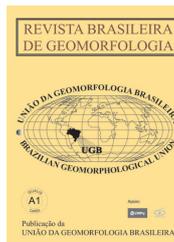




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 13, nº 4 (2012)



# CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DA BACIA DO MÉDIO E BAIXO RIO MADEIRA

## DRAINAGE CHARACTERIZATION OF THE MEDIUM AND LOWER MADEIRA RIVER BASIN

**Ericson Hideki Hayakawa**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Colegiado de Geografia – Rua Pernambuco, 1777 – Centro –  
Marechal Cândido Rondon/PR – CEP: 85960-000 – e-mail: ericson\_geo@yahoo.com.br

**Dilce de Fátima Rossetti**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Sensoriamento Remoto – Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da  
Granja – São José dos Campos/SP – CEP: 12245-970 – e-mail: rossetti@dsr.inpe.br

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
25/04/2012

Data de Aprovação:  
30/04/2013

### Palavras-chave:

Rede de drenagem; rio  
Madeira; sensoriamento  
remoto; tectônica.

### Keywords:

Drainage network; Madeira  
River; remote sensing;  
tectonics.

### Resumo

A caracterização da rede de drenagem atual utilizando variáveis como propriedade, padrão e morfologia, auxiliam na identificação dos fatores que controlaram seu desenvolvimento na paisagem. A disponibilidade de diferentes produtos e técnicas de sensoriamento remoto potencializa estudos desse escopo, principalmente em áreas como a região amazônica, onde a obtenção de dados em campo é dificultada pela fisiografia complexa. Este trabalho apresenta a caracterização do sistema de drenagem atual da bacia do médio e baixo rio Madeira a partir de dados de sensoriamento remoto, com o intuito de verificar a influência tectônica no seu desenvolvimento, especialmente em áreas de cobertura sedimentar terciária e quaternária. A integração de diferentes produtos e técnicas de sensoriamento remoto foi eficiente na caracterização da rede de drenagem atual da área de estudo. Os resultados indicam padrão de drenagem predominantemente subdendrítico-subtreliça (39.6%), seguido dos padrões subdendrítico (23.5%) e treliça-subtreliça (13.8%). Grande parte da área de estudo tem sub-bacias assimétricas. Anomalias de drenagem são abundantes, consistindo em alinhamento de rias, rios com segmentos retilíneos alternados com segmentos fortemente meandantes, e mudanças abruptas e ortogonais de cursos e meandramento isolado. O rio Madeira tem-segmentos retilíneos de até 35km de extensão. A densidade de drenagem e de lineamentos morfoestruturais é menor em área de sedimentação quaternária do que em áreas do embasamento cristalino. O direcionamento dos lineamentos morfoestruturais revela comportamento similar em toda a área de estudo e independente da cobertura geológica, sendo as modas direcionais para E-W, NE-SW e NW-SE as mais comuns. Os resultados sugerem que as bacias de drenagens do médio e baixo rio Madeira são controladas por estruturas tectônicas. A integração com os dados geológicos disponíveis aponta para reativações no Megalinhamento Madre de Deus-Itacoatiara como um importante fator no controle das redes de drenagem da área de estudo. Além disto, o Sistema Transcorrente Tupinambara, localizado na porção norte da área de estudo, pode ter influenciado no desenvolvimento de rias alinhadas.

## Abstract

The characterization of modern drainage networks based on variables as propriety, pattern and morphology helps to identify the factors that have controlled their development in the landscape. The availability of different remote sensing products and techniques optimizes studies with this approach, particularly in areas such as the Amazonia, where fieldwork is complicated by the complex physiography. This paper presents the characterization of the modern drainage network in the medium and lower portion of the Madeira River basin based on remote sensing data, with the goal of verifying the tectonic influence in its development, particularly in areas with Tertiary and Quaternary sedimentary cover. The integration of different remote sensing products and techniques was efficient to the characterization of the modern drainage network of the study area. The results indicate drainage patterns predominantly represented by subdendritic-subtrellis (39.6%), subdendritic (23.5%), and trellis-subtrellis (13.8%). Great part of the drainage basins located in the study area is asymmetric. Drainage anomalies are abundant, consisting of aligned lakes (*rias*), rivers with alternating rectilinear or meandering segments, abrupt orthogonal changes in river courses, and isolated meanders. The Madeira River shows straight segments up to 35 km in length. The density of drainage and of morphostructural lineaments is lower in areas of Quaternary sedimentation than in areas of crystalline basement. The trends of the morphostructural lineaments reveal a uniform pattern throughout the study area independently of geology, with main E-W, NE-SW and NW-SE modes. The results suggest that the drainage basins of the medium and lower Madeira River are controlled by tectonic structures. The integration of these data with available geological data suggests reactivation along the Madre de Dios-Itacoatiara Megalineament as the main factor controlling drainage networks in the study area. In addition, the Tupinambara Transcurrent Zone located in the north portion of the study area may have influenced the development of aligned lakes.

## Introdução

A drenagem constitui-se em uma importante ferramenta na análise morfoestrutural, particularmente em áreas de baixo relevo. A utilização de variáveis como propriedade, padrão e morfologia auxilia na identificação de fatores (i.e., clima, relevo, solo, substrato geológico, tectônica, vegetação, nível do mar) potencialmente importantes no desenvolvimento de sistemas fluviais atuais e passados (p.e., Horton, 1945; Lueder, 1959; Howard, 1967; Schumm, 1972, 1977, 1981, 1985; Soares e Fiori, 1976; Christofoletti, 1981; Morisawa, 1985; Summerfield, 1991; Kehew, 1995), principalmente durante aos últimos dois períodos geológicos, o Terciário e o Quaternário. Trabalhos com esse enfoque têm sido beneficiados pela disponibilidade de diferentes dados de sensoriamento remoto (Mertes e Magadzire, 2007). A utilização deste tipo de dados, principalmente imagens de satélite, tem auxiliado na caracterização de sistemas fluviais em várias regiões do globo (Baker, 1986; Charlton, 2008; Jensen, 2009). O uso de sensores remotos na caracterização de sistemas de drenagem e na verificação de sua possível relação com atividades tectônicas é de grande importância em áreas amazônicas, dada sua grande dimensão e acessibilidade limitada, além de espessa cobertura vegetal e topografia predominantemente baixa, que resultam em escassez de afloramentos.

O projeto pioneiro RADAMBRASIL, que se baseou em imagens de radar, representa o primeiro esforço de caracterização fisiográfica do território nacional, incluindo o mapeamento de sistemas de drenagem. A

disponibilidade de novos produtos, particularmente de modelos digitais de elevação (MDEs), tem permitido a caracterização mais refinada da drenagem. Tributários do rio Amazonas, como é o caso do rio Madeira, ainda carecem de estudos detalhados incorporando este tipo de ferramenta. Apesar dos resultados obtidos no Projeto RADAMBRASIL e, em outros estudos (p.e., Souza Filho et al., 1999; Latrubesse 2002; Latrubesse e Kalicki 2002; Bertani, 2011) terem revelado inúmeras informações sobre a bacia do rio Madeira, essa área ainda carece de estudos detalhados enfocando sua caracterização sistemática, que possam auxiliar na análise dos fatores que teriam influenciado seu desenvolvimento na paisagem Amazônica.

Portanto, este trabalho tem por objetivo proceder com a caracterização sistemática das bacias de drenagem do médio e baixo rio Madeira a partir de dados de sensoriamento remoto, a fim de analisar a hipótese de influência tectônica em seu desenvolvimento.

## Área de estudo e contexto fisiográfico

A área de estudo contempla parte da bacia de drenagem do rio Madeira, sendo sua abrangência definida pela presença de sedimentação terciária e quaternária. Os limites norte/nordeste e oeste são definidos pelos rios Solimões-Amazonas e pelo divisor de água entre os rios Madeira e Purus, respectivamente (Figura 1). A área de estudo perfaz um total de aproximadamente 305 000 km<sup>2</sup>, tendo Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã e Borba como principais municípios.

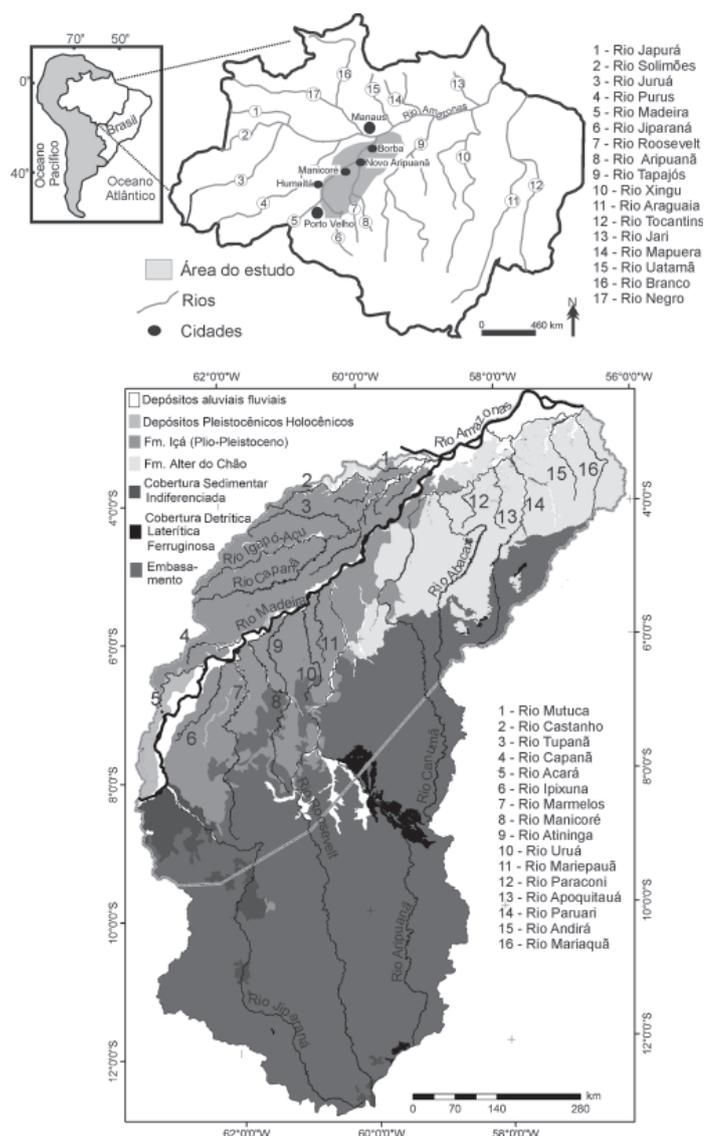


Figura 1 – Localização das principais drenagens e geologia da área de estudo (Adaptado do Banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>)

Dada a grande dimensão da área de estudo, observam-se dois tipos climáticos predominantes, segundo classificação de Köppen. A região norte apresenta clima Af (quente – temperatura média do mês mais frio superior a 18°C – e constantemente úmido), enquanto a região sul apresenta clima Am (quente, com estação seca mediana). A vegetação dominante consiste em Floresta Tropical Densa, Floresta Tropical Aberta, Formações Pioneiras Aluviais, Savana e Áreas de Tensão Ecológica, esta última representada por áreas de contato como Savana/Floresta e Formações Pioneiras/Floresta (Coelho et al., 1976; Doi et al., 1978). Cordões alongados e estreitos cobertos por vegetação rasteira/arbustiva são encontrados em ambas as margens do rio Jiparaná e em interflúvios dos rios

Mamoré e Aripuanã. Geomorfologicamente, a área de estudo é compartimentada em quatro unidades morfoestruturais: Planície Amazônica, Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, Planalto Rebaixado da Amazônia (Occidental) e Serras e Chapadas do Cachimbo (Mauro et al., 1978).

Geologicamente (Figura 1), a área de estudo ocorre na porção oeste da Bacia Intracratônica do Amazonas e em parte da Bacia do Solimões (Pedreira da Silva et al., 2003). A origem das bacias do Amazonas e Solimões está relacionada ao rifteamento decorrente de extensão intraplaca no início do Paleozóico. Seus embasamentos compreendem principalmente rochas ígneas, metamórficas e vulcano-sedimentares das províncias Maroni-Itacaiunas e Amazônia Central, que correspondem às rochas mais antigas do Cráton Amazônico (Teixeira et al., 1989; Tassinari e Macambira, 1999; Tassinari et al., 2000). Sobre estas se assentam depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão, miocenos da Formação Solimões, e plio-pleistocenos da Formação Içá, além de outros depósitos quaternários ainda não formalmente individualizados.

Os depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão cobrem toda a extensão leste da Bacia do Amazonas até as proximidades de Manaus, consistindo em um pacote de rochas vermelhas, compostas de arenitos, argilitos e siltitos. Esta unidade tem sido interpretada como sendo de origem fluvial (p.e., Silva, 2005; Vieira e Nogueira, 1998), flúvio-lacustre (Caputo et al., 1971; Cunha et al., 1994) ou marinho deltaica (Rossetti e Netto, 2006).

A Formação Solimões é composta por litologias relativamente finas, incluindo argilito vermelho e cinza, linhito e, em menor quantidade, arenito grosso. Considerada previamente como de idade paleocena a pleistocena (Caputo et al., 1971; Santos, 1974; Kromberg et al., 1990, 1991), essa unidade é atualmente atribuída ao Mioceno, com possível extensão ao Plioceno (Latrubesse et al., 2010). Interpretações prévias consideram paleoambientes lacustres (Frailey et al., 1988), planícies de inundação (Hoorn, 1993, 1994; Hoorn et al., 1995), marinhos intracontinentais (Räsänen et al., 1995; Webb, 1995), mega-lago paramarinho (Wesslingh et al., 2001) e de megaleques (Latrubesse et al., 2010). Os depósitos da Formação Solimões são considerados como produtos de movimentos tectônicos dos Andes (Latrubesse et al., 1994, 1997, 2007).

A Formação Içá consiste em depósitos não fossilíferos, branco-avermelhado claros a violáceos, representados por arenitos, argilitos e conglomerados, cuja idade estimada é plio-pleistocena (Maia et al., 1977). As informações disponíveis sugerem deposição em sistema fluvial meandrante (Almeida, 1974) a entrelaçado (Rossetti et al., 2005).

Além das unidades acima referenciadas, as bacias do Amazonas e Solimões, bem como outras áreas da Amazônia brasileira, apresentam uma proporção considerável de depósitos quaternários tardios. Estes, tradicionalmente incluídos nas

formações Solimões ou Içá, foram referenciados por diversos autores (Maia et al., 1977; Latrubesse, 2002; Latrubesse e Rancy, 2000; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Latrubesse e Kalicki, 2002; Rossetti et al., 2005; Soares, 2007) que, em sua grande maioria, aventaram origem relacionada a eventos de reativação tectônica.

## Material e métodos

### Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho incluem imagens óticas e de radar, além de modelos digitais de elevação. As imagens óticas foram as geradas pelos sensores multiespectral MSS (*Multispectral Scanner Sensor*) e TM (*Thematic Mapper*) instalados nos satélites da série Landsat. Essas imagens foram obtidas do endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A opção por estas imagens deve-se principalmente à gratuidade das cenas e à resolução espacial, compatível com o objetivo e escala deste estudo. A seleção das imagens levou em consideração dois aspectos: 1) aquisição próxima ao ano 2000, a fim de possibilitar sua melhor correlação temporal com o MDE utilizado, minimizando possíveis problemas de interpretação visual; e, 2) menor incidência de nuvens, fumaça e demais intervenientes atmosféricos. Devido à presença de cenas a partir da década de 1970, imagens do sensor MSS também foram utilizadas a fim de efetuar interpretações multitemporais de alguns segmentos do canal do rio Madeira. Imagens da série Landsat provenientes do *Global Land Cover Facility* (GLCF - obtidos em <http://glcf.umiacs.umd.edu/>) e na forma de mosaicos oriundos do GeoCover (obtidas em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>) forneceram melhor detalhamento das feições de interesse.

Os dados de radar são provenientes do satélite JERS-1. Estes dados estão organizados na forma de mosaico e são provenientes do Mapeamento Global de Florestas Alagáveis da Amazônia (GRFM/JERS-1). O mosaico foi elaborado com imagens datadas de 1995 e 1996 e corresponde aos períodos de vazante (agosto-setembro/1995) e cheia (maio-agosto/1996), respectivamente. O mosaico possui resolução espacial reamostrada para 100 m, seus dados são em banda L, com comprimento de onda de 23,5 cm, polarização HH e ângulo de incidência 34°- 43°.

O Modelo Digital de Elevação utilizado foi derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esta escolha foi feita pela facilidade de acesso e por ter resolução espacial condizente com os objetivos deste estudo. O dado refere-se à versão SRTM-2, cujas características são aquisição em 3 arcos de segundo e resolução espacial horizontal de 90m. Os dados foram obtidos no formato hgt, disponíveis no endereço [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/South\\_America/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America/).

Além dos produtos de sensoriamento remoto, foram utilizados dados complementares como: i) rede de drenagem (formato *shapefile*) em escala 1: 100.000, disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no endereço eletrônico <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/cartamazonia/>; ii) bacias hidrográficas em formato *shapefile*, obtidas da Agência Nacional das Águas (ANA) no endereço eletrônico [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br); e iii) mapa geológico (formato *shapefile*) em escala 1:1.000.000, proveniente do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2004). Os aplicativos utilizados foram: SPRING 4.3, Global Mapper 9.0, Envi 4.5 e ArcGIS 9.2.

### Métodos

Os dados de sensoriamento remoto foram organizados em um banco de dados geográfico no aplicativo SPRING 4.3. O *datum* adotado foi o SAD69 e a projeção é a polícônica. O pré-processamento das imagens Landsat envolveu correção geométrica tomando por base imagens Landsat ortorretificadas provenientes do *Global Land Cover Facility*. O MDE-SRTM foi corrigido no aplicativo Envi 4.5 devido à presença de valores de elevação negativos de até -32768m. O novo MDE gerado foi utilizado para a elaboração de perfis topográficos, bem como para salientar as feições de interesse. Este procedimento foi executado no aplicativo Global Mapper 9.0. A partir do método exploratório, paletas de cores foram associadas a diferentes conjuntos de valores de elevação, a fim de ressaltar as morfologias de interesse, conforme metodologia já aplicada por Rossetti e Valeriano (2007), Mantelli et al. (2009), Hayakawa et al. (2010).

A rede de drenagem do MMA foi analisada e, tendo-se notado alguns setores com diferentes níveis de detalhamento, procedeu-se com sua vetorização manual. As imagens do Landsat e o MDE-SRTM serviram de base neste processo de edição. A delimitação das bacias e sub-bacias hidrográficas foi obtida a partir da análise comparativa entre os limites provenientes da ANA e dos obtidos automaticamente a partir do MDE-SRTM. Os procedimentos para a extração automática dos limites das bacias a partir do MDE-SRTM foram realizados com a ferramenta *ArcHydro* do aplicativo ArcGIS 9.2. O método exploratório foi o utilizado para definir a dimensão das bacias e sub-bacias, conforme o nível de detalhamento exigido. De posse dos limites das bacias hidrográficas, inseriram-se tantos os limites da ANA, como os obtidos automaticamente no banco de dados geográfico. Verificou-se a pertinência dos divisores de água oriundos da ANA e do *ArcHydro* em relação à rede de drenagem e constatou-se que, em vários locais, os divisores eram impertinentes. Com o auxílio do MDE e da rede de drenagem, procedeu-se com a correção vetorial para geração de um novo limite hidrográfico.

Baseando-se na rede de drenagem, procedeu-se com a identificação e vetorização dos lineamentos morfoestruturais. A verificação da continuidade dos lineamentos foi facilitada integrando-se essas informações com o MDE e as imagens dos sensores ópticos. Ao final da identificação e vetorização, procedeu-se com a análise estatística dos lineamentos a partir da elaboração de diagramas em roseta obtidos em intervalos de 10° segundo frequência absoluta (i.e., número absoluto de lineamentos em determinada direção) e comprimento absoluto (i.e., comprimento absoluto de lineamentos em determinada direção), além da elaboração de representações de densidade de lineamentos.

A rede de drenagem e limites dos divisores de água também serviu de base para a obtenção do fator de assimetria das bacias e classificação dos padrões de drenagem. O fator de assimetria baseou-se na aplicação do método proposto por Keller e Pinter (1996). O padrão de drenagem foi obtido a partir de interpretação visual pautando-se nos exemplos disponíveis na literatura (Howard, 1967; Deffontaines e Chorowicz, 1991), e posterior vetorização de cada tipo de padrão. A identificação de anomalias de drenagem amparou-se na análise visual integrada do mapa de drenagem com os diferentes produtos de sensoriamento remoto, baseando-se também em exemplos da literatura (Howard, 1967; Schumm et al., 2000).

O mosaico das imagens JERS-1 foi utilizado principalmente para ressaltar os corpos de água atuais. A partir de ajustes de histogramas e de interpretação visual, foi possível evidenciar sua distribuição espacial. Frente à ausência de informações de campo, a integração de dados de sensoriamento remoto, de geologia, da rede de drenagem e da vegetação foi fundamental para o processo de interpretação e análise dos resultados.

## Resultados

### Caracterização da rede de drenagem

Para facilitar a descrição, os sistemas de drenagem foram organizados em dois conjuntos principais (Figura 2): 1) drenagem da margem esquerda do rio Madeira; e, 2) drenagem da margem direita do rio Madeira. Os sistemas de drenagem da margem direita do rio Madeira consistem em três subconjuntos: a) rios Jiparaná-Marmelos; b) rios Manicoré-Aripuanã; e c) rio Canumã. Além destes, descreve-se, no final deste item, a drenagem ao longo da calha do rio Madeira, ressaltando principalmente feições anômalas associadas que se mostraram de interesse para os objetivos deste trabalho.

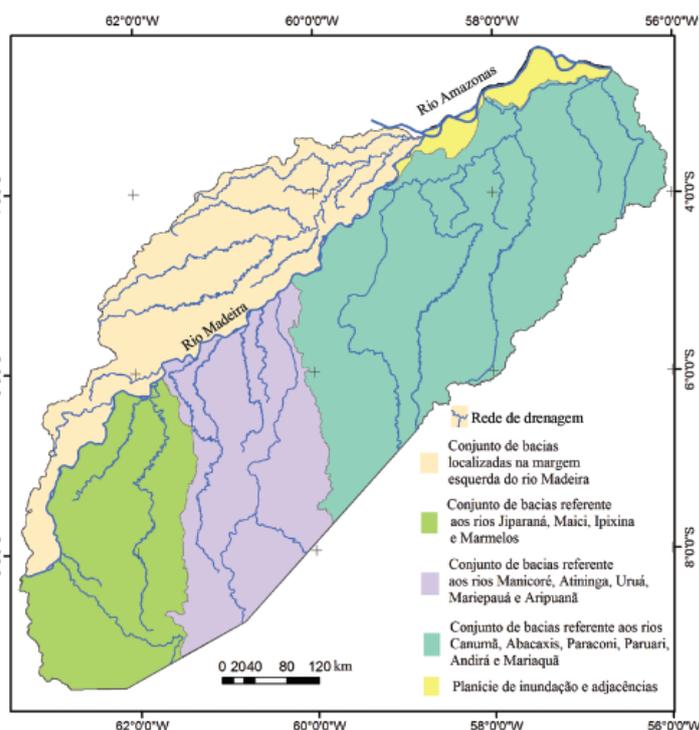


Figura 2 – Compartimentação das bacias hidrográficas da área de estudo considerando-se apenas os canais principais.

São três os padrões de drenagem dominantes na área de estudo (Tabela 1): subdendrítico-subtreliça (39,6%), subdendrítico (23,5%) e treliça-subtreliça (13,8%). O padrão dominante na margem esquerda do rio Madeira é o subdendrítico (50,3%), especialmente em sua parte central, drenada por afluentes rio Igapó-Açú, bem como de três de seus tributários principais, rios Castanho, Tupanã e Matupiri. Destaca-se, também, o padrão treliça a subtreliça (28,8%) no extremo nordeste e sudoeste dessa área. O padrão subdendrítico a subtreliça (17,1%) é presente na margem esquerda do rio Igapó-Açú até grande parte de sua margem direita, à montante do rio Matupiri. O padrão paralelo/sub-paralelo (3,8%) ocorre localmente ao longo de uma faixa estreita, mas alongada, próxima ao rio Madeira.

No conjunto de drenagem que abrange os rios Jiparaná, Maici, Ipixuna e Marmelos, os padrões predominantes são subdendrítico (27,2%), subdendrítico/treliça (25%) e treliça/subtreliça (27,2%). Drenagem subdendrítica ocorre principalmente em uma extensa faixa alongada no extremo leste e sudoeste da área, além de em pequena área concentrada em sua porção sudeste. Essas áreas são representadas por coberturas sedimentares indiferenciadas, enquanto as áreas de entorno são dominadas por rochas do embasamento cristalino. Padrão subdendrítico/subtreliça ocupa sua ampla faixa central, enquanto que drenagem treliça/subtreliça é restrita ao seu extremo norte, compreendendo toda a bacia

do rio Ipixuna e do baixo rio Marmelos. Estes padrões foram registrados na área de ocorrência da Formação Içá. Além desses padrões dominantes, o extremo sul dessa área concentra padrão dendrítico (13,8%), principalmente sobre o embasamento cristalino. Para norte, ocorrem pequenos núcleos adjacentes de drenagem subparalela (4,6%), concentrados na margem esquerda do rio Jiparaná. Similarmente ao observado no conjunto anteriormente descrito, neste caso também se verifica extensa faixa alongada de drenagem subparalela/paralela e, localmente, treliçada (2,2%), em contato direto com o rio Madeira, desde o norte até as proximidades com a desembocadura do rio Igarapé-Maici.

**Tabela 1 – Padrões de drenagens verificados na área de estudo e suas respectivas dimensões em km<sup>2</sup> e em percentual.**

Padrão de drenagem	Área km <sup>2</sup>	Percentual %
Dendrítico	18120	6,0
Subdendrítico	71675	23,5
Subdendrítico-subtreliça	120510	39,6
Treliça-subtreliça	41942	13,8
Subparalelo	2642	0,9
Treliça	1257	0,4
Subtreliça	30404	10,0
Subtreliça-subdendrítico	15455	5,1
Paralelo-subparalelo	2523	0,8

Os padrões de drenagem predominantes para o conjunto de bacias dos rios Manicoré e Aripuanã incluem subtreliça (51,6%), subtreliça/subdendrítica (26,1%) e, em menor proporção, subdendrítica (21%). O padrão subtreliça prevalece nesse setor, restringindo-se, para sul, a uma estreita faixa central que coincide com a área de ocorrência principal da Formação Içá. Este padrão prossegue para sul em duas faixas nas margens dos rios Aripuanã, Manicoré e Roosevelt. Drenagem subtreliça/subdendrítica domina na porção centro-leste deste conjunto de bacias, concentrando-se na margem direita do rio Aripuanã, onde prevalecem rochas do embasamento cristalino. Adicionalmente, este padrão ocorre em três outras pequenas áreas no extremo sudoeste, também sobre rochas cristalinas. Já o padrão subdendrítico está restrito a vários setores isolados na porção mediana do rio Manicoré, bem como a sul deste, além de formar três concentrações a sul, na margem direita do rio Aripuanã. Esse padrão foi verificado principalmente sobre rochas do embasamento cristalino.

O padrão de drenagem predominante na bacia do rio Canumã é o subdendrítico a subtreliça, que ocupa área aproximada

de 77,9%. Os demais padrões dividem-se em dendrítico (8,5%), subdendrítico (8,6%) e treliça a subtreliça (5%). O padrão dendrítico ocorre em dois setores, um localizado na porção leste da área, onde ocupa a parte da média bacia dos rios Andirá e Mariaquã, e outro localizado na média bacia do rio Abacaxis. Nesses dois setores, a cobertura geológica é representada pela Formação Alter do Chão. O padrão subdendrítico ocorre apenas em um setor a oeste, onde predomina a Formação Içá. O padrão treliça a subtreliça ocupa o setor nordeste da área, dominada pela Formação Alter do Chão e por depósitos aluviais recentes. O restante da área de estudo possui padrão subdendrítico a subtreliça. Nestes locais, registra-se a Formação Alter do Chão, além de rochas do embasamento cristalino e depósitos sedimentares da Formação Içá.

Os fatores de assimetria (AF) das bacias retratam que estas, em sua maioria, são assimétricas (Tabela 2). Os maiores valores foram verificados no baixo curso do rio Jiparaná e nas bacias dos rios Paruari, Canumã e Matupiri. Nota-se, também, que algumas bacias com índices-simétricos de fato não possuem tal característica. Por exemplo, a bacia do rio Igapó-Açu, cujo AF=50, é assimétrica à jusante da confluência com o rio Matupiri, o que é evidenciado por tributários que drenam uma área pelo menos 2/3 maior na margem esquerda do que a área drenada por seus tributários da margem direita. O mesmo ocorre com o rio Marmelos, cujo AF=46, porém apresenta porção central assimétrica, sendo caracterizada por área de drenagem muito maior em sua margem esquerda. O rio Ipixuna também tem bacia ligeiramente simétrica, representada por AF=54, porém com trechos de área drenada maiores em sua margem direita. O rio Aripuanã apresenta configuração similar, já que seu índice próximo ao simétrico (AF=51) não corresponde à natureza desta bacia, ocorrendo variações de simetria ao longo de toda a sua extensão. Assim, enquanto sistemas tributários são desenvolvidos de forma uniforme em ambas as margens deste rio em sua porção sudeste, em sua porção central verifica-se estreitamento abrupto da área de drenagem de sua margem esquerda, que chega a cerca de 8 vezes inferior à área correspondente em sua margem direita. É interessante observar, ainda, que, para norte, esta assimetria continua, embora de forma menos pronunciada, e havendo inversão do tamanho das áreas em suas margens, ou seja, a área de drenagem menor passa a ocorrer em sua margem direita. Situação similar ocorre no rio Manicoré, que, apesar de apresentar AF indicativo de bacia somente ligeiramente assimétrica, também se caracteriza por variações de assimetria ao longo de sua extensão. Assim, enquanto sua porção norte tem a área de drenagem da margem esquerda aproximadamente duas vezes maior que a área correspondente na margem oposta, esta situação é invertida na parte mediana para montante, quando a área da margem direita deste rio chega a ser até 4,5 vezes maior

que a área correspondente em sua margem esquerda. O rio Abacaxis, embora com índice geral sugestivo de bacia aproximadamente simétrica (AF=48), caracteriza-se quase por total ausência de tributários na margem direita de seu baixo curso. O mesmo ocorre na sua alta bacia, porém, neste caso, a ausência de tributários localiza-se em sua margem esquerda. As bacias mais simétricas são as dos rios Mutuca (AF=49), Marmelos (AF=46), Paraconi (AF=54), Apoquitauá (AF=54), Mariaquã (AF=53) e, Marie Pauá (AF=50).

**Tabela 2 – Fatores de assimetria para as bacias da área de estudo.**

Rio	Fator de Assimetria	Rio	Fator de Assimetria
Igapó-Açú	50	Aripuanã	51
Matupiri	68	Manicoré	58
Tupanã	60	Atininga	32
Castanho	65	Uruá	26
Mutuca	49	Canumã	71
Acará	41	Paruari	75
Capanã	39	Andirá	35
Marmelos	46	Abacaxis	48
Ipixuna	54	Paraconi	54
Maici	61	Apoquitauá	54
baixo rio Jiparaná	15	Mariaquã	53
Marie Pauá	50		

Anomalias de drenagem são comuns em todas as bacias presentes na área de estudo, sendo observadas tanto nos canais principais, como em seus afluentes. Dentre os exemplos de anomalias, destacam-se (Figura 3A-F): i) alargamentos abruptos de canais, com formação frequente de rias, especialmente quando nas proximidades das drenagens principais; ii) mudanças abruptas no curso dos rios, formando junções ortogonais; iii) segmentos retilíneos; iv) meandros isolados e comprimidos; e v) alinhamentos principais como NW/SE, NE/SW ao longo dos cursos fluviais.

O canal do rio Madeira e sua planície de inundação, orientados na direção principal NE-SW na área de estudo, também apresentam anomalias de drenagem. O rio Madeira possui inúmeros trechos retilíneos que localmente mudam para levemente sinuosos e meandranes. Nos locais de morfologia meandrante, são abundantes lagos formados por meandros abandonados na planície

de inundação adjacente (i.e., *oxbow lakes*). Essas feições estão presentes principalmente próximo a Porto Velho, onde a planície aluvial deste rio alcança 15km de largura. A partir da cidade de Borba (AM), a planície de inundação torna-se praticamente inexistente e o rio Madeira flui encaixado em depósitos sedimentares. Os segmentos retilíneos do rio Madeira podem alcançar até 35km de extensão (Figura 4A-D). Nas adjacências de alguns dos segmentos retilíneos, ocorrem meandros abandonados ou lineamentos que registram a migração de canais (Figura 4C-D). Em alguns casos, revelam processos relacionados à avulsão (Figura 4C). Próximo de Humaitá, o rio Madeira também apresenta trechos retilíneos, mas nota-se, em sua planície aluvial e terraços adjacentes, vestígios da migração do rio Madeira, como espiras de meandro e até meandros abandonados. Nas demais áreas, adjacentes aos trechos retilíneos, observa-se apenas estrias, indicando migração do canal.

A análise temporal de imagens Landsat evidenciou que alguns dos trechos retilíneos observados no rio Madeira tem formação recente, sendo decorrentes de avulsão por *neck cutoff*. Isto é ilustrado em trecho de aproximadamente 20km de extensão deste rio à jusante do lago Capanã. Esta avulsão pode ser reconstituída comparando-se imagens datadas de 1973 a 2009 (Figura 5A-F). O processo de avulsão finalizou-se na década de 1980 (Figura 5B-C) e, atualmente, o meandro abandonado está sendo mascarado pelo crescimento de vegetação. Esses meandros e estrias abandonados na paisagem revelam mudança de padrão de canal predominantemente meandrante para retilíneo em vários setores do rio Madeira.

A análise da rede drenagem de toda a área de estudo revela densidade de drenagem, em geral, moderada (Figura 6A), aumentando significativamente em sua extremidade leste e na porção centro-leste do conjunto de drenagem da margem esquerda do rio Madeira. Os maiores valores de densidade concentram-se no sul dos subconjuntos Manicoré-Aripuanã e Canumã. Valores de densidade baixa ocorrem nas áreas imediatamente adjacentes aos rios Madeira e Amazonas. As áreas de ocorrência do embasamento cristalino são as que concentram os valores de densidade de drenagem mais elevados de toda a área de estudo, uma característica que contrasta com valores progressivamente menores para norte. Na área de influência dos rios Manicoré e Aripuanã, onde prevalecem rochas de embasamento cristalino e depósitos sedimentares plio-pleistocenos da Formação Içá (consultar geologia na Figura 1), tem-se elevada densidade em relação às adjacências.

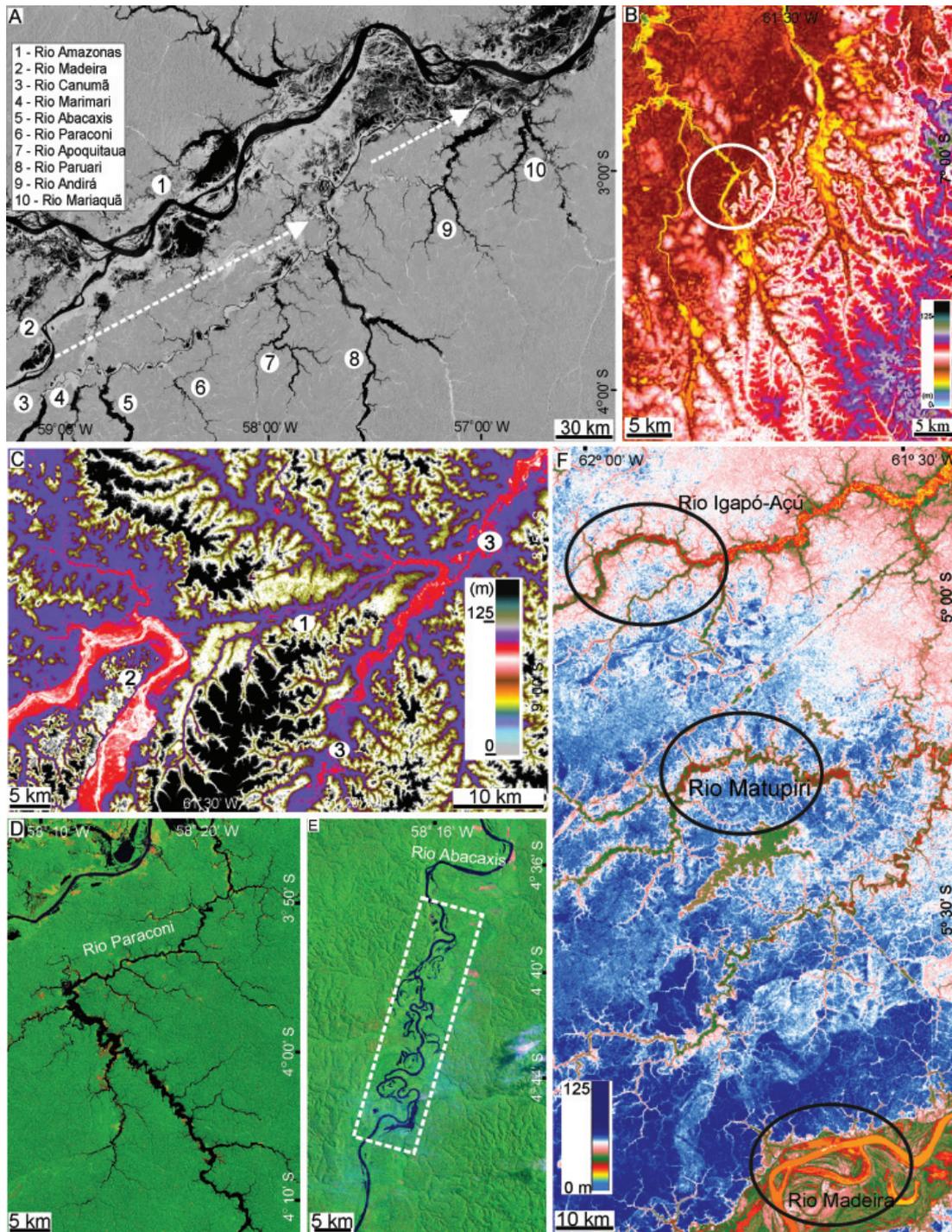


Figura 3 – Anomalias de drenagem verificadas na área do estudo. A) Rias localizadas paralelamente entre si. Setas indicam que a desembocadura das rias forma alinhamento para nordeste. B) Rede de drenagem atual, com canais apresentando mudança abrupta de orientação de noroeste para nordeste (círculo) e voltando para noroeste em área onde há mudança de topografia. C) Detalhe de feição em forma de cotovelo fechado (2) no rio Jiparaná. Observar tributário (1) do rio Roosevelt (3) em processo de abandono. D) Mudanças ortogonais de curso associadas a áreas de alargamentos de canais do rio Paraconi. E) Mudança abrupta na morfologia do rio Abacaxis, de suavemente sinuosa a retilínea para fortemente meandrante. F) MDE com vista geral dos sistemas de drenagem na margem esquerda do rio Madeira, onde os rios Igapó-Açu, Matupiri e Madeira apresentam trechos recurvados, formando feição aproximadamente retangular, com abertura para sudeste (círculos) e alinhamento de direção NW-SE.

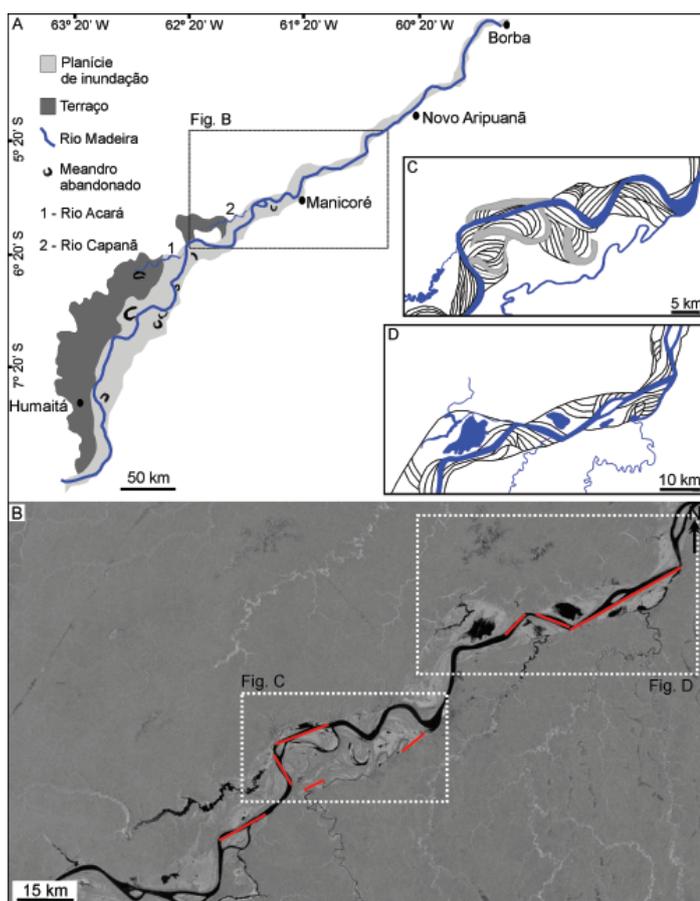


Figura 4 – Características do rio Madeira, seu terraço e planície de inundação no trecho entre Humaitá e Borba (AM). Segmentos retilíneos que alcançam até 35km de extensão (A-D). Meandros abandonados nas áreas de terraço e planície de inundação (A-C). Estrias e meandros abandonados na planície de inundação do rio Madeira (C-D).

A frequência de lineamentos morfoestruturais obtidos com base na rede de drenagem em escala 1:100 000 e, quando necessário, retificados com imagens de satélite e MDE, tem distribuição não uniforme na área de estudo (Figura 6B). Sua maior concentração ocorre na porção leste, correspondendo aos setores que possuem cobertura geológica mais antiga, ou seja, no embasamento cristalino. A densidade de lineamentos nesta área variou de 0,18 a 0,28km/km<sup>2</sup>. Na porção oeste, registrou-se a menor densidade de lineamentos (até 0,05 km/km<sup>2</sup>). Neste local, a cobertura geológica é representada predominantemente pela Formação Içá e por depósitos aluvionares fluviais. Na porção central, de domínio das formações Içá e Alter do Chão, a densidade variou entre 0,06 e 0,17km/km<sup>2</sup> (Figura 6B).

O direcionamento dos lineamentos morfoestruturais observados nos diagramas em roseta revela comportamento similar ao longo da área de estudo, independentemente do tipo de cobertura geológica (área de embasamento cristalino, área de cobertura sedimentar cretácea e área de

cobertura sedimentar cenozóica). Observa-se que, mesmo segmentando a área de acordo com o tipo geológico, os lineamentos de direção E-W são os mais comuns, denotado tanto pela frequência, quanto pelo comprimento absoluto (Figura 7). O direcionamento NE-SW e NW-SE tem representatividade secundária, também tanto em frequência, quanto em comprimento absoluto. Especificamente nas áreas de embasamento, a direção E-W é a dominante, sendo seguida pelos lineamentos N-S e, secundariamente SW-NE e SE-NW. Nas áreas de cobertura geológica referente à Formação Alter do Chão, nota-se domínio de lineamentos E-W. O segundo direcionamento mais expressivo é o de direção SW-NE que, em comprimento absoluto, foi equiparável aos E-W. Direcionamentos secundários incluem SE-NW e N-S. Nas áreas de cobertura sedimentar cenozóica, novamente predominam lineamentos E-W, seguidos de SW-NE, e, em menor proporção, SE-NW e N-S. Considerando-se a área como um todo, dominam lineamentos E-W, ocorrendo secundariamente e em igual proporção, lineamentos SW-NE, N-S e SE-NW.

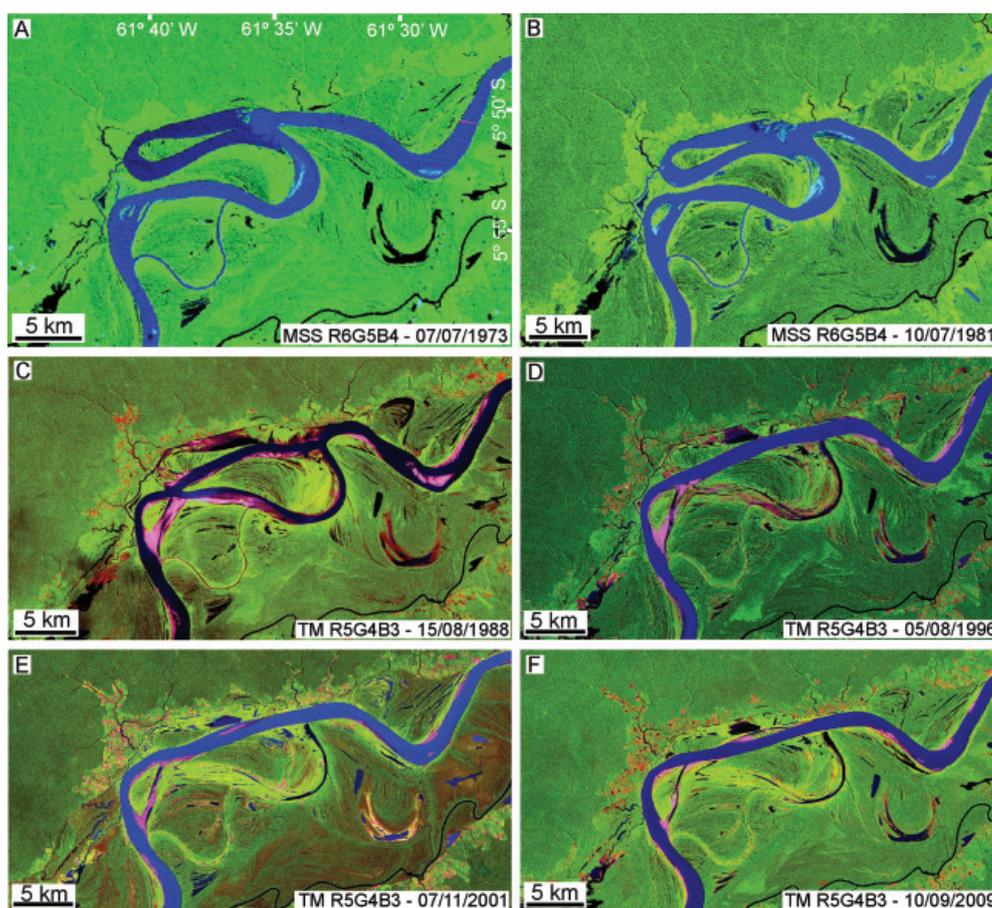


Figura 5 – A-F) Avulsão em segmento do rio Madeira ocorrido na década de 1980.

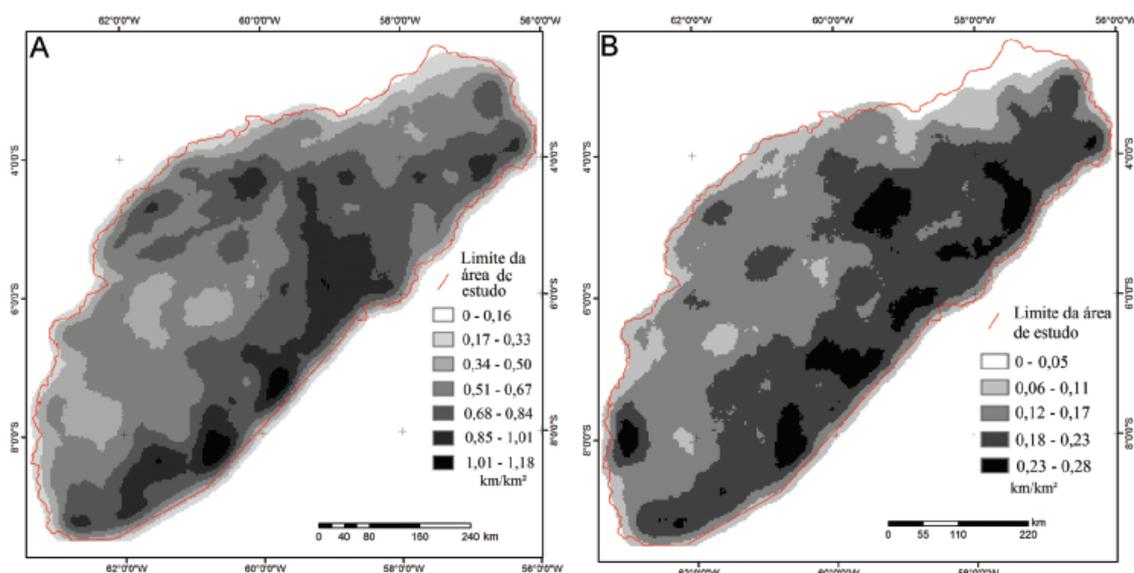


Figura 6 – A) Distribuição da densidade de drenagem na área de estudo. B) Densidade dos lineamentos morfoestruturais extraídos a partir da rede de drenagem.

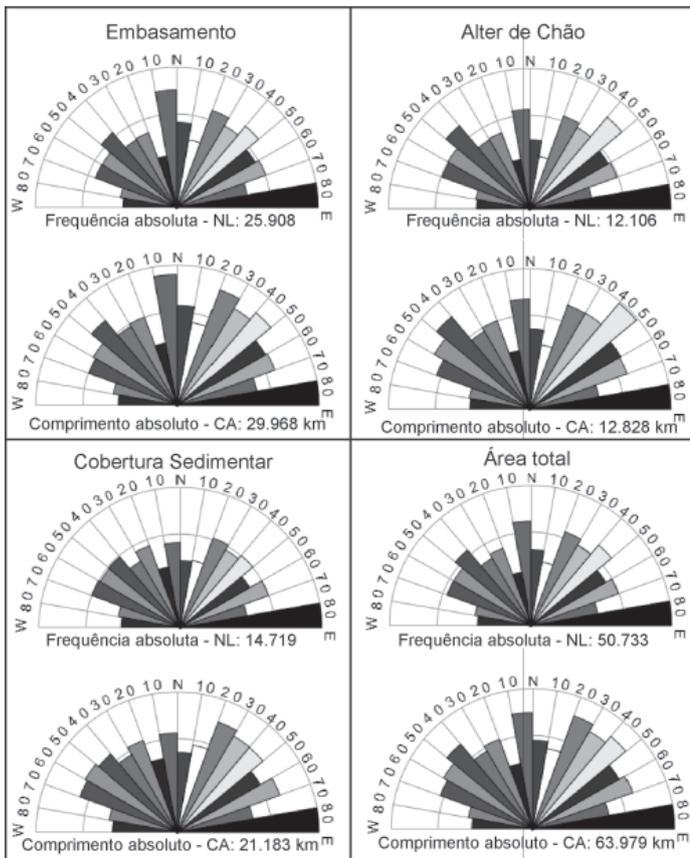


Figura 7 – Diagramas em roseta com os direcionamentos dos lineamentos extraídos a partir da rede de drenagem em escala 1:100.000

## Discussões

A utilização de diferentes produtos e técnicas de sensoriamento remoto foi fundamental para a identificação e caracterização da rede de drenagem atual. Os dados do MDE-SRTM auxiliaram na delimitação das bacias de drenagem, caracterização da rede de drenagem, identificação e verificação da continuidade espacial dos lineamentos estruturais e caracterização topográfica da área. Embora o MDE-SRTM represente tanto a elevação do terreno como a altura do dossel da vegetação (Bourgine e Baghdadi, 2005; Weydahl et al., 2007), sua aplicação na caracterização fisiográfica da superfície é positiva, revelando feições ainda não identificadas em dados óticos e de radar. As imagens dos sensores instalados nos satélites da série Landsat contribuíram na caracterização da rede de drenagem e seus respectivos corpos d'água e na análise temporal de segmento específico da área de estudo. As imagens provenientes do radar JERS-1 auxiliaram principalmente na identificação e mapeamento da rede de drenagem atual (especialmente as rias). Devido ao retroespalhamento especular, os corpos d'água são escuros na imagem, o que favoreceu sua caracterização. Áreas adjacentes cobertas

por vegetação mostram tons de cinza elevados devido ao retroespalhamento volumétrico. Tais propriedades do radar e demais interações, como o *double bounce*, já auxiliaram na identificação de áreas alagáveis com acurácia de até 95% em aplicações na bacia Amazônica (p.e., Hess et al., 2003).

A caracterização da rede de drenagem revelou a presença de inúmeras feições como: i) anomalias de drenagem; ii) bacias de drenagem assimétricas; iii) lineamentos estruturais; iv) padrões de drenagem predominantemente subdendrítico-subtreliça, subdendrítico e treliça-subtreliça; e, v) avulsão e captura de drenagem. Neste estudo a maioria das feições observadas foi interpretada como resultantes ou diretamente influenciadas por reativações tectônicas, como discutidas a seguir.

A presença das rias alinhadas e demais anomalias na bacia do rio Canumã (Figura 3A) foi interpretada como resultado de basculamento de blocos decorrente de influência tectônica. Neste caso, o basculamento pode estar associado à reativação do Lineamento Tupinambara, que de acordo com Costa et al. (1995), é representado por falhas transcorrentes dextrais, o que gerou, em suas adjacências, falhas normais e bacia romboédrica ou *pull-apart* assimétrica. Com a subsidência de áreas adjacentes ao Lineamento Tupinambara em evento ocorrido possivelmente no Pleistoceno-Holoceno, houve o bloqueio da foz de alguns rios, onde se formaram rias (Costa et al., 1995). Além disso, este lineamento promoveu o ajuste de drenagem atualmente com desembocaduras em lagos alinhados na direção SW-NE. Ou seja, com a reativação de falhas, os rios tiveram seus gradientes topográficos alterados, com consequente afogamento de suas desembocaduras (Figura 8A-C). Aliado a isto, a sedimentação no canal principal intensificou o barramento dos tributários. Em determinados locais, o basculamento de blocos condicionou não só a formação de rias, como também o abandono de canais. No caso do rio Canumã, a reativação de estruturas relacionadas ao lineamento Tupinambara resultou no abandono de um amplo canal que deslocou seu curso para sudeste e, nas proximidades da confluência com o rio Amazonas, para noroeste (Hayakawa, 2011). Embora estudos desenvolvidos principalmente por Sioli (1957) sugerem que algumas rias amazônicas possuem origem ligada a variações do nível do mar, demais estudos, como os de Tricart (1977) propuseram que algumas rias amazônicas são relacionadas à subsidência ao longo de falhas. Morfologicamente, rias são comumente associadas à subsidência ou soerguimentos tectônicos (Howard, 1967; Deffontaines e Chorowicz, 1991). É comum ocorrer uma abundância de lagos à montante de altos estruturais ou em áreas de subsidência (Iriando 1982; Cunha 1991). Lagos alinhados foram relacionados, ainda, a falhas transcorrentes (Allen et al., 1984; Deffontaines e Chorowicz, 1991). No caso da área de estudo, a presença do Lineamento Tupinambara corrobora esta interpretação.

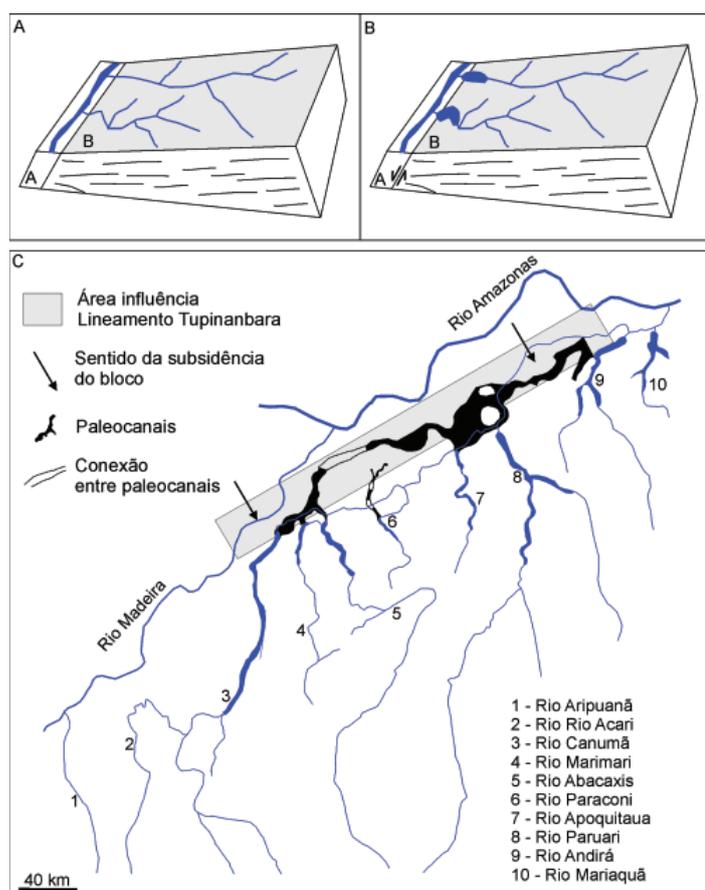


Figura 8 – Tributários próximos do baixo e médio curso dos rios Madeira e Amazonas, respectivamente, que tiveram seus vales afogados. A reativação de falhas relacionadas ao Lineamento Tupinambá foi determinante no abandono da drenagem e formação de rias.

Inflexões ortogonais da drenagem, frequentes na área de estudo, são também comumente associadas à influência tectônica. Especificamente, as inflexões (noroeste para nordeste) presentes na área de contato brusco entre os terrenos com topografia contrastantes (ver figura 3B) podem ser interpretados como resultado de subsidência tectônica. Este fato pode ser retratado pelo contato brusco com terrenos de cotas mais elevadas constituídos por rochas pré-cambrianas e cretáceas, sugerindo desenvolvimento de uma depressão formada por subsidência tectônica na margem direita do rio Madeira. A presença de lineamentos morfoestruturais de direção NE entre estes dois terrenos permite inferir que a área rebaixada com paleocanais foi submetida à subsidência por falha NE-SW. Tal fato é condizente com a interpretação de Pimenta (1958) e Saadi (1993), os quais sugerem subsidência tectônica recente na área correspondente ao interflúvio Purus-Tapajós. Adicionalmente, o gradiente topográfico registrado no MDE para o terreno rebaixado do interflúvio Manicoré-Aripuanã sugere mergulho regional para NE. Esta

interpretação é consistente com o deslocamento, tanto do rio Aripuanã de norte-noroeste para a sua posição nordeste atual, como com o desenvolvimento progressivo de avulsões para nordeste. A ampla inflexão do rio Aripuanã, semelhante a um meandro, é uma forte anomalia de drenagem que corrobora hipótese de controle tectônico.

A inflexão ortogonal abrupta de nordeste para noroeste do atual baixo curso do rio Jiparaná (ver figura 3C) constitui outra importante anomalia que indica influência tectônica na área de estudo. A presença de afluente do rio Roosevelt em paleovale ligado ao rio Jiparaná sugere que este rio fluía possivelmente para nordeste antes de ser capturado para sua posição atual a nordeste. O próprio rio Roosevelt, em seu baixo curso próximo da confluência com o rio Aripuanã, também já foi atribuído a uma captura (Mauro et al. 1978). Descrições de capturas na bacia amazônica são comuns, e um dos exemplos mais significativos é a megacaptura identificada próxima dos rios Negro e Solimões (Almeida Filho e Miranda, 2007). De acordo com esses autores, o antigo sistema de drenagem registrado nessa área foi abandonado em decorrência de captura fluvial associado à neotectônica.

As avulsões e capturas ao longo do rio Madeira são, pelo menos em parte, relacionadas à tectônica. Em um longo trecho da margem esquerda do rio Madeira evidencia-se avulsão, que resultou em um paleocanal de grande dimensão (Hayakawa et al., 2010). De acordo com esses autores, esse paleocanal foi formado quando o rio Madeira deslocou para sua posição atual em área de topografia inferior. Essa área de estudo registra dois processos distintos: avulsões sucessivas no tempo e captura de drenagem. Avulsão consiste no abandono parcial ou total do curso principal do rio (Slingerland e Smith, 2004). Este processo pode ser motivado por rápida aluviação do canal devido à alta carga sedimentar ou agradação na planície de inundação (Slingerland e Smith, 2004), o que pode ser decorrente de mudanças na descarga de fluxo, no gradiente do canal e na área da bacia de drenagem. Avulsões podem ser ativadas por fatores intrínsecos ao ambiente deposicional, embora sejam frequentes também como reflexo de variações climáticas e, em especial, de fatores tectônicos (Willis, 1993; Törnqvist, 1994; Schumm et al., 1996; 2000; Jones e Schumm, 1999; Gumbricht et al., 2001; Horton e DeCelles, 2001; Assine, 2005; Leier, et al., 2005; Weissmann et al., 2005; Nichols e Fischer, 2007). Por sua vez, captura de drenagem ocorre comumente quando dois canais próximos possuem taxa de erosão remontante diferenciada, e o canal com maior erosão captura a descarga do canal adjacente (Christofolletti, 1981; Summerfield, 1991; Bishop, 1995; Suguiú, 1998). A distinção na taxa de erosão está associada ao aumento do gradiente de um canal devido a processos tectônicos ou, também, pela erosão de materiais geológicos com diferentes resistências. Feições típicas, como cotovelos

(ângulo reto que indica mudança na direção do canal) e vales secos ou abandonados são frequentemente observados em áreas que sofreram captura de drenagem.

Demais feições relacionadas com o rio Madeira atual também sugerem controle tectônico de seu curso. Isto é revelado pela marcante assimetria de sua bacia, caracterizada por ampla área com tributários extensos em sua margem direita, que contrasta com os tributários escassos e curtos de sua margem esquerda. Bacias de drenagem com tal anomalia são relacionadas a áreas com controle tectônico, evidenciando basculamento de blocos (p.e., Allen et al., 1984; Hare e Gardner, 1985; Deffontaines e Chorowicz, 1991; Cox, 1994; Keller e Pinter, 1996; Schumm et al., 2000; Salamuni et al., 2004). Neste caso em particular, subsidência a noroeste é sugerida pela drenagem bem desenvolvida da margem direita do rio Madeira. Adicionalmente, as margens retilíneas do vale do rio Madeira na área de estudo e o fato de haver mudança abrupta de seu curso formando ângulos retos, são condizentes com controle tectônico. A presença de amplas curvas de meandro limitadas por segmentos retilíneos alinhados na direção NE-SW, também denota que o desenvolvimento do rio Madeira tem influência tectônica. Demais evidências de controle tectônico podem ser exemplificadas por: 1. presença de vários canais retilíneos adjacentes ao rio Madeira; 2) destacamento do rio Ipixuna em relação ao rio Acará devido à rápida inflexão na direção noroeste, fluindo para uma área de maior altitude; e 3) predominância de padrão de drenagem subdendrítico e com variações a paralelo. Feições similares têm também sido relacionadas a anomalias de drenagem por causa tectônica em outras áreas (p.e., Ouchi, 1985; Doorinkamp, 1986; Summerfield, 1991).

Com isso, é possível propor que a mudança no curso do rio Madeira através do tempo teve como principal elemento desencadeador a tectônica. Segmentos de outros rios amazônicos, como o Solimões, Negro e o próprio Amazonas, já foram relatados como confinados a depressões estreitas relacionadas a *grabens* (Bemerguy, 1997; Franzinelli e Igreja, 2002; Latrubesse e Franzinelli, 2002; Silva, 2005). O deslocamento do terreno por subsidência tectônica pode ter sido o principal fator responsável pelas morfologias presentes no rio Madeira e em suas adjacências. Essa interpretação é compatível com informações geológicas prévias em outros setores desse rio (Souza Filho et al., 1999). De acordo com esses autores, o alto rio Madeira registra reativação de falhas NE-SW ao longo de zonas transcorrentes relacionadas ao Megalineamento Madre de Dios-Itacoatiara, que teria causado subsidência da margem direita do rio Madeira. Como consequência desse processo, a drenagem foi reorganizada, com encurtamento de tributários relativamente à sua margem direita (Figura 9). Drenagens da bacia do rio Igapó-Açú tornaram-se orientadas para nordeste. As demais bacias assimétricas da área de estudo também podem estar condicionadas a sistema de blocos basculados.

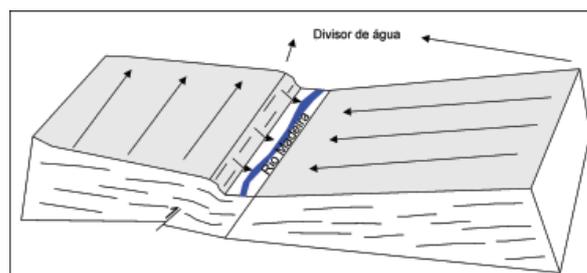


Figura 9 – Modelo esquemático representando a assimetria de drenagem de segmento do rio Madeira.

A configuração atual do rio Madeira (Figura 10) é compatível com o controle tectônico proposto no presente artigo. Isto é sugerido pela presença de rias, meandros abandonados, terraços de larguras variáveis e segmentos retilíneos, alguns com até 35km de extensão. Além disto, influência tectônica é sugerida por demais morfologias, como os dois exemplos típicos de rias localizadas nas desembocaduras dos rios Acará e Capanã. Estas rias possuem a mesma orientação de segmentos retilíneos deste rio que, neste local, podem atingir até 20 km de extensão. Ademais, a ria do rio Capanã localiza-se exatamente no ponto de ruptura onde se encontra o paleocanal da margem esquerda do rio Madeira. Outro fator que chama atenção é que, embora o rio Madeira seja formado por segmentos predominantemente retilíneos a suavemente sinuosos, sua planície de inundação atual e terraços adjacentes contém vários meandros abandonados, o que atesta que este rio era predominantemente meandrante no passado. Juntamente com os outros elementos, esta mudança de morfologia em tempo recente sugere causa tectônica.

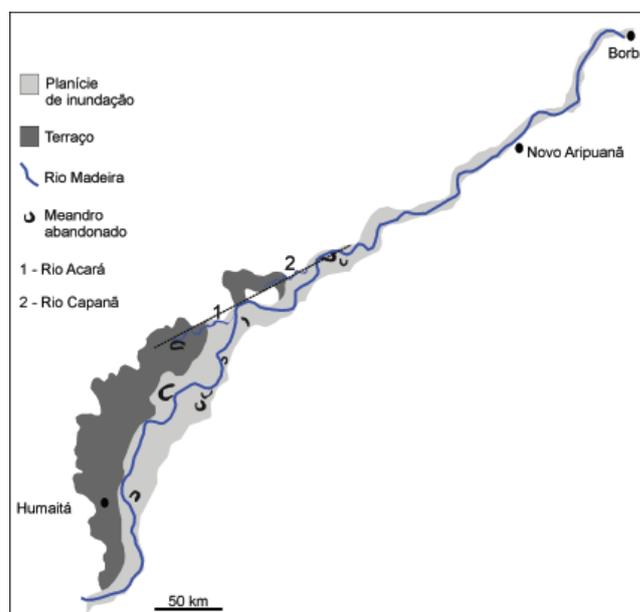


Figura 10 – Configuração atual do rio Madeira e de sua planície de inundação. Observar segmentos retilíneos e meandros abandonados. A linha tracejada indica a orientação de rias dos rios Acará e Capanã, que podem ser projetadas em direção ao canal principal do rio Madeira.

Com base nas discussões aqui apresentadas, pode-se propor que a morfogênese de grande parte da bacia amazônica não deve ser associada somente ao fator climático, mas também à movimentação tectônica recente, conforme previamente mencionado por Bezerra (2003). Um volume crescente de publicações tem sugerido que várias áreas da Amazônia brasileira foram afetadas por reativações tectônicas durante o final do Quaternário, que atuou como fator controlador no desenvolvimento dos sistemas de drenagem (Sternberg, 1950; Mauro et al., 1978; Cunha, 1988; Bemerguy et al., 1995; ; Costa et al., 1996; Souza Filho et al., 1999; Latrubesse e Rancy, 2000; Silva, 2005; Bezerra, 2003; Almeida Filho e Miranda, 2007; Rossetti et al., 2008; Soares, 2007). Embora escassos, há registros de atividades sísmicas na região, indicadas por terremotos de magnitudes de até 7 Mb (França, 2006). Ainda que variações climáticas tenham sido sugeridas para a Amazônia durante o final do Quaternário (Absy et al., 1991; Webb e Rancy, 1996; Behling et al., 1999; Rancy, 2000; Croft, 2001; Sifeddine et al., 2001; Rossetti et al., 2004), o fator tectônico é o mais relevante na modelagem do rio Amazonas e de seus principais afluentes (Mertes e Dunne, 2007). Em áreas de baixa topografia e com gradiente de fluxo baixo, ligeira inclinação do terreno devido a efeito tectônico, mesmo que modesto, tem efeitos significativos na rede de drenagem (Summerfield, 1991). Ainda segundo Mertes e Dunne (2007), deformações crustais e erosão de litologias resistentes perturbam significativamente pequenos gradientes de rios de escala continental, alterando as direções dos fluxos, bem como a sinuosidade e morfologia dos canais, a capacidade de transporte de sedimentos, a taxa de migração dos canais e a construção das planícies de inundação.

### Considerações finais

A utilização dos diferentes dados de sensoriamento remoto (MDE-SRTM, imagens Landsat e de radar JERS) foi fundamental para a melhor caracterização da rede de drenagem atual de parte da bacia do rio Madeira. Os resultados revelaram que este sistema fluvial é influenciado tectonicamente, fato corroborado por inúmeras feições, tais como: abundantes anomalias de drenagem, assimetria de bacia, direcionamento dos lineamentos, padrão de drenagem predominantemente subdendrítico, captura e avulsão de canais e formação de rias. A integração dos dados morfoestruturais aqui apresentados com informações geológicas desta e de outras áreas ao longo do rio Madeira sugere que grande parte da configuração atual da drenagem dessa bacia reflete reativações do Megalineamento Madre de Dios-Itacoatiara. Na porção norte da área do estudo, movimentações no Sistema Transcorrente Tupinambara podem ser o condicionante para a formação de rias alinhadas na direção principal NE-SW nas desembocaduras de todos os canais que fluem para este rio. A comparação entre lineamentos morfoestruturais em

áreas de ocorrência de cobertura quaternária e em áreas de embasamento sugere que o controle dos rios atuais deve-se à reativação de estruturas de direções E-W e NE-SW.

Estudos prévios tem mostrado que terraços quaternários no sudoeste da Amazônia apresentam idades inferiores a 40.000 anos A.P. (Van Der Hammem et al., 1992; Latrubesse e Franzinelli, 1998; Latrubesse e Kalicki, 2002; Rossetti et al., 2005). Estudos desenvolvidos em terraços próximos dos rios Negro e Solimões indicaram idades de aproximadamente 60 mil anos A.P. (Soares, 2007). Para a área de estudo, o único dado geocronológico obtido de sedimentos quaternários revelou idade de 20.000 anos A.P. (Latrubesse, 2002). Isso sugere que o movimento tectônico responsável pelo abandono de canais por avulsão e captura pode ter ocorrido, em grande parte, no Pleistoceno Tardio. Apesar dessas considerações, estudos complementares devem ser desenvolvidos visando estabelecer a cronologia dos eventos com base em dados geológicos a serem coletados em campo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado e de produtividade ao primeiro e segundo autor respectivamente e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por disponibilizar a infraestrutura necessária ao desenvolvimento do trabalho. Os resultados deste trabalho fazem parte do projeto de pesquisa CNPq # 471483/06-0.

### Referências bibliográficas

- ABSY, M. L.; CLEEF, A.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SIFFEDINE, A.; SILVA, M. F. F., SOUBIÈS, F.; SUGUIU, K.; TURCQ, B.; VAN DER HAMMEN, T. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60000 dernière années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *Compte Rendus de l'Academie des Science*, v. 312, p. 673-678, 1991.
- ALLEN, C. R.; GILLESPIE, A. R.; YOLAN, H.; SIEH, K. E.; BUCHUN, Z.; CHENGNAN, Z. Red river and associated faults, Yunnan Province, China: Quaternary geology, slip rates and seismic hazard. *Geological Society of American Bulletin*, v. 95, p. 686-700, 1984.
- ALMEIDA, L. F. G. A drenagem festonada e seu significado fotogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v.7, p. 175-198.
- ALMEIDA FILHO, R.; MIRANDA, F. P. Mega capture of the Rio Negro and formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazônia, Brazil: Evidences in an SRTM digital elevation model. *Remote Sensing of Environment*, v. 110, p. 387-392, 2007.

- ASSINE, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, v. 70, p. 357-371, 2005.
- BAKER, V. R. Fluvial landforms. In: SHORT, N. M., BLAIR, R. W. *Geomorphology from space*. United States Government Printing: NASA, 1986.
- BEHLING, H.; BERRIO, J. C.; HOOGHIEMSTRA, H. Late Quaternary pollen records from the middle Caquetá river basin in central Colombian Amazon. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 145, p. 193-213, 1999.
- BEMERGUY R. L. Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do rio Amazonas. 1997. 200 p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 1997.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S. Tectônica e paleogeografia da calha do rio Amazonas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., 1995, Gramado. Anais...Gramado, 1995. p. 419-420.
- BERTANI, T. C. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento de paleomorfologias no interflúvio Madeira-Purus, sudoeste da Amazônia Brasileira. 2011. 104 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos:INPE, 2011.
- BEZERRA, P. E. L. Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro. 2003. 335 p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém:UFPA, 2003.
- BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. *Progress in Physical Geography*, v. 19, p. 449-473, 1995.
- BOURGINE, B.; BAGHDADI, N. Assessment of C-band SRTM DEM in a dense equatorial forest zone. *Comptes Rendus Geoscience*, n. 337, p. 1225-1234, 2005.
- CAPUTO, M.; RODRIGUES, V.; VASCONCELOS, D. Litoestratigrafia da bacia do rio Amazonas. Belém: Petrobrás-Renor, 1971. (Relatório Técnico 641-A).
- CHARLTON, R. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Oxon: Routledge, 2008. 234p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313p.
- COELHO, F. J. F.; FERREIRA, H. C.; BARROS-SILVA, S.; RIBEIRO, A. G.; TEREZO, E. F. M. Vegetação. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.21 Santarém. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 311-414, 1976.
- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. Arcabouço tectônico Mesozóico-Cenozóico da região da calha do rio Amazonas. *Geociências*, v. 14, p.77-103, 1995.
- COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L., HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P, BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Genomos*, v. 2, p. 23-44, 1996.
- COX, R. T. 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 America Bulletin*, v. 106, p. 571-581, 1994.
- CROFT, D.A. Cenozoic environmental change in South America as indicated by mammalian body size distributions (cenograms). *Diversity and Distributions*, v. 7, p. 271-287, 2001.
- CUNHA, F. M. B. Controle tectônico-estrutural na hidrografia na região do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais...Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, p. 2267-2277.
- CUNHA, F. M. B. Morfologia e neotectonismo do rio Amazonas. In. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. Anais...Belém, SBG/NO, 1991, p. 193-210.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, p. 47-55, 1994.
- DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics*, v. 194, p. 237-263, 1991.
- DOI, S.; GUIMARÃES, J. G.; SILLMAN, M. S.; BARROS-SILVA, S. Vegetação. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB.20 Purus. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 367-486, 1978.
- DOORNKAMP, J. C. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. *Journal of the Geological Society*, v. 143, p. 335-342, 1986.
- FRANÇA, G.S., 2006. Brazil seismicity. *Bull. Int. Inst. Seismolog. Earthquake Eng.* 40, 23-36.
- FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, p. 259-271, 2002.
- FRAILEY, C. D.; LAVINA, E. L.; RANCY, A.; SOUZA FILHO, J. P. A proposed Pleistocene/Holocene lake in the Amazon Basin and its significance to Amazonian geology and biogeography. *Acta Amazônica*, v. 18, p. 119-143, 1988.
- GUMBRICHT, T.; MCCARTHY, T. T.; MERRY, C. The topography of the Okavango Delta, Botswana, and its sedimentological and tectonic implications. *South African Journal of Geology*, v. 104, p. 243-264, 2001.
- HARE, P. W.; GARDNER, T. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya

- Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J. T. (Eds.). *Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Boston: Allen & Unwin, 1985.
- HAYAKAWA, E. H. Paleogeofomas e sistemas de drenagem da bacia do Baixo rio Madeira, AM: interpretação de dados de sensoriamento remoto. 2011. 191 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos:INPE, 2011.
- HAYAKAWA, E.H., Rossetti, D.F., Valeriano, M.M., 2010. Applying DEM-SRTM for reconstructing a late Quaternary paleodrainage in Amazonia. *Earth and Planetary Science Letters* 297, 262-270.
- HESS, L. L.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 404-428, 2003.
- HOORN, C. Marine incursion and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynological study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 105, p. 267-309, 1993.
- HOORN, C. Miocene Palynostratigraphy and Paleoenvironments of Northwestern Amazonia. 1994. 156 p. Tese (Doutorado) – University of Amsterdam, Amsterdam, 1994.
- HOORN, C.; GUERRERO, J.; SARMIENTO, G. A.; LORENTE, M. A. Andean tectonics as a cause for drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, v. 23, p. 237-240, 1995.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, v. 56, p. 275-370, 1945.
- HORTON, B. K.; DeCELLES, P. G. Modern and ancient fluvial megafans in the foreland basin system of the central Andes, southern Bolivia: Implications for drainage network evolution in fold-thrust belts. *Basin Research*, v. 13, p. 43-61, 2001.
- HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 51, p. 2246-2259, 1967.
- IRIONDO, M. H. Geomorfologia da planície amazônica. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1982, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro*, 1982. p. 323-348.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.
- JONES, L. S.; SCHUMM, S. A. Causes of avulsion: an overview. In: SMITH, N. D.; ROGERS, J. (Ed.). *Fluvial Sedimentology*. VI International Association of Sedimentologists Special Publication. 28, Oxford: Blackwell Science, 1999, p. 171-178.
- KEHEW, A. E. *Geology for engineers and environmental scientists*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995, 574 p.
- KELLER, E.; PINTER, N. *Active tectonics: earth-quake, uplift and landscape*. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 338 p.
- KRONBERG, B.; BENCHIMOL, R.; BIRD, M. Evidence for sw Amazonia Lake System drying up - 50000 yr B.P. *Publicação Especial*, n. 2, PICG-218, UNESCO, Medelim: UNESCO, 1990. 11 p.
- KRONBERG, B.; BENCHIMOL, R.; BIRD, M. Geochemistry of Acre Subbasin sediments: window on ice-age Amazonia. *Interciências*, v. 3, p. 138-141, 1991.
- LATRUBESSE, E. M. Evidence of Quaternary palaeohydrological changes in middle Amazônia: The Aripuanã-Roosevelt and Jiparaná “fans”. *Zeitschrift für Geomorphologie NF*, v. 129, p. 61-72, 2002.
- LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. Late Quaternary alluvial sedimentation in the Upper Rio Negro Basin, Amazonia, Brazil: Palaeoclimatics implications. In: BENITO, G.; BAKER, V.; GREGORY, K. (Eds.). *Paleohydrology and Environmental Change*, John Wiley & Sons., 259-271, 1998.
- LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, p. 241-257, 2002.
- LATRUBESSE, E. M.; KALICKI, T. Late Quaternary palaeohydrological changes in the upper Purus basin, southwestern Amazônia, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, v. 129, p. 41-59, 2002.
- LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A. Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: the Moa an Ipixuna river basins, Brazil. *Quaternary International*, v. 72, p. 67-72, 2000.
- LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A.; RAMONELL, C.; SOUZA FILHO, J. P. A Formação Solimões: uma formação do Mio-Plioceno da Amazônia Sul ocidental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...Belém, SBG/Núcleo Norte*, 1994. p. 204-205.
- LATRUBESSE, E. M.; BOCQUENTIN, J.; SANTOS, C. R.; RAMONELL, C. G. Paleoenvironmental model for the late cenozoic of southwestern Amazonia: Paleontology and geology. *Acta Amazonica*, v. 27, p. 103-118, 1997.
- LATRUBESSE, E. M.; SILVA, S. A. F.; COZZUOL, M.; ABSY, M. L. Late Miocene continental sedimentation in southwestern Amazonia and its regional significance: Biotic and geological evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 23, p. 61-80, 2007.

- LATRUBESSE, E. M.; COZZUOL, M.; SILVA-CAMINHA, S. A. F.; RIGSBY, C. A.; ABSY, M. L.; JAARMILLO, C. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Science Reviews*, v. 99, p. 99-124, 2010
- LEIER, A. L.; DeCELLES, P. G.; PELLETIER, J. D. Mountains, monsoons and megafans. *Geology*, v. 33, p. 289–292, 2005.
- LUEDER, D. R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. New York: McGraw-Hill, 1959. 462 p.
- MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. Projeto carvão no Alto Amazonas. Relatório Final. Rio de Janeiro: CPRM, 1977. 137 p.
- MANTELLI, L. R.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. G.; VALERIANO, M. M. Applying SRTM digital elevation model to unravel Quaternary drainage in forested areas in northeastern Amazonia. *Computers and Geosciences*, v.35, n. 12, p. 2331-2337, 2009.
- MAURO, C. A.; NUNES, B. T. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB.20 Purus. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 129-216, 1978.
- MERTES, L. A. K.; DUNNE, T. Effects of tectonism, climate change and sea level change on the form and behaviour of the modern Amazon River and its floodplain. In: GUPTA, A. (Ed.). *Large Rivers: Geomorphology and management*. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2007, p. 115-144.
- MERTES, L. A. K.; MAGADZIRE, T. Large rivers from space. In: GUPTA, A. (Ed.). *Large Rivers: Geomorphology and management*. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2007, p. 535-552.
- MORISAWA, M. *Rivers: forms and process*. New York: Longman, 1985. 222 p.
- NICHOLS, G. L.; FISHER, J. A. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentology Geology*, v. 195, p. 75–90, 2007.
- OUCHI, S. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geological Society of American Bulletin*, v. 96, p. 504-515, 1985.
- PEDREIRA DA SILVA, A. J.; LOPES, R. C.; VANCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003.
- PIMIENTA, J. Modifications climatiques et subsidence récent affectant le glaciais sud du Bassin de l' Amazone. *CR. Academie Science*, v. 246, p. 2268-2271, 1958 .
- RANCY, A. *Paleoecologia da Amazônia: Megafauna do Pleistoceno*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 101 p.
- RÄSÄNEN, M. E.; LINNA, A. M.; SANTOS, J. C. R.; NEGRI, F. R. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. *Science*, v. 269, p. 386-390, 1995.
- ROSSETTI, D. F.; NETTO, R. G. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, v. 27, p. 513-528, 2006.
- ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M.; SANTOS, H. M. M.; SANTOS, J. R.; ARAÚJO, A. E. Reconstructing habitats in central Amazonia using megafauna, Sedimentology, radiocarbon and isotope analysis. *Quaternary Research*, v. 61, p. 289-300, 2004.
- ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M.; GÓES, A.M. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, v. 63, p. 78-89, 2005.
- ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. *Catena*, v. 70, p. 253-265, 2007.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M.; MIRANDA, A. C. DA C. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, v. 23, p. 121-135, 2008.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 1, p. 1-15, 1993.
- SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; BORGES, M. S.; HASUI, Y.; COSTA, J. B. S.; SALAMUNI, R. Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, south of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 901-910, 2004.
- SANTOS, J. O. Considerações sobre a Bacia Cenozóica Solimões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: SBG, 1974, p.3 - 11.
- SCHUMM, S. A. Fluvial geomorphology in river mechanics. In: SCHUMM, S. A. (Ed.). *River morphology*. Pennsylvania: Hutchinson & Ross, Inc. 1972, p.365-395
- SCHUMM, S. A. *The fluvial system*. USA: John Wiley & Sons, 1977. 338 p.
- SCHUMM, S. A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, v. 31, p. 19-29, 1981.
- SCHUMM, S.A. Patterns of alluvial rivers. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, v. 13, p. 5-27, 1985.
- SCHUMM, S. A.; ERSKINE, W. D.; TILLEARD, J. W. Morphology, hydrology, and evolution of the anastomosing Ovens and King Rivers, Victoria, Australia. *Geological Society of America Bulletin*, v. 108, p. 1212–1224, 1996.
- SCHUMM, S. A.; DUMONT, J. F.; HOLBROOK, J. M. *Active tectonics and alluvial rivers*. Melbourne: Cambridge University Press, 2000. 276 p.

- SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; TURCQ, B.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; SOUBIÈS, F.; CORDEIRO, R. C.; SUGUIU, K. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 168, p. 221-235, 2001.
- SILVA, C. L. Análise da tectônica Cenozóica da região de Manaus e adjacências. 2005. 282 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro:UNESP, 2005.
- SIOLI, H. Valores de pH de águas Amazônicas. *Boletim do museu paraense Emilio Goeldi*. v. 1, p. 1-35, 1957.
- SLINGERLAND, R.; SMITH, N. D. River avulsions and their deposits *Annual Review Earth Planetary Science*, v. 32, p. 257–285, 2004.
- SOARES, E. A. A. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas. 2007. 206 p. Tese (Doutoramento). Universidade de São Paulo -USP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo:USP, 2007.
- SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. *Notícia Geomorfológica*, v. 16, p. 71-104, 1976.
- SOUZA FILHO, P. W. M.; QUADROS, M. L. E. S.; SCANDOLARA, J. E.; FILHO, E. P. S.; REIS, M. R. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, p. 469-476, 1999.
- STERNBERG, H. O. Vales tectônicos na planície amazônica? *Revista Brasileira de Geografia*, v. 4, p. 511-531, 1950.
- SUGUIU, K. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: BERTRAND, 1998. 1222 p.
- SUMMERFIELD, M. A. *Global geomorphology: an introduction to the study of landforms*. New York: Logman Scientific & Technical, 1991. 537 p.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v.22, p. 174-182, 1999.
- TASSINARI, C. C. G.; BITTENCOURT, J. S.; GERALDES, M. C.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. The Amazon Craton. In: CORDANI, U.G.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America: Acad. Bras. Cienc. Spec. Publ. 31th Int. Geol. Cong.*, pp. 41–95, 2000.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KASHAWITA, K. A review of the geochronology of the Amazonian craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, v.42, p.213-227, 1989.
- TÖRNQVIST, T. E. Middle and late Holocene avulsion history of the River Rhine (Rhine-Meuse delta, Netherlands). *Geology*, v. 22, p. 711–714, 1994.
- TRICART, J. L. F. Tipos de planícies aluviais e leitos fluviais na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 2, p. 3-38, 1977.
- VAN der HAMMEN, T.; DUIVENVOORDEN, J. F.; LIPS, J.M.; UREGO, L.E.; ESPEJO, N. The Late Quaternary of middle Caquetá River area (Colombian Amazônia). *Journal of Quaternary Science*, v. 7, p. 45-55, 1992.
- VIEIRA, L. C.; NOGUEIRA, A. C. R. Petrografia dos arenitos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, Praia da Ponta negra, Manaus. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 1998, São Carlos. *Boletim de resumos...São Carlos*, 1998, p. 165.
- WEBB, S. D. Biological implications of the Middle Miocene Amazon seaway. *Science*, v. 269, p. 361-362, 1995.
- WEBB, S. D.; RANCY, A. Late Cenozoic evolution of the Neotropical mammal fauna. In: JACKSON, J.; BUDD, N.; COATES, A. (Ed.). *Evolution and environments in tropical America*. Chicago: University of Chicago Press, 1996, p. 359-405.
- WEISSMANN, G. S.; BENNETT, G. L.; LANSDALE, A. L. Factors controlling sequence development on Quaternary fluvial fans, San Joaquin Basin, California, U.S.A. In: HARVEY, A.; MATHER, A.; STOKES, M. (Eds.). *Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*. London: Geological Society (Special Publication), 2005, p. 169–186.
- WESSLINGH, F. P.; RÄSÄNEN, M. E.; IRION, G.; VONHOF, H. B.; KAANDORP, R.; RENEMA, W.; ROMERO-PITTMAN, L.; GINGRAS, M. Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction of a Miocene long-lived lake complex in western Amazonia. *Cainozoic Research*, v. 1, p. 35-81. 2001.
- WEYDAHL, D. J.; SAGSTUEN, J.; DICK, O. B.; RONNING, H. SRTM-DEM accuracy assessment over vegetated areas in Norway. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 3513-3527, 2007.
- WILLIS, B. Evolution of Miocene fluvial system in Himalayan foredeep through a two kilometer-thick succession in northern Pakistan. *Sedimentary Geology*, v. 88, p. 77–121, 1993.