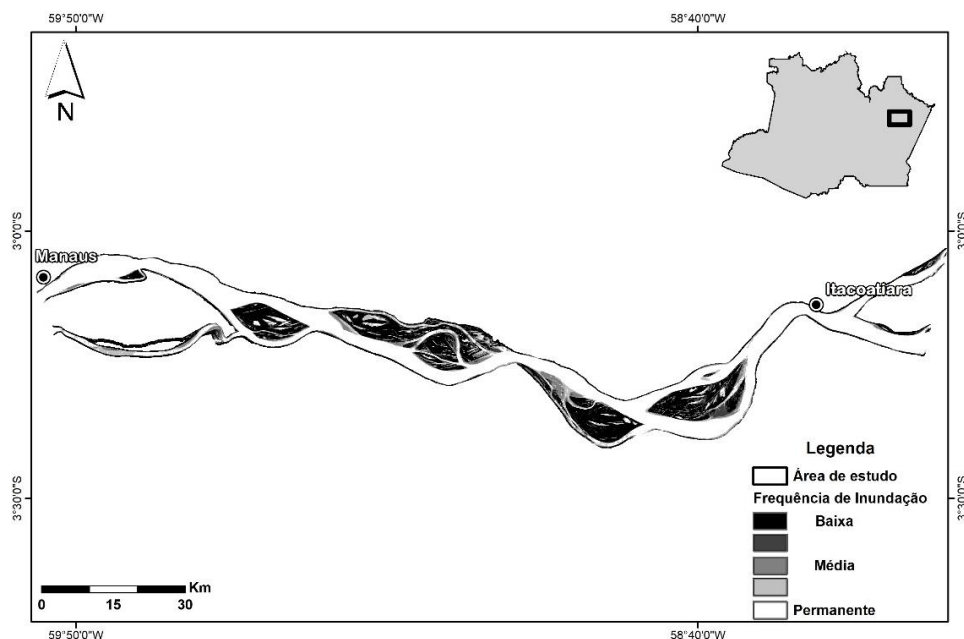


Figura 1. Mapa de hidroperíodo do sistema fluvial Amazonas.

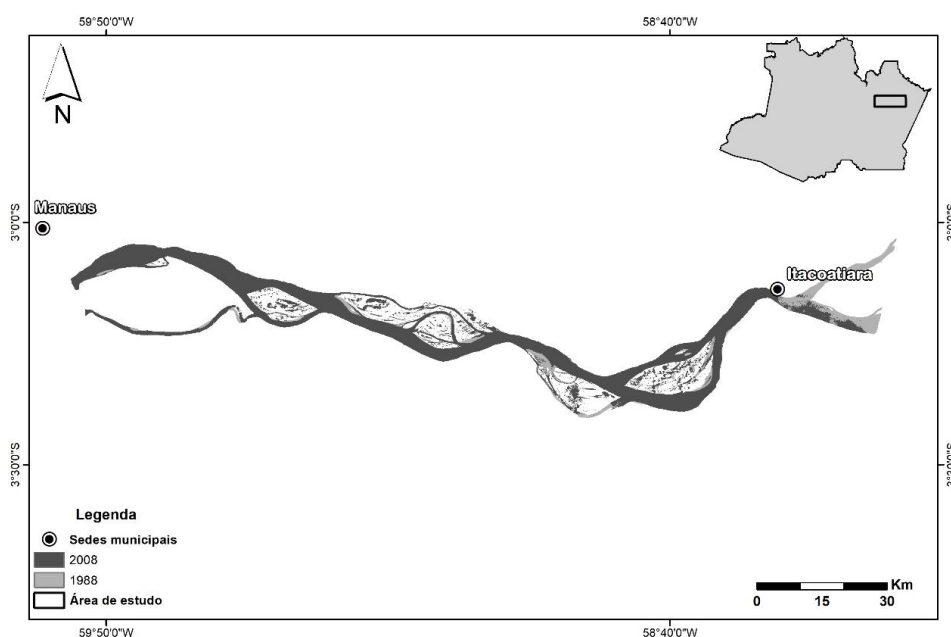
### 3.2 Caracterização hidrogeomorfológica

O mapeamento das áreas de erosão e deposição permitiu calcular a taxa anual de erosão e/ou deposição no espaço temporal de 20 anos. Esta taxa foi obtida através do cálculo da área inicial ocupada por água em 1988 subtraído da área final ocupada por água em 2008, dividido pelo número de anos. Foi obtido uma taxa de -3.538.170 m /ano, que indica que os processos erosivos são mais atuantes que os processos deposicionais.

Apesar disso, as mudanças geomorfológicas no rio Amazonas são mínimas, restringindo-se a ocorrência ou não de depósitos de barra de areia a jusante ou nas bordas das grandes ilhas do rio Amazonas.

O mapa de caracterização hidrogeomorfológica do rio Amazonas (Figura 2) mostrou que este sistema fluvial apresenta elevada estabilidade, apesar dos processos erosivos serem mais atuantes que os processos deposicionais.

Com as imagens obtidas pelo processo de classificação automática das imagens de satélite foram produzidos dois mapas, com a imagem do ano 1988, com data de aquisição em 25/09/1988 e cota de 921 cm, e outro mapa com a imagem classificada do ano de 2008, com data de aquisição em 19/11/2008 e cota de 870 cm. Com os dois mapas foi realizado o cálculo da área do canal principal do rio Amazonas e para as ilhas e barras em pontal ao longo de todo o rio, que permitiu obter a taxa de variação da área do canal do Amazonas e das principais ilhas e barras no período de 20 anos (Tabela 1). Dessa forma, houve um aumento de 7,56% da área do canal principal do rio Amazonas, enquanto que para as ilhas e barras em pontal, houve erosão de 31% no período de 20 anos.



**Figura 2. Mapa de caracterização hidrogeomorfológica do sistema fluvial Amazonas, no período de 1988 a 2008, apresentando regiões onde ocorre erosão de ilhas e barras em pontal (cinza) ao longo do trecho estudado.**

**Tabela 1. Variação da área do canal principal do rio Amazonas e das principais feições morfológicas no trecho de estudo.**

Feição	Área (m)		Variação 1988 a 2008 (m)	Variação em %
	1988	2008		
Canal do rio Amazonas	935.593.200	864.829.800	-70.763.400	-7,56%
Ilhas e barras de areia	418.531.500	550.165.500	131.634.000	31,45%

### 3. Conclusões

Os estudos realizados mostraram que o sistema fluvial do rio Amazonas possui alta estabilidade fluvial com mudanças mínimas em sua geomorfologia. As principais mudanças morfológicas são representadas pelo desenvolvimento de ilhas e barras de areia ao longo de todo trecho estudado, porém associados ao pulso de inundação natural do rio Amazonas. Houve um acréscimo de 7,6% da área do canal do rio Amazonas, devido os processos erosivos serem mais atuantes que os deposicionais. Os resultados acerca da frequência de inundação com as áreas de erosão e deposição obtidas juntamente com o mapa de caracterização hidrogeomorfológica reforçaram a predominância dos processos erosivos na área de estudo, no período de 20 anos. Os resultados dessa pesquisa podem ainda auxiliar no planejamento da ocupação pelas comunidades que residem nas ilhas e margens do trecho estudo do rio Amazonas, além de fornecer novos dados acerca da dinâmica fluvial do rio Amazonas.

### 4. Referências

Filizola, N.; Guyot, J-L; Molinier, M.; Guimarães, V.; Oliveira, E.; Freitas, M. A. Caracterização Hidrológica Da Bacia Amazônica. In: Rivas, A; Freitas, C. (org.). Amazônia uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: EDUA, 2002, p. 33-53.

Pacheco, J. B.; Brandão, J. C. M. Geomorfologia Fluvial Do Rio Solimões/Amazonas: Estratégias Do Povo Varzeano Do Sudoeste Do Careiro Da Várzea. Revista Geonorte, Manaus, V. 2, N. 4, P.542 - 554, 2012.

Zani, H.; Marinho, R. R.; Gavlak, A. A. Avaliação De Métodos Para Extração De Corpos D'água E Áreas Inundadas Em Imagens Landsat-Tm. N: Simpósio Nacional De Geomorfologia, 8. (Sinageo), 2010, Recife. Anais... 2010.

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. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 12. (Sbsr), 2005, Goiânia. Anais... São José Dos Campos: Inpe, 2005. P. 1875-1882.

Filizola, N.; Guyot, J-L. Fluxo De Sedimentos Em Suspensão Nos Rios Da Amazônia. Revista Brasileira De Geociências. V. 41, N. 4, P. 566-57, 2011.