



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E EOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APLICAÇÃO DE DADOS SRTM (SHUTTLE RADAR
TOPOGRAPHY MISSION) NO ESTUDO DO CONTROLE
NEOTECTÔNICO DA REDE DE DRENAGEM E
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, NA REGIÃO DE URUCU
E ADJACÊNCIAS (AM)**

Dissertação apresentada por:

MARCELO LIMA PINTO

Orientador: Prof. Dr. Maurício da Silva Borges (UFPA)

**BELÉM
2010**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

P659a Pinto, Marcelo Lima
Aplicação de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) no estudo do controle neotectônico da rede de drenagem e microbacias hidrográficas, na região de Urucu e Adjacências (AM)/ Marcelo Lima Pinto; Orientador: Maurício da Silva Borges – 2010
viii, 125 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Neotectônica. 2. Neógeno. 3. SRTM. 4. Região de Urucu. 5. Região Amazônica I. Universidade Federal do Pará. II. Borges, Maurício da Silva, *orient.* III. Título.

CDD 20. ed.: 551.809811



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**APLICAÇÃO DE DADOS SRTM (SHUTTLE RADAR
TOPOGRAPHY MISSION) NO ESTUDO DO CONTROLE
NEOTECTÔNICO DA REDE DE DRENAGEM E
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, NA REGIÃO DE
URUCU E ADJACÊNCIAS (AM)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

MARCELO LIMA PINTO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA

Data de Aprovação: 01 /09 / 2009

Banca Examinadora:

Prof. MAURÍCIO DA SILVA BORGES
(Orientador-UFPA)

Prof. CLAUDIO RICCOMINI
(Membro-USP)

Prof. NORBERTO MORALES
(Membro-UNESP)

Belém

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a Nossa Sra. de Nazaré, por tudo que me foi concedido e pela oportunidade de poder progredir e alcançar inúmeras conquistas.

Ao PPGG - Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Maurício da Silva Borges pela orientação, compreensão, dedicação e apoio durante todo o trabalho.

Ao Laboratório de Análises de Imagens dos Trópicos Úmidos – LAIT, coordenado pelo Prof. Dr. Pedro Walfir, por disponibilizar toda infra-estrutura para a realização das atividades computacionais e a todos os amigos do LAIT: Afonso, Carlos, Pedro Edson, Francisco, Fernando, Helenice, Paula, Paulo, Lourival, Glenda, Karla, Suzan, Suzane e Wilson.

A minha mãe (Maria Pinto) e pai (Manoel Pinto) que sempre depositou em mim toda confiança, ao amor de minha vida Elaine Martins que sempre me ajudou em todos os momentos.

Em especial aos amigos de mestrado Mariano, Aline, Thanan, Ulisses e Jadson.

SUMÁRIO

	p.
AGRADECIMENTOS _____	I
SUMÁRIO _____	II
LISTA DE FIGURAS _____	IV
LISTA DE TABELAS _____	VIII
LISTA DE GRÁFICOS _____	VIII
RESUMO _____	1
ABSTRACT _____	3
1. INTRODUÇÃO _____	5
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO _____	8
3. OBJETIVOS _____	10
4. GEOLOGIA REGIONAL _____	11
5. ARCABOUÇO TECTÔNICO DA REGIÃO AMAZÔNICA _____	14
6. TECTÔNICA RESSURGENTE _____	17
7. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS _____	19
8. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____	21
9. CONCEITOS BÁSICOS DE DRENAGEM _____	22
10. HIERARQUIA FLUVIAL _____	23
11. ANÁLISE MORFOMÉTRICA _____	28
12. ANÁLISE TOPOLÓGICA _____	30
13. ANÁLISE DAS FORMAS DE DRENAGEM _____	33
14. TIPOS DE CANAIS FLUVIAIS _____	37
15. PADRÕES DE DRENAGEM _____	39
16. PROJETO SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION) _____	42
17. AQUISIÇÃO E EXPORTAÇÃO DAS IMAGENS SRTM PARA ARCGIS 9.X _____	46
18. PROCESSAMENTO PARA A EXTRAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA E DELIMITAÇÃO DAS MICROBACIAS DE DRENAGEM _____	49
19. REDE HIDROGRÁFICA DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS _____	60
20. MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS _____	64
21. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS MICROBACIAS DE DRENAGEM _____	66

22.	CRIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE)	73
23.	MODELOS 3D DAS CALHAS DOS PRINCIPAIS RIOS	77
24.	MODELOS 3D DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS	82
25.	ANÁLISE DOS LINEAMENTOS OBTIDOS COM OS SENSORES SRTM	97
26.	REFLEXO MAGNÉTICO DAS ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS	102
27.	INTEGRAÇÃO DE DESCONTINUIDADES NEOTECTÔNICAS INTERPRETADAS COM BASE NA REDE DE DRENAGEM E NAS TRAMAS MAGNÉTICAS	105
28.	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.– Estruturas neotectônicas maiores da região centro-oeste do Amazonas. _____	6
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo gerado a partir de imagens shuttle radar topography mission (SRTM, 90 m de resolução espacial) _____	9
Figura 3 – Seção geológica wsw-ene com as unidades estratigráficas da bacia do Solimões. _____	11
Figura 4 – Coluna litoestratigráfica da bacia do Solimões. _____	13
Figura 5 - Modelos de blocos crustais da região amazônica no brasil. _____	14
Figura 6 - Distribuição dos epicentros da região amazônica. Círculos pretos: epicentros. Traços em cinza: suturas. Pontilhado: coberturas fanerozóicas. Zonas sismogênicas: (1) Boa Vista, (2) Manaus, (3) Belém, (4) São Luís, (5) Itacaiúnas, (6) Porangatu, (7)Aripuanã, e (8) Cruzeiro do Sul. _____	16
Figura 7 – arcabouço neotectônico da amazônia. Falhas transcorrentes: linha com ou sem par de setas, estas indicando movimento relativo. Falhas normais: linhas com pequenos traços perpendiculares. Falhas inversas ou de cavalgamento: linhas denteadas. _____	18
Figura 8 – fluxograma. Foram utilizados softwares: arcgis 9.2 e global mapper e imagens SRTM _____	20
Figura 9. Ordenamento de drenagem segundo Horton (1945). _____	24
Figura 10 – Ordenamento de drenagem segundo Strahler (1952). _____	25
Figura 11 – Ordenamento de drenagem segundo Scheidegger (1965). _____	26
Figura 12 – Ordenamento de drenagem segundo Shevre (1966, 1967). _____	27
Figura 13 – Análise topológica (a) idênticas e (b) distintas. (Christofoletti, 1980). _____	31
Figura 14 – Relação de bifurcação. Na parte superior a relação de bifurcação é de 2,25, ao passo na parte inferior é de 12. Para se calcular a propriedade morfométrica basta dividir o número de canais de uma ordem com o da ordem imediatamente superior. Então para a bacia a (direita) temos 9 primeira ordem /4 (segunda ordem) = 2,25; ao passo para a bacia b (esquerda) temos 12 (primeira ordem) /1 segunda ordem = 12. Neste caso é indicativo de intercalação de sedimentos moles e duros, bem retratado pela sua forma de bacia alongada. _____	32
Figura 15 – Propriedades da rede de drenagem, compilado de de Soares e Fiori (1976) _____	34
Figura 16 – Tipos de canais fluviais, compilado de Riccomini et al. (2001). _____	37
Figura 17 – Padrões básicos de drenagem, modificado de Howard (1967). _____	41
Figura 18 - Distribuição das imagens SRTM. _____	43

Figura 19 - Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM.	43
Figura 20 - Site e link mostrando o caminho seguindo para adquirir as imagens SRTM.	46
Figura 21 - Configurando uma projeção métrica para o mosaico	47
Figura 22 - Exportando as imagens SRTM.	48
Figura 23 - Arctoolbox com suas extensões e funções dentro do ambiente arcgis 9.2.	49
Figura 24 - Condicional: utilizado para corrigir valores anômalos de elevação da imagem SRTM (raster).	50
Figura 25 - Filtro: utilizado para corrigir pequenas imperfeições do raster.	51
Figura 26 - Raster sem a aplicação do filtro.	52
Figura 27 - Raster depois da aplicação do filtro.	52
Figura 28- direção do fluxo: utilizado para criação de um raster com informação da direção do fluxo da célula.	53
Figura 29 - Fluxo acumulado: utilizado para criação de um raster com informação do fluxo acumulado em cada célula.	54
Figura 30 - Bacia: delinea as bacias de drenagem.	55
Figura 31 - Comprimento do fluxo: calcula a distancia ao longo de um caminho do fluxo.	56
Figura 32 - Ordem dos canais: calcula a ordem das drenagens seguindo a metodologia de Strahler (1952).	57
Figura 33 – Transformação do raster stream order para um arquivo em vetor shp.	58
Figura 34 – Transformação do raster basin para um arquivo vetor shp.	59
Figura 35 – Mapa com a rede hidrográfica da região de Urucu e adjacências (AM).	61
Figura 36 – Mapa com a ordenação da rede hidrográfica segundo a metodologia de Strahler, região de Urucu e adjacências (AM).	63
Figura 37 – Mapa das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM).	65
Figura 38 – Exemplo de recorte das bacias hidrográficas.	73
Figura 39 – Exemplo de exportação do recorte das bacias hidrográficas.	74
Figura 40 – Carregando o arquivo dem (digital elevation model), utilizando o surfer 8.0.	75
Figura 41 – Acesso a propriedades do mapa 3d, utilizando o surfer 8.0.	76
Figura 42 – Principais parâmetros do mapa 3d ajustados, utilizando o surfer 8.0.	76

Figura 43 – Mapa com a localização da divisão das calhas dos rios principais da região de Urucu e adjacências (AM) que foram criados os modelos digitais de elevação. _____	77
Figura 44 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) da calha do rio Solimões oeste da região de Urucu e adjacências (AM). _____	78
Figura 45 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) da calha do rio Juruá da região de Urucu e adjacências (AM). _____	79
Figura 46 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) da calha do rio Solimões leste da região de Urucu e adjacências (AM). _____	80
Figura 47 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) da calha do rio Purus da região de Urucu e adjacências (AM). _____	81
Figura 48 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Uarani 1, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	82
Figura 49 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Uarani 2, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	83
Figura 50 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Tefer, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	84
Figura 51 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Caiambé, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	85
Figura 52 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do igarapé Catuá, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	86
Figura 53 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do igarapé ipixuna, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	87
Figura 54 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio aruã, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	88
Figura 55 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Urucu, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	89
Figura 56 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Itanhauã, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	90
Figura 57 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Juma, da região de Urucu e adjacências (AM). _____	91

Figura 58 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Coari, da região de Urucu e adjacências (AM).	92
Figura 59 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Mamiá, da região de Urucu e adjacências (AM).	93
Figura 60 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Urumutum, da região de Urucu e adjacências (AM).	94
Figura 61 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Piorini, da região de Urucu e adjacências (AM).	95
Figura 62 – Mapa com o modelo 3d (exagero vertical de 5x) do rio Padajós, da região de Urucu e adjacências (AM).	96
Figura 63 – Mapa com os lineamentos estruturas extraído a partir da rede de drenagem.	98
Figura 64 – Mapa com a interpretação da continuidade dos lineamentos estruturas baseado no mapa anterior.	99
Figura 65 – Mapa de estruturas neotectônica da região de Urucu e adjacências (AM).	100
Figura 66 – Mapa das microbacias de drenagem sobrepostos as estruturas neotectônica da região de Urucu e adjacências (AM), demonstra claramente o controle neotecônico das bacias.	101
Figura 67 – Mapa com as estruturas neotectônica e ctr do igrf sombreado, mostrando a correlação das anomalias magnéticas com as estruturas.	104

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Principais análises morfométricas. _____ 29
- Tabela 2 – Tabela contendo as análises lineares das bacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências.
_____ 66
- Tabela 3 – Tabela contendo as análises areais das bacias hidrográficas da região de urucu e adjacências. 67

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Ordem das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). _____ 68
- Gráfico 2 – Número de seguimentos de mesma ordem microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). Por exemplo: badajós possui 103 seguimentos de drenagem de 10º ordem. _____ 69
- Gráfico 3 – Comprimento das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). _____ 69
- gráfico 4 – Área das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). _____ 70
- Gráfico 5 – Perímetro das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). _____ 71
- Gráfico 6 – Densidade de drenagem das microbacias hidrográficas da região de Urucu e adjacências (AM). _____ 72

RESUMO

Os estudos geológicos do Neógeno da Amazônia têm mostrado significativas evidências de processos tectônicos recentes, verificadas, sobretudo, a partir do controle estrutural dos vales e rios da região. Diante deste quadro, o objetivo desse estudo referiu-se à investigação neotectônica da região de Urucu e Adjacências (AM) por meio da análise estrutural dos sistemas de drenagens e relevo a partir de produtos digitais, a saber, imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O entendimento da estruturação tectônica mais recente, da região de Urucu (AM), é fundamental na definição da geometria paisagística atual. Desta forma, esse estudo foi de importância fundamental para o reconhecimento de estruturas reativadas (NE-SW, NNE-SSW, NW-SE) e neoformadas (E-W e ENE-WSW), que certamente influenciam no controle paisagístico da drenagem e do relevo durante o Neógeno até o presente momento. A análise inicial dos alinhamentos de drenagem e relevo a partir das imagens SRTM permitiu a interpretação de dois grandes conjuntos de descontinuidades. O primeiro conjunto engloba as estruturas com orientação E-W e ENE-WSW, as quais se associam orientações NE-SW e NNE-SSW. O segundo conjunto reúne as estruturas posicionadas a NW-SE e NNW e SSE. O primeiro conjunto relaciona-se a estruturas com provável movimentação transcorrente, onde as orientações NE-SW representam “*splays*” que se dispõem de modo a compor estruturais sigmóidais semelhantes a duplexes direcionais. Os conjuntos estruturais orientados a NNE-SSW parecem representar um segundo pulso no contexto dessa movimentação direcional / transpressiva. O segundo conjunto é representado por descontinuidades NNW-SSE. Estas orientam a geometria e impõem assimetrias na rede de drenagem, as quais são compatíveis com a definição de “*fronts*” e reversos no relevo. A paisagem observada assemelha-se aquelas desenvolvidas em movimentações “*dip-slip*” normais. Um segundo pulso de movimentação com geometria de falha normal orientada a NW-SE limita as planícies aluviais e provoca a barragem natural do sistema hidrográfico, proporcionando deslocamentos dos canais fluviais. Este último pulso provavelmente ocorreu no Holoceno. Também, baseado em dados geofísicos do tipo Campo Total Reduzido do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) pode-se observar que

existe uma forte correlação entre estruturas neotectônicas e as anomalias magnéticas, indicando que as estruturas neoformadas estão associadas à estruturas E-W e ENE-WSW e as estruturas de reativação das estruturas antigas apresentam-se com direções NE-SW, NNE-SSW, NW-SE.

Palavras-chaves: Neógeno, Neotectônica, Região Amazônica, Região de Urucu, SRTM.

ABSTRACT

Geologic studies of the Neogene of the Amazon have shown significant evidence of recent tectonic processes, analysis, particularly from the structural control of the valleys and rivers. Given this context, the objective of this study referred to the research area of neotectonic Urucu and Surroundings (AM) through the structural analysis of drainage systems and topography from digital products, namely, images SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). The understanding of the latest tectonic structure, the region of Urucu (AM), is fundamental in defining the current landscape geometry. Thus, this study was crucial for the recognition of reactivated structures (NE-SW, NNE-SSW, NW-SE) and neoformed (EW and ENE-WSW), which certainly influence the control of landscape drainage and relief during the Neogene to the present. The initial analysis of alignments of drainage and relief from SRTM images allowed the interpretation of two main sets of discontinuities. The first set includes the structures oriented EW and ENE-WSW, which are associated guidelines NE-SW and NNE-SSW. The second set brings together the structures positioned to NW-SE and NNW and SSE. The first set relates to a structure with probable transcurrent movement, where NE-SW orientations represent "splays" who are willing to make up a structural sigmoidal-like duplexes directional. Structural assemblies oriented NNE-SSW seem to represent a second pulse within that directional movement / transpressive. The second set is represented by discontinuities NNW-SSE. These guide the geometry and impose asymmetries in the drainage network, which are compatible with the definition of "fronts" and reverse in relief. The landscape seen resembles those developed drives dip-slip "normal. A second pulse of drive geometry of normal fault oriented NW-SE limits floodplains and causes the dam's natural river system, providing displacement of fluvial channels. Latter pulse probably occurred during the Holocene. Also, based on geophysical data type field of Total Reduced IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) can be seen that there is a strong correlation between neotectonic structures and magnetic anomalies, indicating that the structures are associated with the newly formed structures EW and ENE-WSW and structures of reactivation of ancient structures are presented with directions NE-SW, NNE-SSW, NW-SE.

Keywords: Amazônica Region, Neotectonic, Urucu Region, SRTM, Neogeno.

1. INTRODUÇÃO

Na região de Urucu (AM) e adjacências são observadas, através de sensores remotos ou de Mapas planimétricos, significativas feições anômalas, tanto na rede de drenagem quanto nas formas de relevo as quais indicam a existência de um controle morfoestrutural da paisagem. A área de trabalho apresenta importantes registros sísmicos disponibilizados pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, sendo alguns de magnitude considerável (ASSUNÇÃO, 1983; ASSUNÇÃO, 1998).

Os registros destes controles morfoestruturais, somados a existência dos sismos, evidenciam a incidência de movimentações neotectônicas na região. Assim, admite-se que o desenvolvimento da paisagem pode estar fortemente vinculado à presença de estruturas tectógenas e à sua movimentação durante o Período Neógeno.

O Cenozóico brasileiro é marcado por um regime tectônico transcorrente induzido pela rotação da Placa Sul-Americana para oeste. Esse regime neotectônico é admitido como tendo se iniciado no Mioceno e envolve um binário dextral E-W, composto por σ_3 atuando em torno de NE-SW e σ_1 orientado aproximadamente a NW-SE (HASUI, 1990; COSTA *ET AL.*, 1996). Assim o arcabouço neotectônico da Amazônia reúne os sistemas estruturais, as seqüências sedimentares, os sistemas de relevo e os elementos das bacias hidrográficas desenvolvidas durante movimentações tectônicas do Neógeno (COSTA, 1996; COSTA *ET AL.*, 1996; COSTA *ET AL.*, 2001).

Os trabalhos desenvolvidos identificaram conjuntos falhas transcorrentes dextrais orientadas nas direções E-W, ENE-WSW e NE-SW que deram origem a áreas transtensivas e transpressivas, marcadas por falhas normais NW-SE e NNE-SSE, e de cavalgamentos e dobras de direções NE-SW e ENE-WSW, respectivamente. São também comuns os controles vinculados a N-S (COSTA *ET AL.*, 1996; BEMERGUY, 1997; CAVALCANTE, 2000, 2001; BEZERRA, 2003).

A área trabalhada nesta dissertação corresponde a região Neotectônica de Costa *et al.* (1996) Centro-Oeste do Amazonas sendo geologicamente composta por seqüências sedimentares da Formação Solimões e por sedimentos recentes, além de rochas Pré-Cambrianas no Alto Rio Negro. As anomalias de drenagem nessa região apontam para a existência de movimentações neotectônicas, haja vista que estas são controladas pela morfoestrutura gerada no Cenozóico (BEMERGUY E COSTA, 1991).

O Centro-Oeste do Amazonas tem natureza neotectônica transpressiva desenvolvida através de um binário dextral (HASUI, 1990). A estruturação é marcada pelos padrões de drenagens do rio Juruá e Purus que seguem a orientação E-W, existem também estruturas menores associadas que possuem direções NNE-SSE e NE-SW, interpretadas como falhas inversas (COSTA ET AL., 1996). (*Figura 1*).

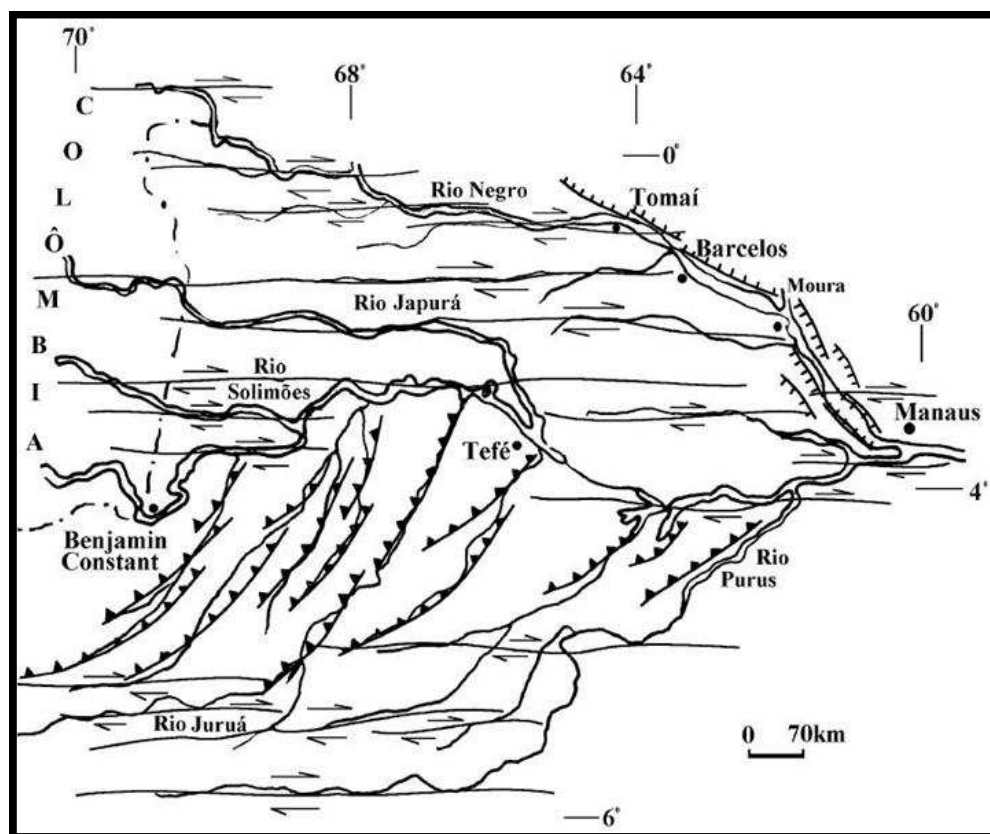


Figura. 1.– Estruturas neotectônicas maiores da região centro-oeste do Amazonas. Fonte: Costa *et al* (1996).

O trabalho com as imagens SRTM foi de suma importância para a concretização dos estudos haja vista que não existe nenhuma base de dado detalhada da rede de drenagem da região amazônica - existem ainda muitos vazios cartográficos relacionados a mapeamento sistemático como, por exemplo, na escala de 1:100.000 – na Amazônia (IBGE, 2009). Além disso, segundo Martins (2007), as drenagens extraídas a partir de imagens SRTM são bastante semelhantes às bases IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), DSG (Diretoria do Serviço Geográfico - Exército) e ANA (Agência Nacional das Águas), e também, apresentam maior quantidade de informações (maior quantidade de ordens dos canais) e o principal é que fornecem dados de áreas que não foram cobertas pelo mapeamento sistemático do IBGE/DSG.

Os resultados obtidos foram Mapas das microbacias hidrográficas, de drenagem, de estruturas neotectônicas e de modelos 3D de todas as bacias de captação. Também são destacadas as principais análises morfométricas analisadas nas microbacias. É importante ressaltar que todos os resultados obtidos estão integrados a um banco de dado SIG (Sistema de Informações Geográficas).

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse está inserida na bacia hidrográfica do Rio Solimões e na Bacia Sedimentar Amazônica, e compreende a região de Urucu e adjacências, Estado do Amazonas. É delimitada pelas coordenadas geográficas 61°51' e 66°55'W de longitude e 2°00' e 5°50'S de latitude. A área envolve os municípios de Alvares, Coarí, Codajás, Maraã, Tefé e Uarini, perfazendo uma área de aproximadamente 121.780 Km² (*Figura 2*).

O principal meio de acesso a região estudada é o rio Solimões, juntamente com os seus afluentes. Os afluentes mais importantes do rio Solimões, na porção leste, são os rios Piorini e Igarapé Açú, pela margem direita, e o Coarí, pela margem esquerda. Na porção oeste o afluente da margem direita do rio Solimões é o rio Japurá, e pela margem esquerda os afluentes são os rios Tefé e Uarini.

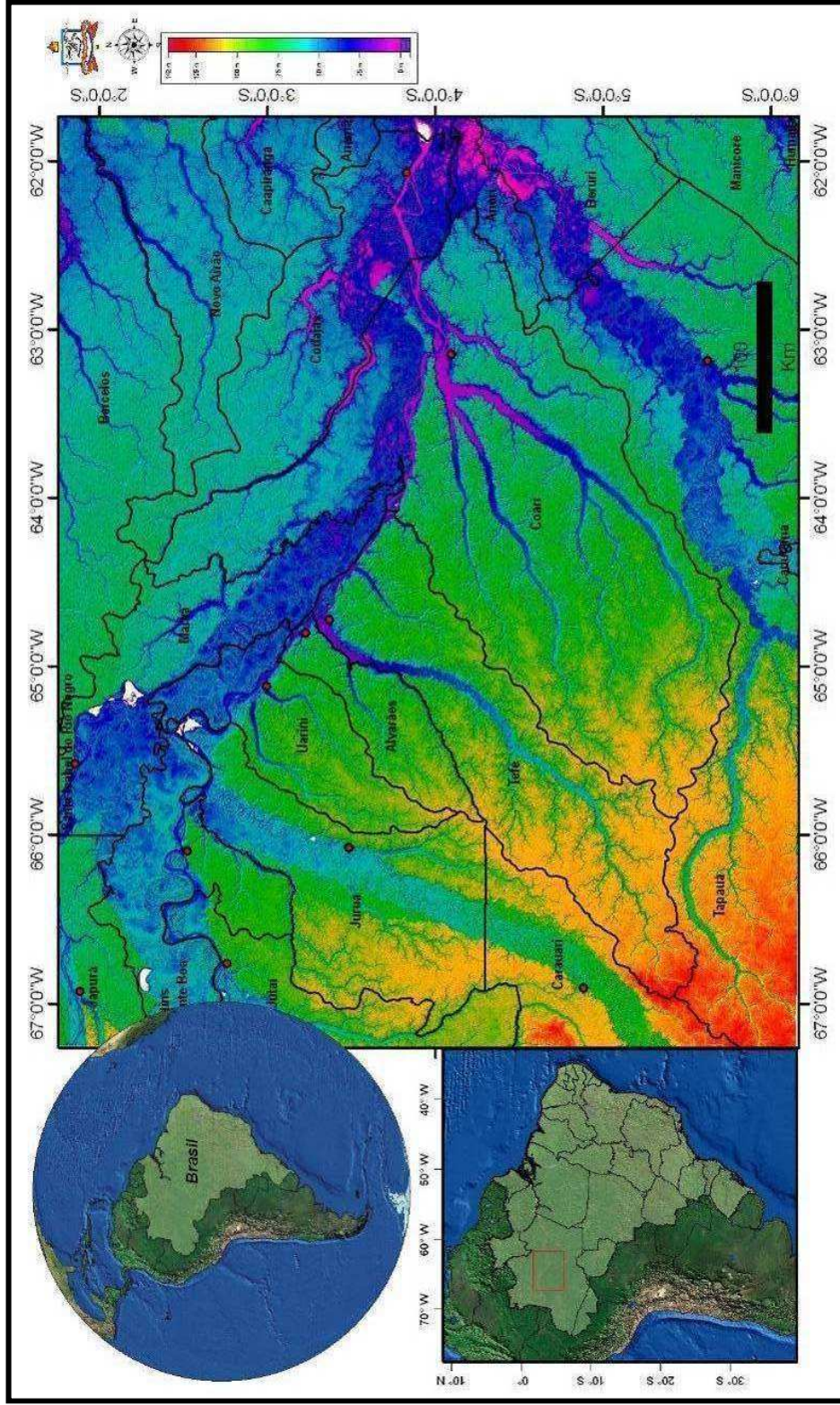


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo gerado a partir de imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 90 m de resolução espacial)

3. OBJETIVOS

Foram estudados os aspectos do meio físico da região de Urucu e adjacência (AM) e sua inter-relação com os processos tectônicos atuantes no período Neógeno. Para isso, foram utilizados sensores remotos como principal ferramenta de análise dos elementos texturais da paisagem - exemplo: rede de drenagem e bacias hidrográficas, além das formas da geometria do relevo - constituem os objetivos gerais.

Nesse contexto, a análise da região de Urucu e Adjacências, se propõe a atingir os seguintes objetivos específicos: (A) Obter a rede hidrográfica da área de estudo, (B) Delimitar as microbacias hidrográficas, (C) Gerar modelos 3D das microbacias, (D) Caracterizar as estruturas neotectônicas; (E) Entender a influência da neotectônica na evolução da paisagem.

4. GEOLOGIA REGIONAL

O arcabouço estratigráfico Fanerozóico da Bacia do Solimões atinge, em sua porção mais espessa, cerca de 3.800m de profundidade (**Figura 3**).

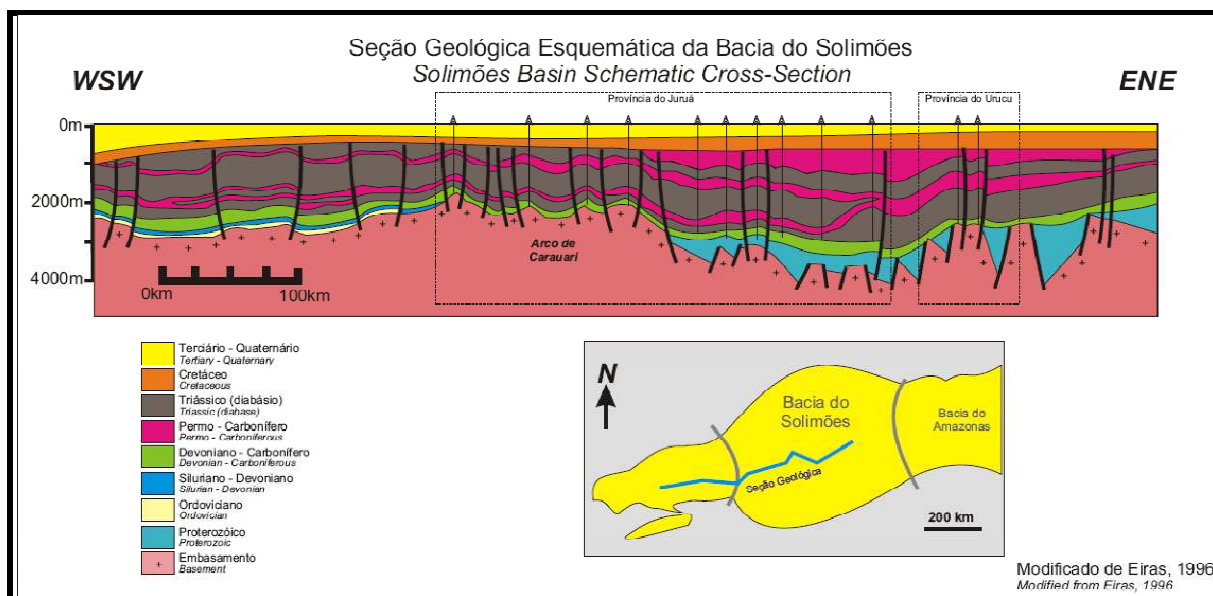


Figura 3 – Seção Geológica WSW-ENE com as unidades estratigráficas da Bacia do Solimões. Fonte: Eiras (1998).

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Solimões foi organizado por Eiras *et al.* (1994), baseando-se em Silva (1987, 1988) e introduzindo significativas modificações através de datações bioestratigráficas efetuada por Quadros (1986, 1988), Lemos (1989), Grahn (1989, 1990), Altiner e Savini (1991) e Melo (1993) formalizando uma coluna estratigráfica para Bacia do Solimões (**Figura 4**). A mesma pode ser dividida em duas grandes seqüências de primeira ordem: (i) uma paleozóica, contendo rochas que se estendem do Ordoviciano ao Permiano, e outra (ii) mesozóica - cenozóica, de caráter vulcano-sedimentar.

As unidades litoestratigráficas da Bacia do Solimões são formadas pelas rochas do Grupo Purus (Pré-Cambriano) que contém a Formação Prosperança e o Embasamento Cristalino, pela Seqüência Ordoviciano que abrange a Formação Benjamin Constant, pela Seqüência Devoniana (Siluriano superior- Devoniano - Carbonífero Inferior) que apresenta a Formação Jutai (Membro Biá) e o Grupo Mari-mari (Formação Jandiatuba, Formação Uerê, Membro Jaraqui e Membro Urucu-Araua) e finalmente pela seqüência Permo-Carbonífero (Carbonífero Superior - Permiano Inferior) representada pelo Grupo Tefé (formações Juruá, Caruarí e Fonte Boa). As sequências pós-paleozóicas resumem-se ao Grupo Javari constituído pela Formação Alter do Chão (Cretáceo Superior) e pela Formação Solimões (Paleógeno – Neógeno, antigo Terciário) (EIRAS *ET AL.*, 1994).

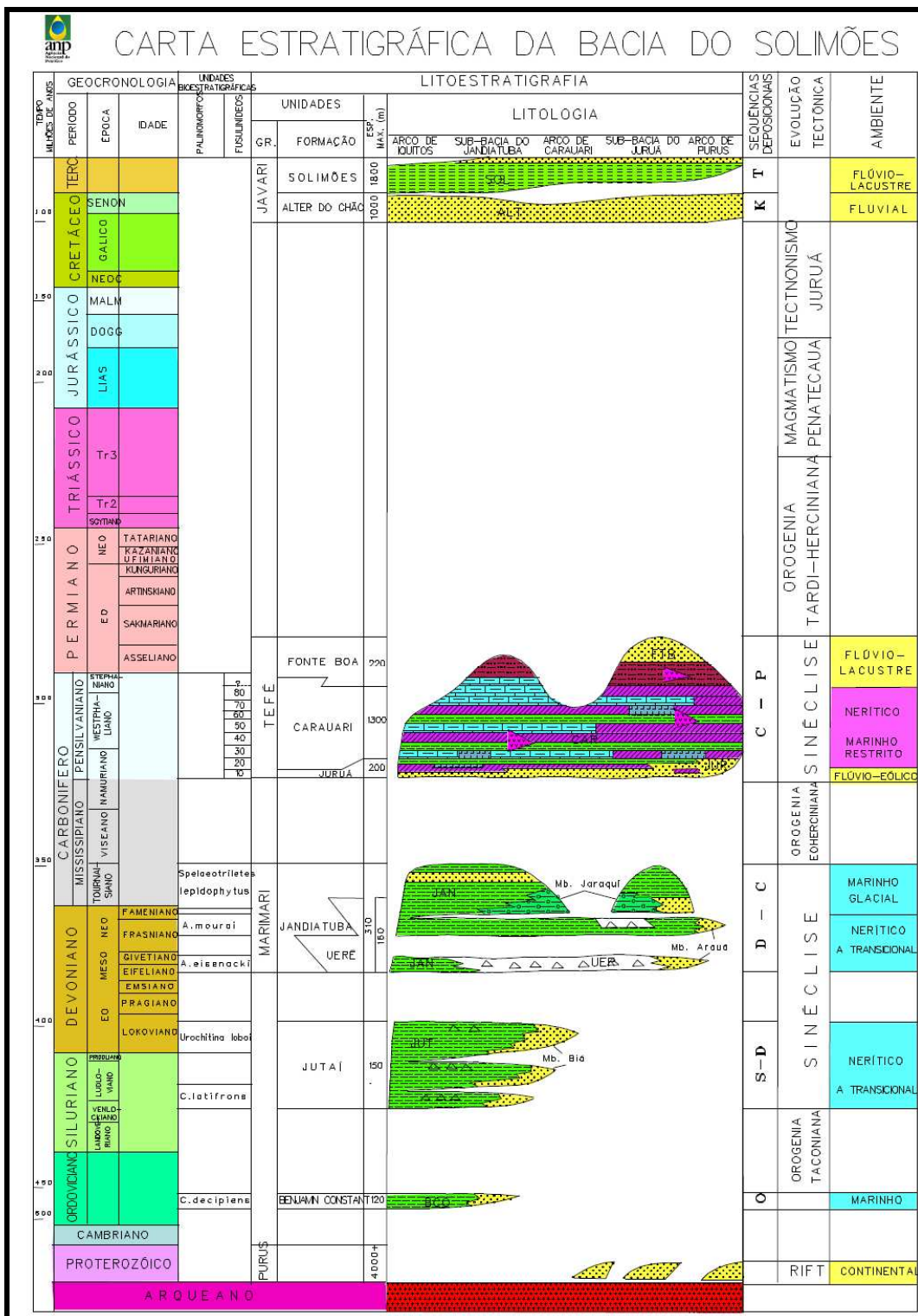


Figura 4 – Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Solimões. Fonte: Eiras et al. (1994).

5. ARCABOUÇO TECTÔNICO DA REGIÃO AMAZÔNICA

O quadro geológico da Região Amazônica compreende unidades litológicas e estruturais variadas decorrentes dos processos termo-tectônicos de três etapas evolutivas:

1º ETAPA: Durante o ARQUEANO/PROTEROZÓICO INFERIOR formaram-se aglutinados de massas crustais, originando os blocos formados por granitos-greenstones (*Figura 5*), nas bordas dos blocos formaram-se cinturões de cavalgamentos e transcorrências compostas por gnaisses de alto grau metamórfico (cinturões granulíticos). Esses cinturões foram originados a partir de processos colisionais, que alçaram as rochas granulíticas através de cavalgamentos dúcteis (COSTA E HASUI, 1997).

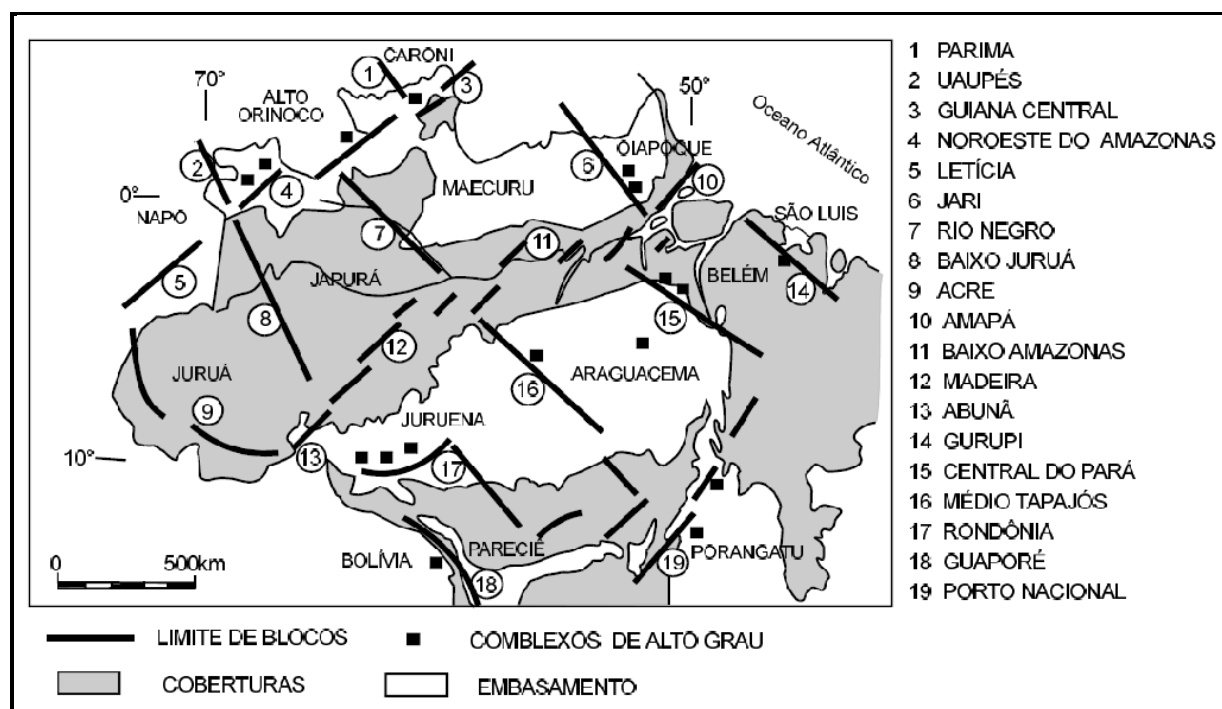


Figura 5 - Modelos de Blocos Crustais da Região Amazônica no Brasil. Fonte: Hasui et al. (1984).

2º ETAPA: A movimentação dos blocos ocorreu através de falhas normais e de transferências, as quais proporcionaram o surgimento de bacias sedimentares e grande atividade magmática nos blocos. O arranjo estrutural foi fortemente controlado por estruturas anteriores, as quais são descritas nos três eventos a seguir: (I) PROTEROZÓICO MÉDIO/SUPERIOR - envolveu o eixo extensional NE-SW, permitindo a deposição de seqüências sedimentares, formação de derrames e intrusões, em alguns seguimentos sofreram inversão positiva que gerou sistemas imbricados de cavalgamento e sistemas transcorrentes; (II) PALEOZÓICO – envolveu o eixo distensivo NW-SE, dando origem as grandes bacias Paleozóicas brasileiras (Solimões, Amazonas, Alto Xingu e Parnaíba); (III) MESOZÓICO/PALEÓGENO - envolveu os eixos extensionais ENE-WSW e NW-SE, reativação as bacias sedimentares, formando as bacias de Tacutu e as bacias costeiras, também com a reativação manifestou as atividades magmáticas nas bacias (COSTA E HASUI, 1997).

3º ETAPA: MIOCENO, predomínio de estruturas associadas ao binário transcorrente dextral de direção E-W, originado pelo movimento de rotação da placa Sul-Americana para oeste,. Entre os binários estabeleceram-se estruturas transtensivas e transpressivas, as quais controlaram e controlam a paisagem atual, marcadas principalmente pela rede de drenagem e sedimentação moderna (COSTA E HASUI, 1997). A movimentação atual é constatada através das evidências de sismicidades intraplaca (**Figura 6**).

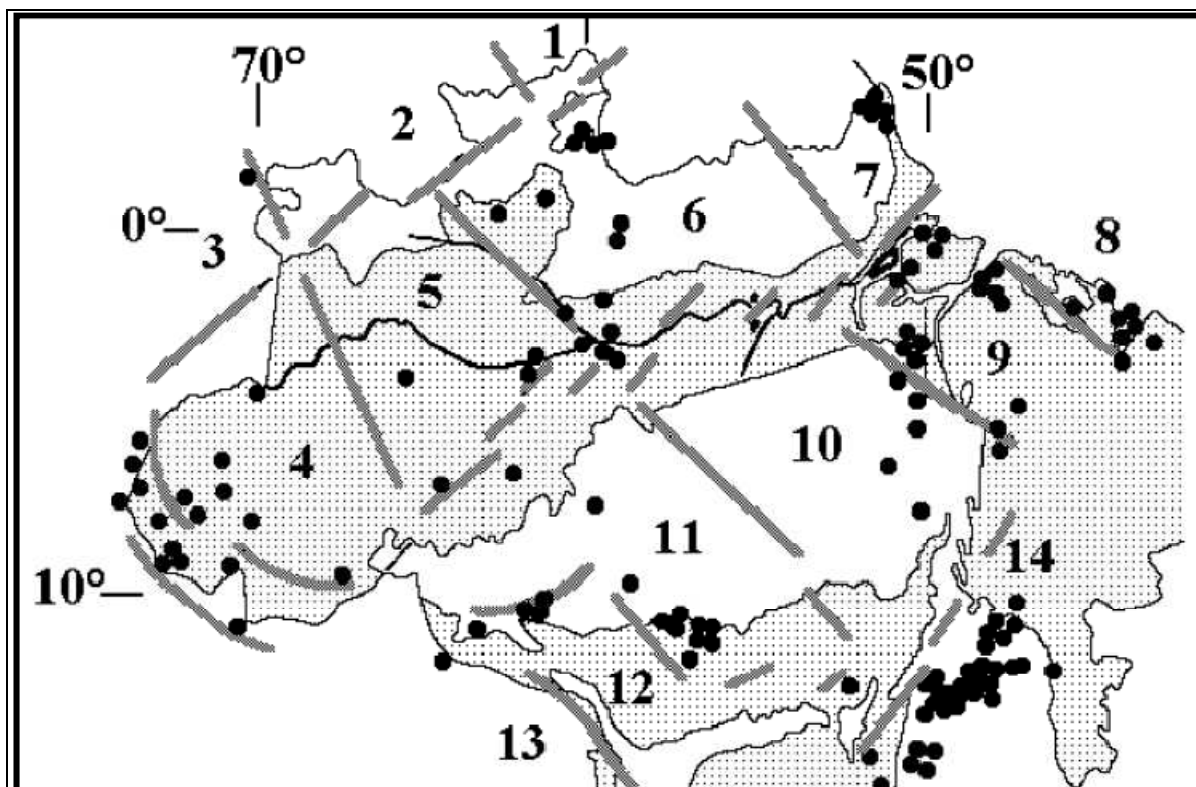


Figura 6 - Distribuição dos epicentros da região amazônica. Círculos pretos: epicentros. Traços em cinza: suturas. Pontilhado: coberturas fanerozóicas. Zonas sismogênicas: (1) Boa Vista, (2) Manaus, (3) Belém, (4) São Luís, (5) Itacaiúnas, (6) Porangatu, (7) Aripuanã, e (8) Cruzeiro do Sul. Fonte: Mioto (1993).

6. TECTÔNICA RESSURGENTE

O Cenozóico brasileiro é marcado por um regime tectônico transcorrente induzido pela rotação da Placa Sul-Americana para oeste. Esse regime neotectônico é admitido como tendo se iniciado no Mioceno e envolve um binário dextral E-W, tendo como tensor σ_3 atuando em torno de NE-SW (extensão) e σ_1 (compressão) segundo aproximadamente NW-SE (HASUI, 1990; HASUI, 1996).

Segundo Costa (1996), Costa *et al.* (1996), Costa *et al.* (2001) o quadro neotectônico da Amazônia reúne os sistemas estruturais, as seqüências sedimentares, os sistemas de relevo e os elementos das bacias hidrográficas que respondem por movimentos do Terciário Superior (Mioceno-Plioceno) e do Pleistoceno Superior ao Recente. Neste sentido reconhecem-se sistemas de falhas transcorrentes dextrais orientadas nas direções E-W, ENE-WSW e NE-SW (**Figura 7**) que geraram extensas áreas transtensivas e transpressivas, delineadas através de falhas normais NW-SE e NNW-SSE, e de cavalgamentos e dobras de direções NE-SW e ENE-WSW, respectivamente. Há também vastas áreas controladas por falhas normais orientadas na direção N-S.

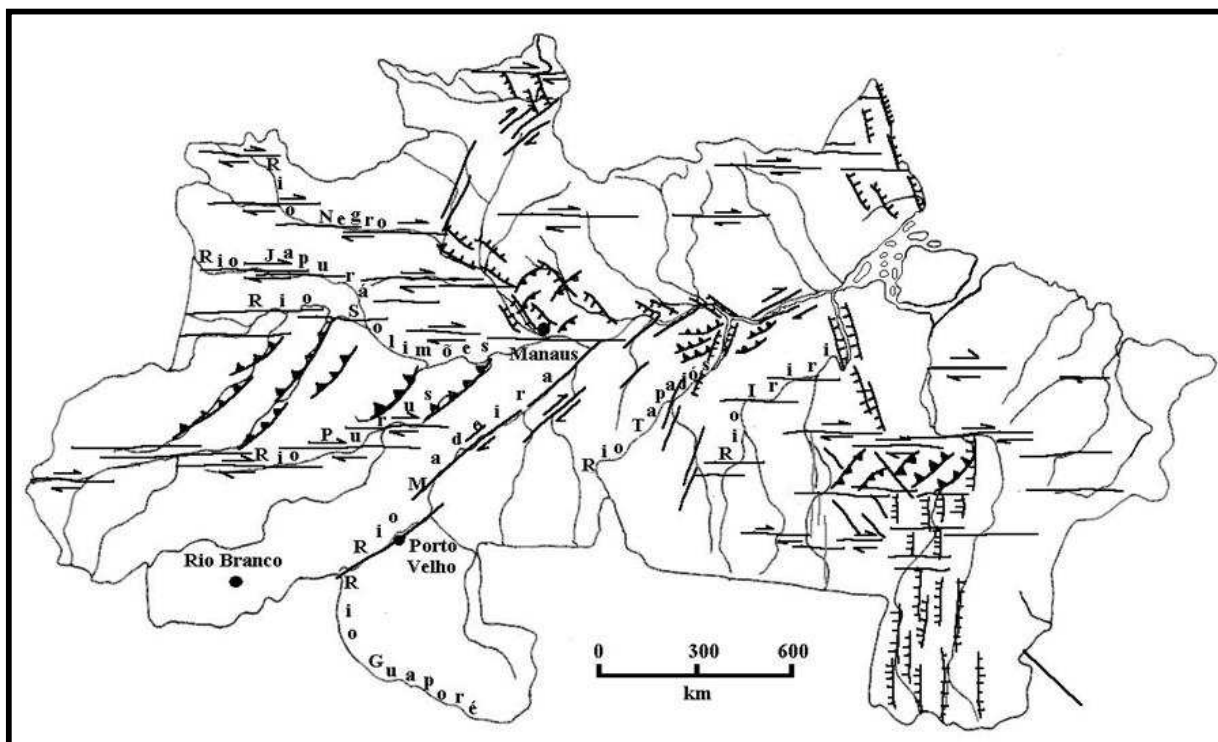


Figura 7 – Arcabouço neotectônico da Amazônia. Falhas transcorrentes: linha com ou sem par de setas, estas indicando movimento relativo. Falhas normais: linhas com pequenos traços perpendiculares. Falhas inversas ou de cavalgamento: linhas denteadas. Fonte: Costa et al. (1996).

7. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento da dissertação foi necessário buscar diversas bases cartográficas que auxiliaram o trabalho, imagens Landsat ETM⁺, Banco de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) - Geologia, Drenagem, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Hidrografia, SIG (Sistemas de Informações Geográficas) SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) - Hidrografia, e SIG ANA (Agência Nacional das Águas) - Hidrografia e Bacias Hidrográficas, assim como imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Outros dados complementares utilizados durante o trabalho foram os levantamentos Gravimétricos e Magnetométricos realizados pela CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) das cartas SA-19, SA-20, SB19 e SB-20. Todo trabalho foi realizado no LAIT (Laboratório de Análise de Imagens dos Trópicos Úmidos) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, as quais foram processados utilizando os seguintes softwares específicos como ArcGis 9.3, Global Mapper 8.0 e complementares utilizados durante o trabalho foram os levantamentos Gravimétricos e Magnetométricos realizados pela CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) das cartas SA-19, SA-20, SB19 e SB-20. Todo trabalho foi realizado no LAIT (Laboratório de Análise de Imagens dos Trópicos Úmidos) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, as quais foram processados utilizando os seguintes softwares específicos como ArcGis 9.3, Global Mapper 8.0 e Surf.

A metodologia do trabalho consistiu em pesquisas bibliográficas, processamento das imagens SRTM obtendo a rede hidrográfica e delimitação das microbacias de drenagem a partir do processamento das imagens SRTM.

Foram analisados os lineamentos interpretados a partir dos canais e do relevo (imagem SRTM), foram criados de Mapa de estruturas neotectônicas, assim como modelos digitais de elevação das microbacias hidrográficas, todo a metodologia está sintetizado na figura a baixo (Figura 8): levanto em conta isso a dissertação fundamentou-se em vários conceitos relacionados a análise, descrição e interpretação dos sistemas fluviais.

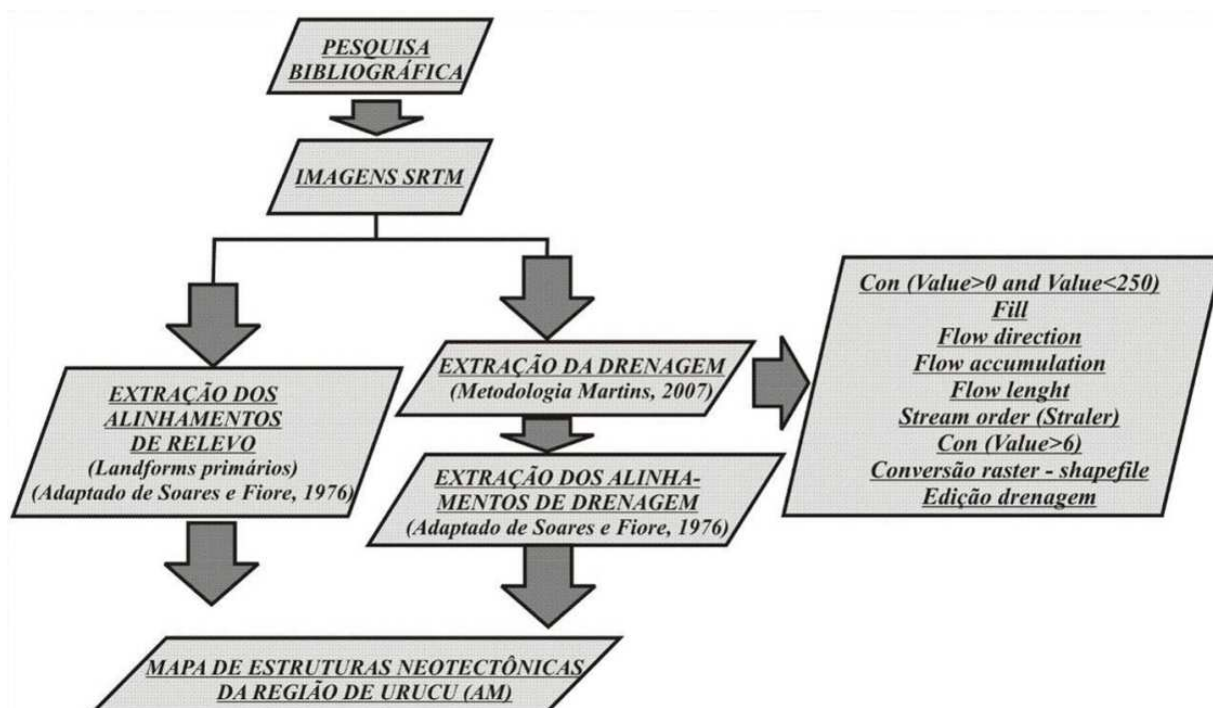


Figura 8 – Fluxograma. Foram utilizados softwares: ArcGis 9.2 e Global Mapper e Imagens SRTM

8. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dissertação está fundamenta na aplicação de conceitos observados em trabalhos de diversos autores, relacionados à análise e interpretação de drenagens e bacias de drenagens, bem como o seu significado morfoestrutural. Sendo assim é de suma importância verificar alguns dos principais conceitos relacionados à esse assunto.

Os estudos relacionados com a tipologia fluvial e suas bacias sempre mereceram destaque na geomorfologia onde a análise das mesmas nos leva à compreensão dos processos geomorfológicos, uma vez que os cursos de água associam-se a grandes atividades da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O estudo dos padrões de drenagens influenciam diretamente na morfogênese da paisagem

9. CONCEITOS BÁSICOS DE DRENAGEM

Christofoletti (1980) define drenagem como canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. Suguio e Bigarella (1990) apresentam conceituações de drenagem sob o ponto de vista geológico e geomorfológico. Sob este último aspecto, consideram como uma corrente canalizada ou confinada, incluindo os canais sem água de regiões secas. Deffontaines e Chorowicz (1991) definem rede de drenagem como um conjunto de superfícies topográficas subáreas, as quais são contíguas com pendentes ladeiras acima, em todos os lados, à exceção da direção do fluxo da água. Esse conjunto de superfícies pode ser coberto de água, temporariamente ou de forma permanente. Guerra (1993) e Guerra e Guerra (2001) conceituam drenagem como uma feição negativa produzida por água de escorrência, que modela a topografia de uma região.

Não deve ser confundida, drenagem com o seu vale, já que este pode ser definido como um corredor ou depressão longitudinal, entre o topo dos interflúvios, cuja a extensão pode variar de alguns quilômetros ou centenas de quilômetros, dentro do qual ocorreu ou ocorre uma drenagem e sua porção mais profunda é o talvegue.

10. HIERARQUIA FLUVIAL

As drenagens e bacias hidrográficas são feições muito importantes para melhorar a compreensão da dinâmica morfogenética da Terra. Possibilitam muitas interpretações, às quais podem revelar a influência ou não de fatores tectônicos, geológicos, antrópicos, etc.

E a hierarquia fluvial é o método de ordenamento das redes de drenagem ordenando-os segundo o seu posicionamento no conjunto total da bacia. Este procedimento facilita os estudos posteriores relacionados à análises morfométricas, lineares, espaciais e hipsométricos das bacias.

Uma das primeiras pessoas a propor critérios para a ordenação dos cursos d'águas foi Horton (1945), os canais de primeira ordem são aqueles canais que não têm tributários; os de segunda ordem são os que recebem os de primeira ordem; os de terceira ordem recebem os de segunda ordem, mas podem receber também os de primeira; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem, mas também podem receber de ordem inferior e assim sucessivamente. Porém, segundo Horton (1945) o rio principal é marcado pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente, havendo critérios para determinar a ordem menor, segundo o maior ângulo de confluência e menor tamanho da drenagem (*Figura 9*).

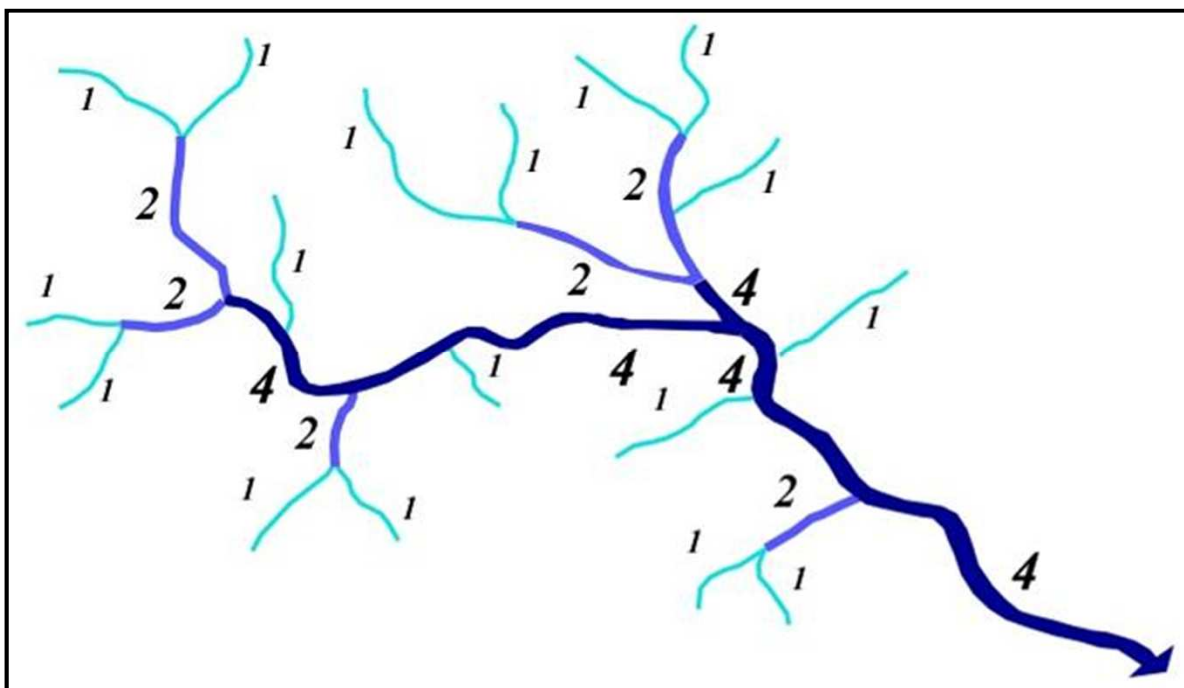


Figura 9. Ordenamento de Drenagem segundo Horton (1945).

Segundo Strahler (1952) os canais iniciais sem tributários são denominados de primeira ordem. A partir daí, da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os segmentos de canais de segunda ordem, e assim sucessivamente até se atingir os canais de ordem maior que serão os principais da bacia hidrográfica. Esta metodologia assume que o rio principal muda a sua ordem ao longo da sua extensão, diferindo do conceito de Horton (op cit) que afirma que a drenagem principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão (*Figura 10*).

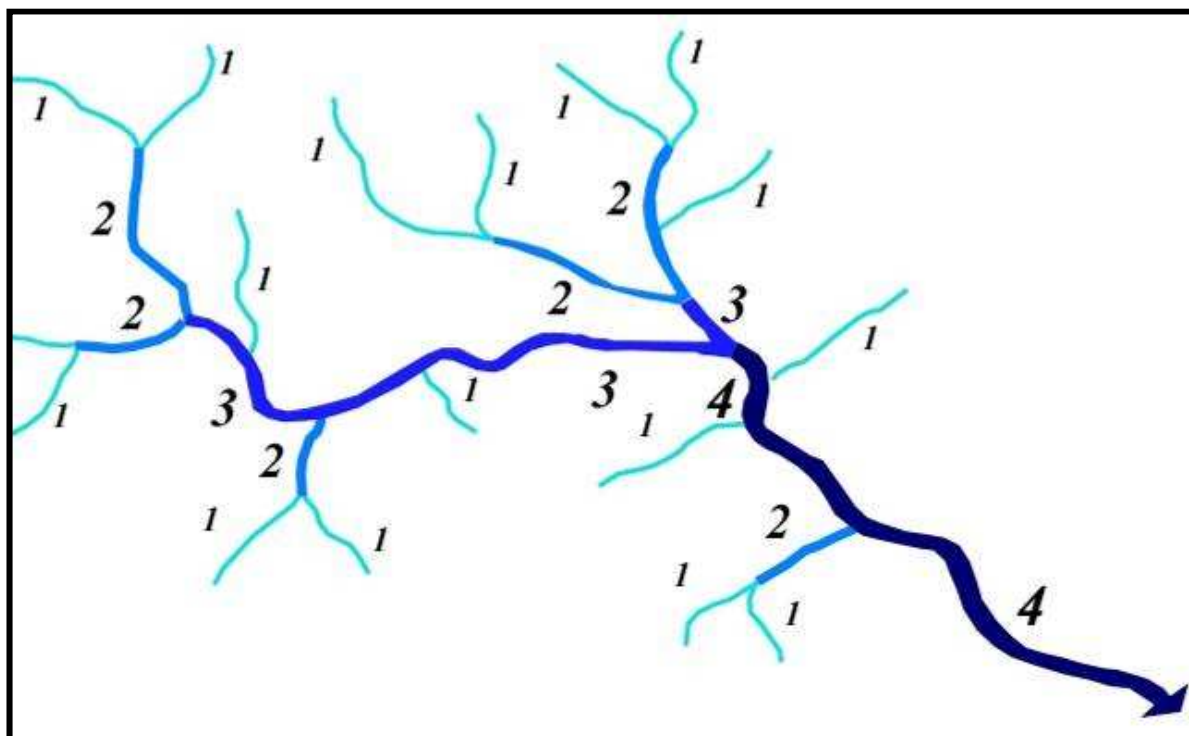


Figura 10 – Ordenamento de Drenagem segundo Strahler (1952).

Scheidegger (1965) propôs outro sistema de ordenação fluvial, denominado de “método de ordenação dos canais uniformes”. A definição de ordem uniforme relaciona-se às conexões ou ligações fluviais, que são trechos de canais ao longo dos quais não ocorre nenhuma junção, pois toda a confluência que surge em um segmento altera a numeração. O número de ordem tem seu início em 2 e a cada confluência se processa o somatório dos valores atribuídos. Dessa maneira, ao ser dividido o número de ordem por 2, era obtida a quantidade de canais fontes ou de primeira ordem, que contribuíram para a referida conexão (*Figura 11*).

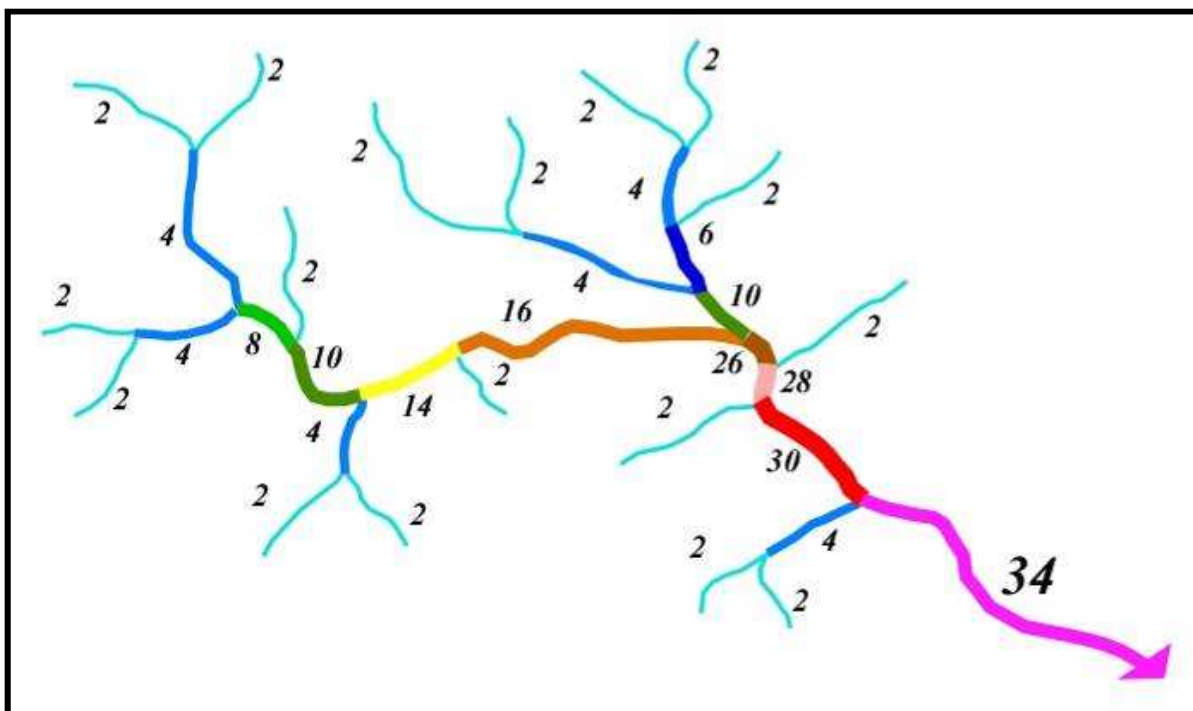


Figura 11 – Ordenamento de Drenagem segundo Scheidegger (1965).

O método de Shevre (1966, 1967) estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de alguma bacia hidrográfica. A magnitude de um canal é definida pela soma dos tributários que o alimentam. Deste modo, cada ligação exterior tem magnitude 1; se ligamentos de magnitude u_1 e u_2 se juntam, o ligamento resultante a jusante terá magnitude igual a $u_1 + u_2$ (*Figura 12*).

A magnitude de uma drenagem está diretamente relacionada à área total da bacia em termos de precipitação pluviométrica. Por sua vez, o número de ordem tem sido aplicado para diversos sistemas de drenagem, e tem demonstrado estar estatisticamente, relacionado a vários elementos de morfometria da bacia de drenagem (LIMA, 2006).

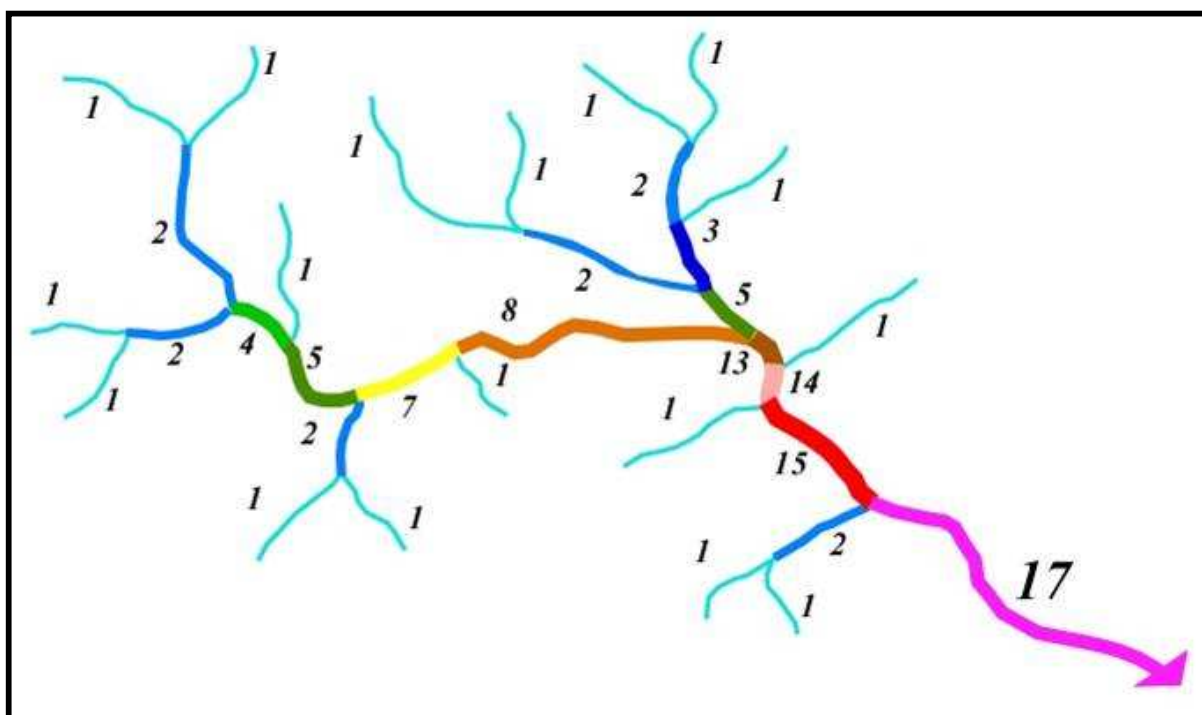


Figura 12 – Ordenamento de Drenagem segundo Shreve (1966, 1967).

11. ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Segundo Christofolletti (1980) a análise morfométrica é de grande importância no estudo de bacias e sub-bacias de drenagem por que trata de dados quantitativos, o que facilita sobretudo a comparação de duas ou mais bacias ou sub-bacias. A disposição do número de ordem fluvial é o primeiro passo para a realização de análise morfométrica de bacias hidrográficas (linear, espacial e hipsométrica). A **Tabela 1** apresenta as principais análises morfométricas das bacias de drenagem.

- Na *Análise Linear* são considerados índices e relações ao longo das drenagens, dentre os quais: relação de bifurcação; relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, relação do equivalente vetorial e gradiente dos canais (CHRISTOFOLETTI, OP CIT).
- Na *Análise Espacial* constam medições planimétricas e lineares, incluindo os seguintes índices: área da bacia, comprimento da bacia, relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade da drenagem, densidade dos seguimentos da bacia, relação entre as áreas das bacias e coeficiente de manutenção (CHRISTOFOLETTI, OP CIT).
- Na *Análise Hipsométrica* procura-se relacionar a bacia de drenagem com faixas altitudinais, na qual são estudadas: curva hipsométrica, coeficiente de massividade, coeficiente orográfico, amplitude altimétrica máxima da bacia, relação de relevo e índice de rugosidade (CHRISTOFOLETTI, OP CIT).

Tabela 1 – Principais Análises Morfométricas. (LIMA, 2006).

PROPRIEDADES	DEFINIÇÃO
ANÁLISE LINEAR	<i>Envolve medidas relativas aos seguimentos de drenagem, as quais são importantes por que possibilita quantificá-los e compará-los, facilitando seus estudos quantitativos e qualitativos.</i>
1 - Relação de bifurcação (Rb) Razão entre o número de canais de uma ordem e o número da próxima ordem mais elevada.	<i>Razão entre o número de canais de uma ordem e o número da próxima ordem mais elevada.</i>
2 - Relação do comprimento médio dos canais de cada ordem (Rco)	<i>Média aritmética dos canais de drenagem de cada ordem.</i>
3 - Relação do índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rci)	<i>Razão entre Rb e Rco</i>
4 - Comprimento do rio principal (Crp)	<i>Medida do comprimento do rio de maior ordem (Strahler, 1952).</i>
5 - Extensão do percurso superficial (Eps)	<i>Distância média percorrida pela enxurrada entre o interflúvio e o canal permanente.</i>
6 - Relação do equivalente vetorial (Rev)	<i>Média aritmética do comprimento médio de cada canal de cada ordem em linha reta.</i>
7 - Gradiente dos canais (Gc)	<i>Diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término do canal.</i>
ANÁLISE ESPACIAL	<i>Relação da bacia de drenagem com medidas lineares e espaciais, proporcionando, em duas dimensões, comparações, no que concerne à forma, área e suas interrelações.</i>
1 - Área da bacia (Ab)	<i>Área da bacia drenada pelo sistema fluvial.</i>
2 - Comprimento da bacia (Cb)	<i>Maior extensão na direção longitudinal.</i>
3 - Largura da bacia (Lb)	<i>Maior extensão na direção transversal.</i>
5 - Índice de circularidade (Ic)	<i>Área da bacia de drenagem dividida pela área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia.</i>
6 - Relação entre o rio principal e a área da bacia (Ra)	<i>Produto da extensão do rio principal e a área da bacia.</i>
7 - Forma da bacia (Fb)	<i>Relação da bacia com alguma Figura geométrica.</i>
8 - Densidade de rios (Dr)	<i>Relação entre o número de rios e a área da bacia.</i>
9 - Densidade de Drenagem (Dd)	<i>Soma do comprimento dos canais por unidade de área</i>
10 - Densidade de seguimentos da bacia (Dsb)	<i>É a quantidade de seguimentos existentes por unidade de área.</i>
11 - Relação entre as áreas das bacias (Rab)	<i>Relação entre áreas de duas determinadas ordem.</i>
12 - Coeficiente de manutenção (Cm)	<i>Inverso da densidade de drenagem vezes 1000.</i>
13 - Relação de Elongação (Re)	<i>O diâmetro de um círculo da mesma área da bacia de drenagem dividida pelo máximo comprimento da bacia medido desde a sua foz.</i>
ANÁLISE HIPSOMÉTRICA	<i>Estabelece a relação da bacia nos planos horizontal e vertical, dando uma idéia tridimensional, daí a sua importância</i>
1 - Curva Hipsométrica (Ch)	<i>Relação entre altitudes (ordenada) e a área (abscissa).</i>
2 - Coeficiente de Massividade (Cms)	<i>Relação da altitude média e sua área</i>
3 - Coeficiente Orográfico (Co)	<i>Produto da altura média pelo coeficiente de massividade.</i>
4 - Amplitude altimétrica máxima da bacia (Aab)	<i>Diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo.</i>
5 - Relação de relevo (Rr)	<i>Relevo da bacia dividido pelo máximo comprimento da bacia</i>
6 - Índice de rugosidade (Ir)	<i>Relevo da bacia multiplicado pela densidade de drenagem.</i>

12. ANÁLISE TOPOLÓGICA

A Análise Topológica estuda de que maneira os canais são conectados, não levando em consideração nenhuma medida de comprimento, área ou orientação. A análise é importante por que permite comparar o trajeto de duas ou mais drenagens e seus afluentes, indicando modificações relativas aos tipos de terrenos percorridos. Os estudos iniciaram-se com Horton (1945), sendo que os dados atuais mais significativos devem-se a Shreve (1966, 1967).

Para estudos topológicos a rede de canais é entendida como apresentado uma, e somente uma, trajetória entre dois pontos quaisquer, e na qual todo o ligamento, em direção de montante, conecta-se com dois outros ligamentos ou termina em uma nascente (SHREVE, 1966). A única restrição é que não deve haver junções tríplices.

Shreve (1966) observou que as redes de canais com igual número de ligações têm a mesma quantidade de confluências, de nascentes (Horton, op.cit) e de canais de primeira ordem (Strahler, 1952). Shreve (op. cit.) introduziu o conceito de redes topologicamente idênticas e topologicamente distintas. No primeiro caso possuem uma forma congruente com a outra, através de deformação continua de seus ligamentos, mas sem removê-los de seu plano, caso contrário, são consideradas distintas (*Figura 13*).

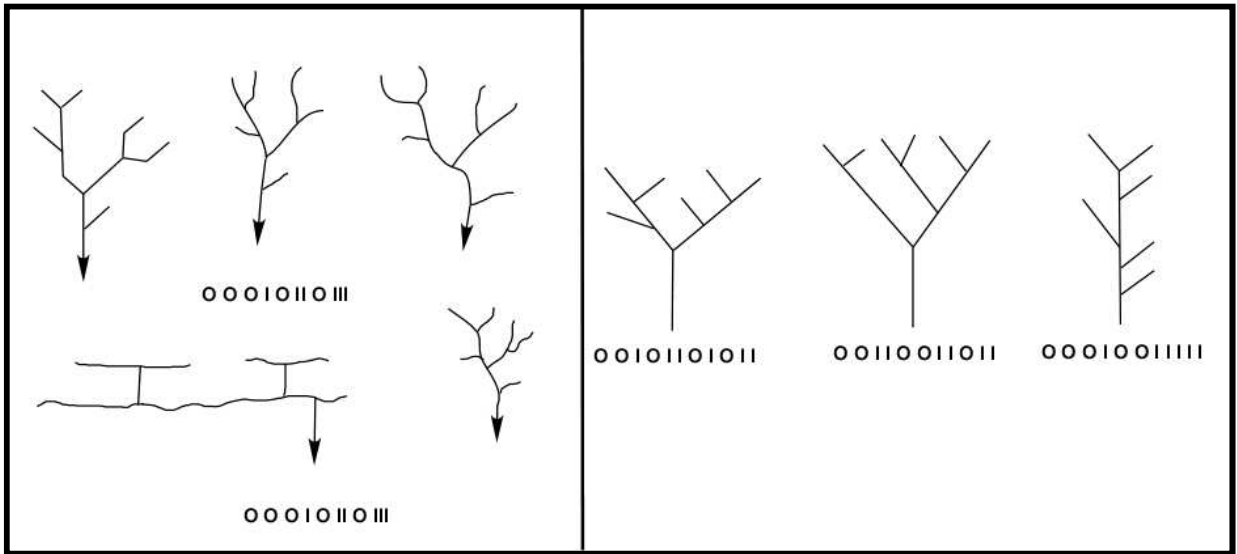


Figura 13 – Análise Topológica (A) idênticas e (B) distintas. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Werner e Smart (1973) e Christofolletti (1986) apresentam uma notação binária das propriedades topológicas de uma rede de drenagem composta de quantidade “n” de dígitos um e “n-1” dígitos zero, conforme a regra seguinte: *"começar pela foz e atravessar a rede seguindo sempre pela esquerda em cada junção e revertendo a direção em cada nascente. Um zero será escrito quando se atravessar um ligamento interior pela primeira vez, e um será escrito quando o ligamento exterior for atravessado pela primeira vez. Nada deve ser anotado quando os ligamentos forem atravessados pela segunda vez (quando se caminha em direção a foz). Qualquer combinação binária para as redes fluviais deve começar sempre pelos zeros e terminar com a disposição consecutiva de pelo menos dois uns"* (**Figura 14**).

Segundo Summerfield (1991) outra propriedade morfométrica importante, e que depende de sua topologia é a *relação de bifurcação*, que corresponde a razão entre os números de canais de uma ordem e os números da próxima ordem mais elevada. Deste modo, onde a litologia é relativamente homogênea, a relação de bifurcação fica entre 3 e 5, enquanto que um valor acima de 10 está relacionado a seqüências com alternância de litologias moles e duras, devido sua heterogeneidade. Nas figuras 8b e 8c são exemplificados a relação entre erosão transporte e deposição, assim como o perfil longitudinal de uma bacia de drenagem de forma tridimensional.

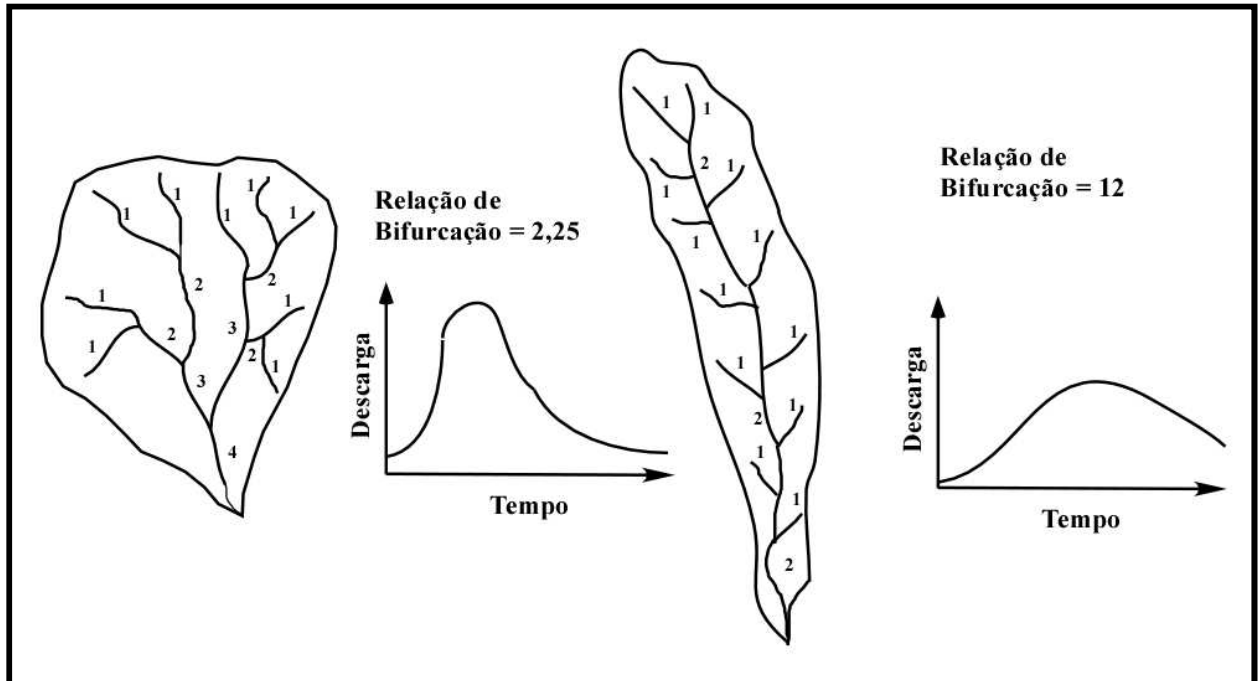


Figura 14 – Relação de Bifurcação. Na parte superior a Relação de Bifurcação é de 2,25, ao passo na parte inferior é de 12. Para se calcular a propriedade morfométrica basta dividir o número de canais de uma ordem com o da ordem imediatamente superior. Então para a bacia A (direita) temos 9 primeira ordem / 4 (segunda ordem) = 2,25; ao passo para a bacia B (esquerda) temos 12 (primeira ordem) / 1 segunda ordem = 12. Neste caso é indicativo de intercalação de sedimentos moles e duros, bem retratado pela sua forma de bacia alongada. (SUMMERFIELD, 1991).

13. ANÁLISE DAS FORMAS DE DRENAGEM

São as particularidades apresentadas pelo traçado dos seguimentos de drenagem em função das características litológicas, climáticas, geomorfológicas, dos solos e da cobertura vegetal, clima, e eventos tectônicos. A tectônica é responsável pela deformação e formação de relevo (LIMA, 2006). Segundo Soares e Fiori (1976) a rede de drenagem traçada de forma sistemática e uniforme pode fornecer informações relacionadas às estruturas geológicas da área, variações dos estilos estruturais e mais grosseiramente, nas fácies litológicas.

Para analisarmos as formas de drenagem devem ser observados alguns padrões resumidos em cinco, sendo que alguns foram propostos por Lueder (1959) como *tropia*, *sinuosidade*, *angularidade*, *assimetria* e Horton (1945) que introduziu a *densidade de drenagem*. Sintetizados por Soares e Fiori (1976) (**Figura 15**):

DENSIDADE	SINUOSIDADE	ANGULARIDADE	TROPIA	SIMETRIA
ALTA	CURVOS	ALTA	UNIDIRECIONAL 	FRACA
MÉDIA	MISTOS	MÉDIA	BIDIRECIONAL 	
			TRIDIRECIONAL 	
BAIXA	RETILÍNEOS	BAIXA	MULTIDIRECIONAL 	FORTE
			<i>Desordenada</i> 	
			<i>Ordenada</i> 	

Figura 15 – Propriedades da Rede de Drenagem, compilado de de Soares e Fiori (1976)

A Densidade de Drenagem (Dd) foi inicialmente definida por Horton (1945), e pode ser calculada pela equação: $Dd=Lt/A$, onde Lt é o comprimento total dos canais e A a área da bacia ou sub-bacia em estudo. Assim sendo, através do somatório do comprimento de seus canais, dividido pela área, obtendo-se um índice que indicará a densidade da drenagem de uma região do espaço. No entanto, tal operação além de demandar tempo, não a qualifica. Por isso, sugere-se um procedimento mais simples através da estimativa da distância média do interflúvio, entre as drenagens de maior ordem. Assim sendo, uma baixa densidade ocorre quando a distância média do interflúvio situar-se entre 1,75 -2,5 km; média quando disposta entre 1 -1,75 km e finalmente alta, quando menor que 1 km. Para esse cálculo, aconselha-se uma média de 5 medidas. A densidade pode ser representada pela letra grega δ (delta) (Figura 15).

A *Sinuosidade* dos elementos texturais de drenagem refere-se às curvas delineadas pela drenagem, e pode ser aberta, fechada, ou então se situar em um grau intermediário. Não pode ser confundida com meandro; é assinalada por um segmento curvo, que vai indicar o grau de continuidade, se fechada será alto; se aberta será baixo, ou então um tipo intermediário. A presença de uma marcante e abrupta sinuosidade poderá mostrar uma anomalia no terreno, retratada por um controle estrutural ou até mesmo litológico (LIMA, 2006). Podem ser classificados visualmente em dominante curvos, retilíneos, e mistos. Os elementos retilíneos são considerados lineações de drenagem, enquanto a disposição em linha reta das lineações de drenagem constitui um alinhamento de drenagem (SOARES E FIORI, 1976) (**Figura 15**).

A *Angularidade* refere-se ao ângulos de confluências dos elementos de drenagem e podem ser classificados através de zonas homólogas de drenagem em função desta propriedade: *Baixa* (ângulos agudos / $< 60^\circ$), *Média* (ângulos retos / $> 60^\circ$) e *Alta* (ângulos obtusos / $> 120^\circ$) (SOARES e FIORI, 1976). Relaciona-se com o controle estrutural da drenagem de uma determinada área, merecendo ser observado o ângulo que os ramos secundários fazem com a drenagem principal. Os ângulos agudos indicam ausência de controle, enquanto que os retos mostram a presença de forte controle estrutural. O obtuso deve “denunciar inversão de caimento da drenagem”, sugestivo de rejuvenescimento, ligado a efeitos de neotectônica (LIMA, 2006) (**Figura 15**).

A *Tropia* é a propriedade que têm os elementos da drenagem que se desenvolveram segundo uma direção preferencial. Quanto esta propriedade, podemos considerar a estrutura da drenagem tendo em vista a presença de uma ou mais drenagem tendo em vista a presença de uma ou mais direções de linhas de drenagem francamente dominantes, podendo ser *Unidirecional*, *Bidirecional*, *Tridimensional* e *Multidirecional* (SOARES e FIORI, 1976) (**Figura 15**).

A Assimetria da rede de drenagem segundo Soares e Fiori (1976) é caracterizada pela presença de elementos com tamanho ou estrutura sistematicamente diferentes, de um lado ou outro, do elemento maior. A assimetria Fraca é caracterizada apenas por diferença no tamanho dos elementos e a Forte é caracterizada por tamanho e forma (Figura 15). A assimetria representa um parâmetro de grande relevância, por exibir o caimento do terreno, e/ou estruturas planares primárias ou secundárias. Para sua identificação é necessário avaliar o comprimento dos afluentes em relação ao rio principal e seu divisor. De uma maneira geral, a assimetria forte é marcada pela presença de afluentes bem curtos, ao passo que os afluentes longos indicam fraco caimento. Geralmente uma assimetria relaciona-se à presença de blocos basculados, cujo limite é demarcado por uma drenagem retilínea. No caso de apresentar-se sob a forma de extensos terraços ligados à vasta planície de inundação, com drenagem meandrante, pode denotar várias fases de basculamento. Observar os diferentes comprimentos dos afluentes em uma determinada região, em que uns são muito extensos em contraposição a outros bem curtos, indicando distintas assimetrias (LIMA, 2006).

14. TIPOS DE CANAIS FLUVIAIS

A classificação dos canais pode seguir parâmetros relativos ao tamanho dos grãos transportados ou à sua morfologia. A morfologia dos canais fluviais, segundo Wolman e Leopold (1957) e Rust (1978), obedece a seguinte subdivisão: entrelaçados, meandrantés, anastomosados e retos (*Figura 16*).

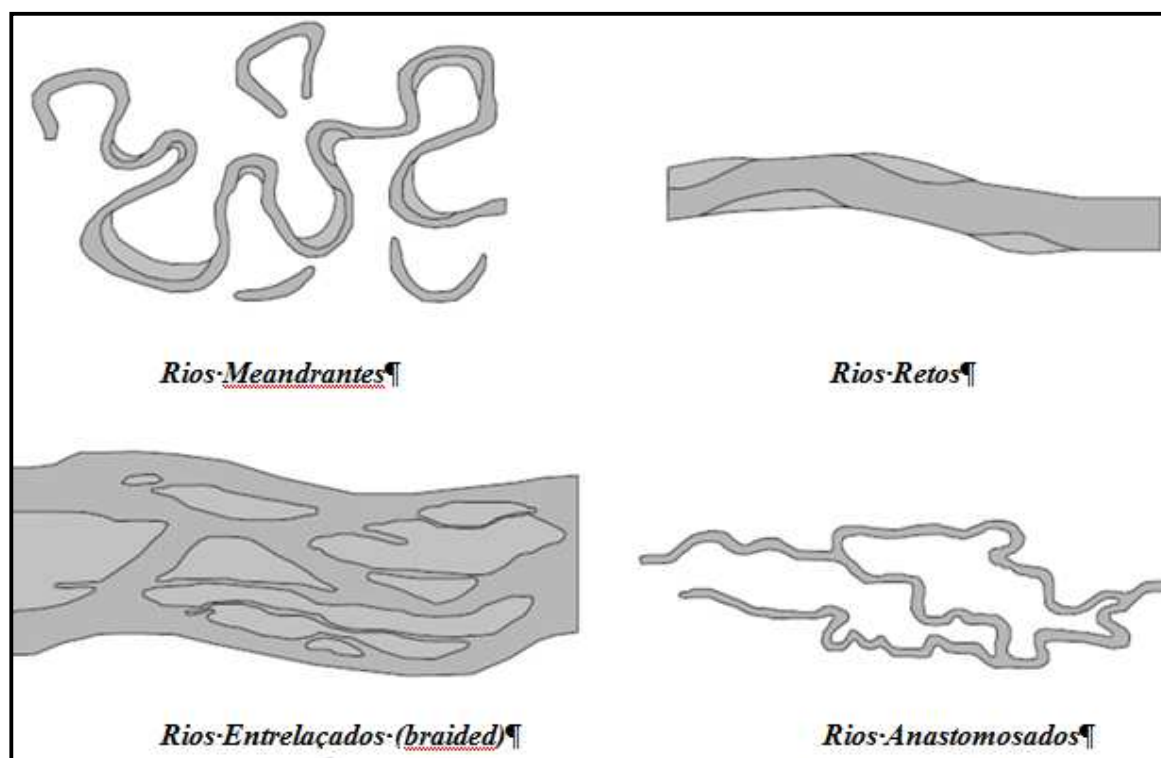


Figura 16 – Tipos de Canais Fluviais, compilado de Riccomini et al. (2001).

Os *Rios entrelaçados* são rios de maior declividade, com alta variabilidade de descarga do fluxo ao longo do ano e alto suprimento sedimentar. Forma em seu leito uma rede de canais comunicantes separados por barras arenosas ou cascalhosas (barras de meio de canal – middle bar ou braided bar). Este sistema apresenta uma variada hierarquia de formas de leito, incluindo marcas onduladas e dunas de diferentes morfologias coexistentes ao longo do canal, devido as

freqüentes mudanças na descarga do fluxo e profundidade da lâmina d'água (RICCOMINI *ET AL*, 2001).

Os *Rios Meandrantés* são caracterizados por canais de alta sinuosidade, de carga mista ou em suspensão, com pouca variação na descarga. Existem diferenças na velocidade do fluxo do lado interno e externo do meandro. A porção externa maior é erosiva, ao mesmo tempo em que a deposição se dá na porção interna, formando as barras em pontal. A variação na profundidade e velocidade do fluxo sobre a superfície da barra em pontal resulta em uma seleção granulométrica e em uma assembléia de estruturas sedimentares, com uma tendência ascendente progressiva de diminuição do tamanho dos grãos e de ocorrência de estruturas de regime de fluxo inferior na mesma direção (RICCOMINI *ET AL*, 2001).

Os *Rios Retos* são controlados por um sistema de falhas, com canal simples, limitados por diques marginais e flancos estáveis. Podem ter sedimentos de natureza variada. Estes tipos de rios são muito raros e observáveis, em sua maioria, em pequenos trechos de rios com outra tipologia (RICCOMINI *ET AL*, 2001).

Os *Rios Anastomosados* se comportam com uma rede diversificada de canais separados por planície de inundação.. Seus sedimentos são, na sua maioria, de granulometria fina, podendo ser classificado como rio de carga em suspensão. Os canais possuem baixa sinuosidade, sendo estreitos e profundos, não tendo deslocamento lateral. A deposição ocorre por agradação vertical associada à sobreposição de dunas subaquosas (e, raramente, barras arenosas). Os diques marginais em conjunto com a agradação vertical, permitem que o rio se posicione topograficamente mais alto que a planície de inundação, podendo em períodos de cheias (maior descarga), sofrer rupturas de parte dos seus diques marginais, desenvolvendo assim um novo curso para o canal fluvial através de incisão e erosão dos depósitos da planície de inundação (SCHUMM, 1986).

15. PADRÕES DE DRENAGEM

Segundo Howard (1967), os padrões de drenagem podem ser identificados como dendrítico, paralelo, treliça, retangular, radial, anelar, multibasinal e contorcido (**Figura 17**):

Dendrítico lembra uma castanheira com suas copas de aspecto arborescente, em vista das ramificações irregulares de suas drenagens em todas as direções, não indicando, em princípio, qualquer controle geológico-estrutural ou mesmo estratigráficos do conjunto litológico. Deve representar terrenos sedimentares ou ígneos, plutônicos ou vulcânicos, homogêneos. Pode retratar, também, regiões que sofreram intensa granitização devido a processos anatéticos e diatexíticos, no entanto, dificilmente ocorrem na natureza, já que os terrenos homogêneos são raros (HOWARD, 1967).

Paralelo é assim chamado devido ao paralelismo de suas drenagens, em uma extensão relativamente grande, indicando uma inclinação do terreno. Este padrão é bem marcado em terrenos planos ou em zonas com elevado a médio grau de dissecação. Mostra transição para o padrão dendrítico. Geralmente está associado a terrenos sedimentares estruturados, sob a forma de *cuesta* ou *hogback*. Seus tipos modificados são: Subparalelo e Colinear (HOWARD, 1967).

Treliça constitui um padrão caracterizado por drenagens controladas pela estrutura geológica, com um rio principal subseqüente, bem marcante e cujos tributários, nos lados opostos, com aproximadamente o mesmo tamanho, estão dispostos em ângulos retos. A presença deste padrão denota forte controle estrutural. Os padrões modificados são: Subtreliça, Treliça Recurvada, Treliça de Falha e Treliça de Junta. Pode apresentar uma transição para o paralelo (HOWARD, 1967).

Retangular apresenta um controle devido a juntas ou falhas, as quais, dependendo da orientação devem ser retas. Geralmente está instalado em terrenos de rochas ígneas e sedimentares, sendo freqüentemente encontrado em áreas onde um conjunto adicional de fraturas é superimposto ao padrão retangular. Apresenta dois tipos modificados: Angular e Reticulado (HOWARD, 1967).

Radial caracteriza-se pela geometria radial, estando geralmente associado a rochas ígneas constituindo crateras vulcânicas ou mesmo bossas. Existem dois padrões modificados: centrípeto e centrífugo. O padrão centrípeto ocorre quando a drenagem flui para uma depressão (convergente), ao passo que o centrífugo mostra-se presente quando existe uma feição positiva (divergente) (HOWARD, 1967).

Anelar é caracterizado pela geometria circular de suas drenagens, compondo vários anéis, à semelhança dos anéis de crescimento de uma árvore. Associa-se a rochas ígneas, félsicas a ultramáficas, estando normalmente relacionado com o padrão de drenagem radial (HOWARD, 1967).

Multibasinal distingue-se pela presença de pequenas depressões, em sua maioria formando lagos. Tais depressões geralmente estão relacionadas a terrenos cársticos ou com capeamento por crosta laterítica. Em algumas situações especiais pode associar-se à zona de fratura, em granitos. Pode ser de origem glacial, como também ocorrer em sedimentos de planícies costeiras. Por sua vez, pode ocorrer também em regiões rebaixadas ou soerguidas, devido à mudança de declividade (HOWARD, 1967).

Contorcido identifica-se pela sua forma contorcida, sugerindo a presença de dobras com terminações periclinais, geralmente associadas a rochas metamórficas, ou mesmo a rochas sedimentares dobradas (HOWARD, 1967).

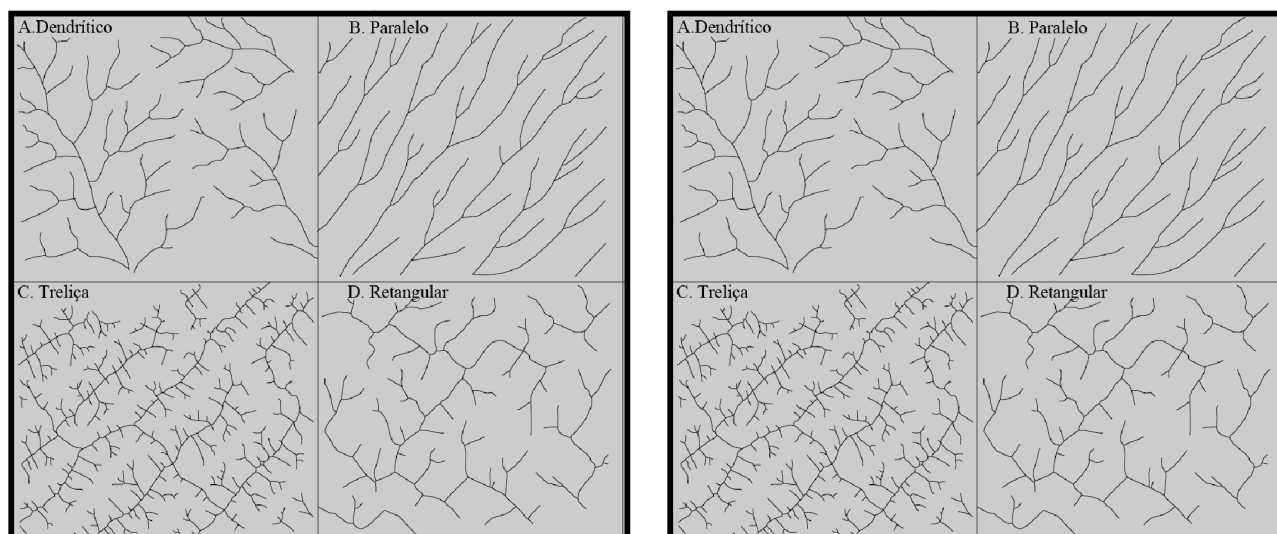


Figura 17 – Padrões básicos de drenagem, modificado de Howard (1967).

16. PROJETO SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

O projeto SRTM advém de cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), do Departamento de Defesa dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália. A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR), a bordo do ônibus espacial Endeavour. Porém o arranjo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60m, em cuja nas extremidades foram instaladas antenas para bandas C e X, além de melhorados os dispositivos de controle e navegação (FARR E KOBRICK, 2000).

O sobrevôo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, percorrendo 16 órbitas por dia, totalizando 176 órbitas. O sobrevôo foi concluído com a coleta de 12TB de dados que foram processados para a formação de Modelos Digitais de Elevação (MDE). O processamento dos dados coletados visou à formação de um MDE mundial, elaborado para todos os continentes, o processamento iniciou com os dados da América do Norte. À conclusão de cada continente, segue-se o envio dos dados ao NIMA, onde estes foram editados, verificados e ajustados aos padrões norte-americanos de exatidão de Mapas (*National Map Accuracy Standards*). Estes Mapas são então devolvidos à NASA para distribuição pública através da USGS (*United States Geological Survey*). A cobertura foi feita em 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60° N e 56° S (*Figura 18*). Nesta área, foram realizadas de uma a quatro passagens, de acordo com a *Figura 19*. Um conjunto menor de dados foi coletado sobre água para calibração (FARR E KOBRICK, 2000).

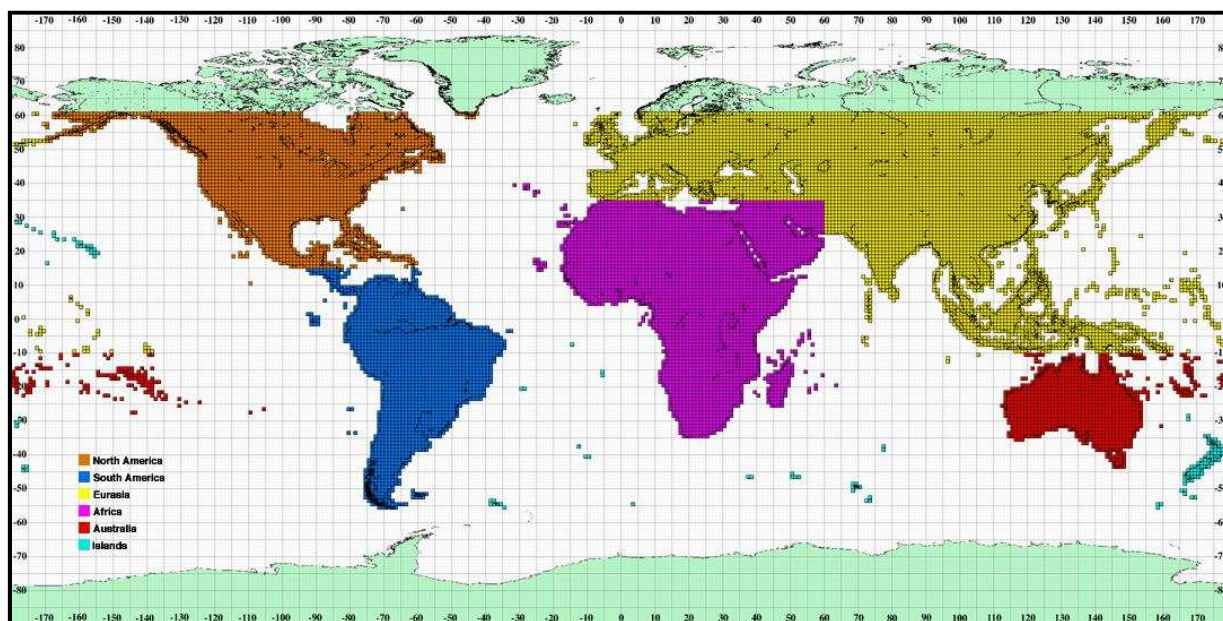


Figura 18 - Distribuição das imagens SRTM. Fonte: Farr e Kobrick (2000).

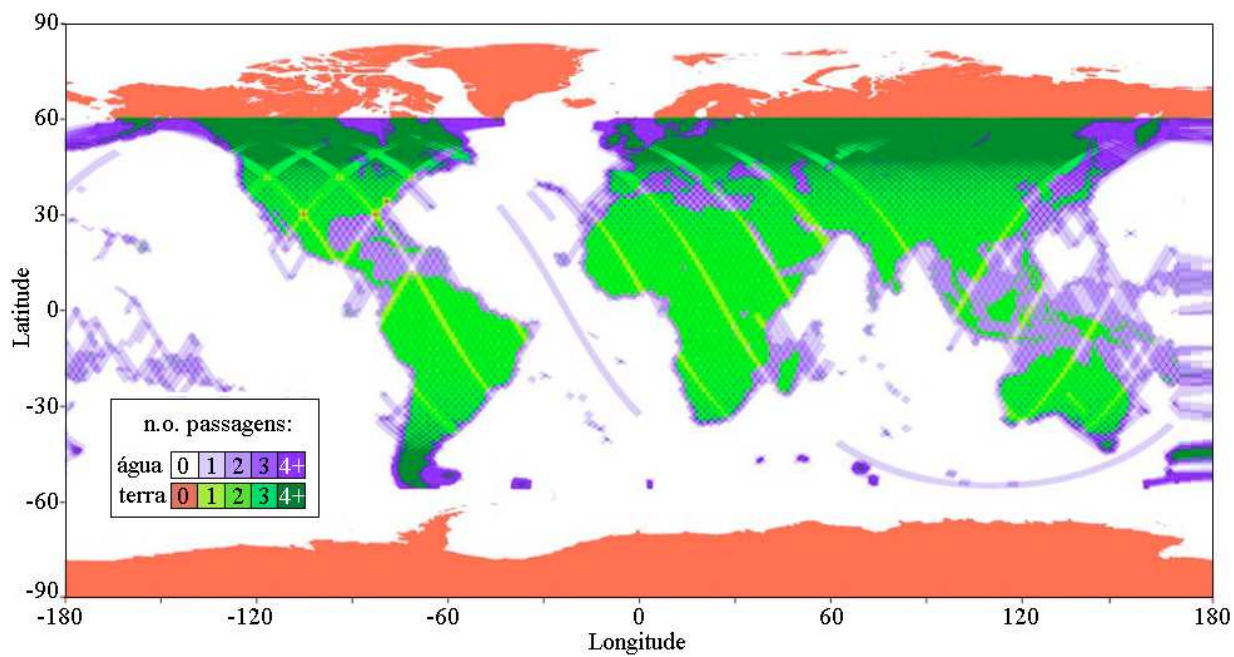


Figura 19 - Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM. Fonte: <http://www2.jpl.nasa.gov/SRTM/>.

Do total de dados SRTM, os dados da banda C foram processados no JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) e os dados da banda X no Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR-*German Aerospace Center*). Estes são usados para criar MDE de resolução mais alta, porém sem cobertura global. O projeto teve apoio de campo dado, sobretudo por levantamentos geodésicos, no qual foi empregado um método denominado Sistema de Posicionamento Global Cinemático (*Kinematic Global Positioning System*), que favorece uma determinação veloz de linhas de posições dadas por um veículo em movimento. Ao todo, cerca de 70.000 km de linhas (transectos) foram coletadas para apoio à missão. Além disso, equipes do JPL distribuíram refletores com coordenadas precisamente definidas, para geração de um conjunto de pontos de controle. Em paralelo à montagem do MDE global, foi feito o processamento de dados de locais específicos, selecionados pela equipe de pesquisadores do programa SRTM. Cada área destas cobre uma célula de 1 grau de latitude por 1 grau de longitude, cujos dados consistem em Mapas, imagens e dados auxiliares inéditos. Estes foram disponibilizados para a comunidade científica à medida que são completados (FARR E KOBRICK, 2000; FARR *ET AL.*,2006).

Em janeiro de 2002, a NASA iniciou a distribuição pública destes pequenos conjuntos de dados de locais dentro dos Estados Unidos. Enfim, foram gerados MDE sob resolução de 30m (a rigor, em coordenadas geográficas, como 1 arco segundo, ou 1'', ou ainda 0,000277°) para os Estados Unidos e planejados sob 90m (a rigor, 3'' ou 0,000833°) para o resto do mundo, embora estas questões ainda estejam em discussão pela NASA e pela NIMA. O datum e o elipsóide de referência são WGS84, com dados de z em metros inteiros (FARR E KOBRICK, 2000; FARR *ET AL.*,2006).

Embora a NIMA aplicasse várias operações de pós-tratamento, que incluem remoção de picos e vórtices, nas informações que acompanham os dados o usuário é lembrado que suas características (inerentes a todo dado geo-espacial) devem condicionar seu desempenho ante aplicações específicas: uma característica dos dados SRTM que o torna inadequado para uma determinada aplicação pode ser inócua para outra. Informa-se ainda que nenhuma edição fosse aplicada sobre os dados e que o conjunto em questão contém um grande número de vãos e outros pontos espúrios, como valores extremamente altos (picos) ou extremamente baixos (vórtices).

Corpos d'água serão geralmente mal definidos, assim como as linhas de costa. Estas são as informações fornecidas pelo JPL sobre o programa SRTM (FARR E KOBRICK, 2000).

Uma apreciação preliminar dos dados SRTM mostrou uma série de características indesejáveis, além daquelas informadas pelo fornecedor. Observou-se que as falhas negativas (vórtices) estão representadas por cotas negativas (-8388607m). Tais artefatos são facilmente reconhecíveis nas imagens, porém, devido ao elevado módulo deste valor, sua remoção requer operações cuidadosas para que não se contaminem as informações válidas. Técnicas expeditas para contornar este problema, tais como filtragens, não o eliminam, mas ampliam sua área de influência e modificam indesejavelmente os dados válidos. Ocasionalmente, foram observadas linhas cujas cotas se encontram abaixo das cotas de linhas vizinhas, formando uma feição artificial que se assemelha a um vale ou sulco retilíneo, com orientação E-W ou N-S (RODRIGUEZ *ET AL.*, 2005).

17. AQUISIÇÃO E EXPORTAÇÃO DAS IMAGENS SRTM PARA ARCGIS 9.x

As imagens são adquiridas através do site da JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) que disponibiliza gratuitamente as imagens SRTM de todos os continentes com resolução espacial de 90 metros, exceto América do Norte que também são disponibilizados dados com 30 metros de resolução espacial.

17.1. CARREGAR AS IMAGENS SRTM

Acesse o site <http://www2.jpl.nasa.gov/SRTM/>, link <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov> para carregar as imagens SRTM (formato original das imagens “.hgt”) (*Figura 20*).



Figura 20 - Site e link mostrando o caminho seguindo para adquirir as imagens SRTM.

17.2. CONFIGURANDO PROJEÇÃO NO GLOBALMAPPER 8.0

No ambiente GlobalMapper 8.0 *Tools>Configure*, em *Configuration>Projection* é configurado a **Projeção UTM, Zona -19 (72°W - 66°W Southern Hemisphere), Datum WGS84, Unidade Planar Metros**. A projeção utilizada foi a UTM WGS-84 – 19S, pois todos os parâmetros calculados a seguir deverão está em uma unidade de medida métrica durante o processamento para a extração da drenagem e bacias hidrográficas (*Figura 21*).

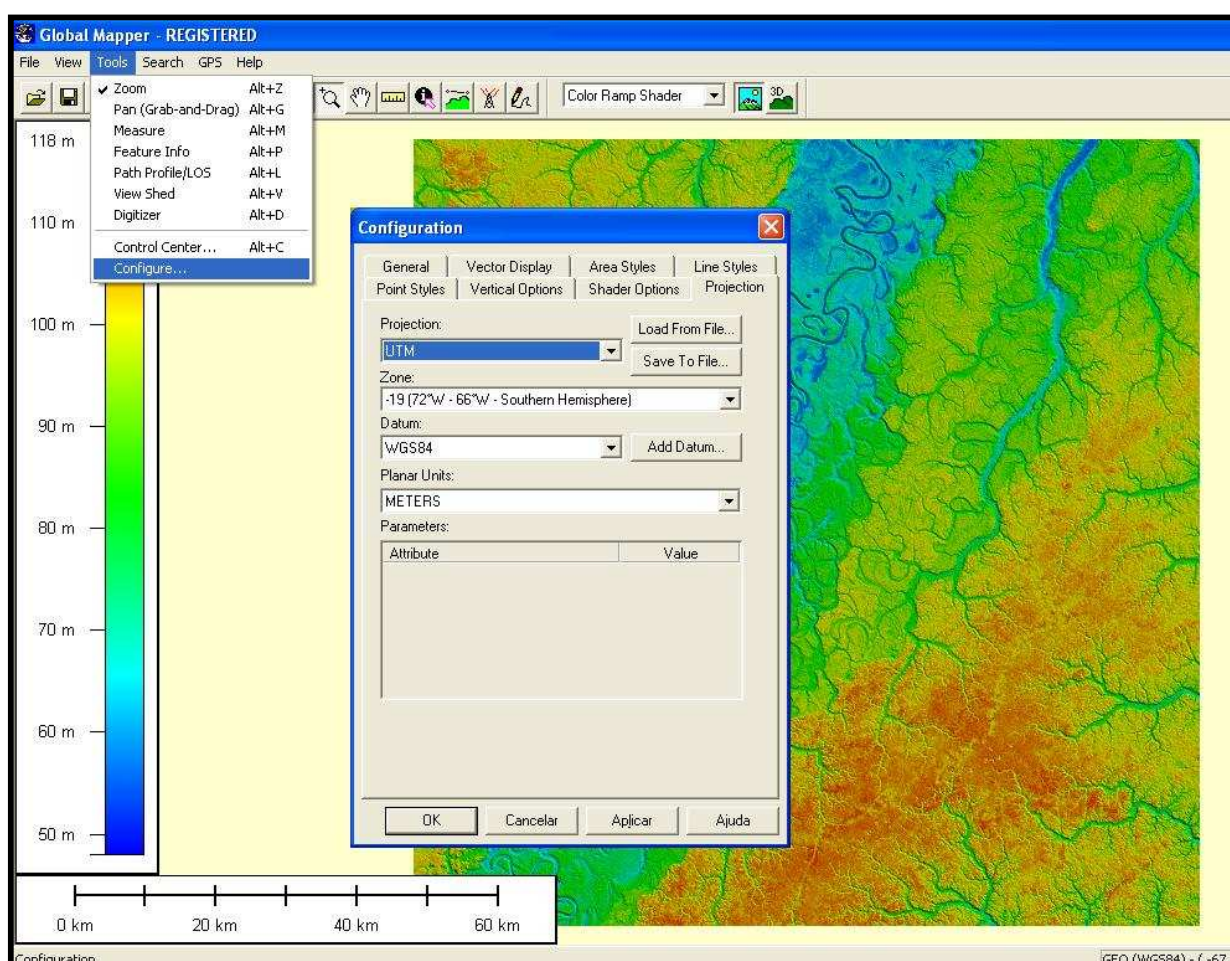


Figura 21 - Configurando uma projeção métrica para o mosaico (GlobalMapper 8.0).

17.3. EXPORTADO IMAGENS “.HGT” PARA “.GEO TIFF” UTILIZANDO O GLOBALMAPPER 8.0

Utilizando o programa GlobalMapper 8.0 são realizados os seguintes processos: Mosaico das imagens SRTM e Exportação do arquivo SRTM formato “.hgt” para “.geotiff”. Para exportar o mosaico executa-se **File>Export Raster and Elevation Data>Export GeoTIFF**, em **GeoTIFF Export Options** seleciona-se **Elevation (16 bits sample)**, exporta latitude, longitude e elevação dados necessários para a extração de drenagens e bacias hidrográficas (**Figura 22**).

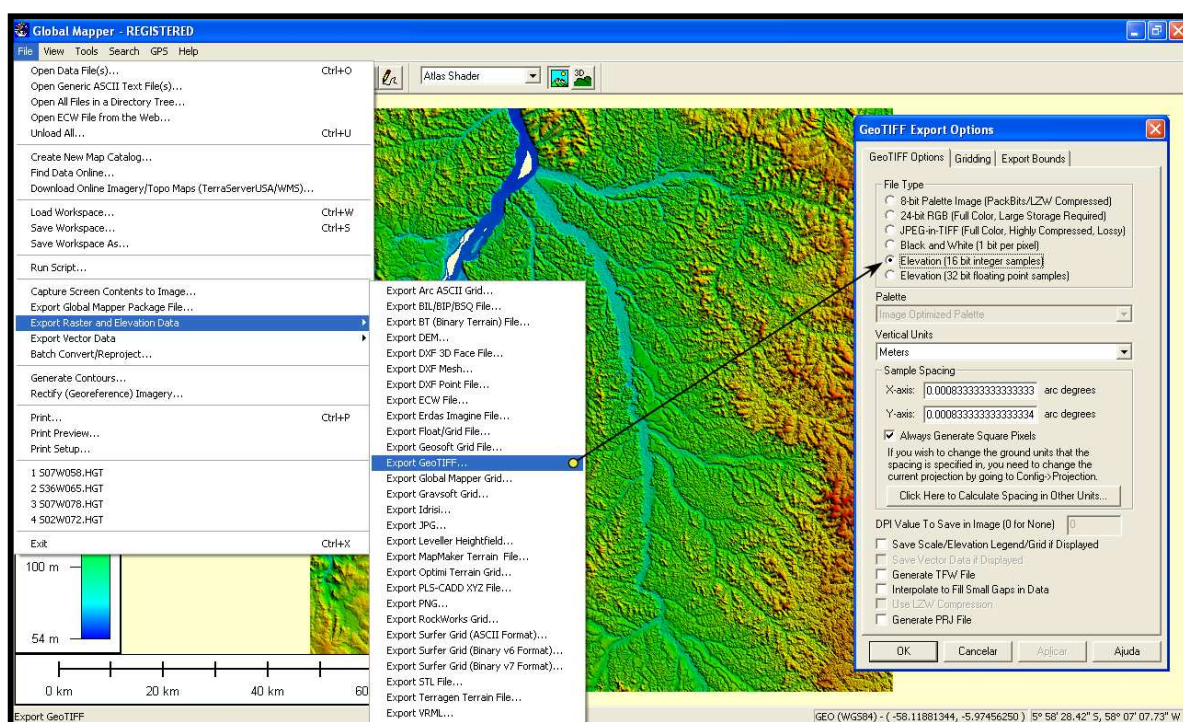


Figura 22 - Exportando as imagens SRTM (GlobalMapper 8.0).

18. PROCESSAMENTO PARA A EXTRAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA E DELIMITAÇÃO DAS MICROBACIAS DE DRENAGEM

Para a extração da drenagem e delimitação das microbacias utilizou-se a metodologia Martins (2007) e Martins *et al* (2007) a qual consiste na extração automática da rede de drenagem e microbacias utilizando o ArcGis 9.x (ESRI) a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A hierarquização das drenagens segue o modelo de Strahler (1952), ou seja, um segmento de canal que não tenha nenhum tributário é classificado como de primeira ordem e, teoricamente, seria o canal mais jovem a ser formado na evolução da bacia. Foram utilizados no processamento a função *Hidrology* do ArcGis 9.x, inserida na extensão *Spatial Analysis Tools*, (*Figura 23*). O processamento consiste na extração das drenagens e bacias hidrográficas a partir de das SRTM.

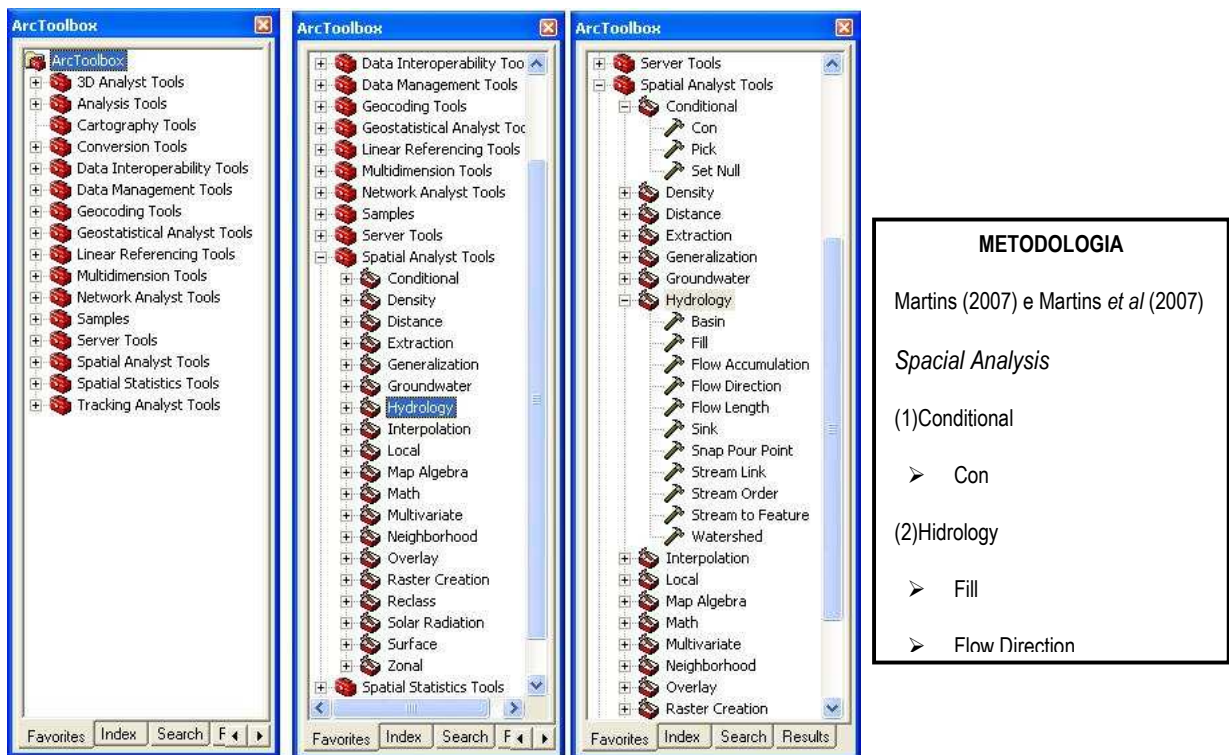


Figura 23 - ArcToolBox com suas extensões e funções dentro do ambiente ArcGis 9.2 (ESRI.)

18.1. CONDICIONAL (CON)

No ambiente ArcGis 9.2 (ESRI) em *ArcToolBox>Spatial Analysis>Conditional>Con* é executado uma condicional que se dispõe de forma a avaliar cada uma das células. Neste caso foi aplicado uma condicional através da expressão lógica **Value>=0 AND Value<=142** referente a topografia verificada previamente usando o GlobalMapper (varia de zero a 142 metros). A condicional é aplicada para eliminar os valores topográficos anômalos (*Figura 24*).

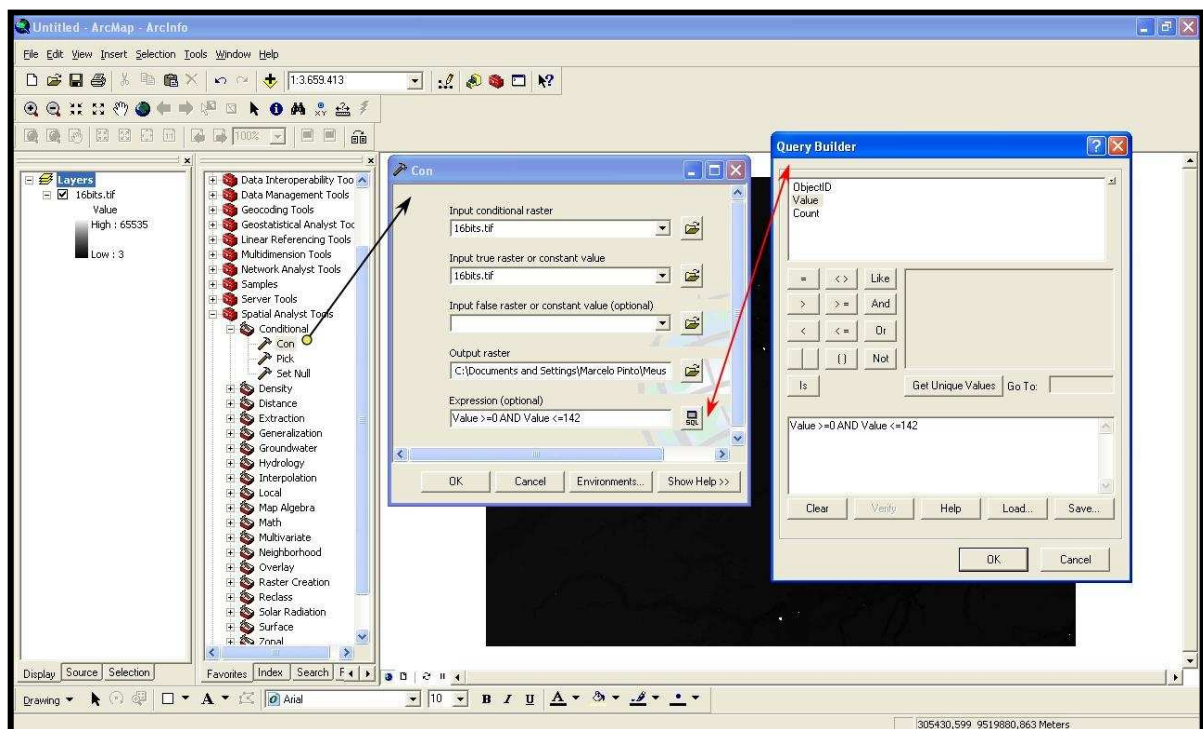


Figura 24 - Condicional: utilizado para corrigir valores anômalos de elevação da imagem SRTM (Raster).

18.2. FILTRO (FILL)

Atraves de *ArcToolBox*>*Spacial Analysis*>*Hidrology*>*Fill* é aplicado um filtro na imagem gerada anteriormente, a fim de corrigir pequenas imperfeições do raster (*Figura 25*). Estas imperfeições são muitas vezes devido a erros na resolução dos dados ou de arredondamento de elevações para o valor inteiro mais próximo. As imperfeições (*Figura 26*) devem ser preenchidas para assegurar a correta delimitação das bacias hidrográficas (*Figura 27*). Se as imperfeições não são corrigidas, qualquer produto gerado a partir da rede de drenagem pode ser descontínuo (Tarboton et al, 1991).

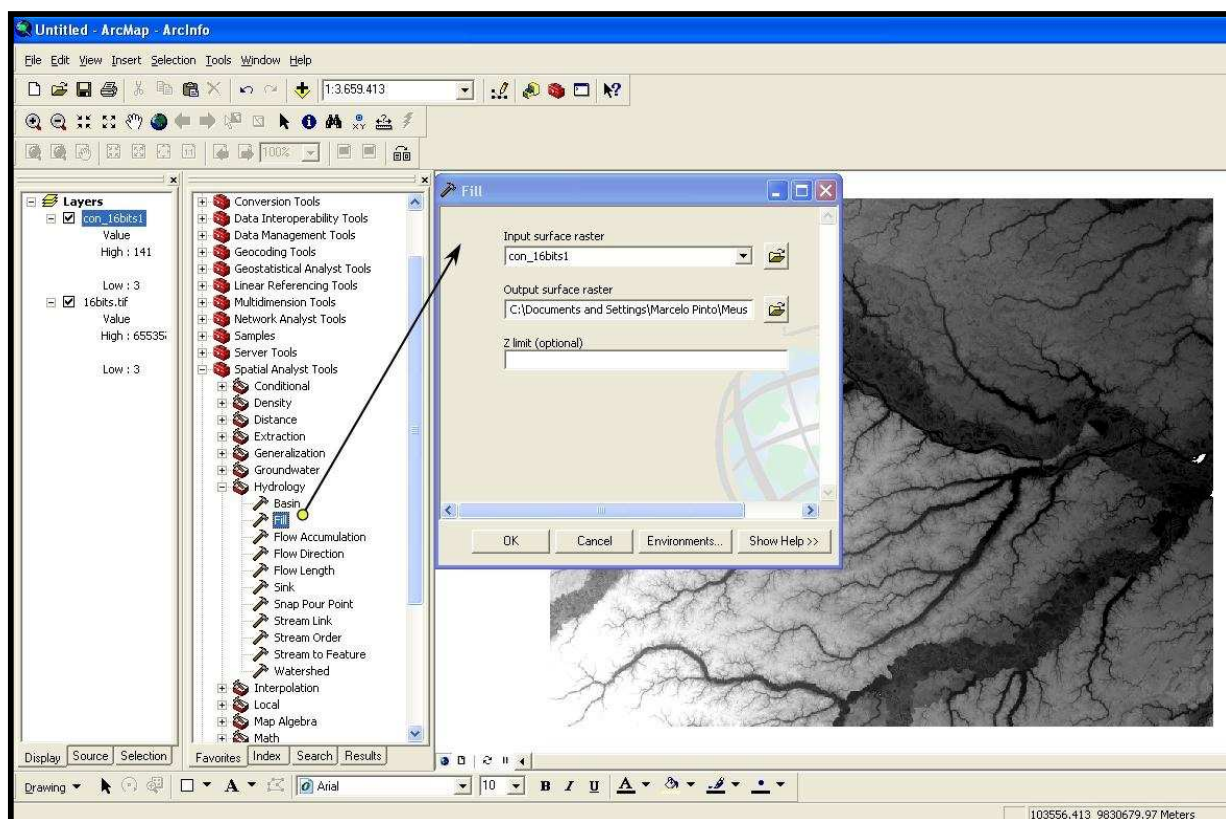


Figura 25 - Filtro: utilizado para corrigir pequenas imperfeições do raster.

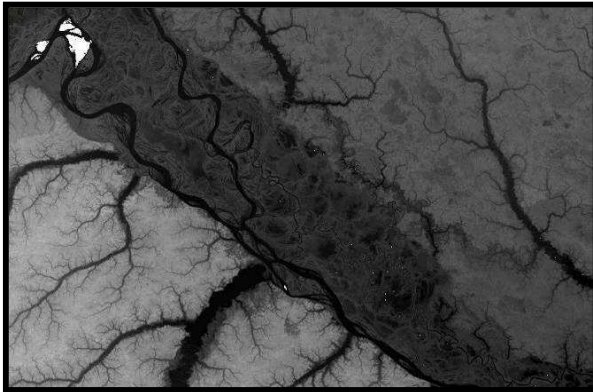


Figura 26 - Raster sem a aplicação do filtro.

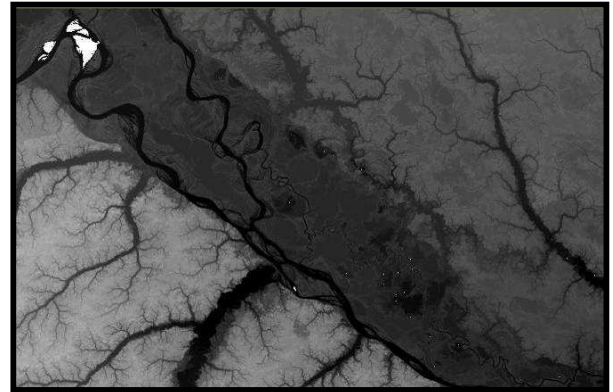


Figura 27 - Raster depois da aplicação do filtro.

18.3. DIREÇÃO DO FLUXO (FLOW DIRECTION)

Em *ArcToolBox>Spatial Analysis>Hidrology>Flow Direction* é criado um novo raster a partir do raster criado anteriormente, apresentando a direção do fluxo em cada célula (*Figura 28*). A direção do fluxo é determinada pela direção de descida de cada célula. Esta é calculada como:

$$\text{Elevação } (z) / (\text{distância} * 100) \quad (1)$$

A distância é calculada a partir do centro das células. Portanto, se o tamanho da célula é 1, a distância entre duas células é ortogonal 1, e a distância entre as duas células diagonal é 1,414. Se a descida para todas as células adjacentes tem mesmo valor, os vizinhos mais próximos são distanciados até uma descida conhecida. Se todos os vizinhos são mais elevados do que a transformação das células, será considerado o ruído, preenchido com o valor mais baixo dos seus vizinhos, e terá uma direção de fluxo para essa célula. No entanto, se uma célula está fisicamente próxima a borda do raster ou está ao lado de uma célula sem informação, não haverá a colocação de nenhum valor, devido à insuficiência de informações do vizinho. Este método de direção de fluxo a partir de um modelo digital de elevação (DEM) é apresentada no Jenson e Domingue (1988) e Greenlee (1987).

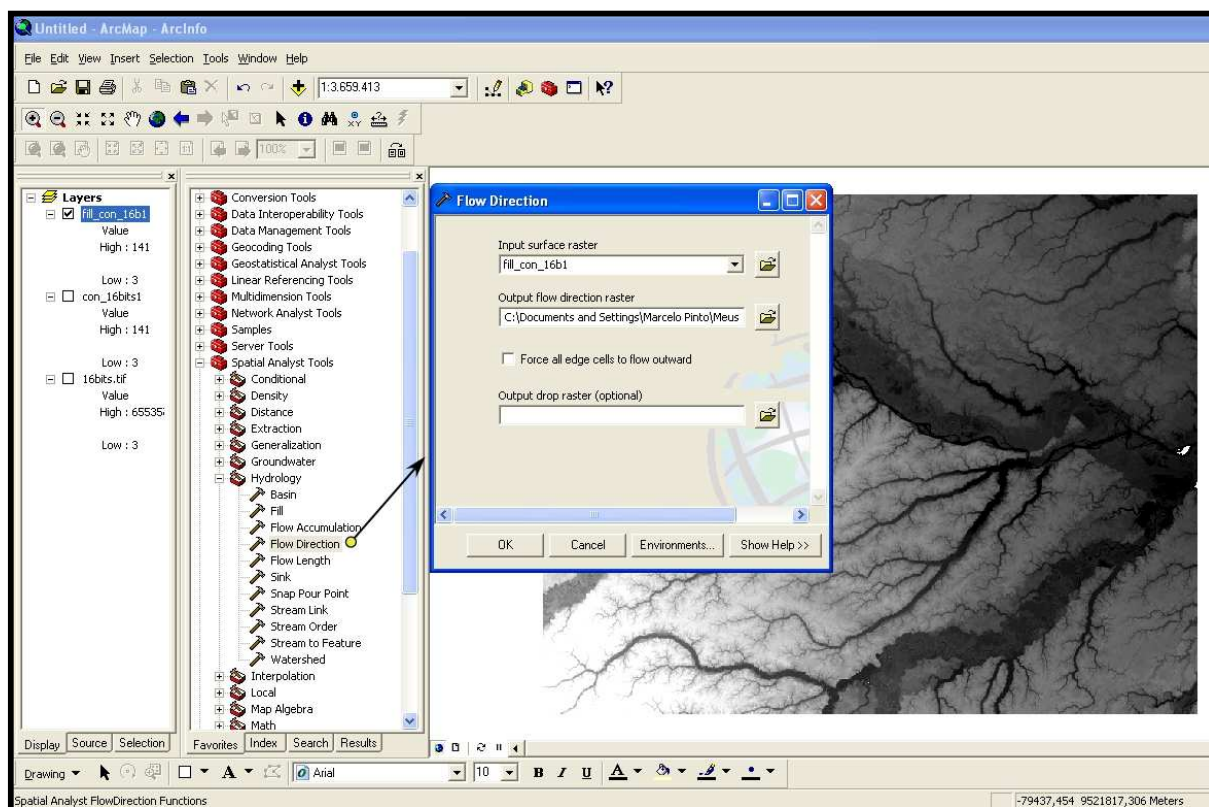


Figura 28- Direção do fluxo: utilizado para criação de um raster com informação da direção do fluxo da célula.

18.4. FLUXO ACUMULADO (FLOW ACCUMULATION)

Em *ArcToolBox*>*Spacial Analysis*>*Hidrology*>*Flow Accumulation* é criado um novo raster, a partir do raster de direção do fluxo obtido anteriormente. Este novo raster apresenta o fluxo acumulado em cada célula (*Figura 29*). O Fluxo Acumulado pode ser usado para criar um fluxo de rede através da aplicação de um limiar, para selecionar as células com um alto fluxo acumulado. Este fluxo pode ser usado como entrada para o Stream Ordem. Este método de fluxo acumulado a partir de um DEM é apresentado em Jenson e Domingue (1988) e Tarboton et al. (1991).

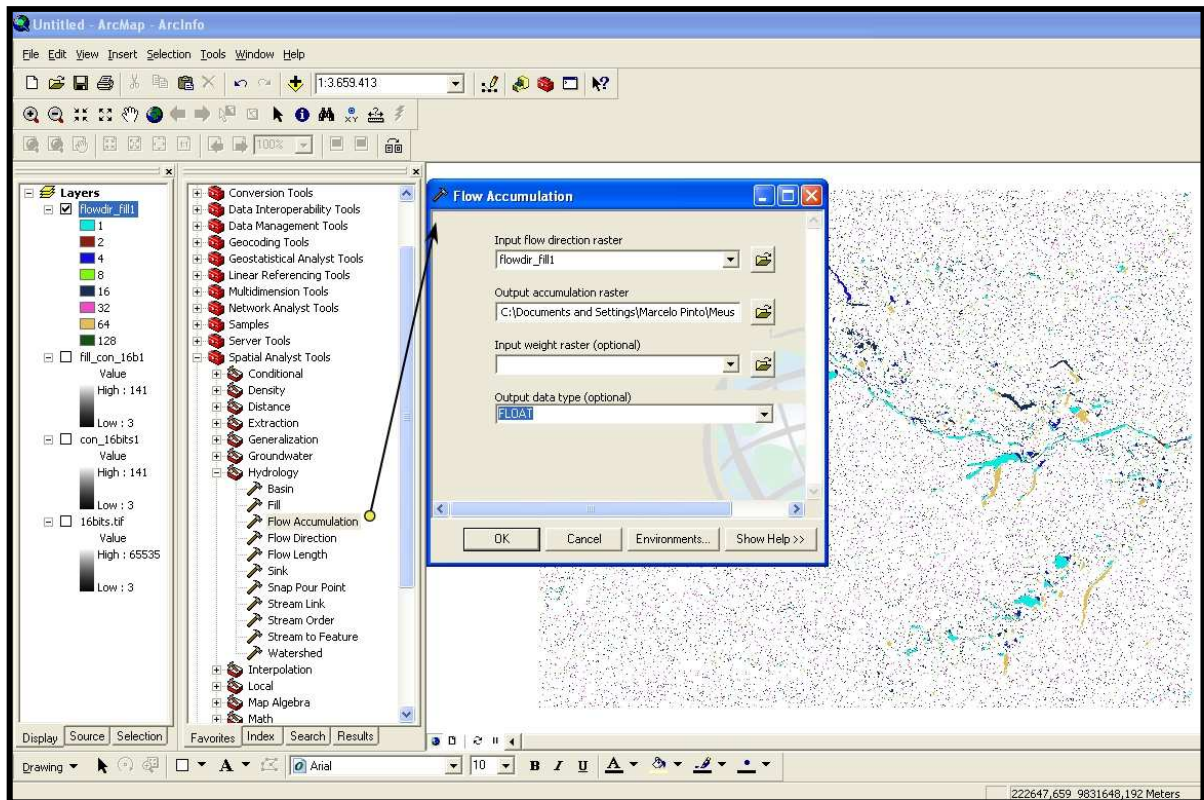


Figura 29 - Fluxo acumulado: utilizado para criação de um raster com informação do fluxo acumulado em cada célula.

18.5. BACIA (BASIN)

Em *ArcToolBox* > *Spacial Analysis* > *Hidrology* > *Basin* é criado um novo raster, a partir do raster de direção do fluxo, delimitando todas as microbacias hidrográficas (*Figura 30*). Essa ferramenta delinea as bacias de drenagem dentro da janela, através da identificação dos altos topográficos que separam as bacias hidrográficas. Baseando-se na direção do fluxo para encontrar todos os conjuntos de células que conectados pertencem à mesma bacia de drenagem.

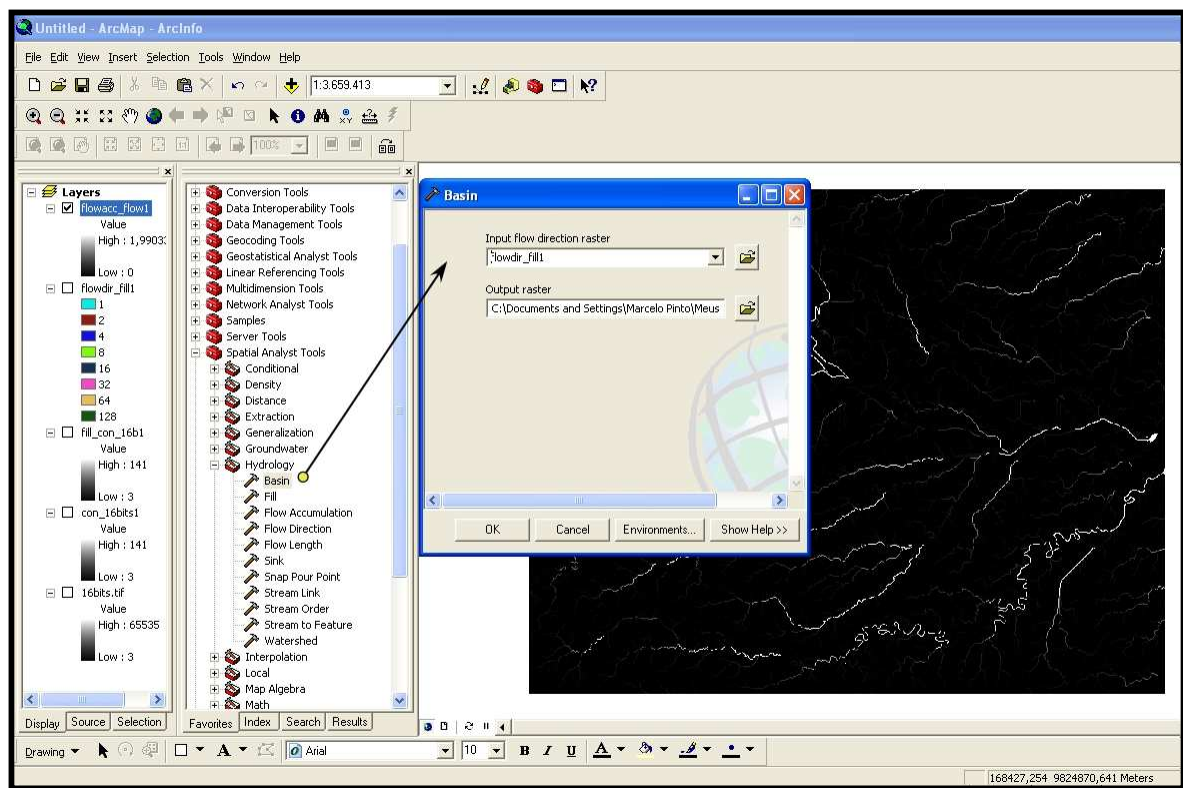


Figura 30 - Bacia: delinea as bacias de drenagem.

18.6. COMPRIMENTO DO FLUXO (FLOW LENGHT)

Em *ArcToolBox*>*Spacial Analysis*>*Hidrology*>*Flow Lenght* é criado um novo raster, a partir do raster de direção do fluxo, que calcula distância ou a distancia ponderada ao longo de um caminho do fluxo dentro de uma bacia hidrográfica (*Figura 31*).

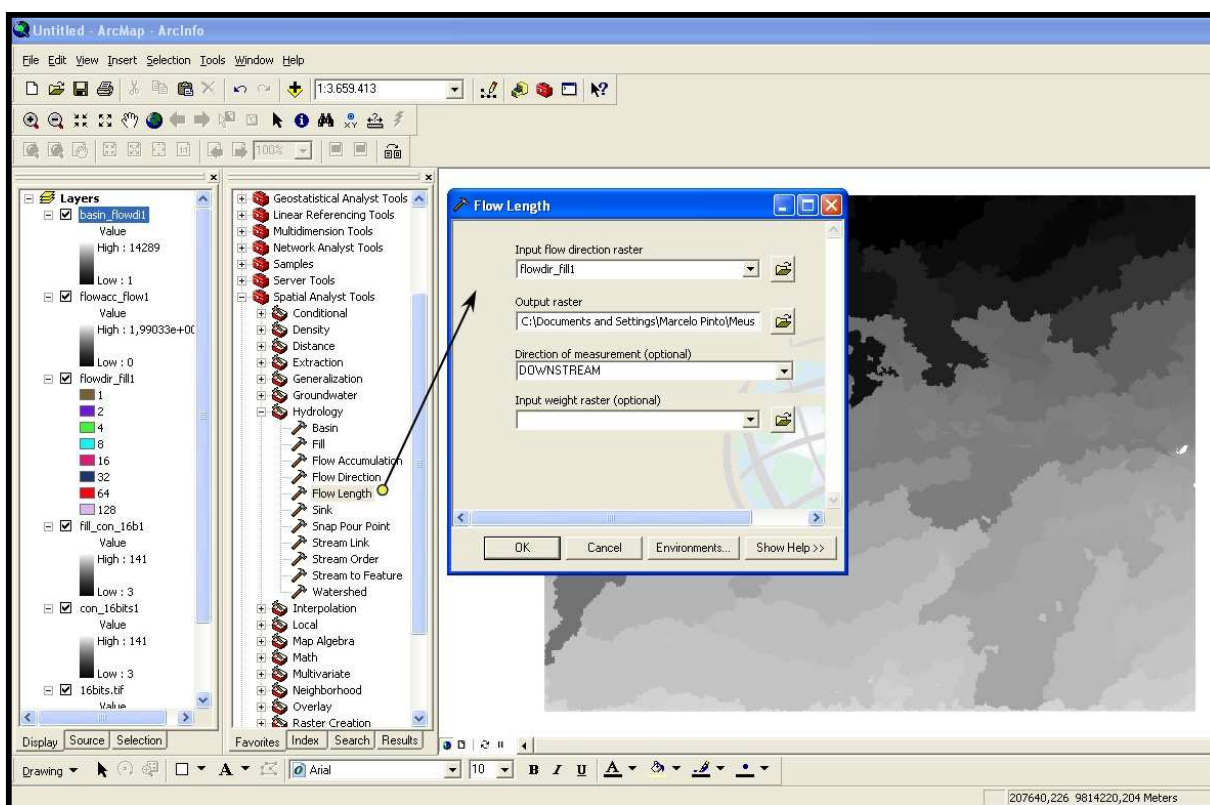


Figura 31 - Comprimento do fluxo: calcula a distancia ao longo de um caminho do fluxo.

18.7. ORDEM DOS CANAIS (STREAM ORDER)

Em *ArcToolBox* > *Spacial Analysis* > *Hidrology* > *Stream Order* é criado um novo raster, a partir dos rasters do comprimento do fluxo-*flow lenght* (*Input Stream Raster*) e da direção do fluxo-*flow direction* (*Input Flow Direction Raster*) e o método utilizado para o ordenamento é o Strahler (1952) (*Method of Stream Ordering*), representando a distribuição da ordem dos canais (*Figura 32*).

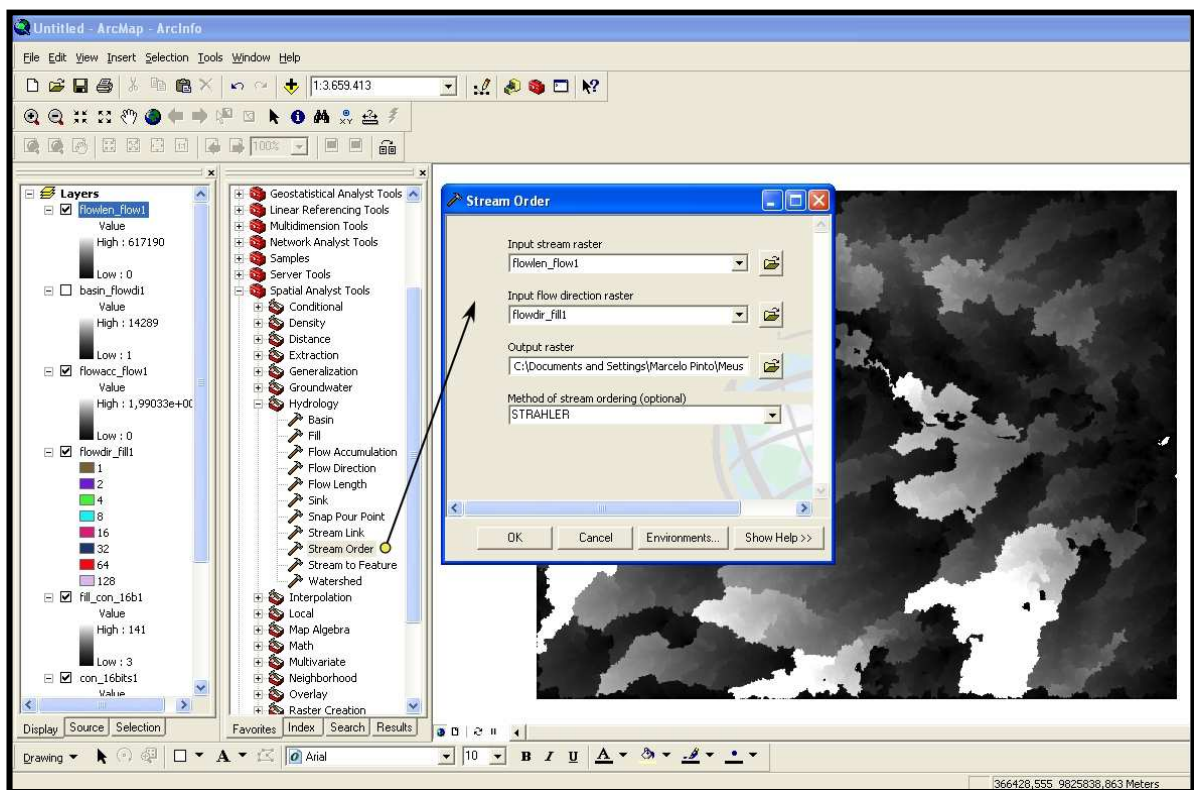


Figura 32 - Ordem dos Canais: calcula a ordem das drenagens seguindo a metodologia de Strahler (1952).

18.8. CONVERSÃO RASTER STREAM ORDER PARA SHP (STREAM TO FEATURE)

Em *ArcToolBox*>*Spacial Analysis*>*Hidrology*>*Stream to Feature* é criado um novo arquivo com formato *.shp*, a partir dos rasters *Stream Order (Input Stream Raster)* e da direção do fluxo-*flow direction (Input Flow Direction Raster)*, a qual representará os vetores da rede de drenagem com suas respectivas da ordem dos canais em formato *.shp*, dessa forma facilitando a edição das drenagens (*Figura 33*).

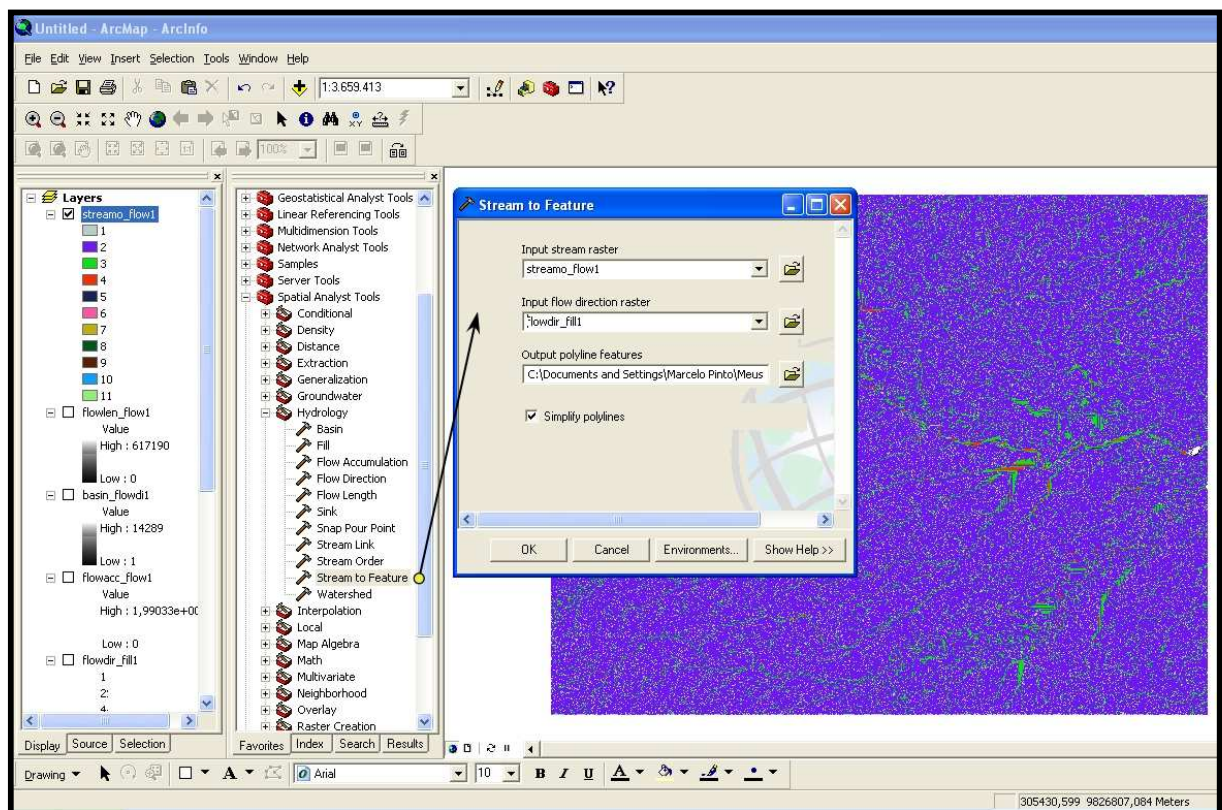


Figura 33 – Transformação do Raster Stream Order para um arquivo em vetor SHP.

18.9. CONVERSÃO RASTER BASIN PARA SHP (RASTER TO POLIGON)

Em *ArcToolBox* > *Conversion Tools* > *From Raster* > *Raster to Poligon* é criado um novo arquivo com formato *.shp*, a partir do raster *Basin* (*Input Raster*), representa os polígonos das bacias hidrográficas (*Figura 34*).

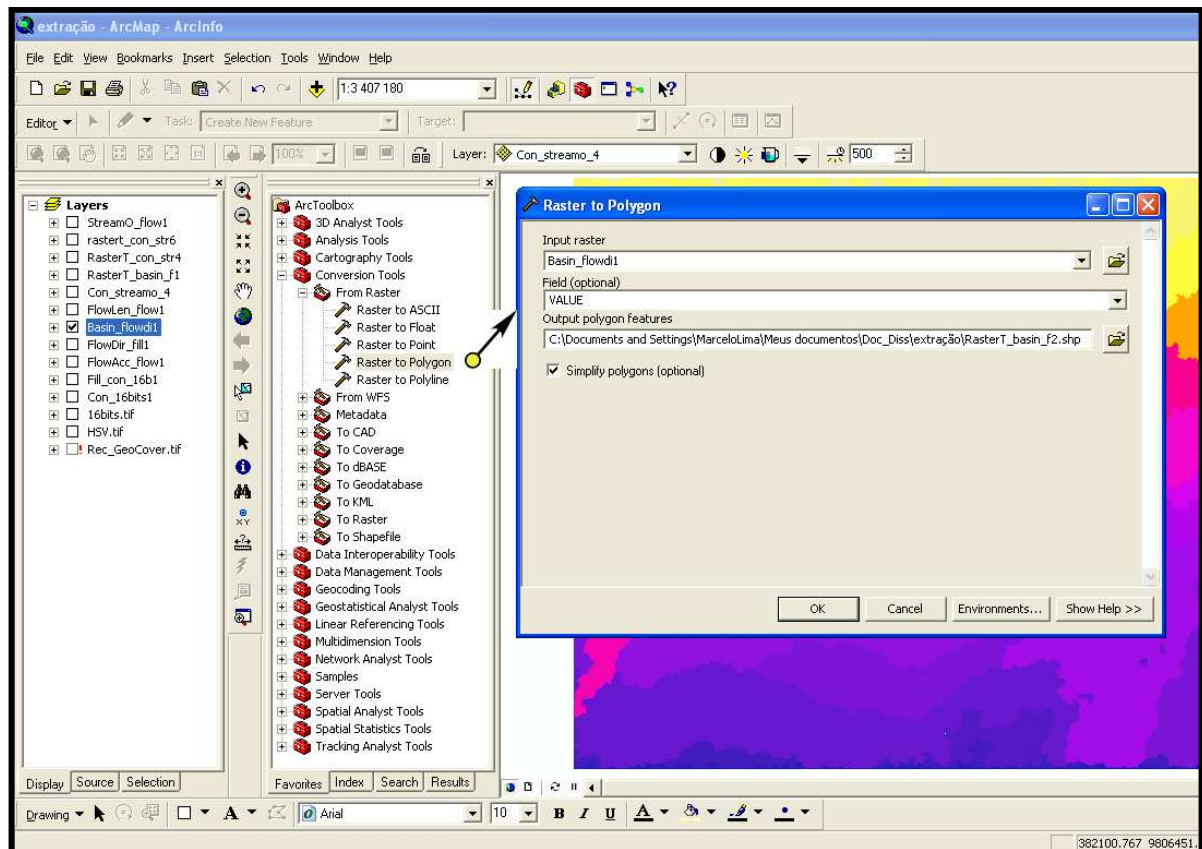


Figura 34 – Transformação do Raster Basin para um arquivo vetor SHP.

19. REDE HIDROGRÁFICA DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS

Ressalta-se que Schietti *et al* (2007) afirma que os dados SRTM constituem ótimos parâmetros para análise das unidades de relevo na Amazônia. Na análise das formas de drenagem e relevo foram utilizadas a metodologia de Christofolletti (1978), Fiori (1979), Soares e Fiori (1976) e Lima (2006).

A rede de drenagem extraída a partir de imagens SRTM (Figura 35) mostrou-se bastante coerente quando comparados com outras bases IBGE, SIPAM e ANA. Porém, a extração da rede de drenagens baseado nas imagens SRTM mostraram maior quantidade de detalhes, extraindo mais ordens de drenagens assim como maior quantidade de canais.

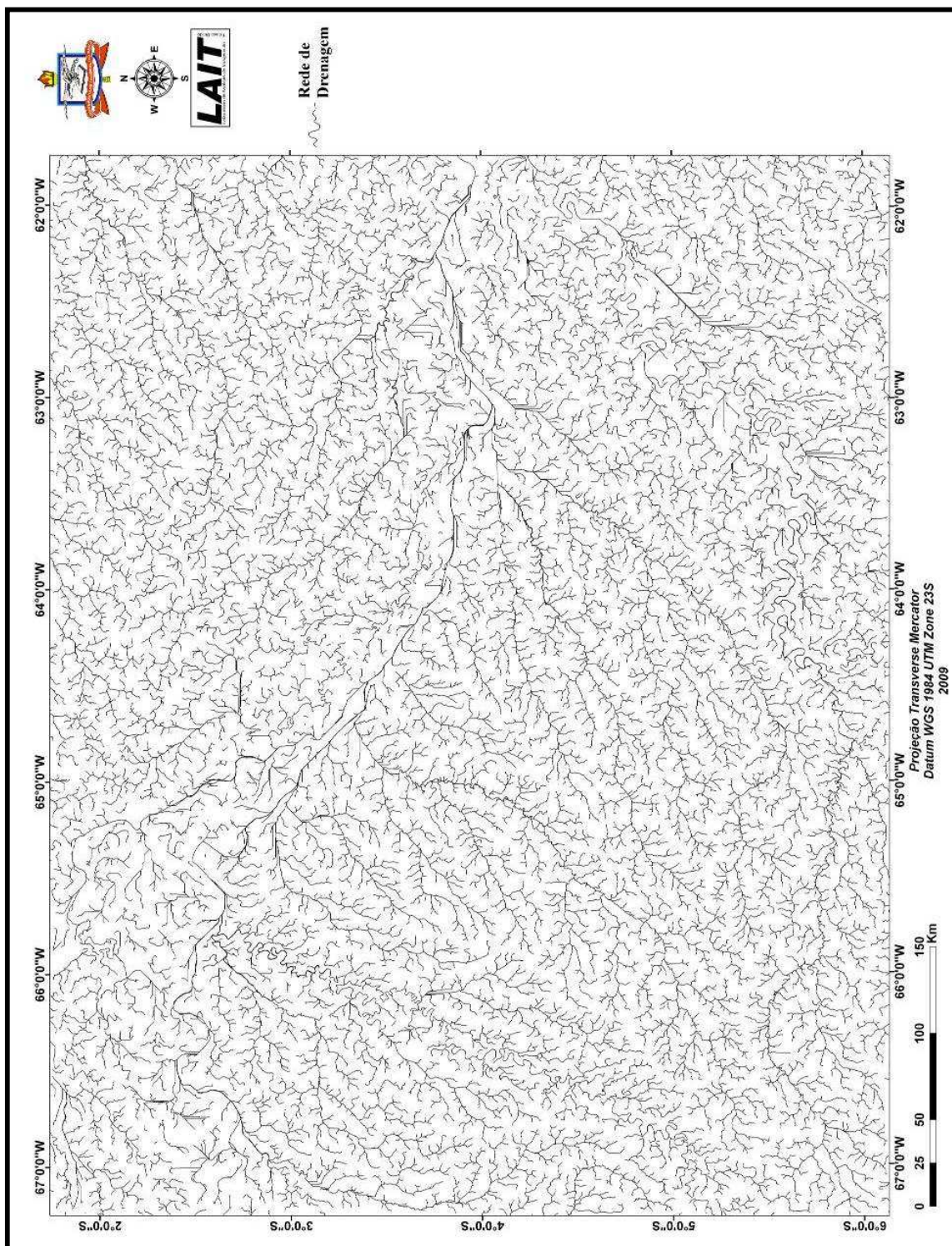


Figura 35 – Mapa com a rede hidrográfica da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Após a extração foi necessário editar as drenagens, pois em alguns trechos da área, os rios não foram totalmente conectados devidos que as imagens SRTM possuem alguns ruídos e durante o processamento do dado não forneceram informações suficientes para que os canais se conectassem. Para a edição da rede de drenagem foi utilizado o próprio dado SRTM assim como imagens Landsat. A edição foi feita manualmente redigitalizando manualmente as drenagens.

Após o processamento obteve-se como resultado identificação de 12 ordens de drenagem, as mesmas estão baseadas na metodologia de STRAHLER, observadas na *Figura 36*. As drenagens de maior ordem (10°, 11° e 12°) são as que controlam maior parte dos grandes cursos d'águas, como Rio Solimões, Coarí, Tefer, Juruá, Purus, Urumutum, Piorini e Badajós.

Para melhorar a visualização foram selecionadas as drenagens acima da 6° Ordem, pois as drenagens com ordens inferiores a esta, apresentaram muitos erros analíticos relacionados à resolução espacial das imagens SRTM (90 metros).

A partir do Mapa de drenagem foi possível descrever as propriedades de drenagem, como densidade, sinuosidade, angularidade, tropia e assimetria. Em toda a área de trabalho as drenagens possuem densidade alta, sinuosidade mista, angularidade baixa (às vezes média), tropia multidirecional ordenada e assimetria forte.

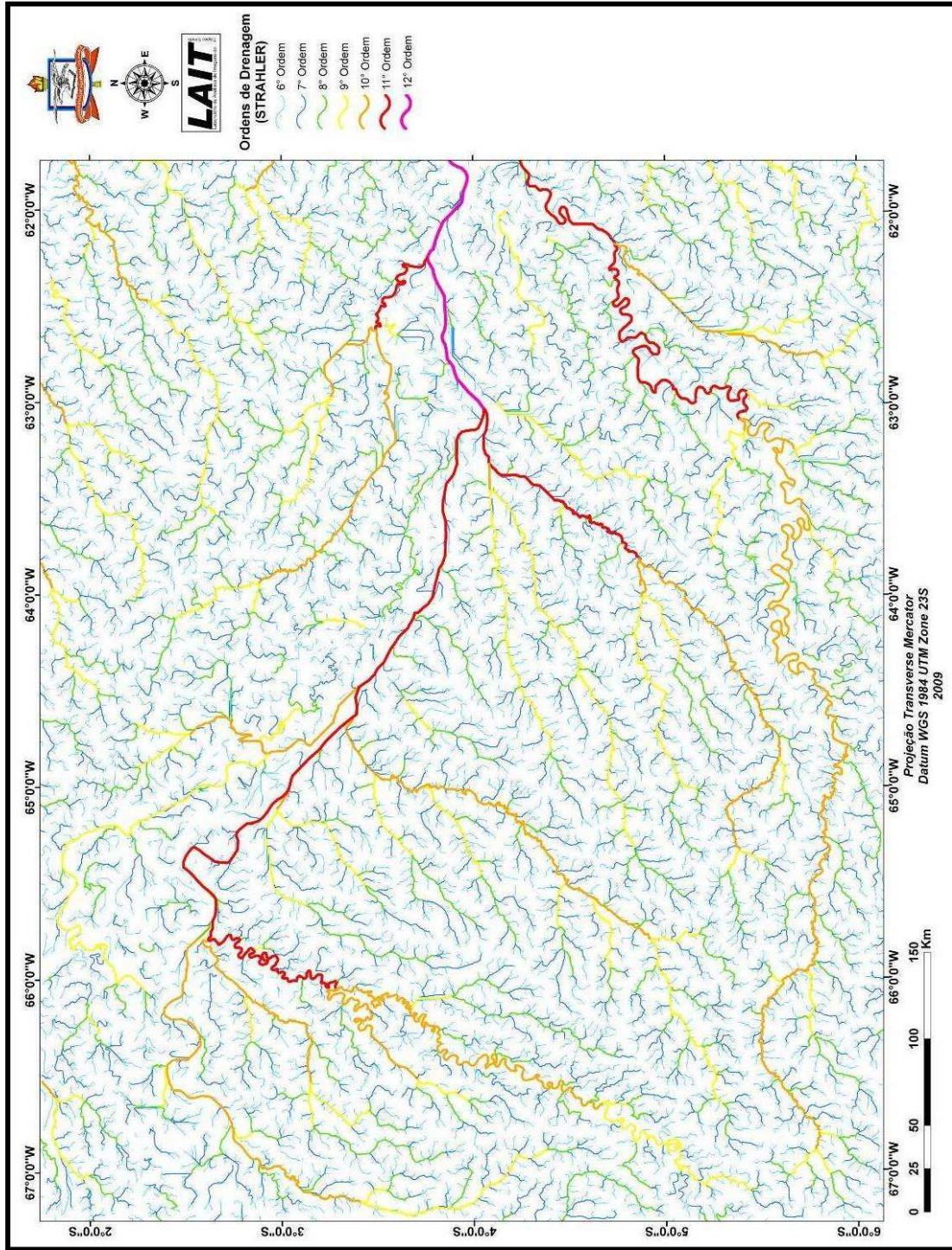


Figura 36 – Mapa com a ordenação da rede hidrográfica segundo a metodologia de STRAHLER, Região de Urucu e Adjacências (AM).

20. MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS

Também foi possível a extração automática das microbacias hidrográficas (*Figura 37*) a partir dos dados SRTM. Assim como a drenagem foi necessário editá-las, pois o processamento das bacias apresentou algumas distorções relacionadas principalmente na foz dos rios principais. Porém, o resultado foi bem satisfatório haja vista que a área do trabalho é muito extensa e o processo de digitalização manual seria muito árduo, e com o processamento automático foi poupado bastante tempo. A edição visual das bacias foi baseada nos dados SRTM e Landsat, as quais foram redigitalizadas nos trechos que apresentam os erros.

Os erros na delimitação das bacias estão relacionados com o processamento das baixas altimetrias do dado SRTM, que apresenta ruídos dificultando a delimitação da drenagem conseqüentemente, também, com a delimitação das bacias hidrográficas. Porém, a pesar das dificuldades de geração contínua da drenagem, foi possível delimitar o limite das bacias nessa região.

A partir destas edições foram possíveis discriminar 15 bacias de drenagem completas e 21 bacias incompletas (*Figura 37*) e como análise visual foi possível observar que a maioria deságua no Rio Solimões. Foram observados que as bacias do Rio Uarani 1, Rio Uarani 2, Rio Tefer, Rio Caiambé, Igarapé Catuá, Igarapé Ipixuna, Rio Aruã, Rio Urucu, Rio Itanhauã, Rio Juma, Rio Coarí e Rio Mamiá apresentam direções aproximadamente NE-SW, enquanto as bacias do Rio Urumutum, Rio Piorini e Rio Badajós, estão dispostas com direção aproximada de NW-SE. O Rio Solimões apresenta direção NW-SE no centro da área de trabalho e no quadrante superior esquerdo do Mapa (*Figura 37*) apresenta direção NE-SW.

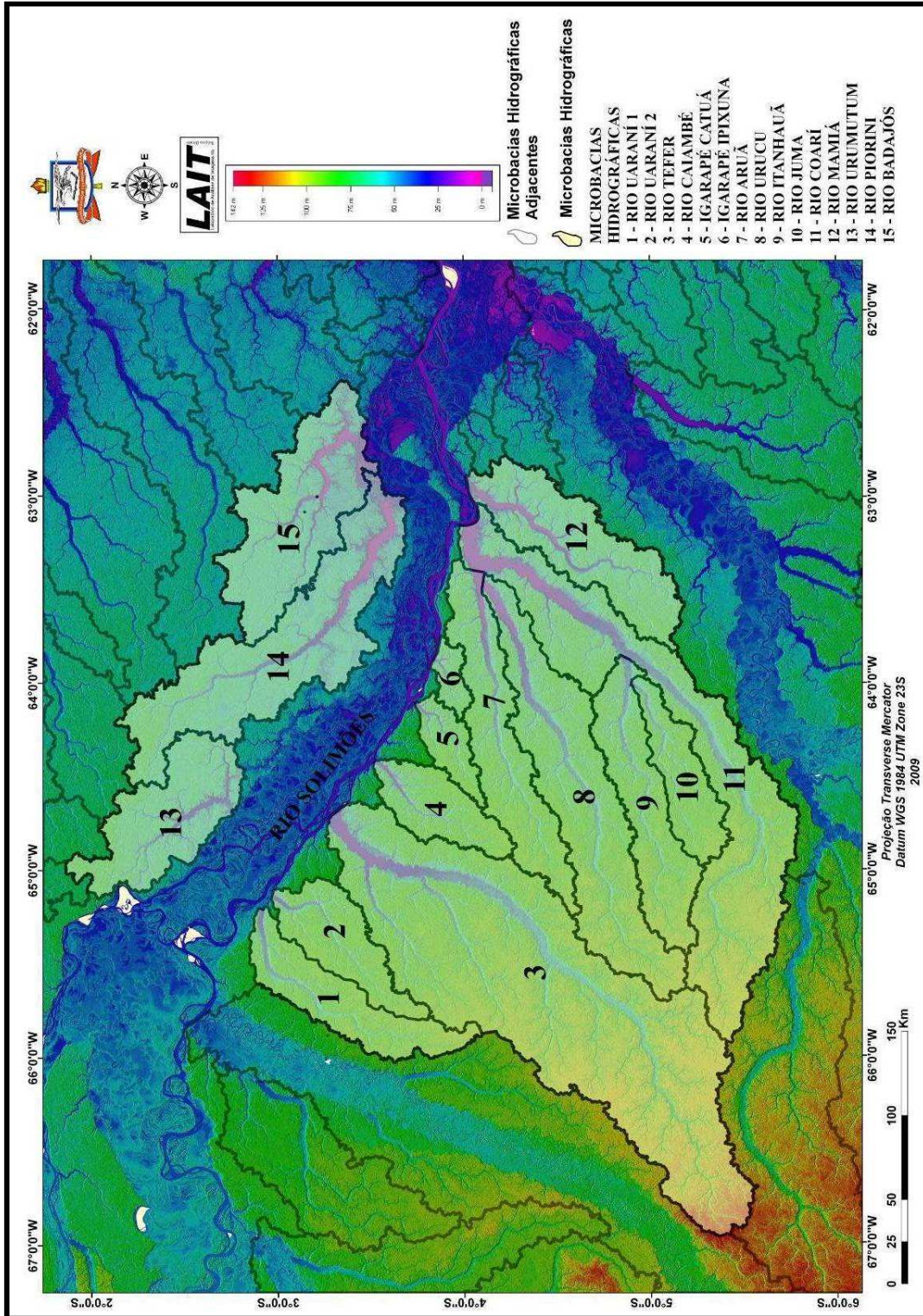


Figura 37 – Mapa das microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

21. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS MICROBACIAS DE DRENAGEM

A partir da extração das drenagens e das bacias foi possível fazer algumas análises morfológicas lineares e areais da Região de Urucu e Adjacências, estas estão sintetizados nas *Tabelas 2 e 3*. Com base nessas análises foi possível criar vários gráficos para simplificar as análises das microbacias, os gráficos seguem abaixo com suas respectivas análises.

Tabela 2 – Tabela contendo as Análises Lineares das Bacias Hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências.

BACIAS HIDROGRÁFICAS	ORDEM	Nº DE SEGUIMENTOS DE MESMA ORDEM DA BACIA	COMPRIMENTO (KM)
<i>Rio Uarani 1</i>	9°	284	192,64
<i>Rio Uarani 2</i>	9°	177	130,28
<i>Rio Tefer</i>	10°	152	466,69
<i>Rio Caiambé</i>	9°	87	116,48
<i>Igarapé Catuá</i>	8°	202	84,50
<i>Igarapé Ipixuna</i>	8°	58	43,87
<i>Rio Aruã</i>	9°	386	232,71
<i>Rio Urucu</i>	9°	675	306,45
<i>Rio Itanhauã</i>	10°	43	213,99
<i>Rio Juma</i>	9°	151	134,84
<i>Rio Coarí</i>	11°	238	441,43
<i>Rio Mamiá</i>	9°	307	203,55
<i>Rio Urumutum</i>	10°	76	137,60
<i>Rio Piorini</i>	10°	135	300,50
<i>Rio Badajós</i>	10°	103	171,80

Tabela 3 – Tabela contendo as Análises Areais das Bacias Hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências.

BACIAS HIDROGRÁFICAS	ÁREA KM²	PERÍMETRO KM	DENSIDADE DE RIOS	FORMA DA BACIA
<i>Rio Uarani 1</i>	3.890,40	526,7	0,64	Retangular
<i>Rio Uarani 2</i>	3.157,84	399,6	0,49	Triangular
<i>Rio Tefer</i>	24.256,48	1.379,84	0,43	Retangular
<i>Rio Caiambé</i>	2.611,22	346,42	0,45	Retangular
<i>Igarapé Catuá</i>	1.295,98	249,72	0,54	Triangular
<i>Igarapé Ipixuna</i>	693,03	179,08	0,41	Retangular
<i>Rio Aruã</i>	5.614,44	766,1	0,43	Retangular
<i>Rio Urucu</i>	9.166,74	956,58	0,46	Retangular
<i>Rio Itanhauã</i>	4.813,88	601,41	0,47	Retangular
<i>Rio Juma</i>	2.701,80	377,2	0,52	Triangular
<i>Rio Coarí</i>	13.318,97	1.434,17	0,45	Retangular
<i>Rio Mamiá</i>	5.536,48	674,86	0,45	Retangular
<i>Rio Urumutum</i>	5.068,07	592,47	0,66	Retangular
<i>Rio Piorini</i>	9.691,19	1.190,08	0,43	Retangular
<i>Rio Badajós</i>	6.949,31	779,97	0,44	Retangular

A microbacia do Rio Coarí é de 11º Ordem, as microbacias do Rio Badajós, Piorini, Urumutum, Itanhauã e Tefer são de 10º Ordem, as microbacias dos Igarapés Catuá e Ipixuna são de 8º Ordem e os demais são considerados de 9º Ordem (*Gráfico 1*).

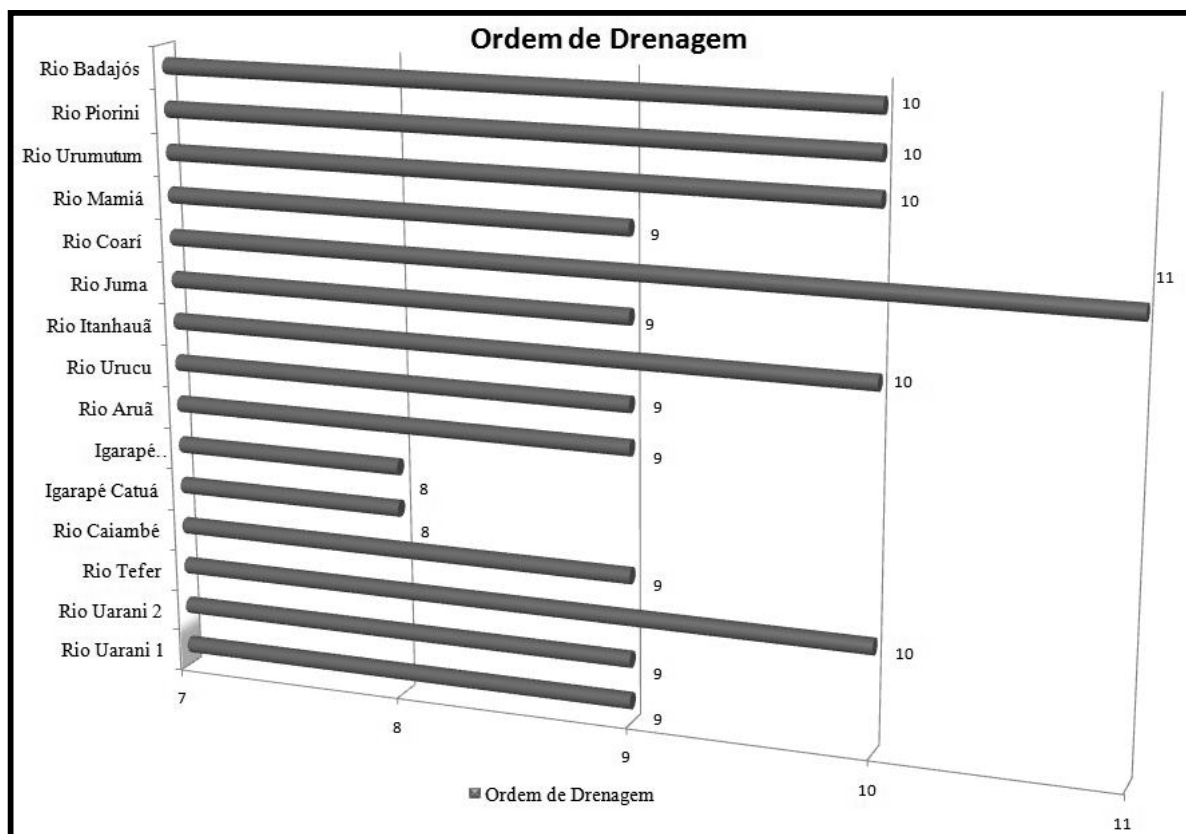


Gráfico 1 – Ordem das microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

As microbacias de Urucu e Aruã são as que possuem maior quantidade de canais de mesma ordem que a microbacia, ou seja, possuem maior quantidade de canais de 9º Ordem (*Gráfico 2*).

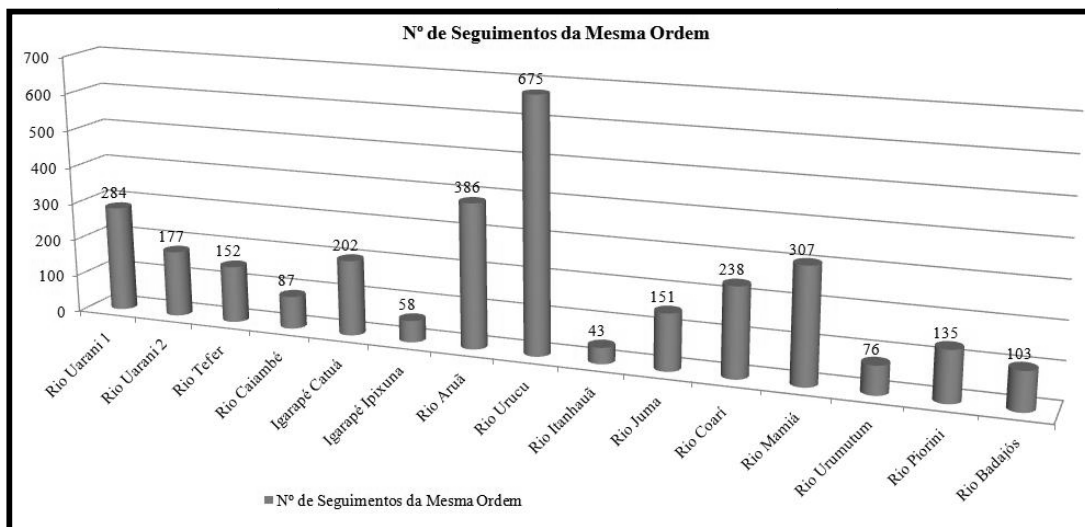


Gráfico 2 – Número de Seguimentos de Mesma Ordem microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM). Por exemplo: Badajós possui 103 seguimentos de drenagem de 10º Ordem.

As microbacias que possuem maior comprimento são Coarí e Tefer (**Gráfico 3**).

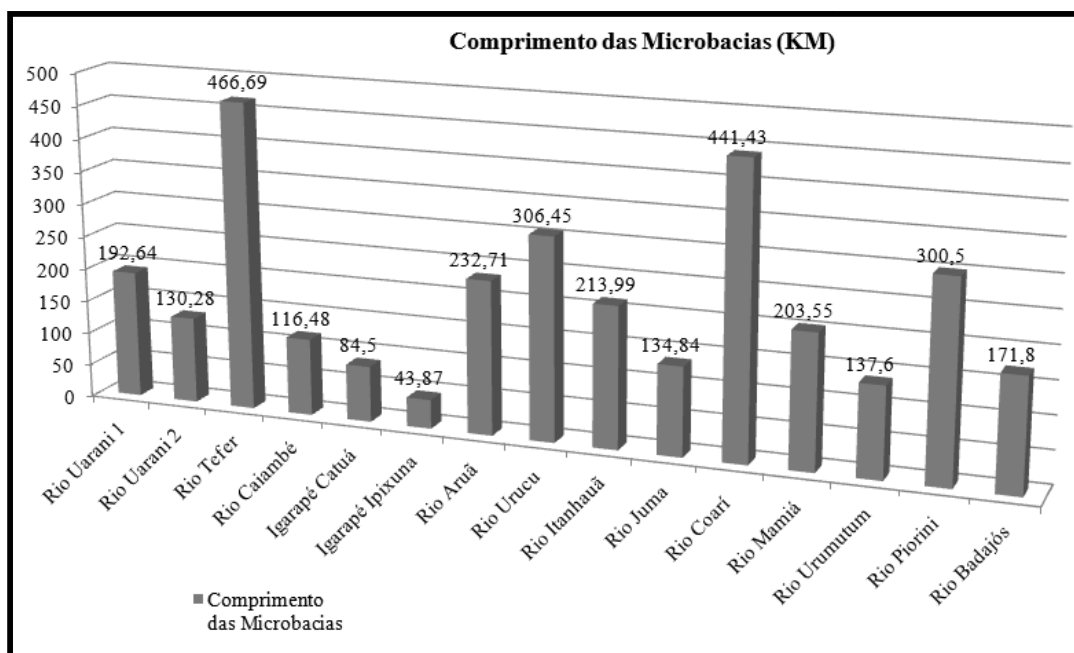


Gráfico 3 – Comprimento das microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Com relação a distribuição em área das microbacias hidrográficas Tefer possui mais de 24 mil km² seguido de Coarí com mais de 13mil Km² e Urucu com mais de 9 mil Km² (Gráfico 4).

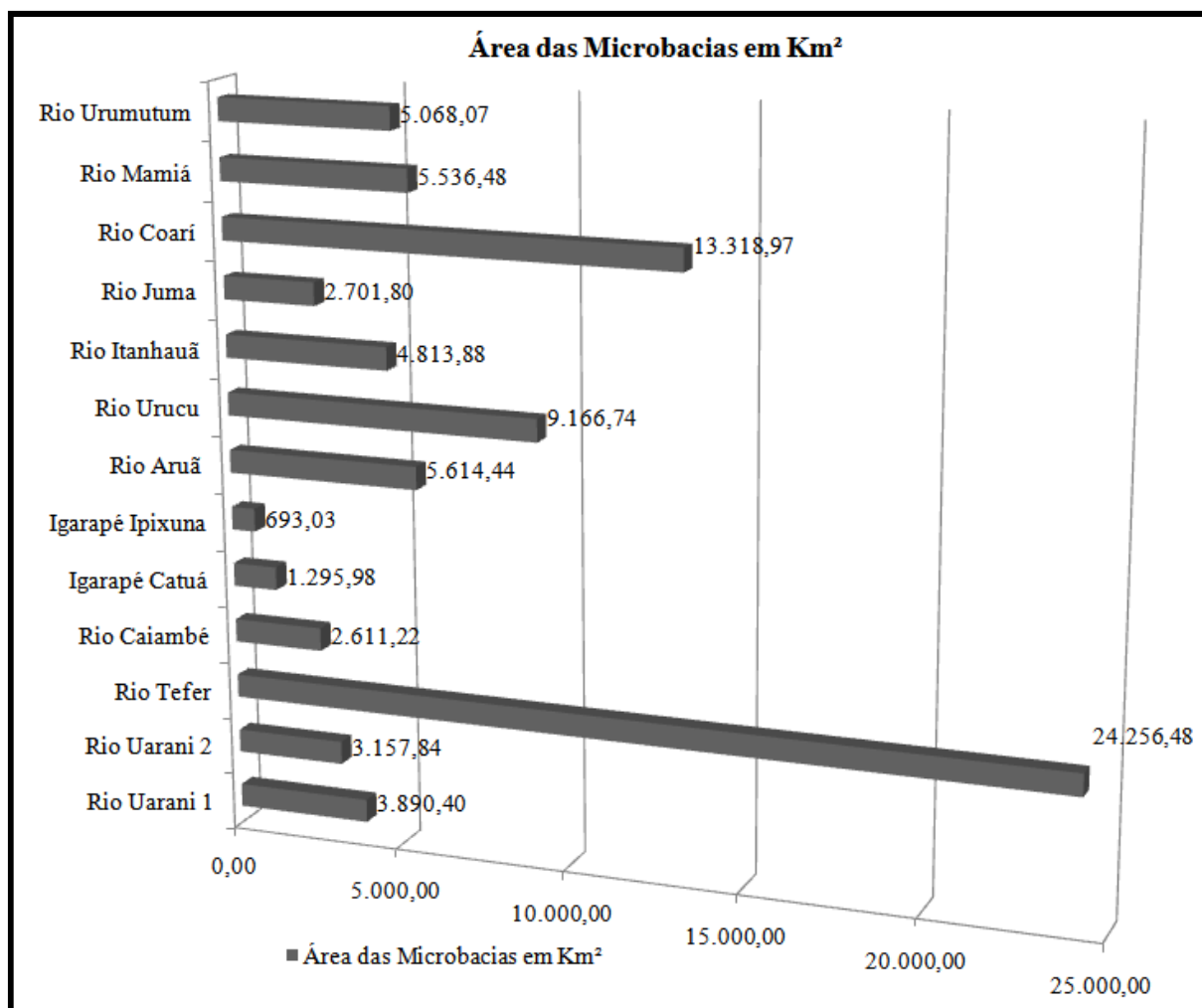


Gráfico 4 – Área das microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

As microbacias de Coarí e Tefer são as que possuem maior perímetro, 1.434,17 km e 1.379,84 km, respectivamente, seguido da bacia de Uruã com 766,1 km (*Gráfico 5*).

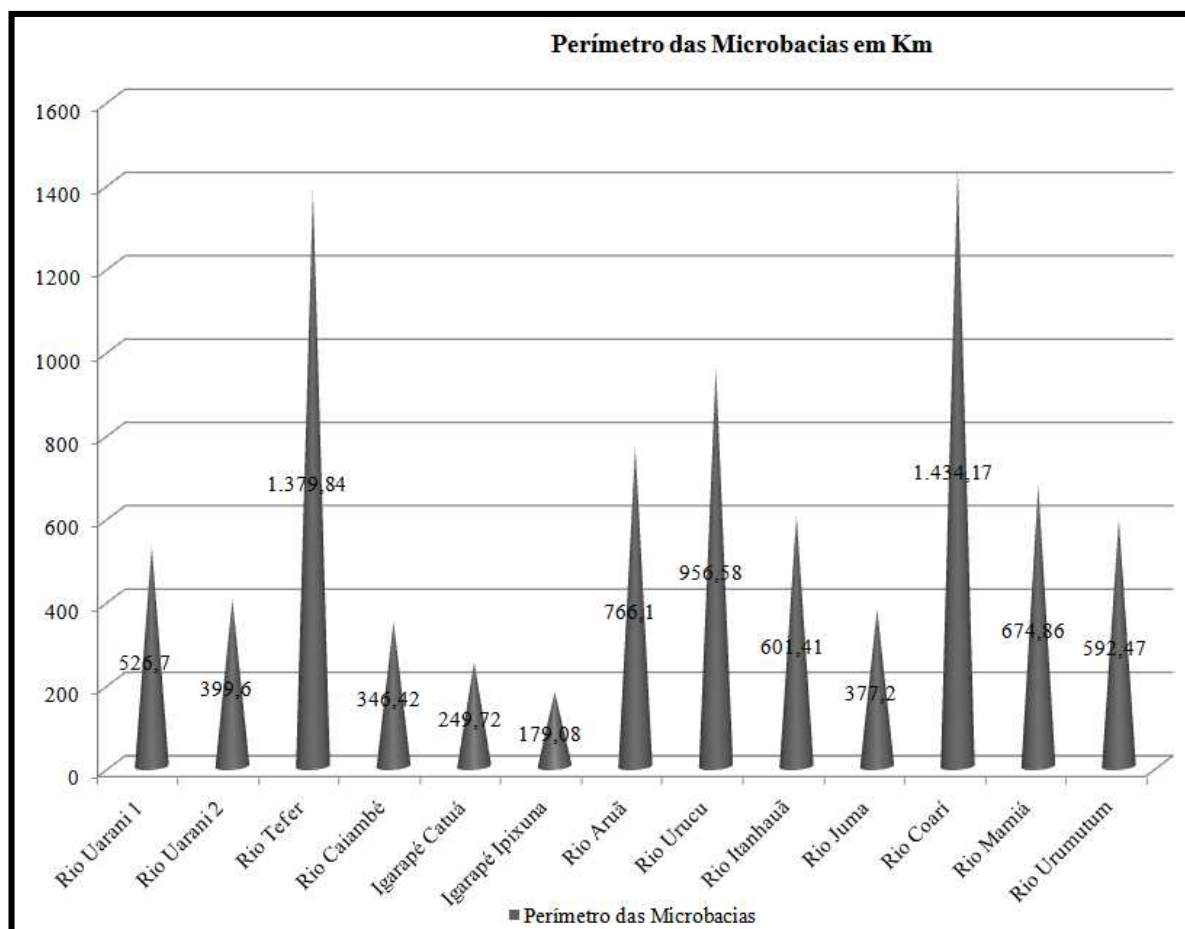


Gráfico 5 – Perímetro das microbacias hidrográficas da Região de Uruçu e Adjacências (AM).

O *Gráfico 6* demonstra as microbacias e suas respectivas densidades de canis de drenagem, as que possuem maior densidade são as do Rio Urumutum e Uarani.

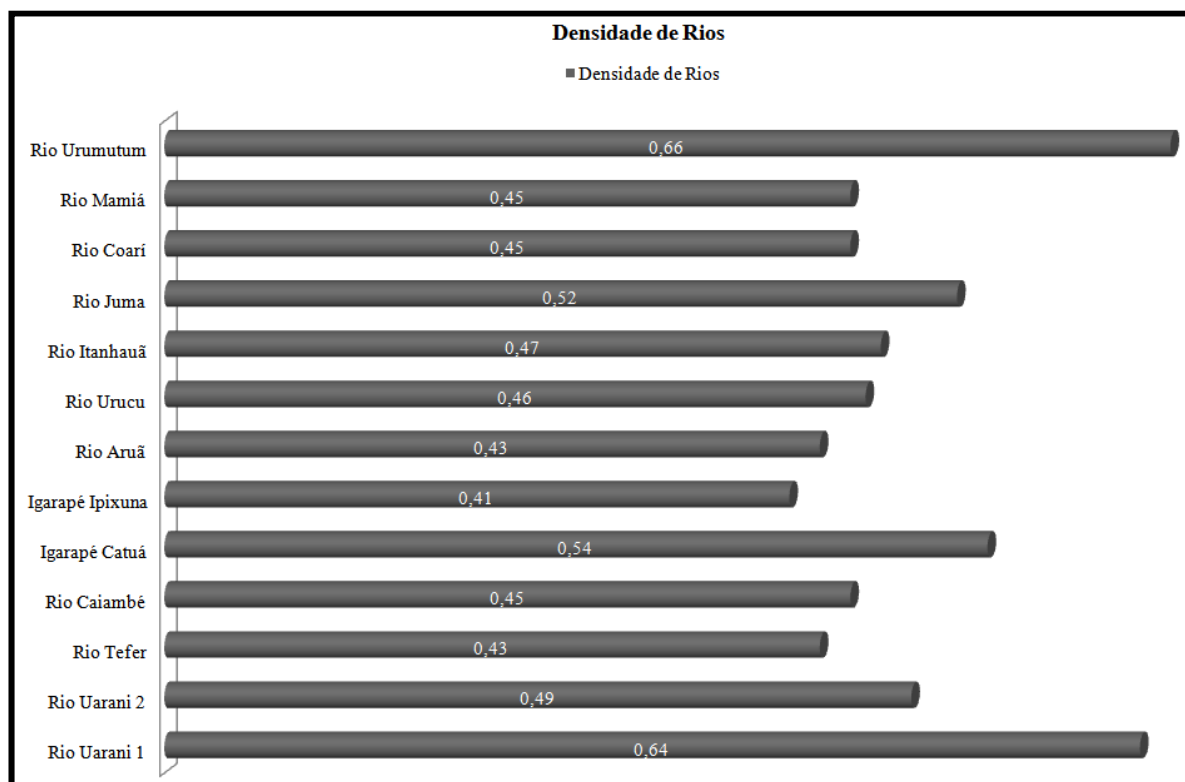


Gráfico 6 – Densidade de drenagem das microbacias hidrográficas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

22. CRIAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE)

Foram criados Modelos Digitais de Elevação das microbacias hidrográficas (bacias completas) (**Figura 37**) estudadas da área de trabalho assim como das principais calhas dos rios maiores. Seguindo com recorte dessas áreas com ArcGis 9.3 (ESRI) , exportação como formado DEM utilizando o Global Mapper 8.0 e criação dos MDTs utilizando o soft Surfer 8.0 (Golden Software, Inc).

Para o recorte das calhas e das bacias utilizou-se o ArcGis 9.3 (ESRI) através da ferramenta presente em *ArcToolBox>Spatial Analysis>Extraction>Extraction by mask*, selecionou-se o raster *Fill_con_16b1* (em *Input raster*) e a mascara correspondente a bacia, que deverá ser recortada (em *Input raster or feature mask data*) (**Figura 38**).

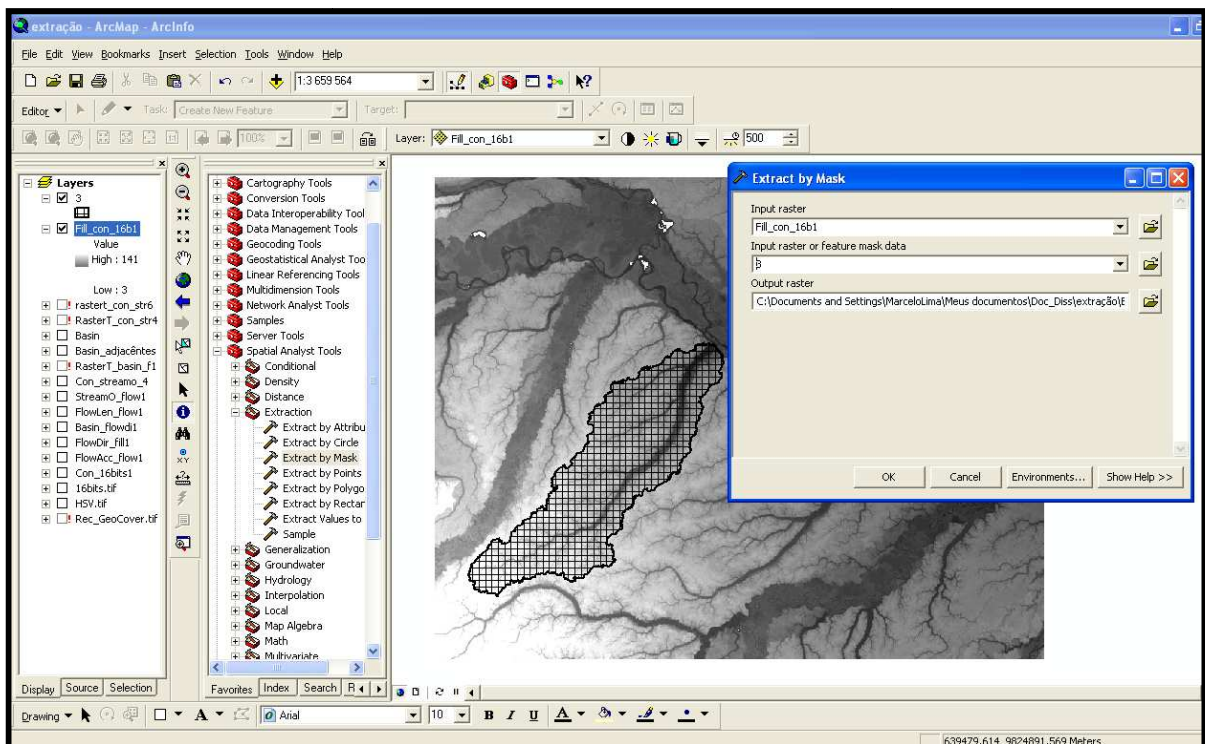


Figura 38 – Exemplo de recorte das bacias hidrográficas.

Para exportar a bacia recortada através do ArcGis 9.3 (ESRI), utilizou-se o Global Mapper 8.0 seguindo o caminho *File>Export Raster and Elevation Data>Export DEM* (Figura 39). O recorte e a exportação foram repetidos para as demais bacias e as calhas dos rios.

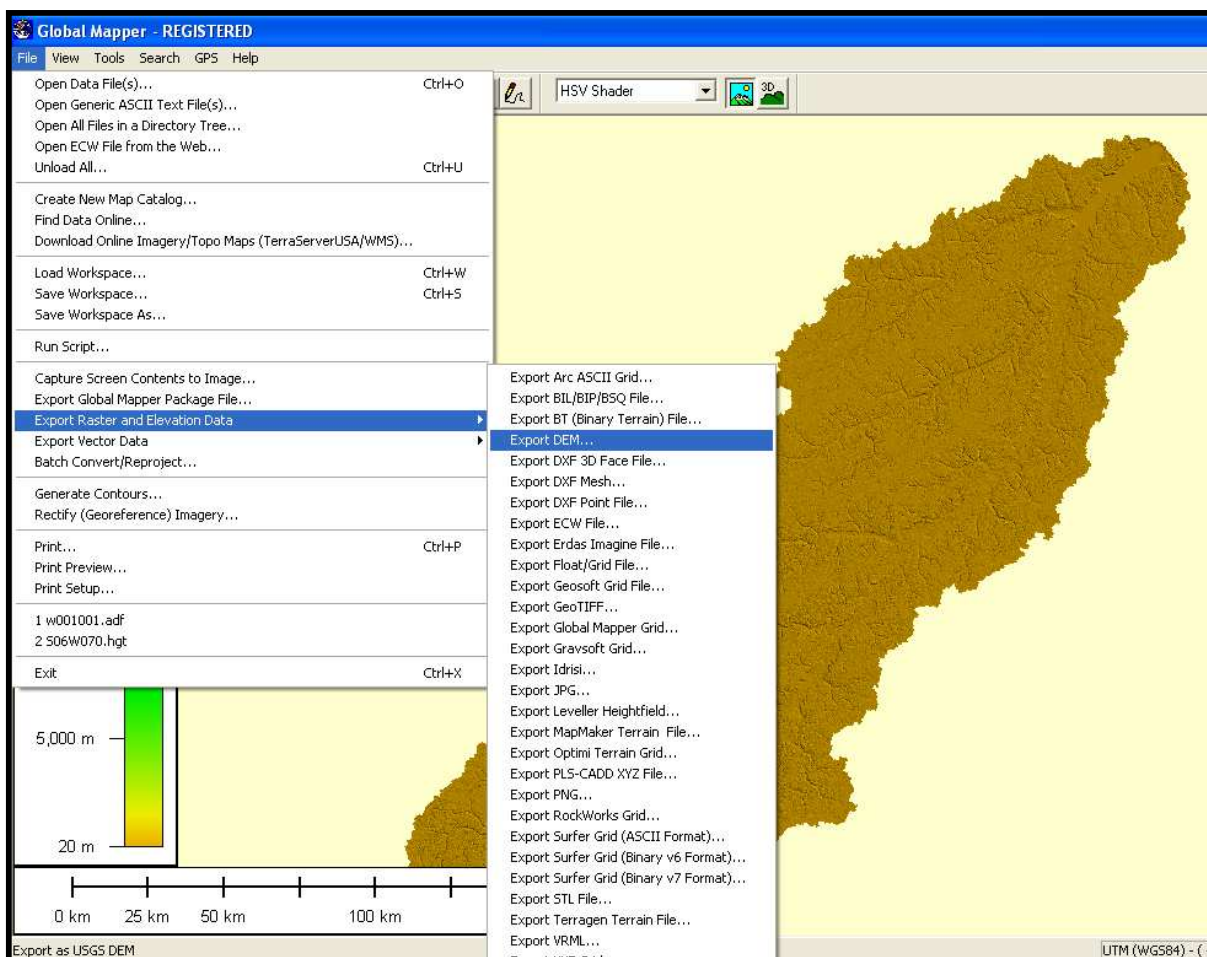



Figura 39 – Exemplo de exportação do recorte das bacias hidrográficas.

Utilizando o soft Surfer 8.0 (Golden Software, Inc) carregaram-se os arquivos em formato DEM (*Digital Elevation Model*), utilizando o ícone , para criar a visualização 3D nos Mapas (*Figura 40*).

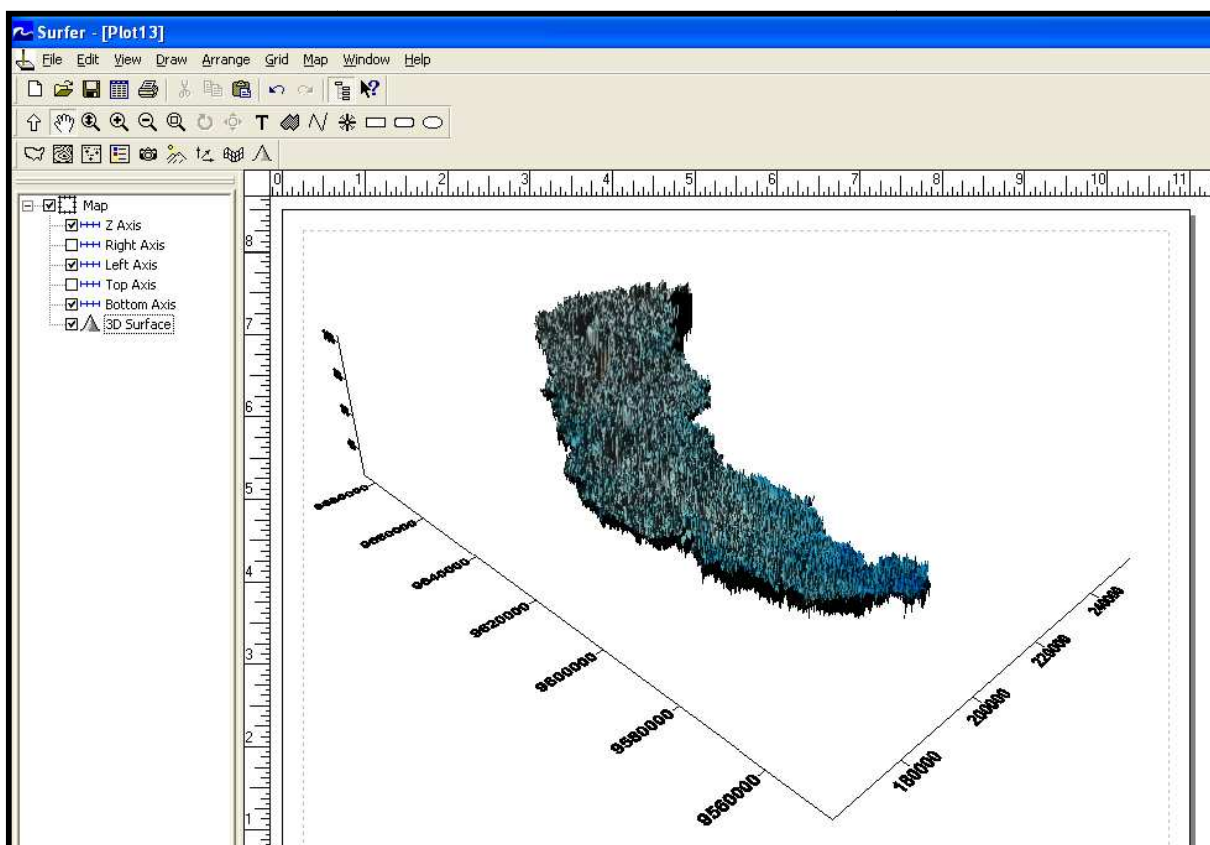


Figura 40 – Carregando o arquivo DEM (Digital Elevation Model), utilizando o Surfer 8.0.

Posicionando-se o cursor sobre a imagem, através do botão direito do *mouse*, seleciona-se *Properties* (*Figura 41*), desta maneira criamos o Mapa 3D, ajustando alguns parâmetros sintetizados na *Figura 42*.

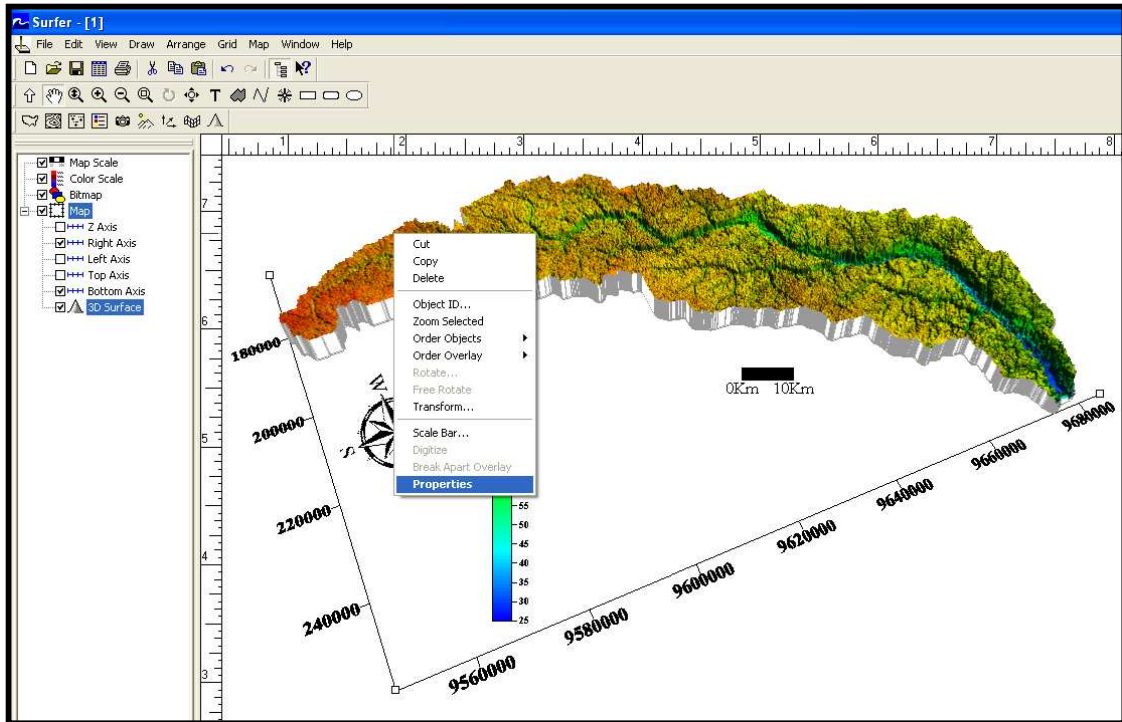


Figura 41 – Acesso a propriedades do Mapa 3D, utilizando o Surfer 8.0.

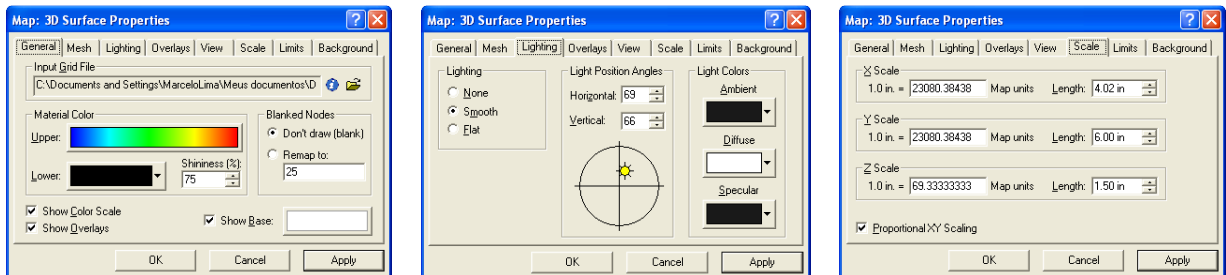


Figura 42 – Principais parâmetros do Mapa 3D ajustados, utilizando o Surfer 8.0.

23. MODELOS 3D DAS CALHAS DOS PRINCIPAIS RIOS

Foram criados modelos 3D das principais calhas dos rios (*Figura 43*). A partir dos modelos 3D das calhas (Rio Solimões Oeste, Rio Solimões Leste, Rio Juruá e Rio Purus) foi possível constatar a morfologia dessas calhas, assim como a elevação das mesmas possibilitando melhor análise das estruturas neotectônicas que controlam a paisagem atual.

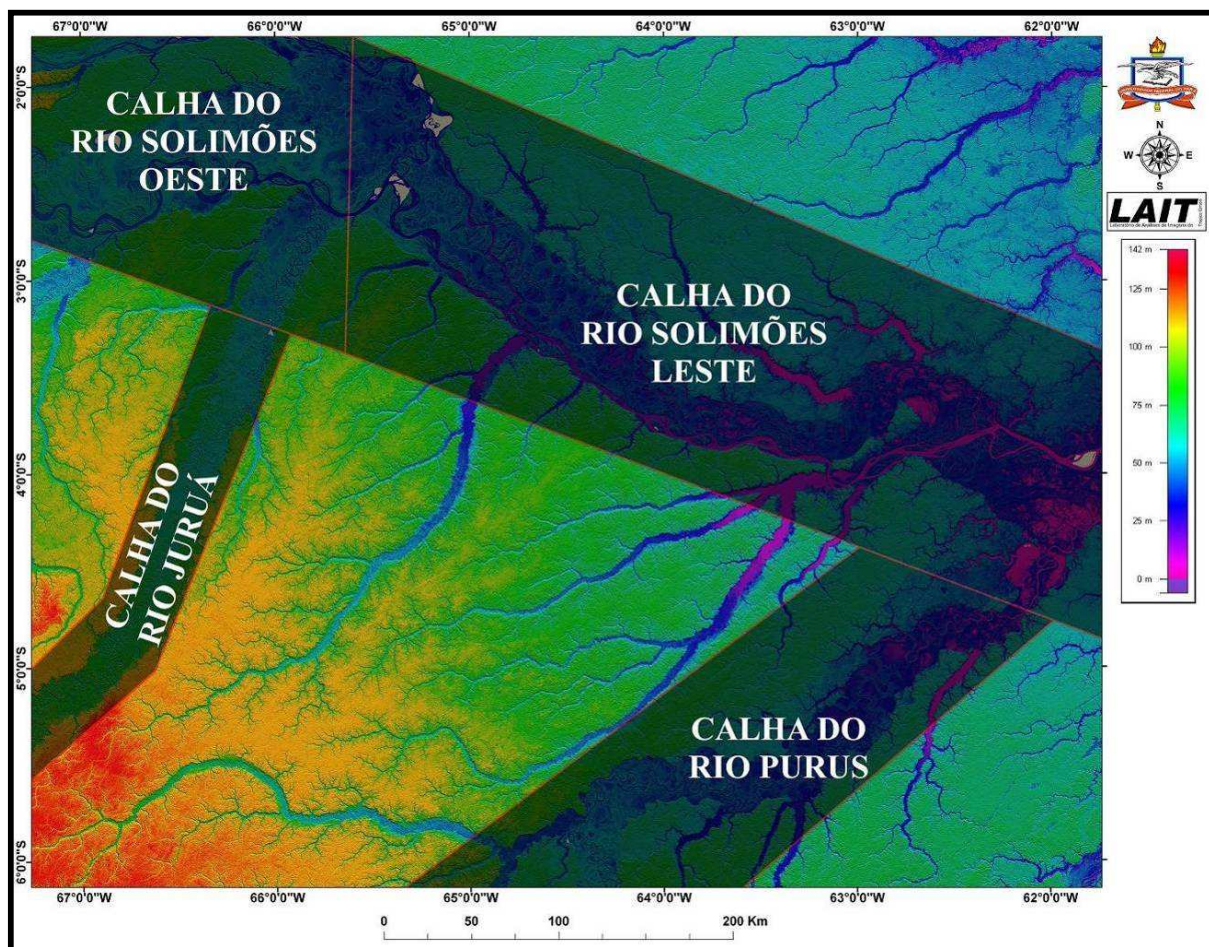


Figura 43 – Mapa com a localização da divisão das calhas dos rios principais da Região de Urucu e Adjacências (AM) que foram criados os Modelos Digitais de Elevação.

Na Calha do Rio Solimões Oeste foi possível observar claramente a migração dos canais meandранtes dos rio Solimões para sul e os de Juruá para leste, assim como observar a grande extensão de planícies de inundações assim como terraços e paleoterraços das áreas marginais ao rio Solimões, serviu de base para outras análises como as interpretações das estruturas neotectônicas que controlam a morfologia da paisagem (*Figura 44*).

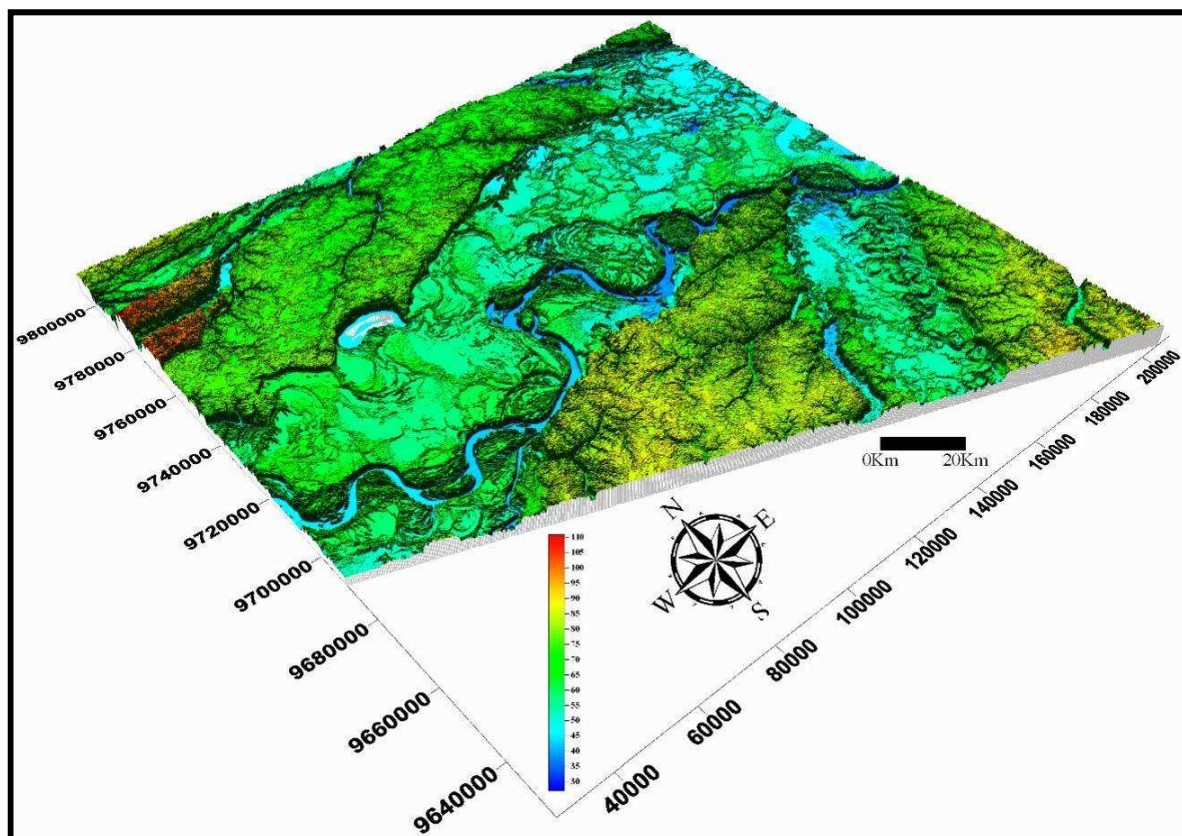


Figura 44 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) da Calha do Rio Solimões Oeste da Região de Urucu e Adjacências (AM).

No modelo de elevação da Calha do Rio Juruá, observam-se a grande densidade de canais meandранtes do rio assim como sua grande extensão de planícies de inundações e também a grande retilineariedade das margens do canal do rio (*Figura 45*).

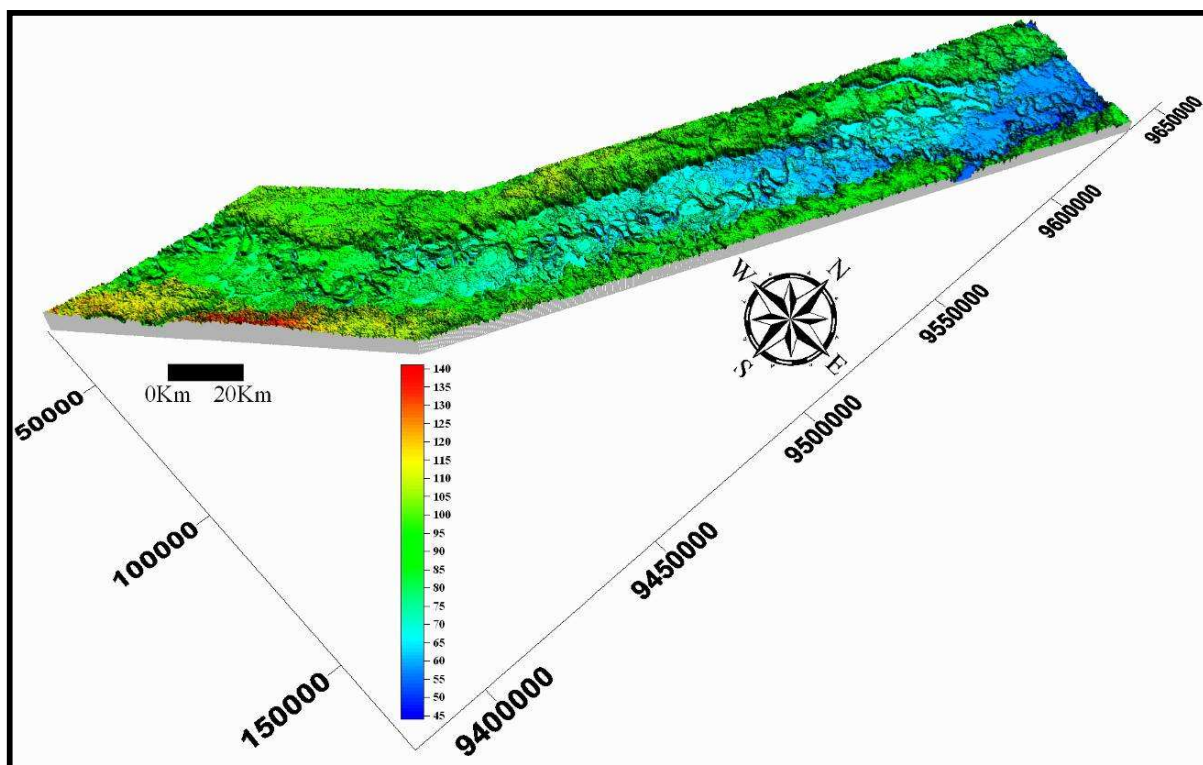


Figura 45 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) da Calha do Rio Juruá da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A Calha do rio Solimões Leste mostra a grande quantidade de rede de drenagens meandranteras e entrelaçadas, assim como a barragem de alguns rios como Coari, Tefer, Urucu, Aruã, Uarani entre outros, também observam-se a migração dos canis de drenagem do rio Solimões para sul e suldoeste e grande extensão da planície de inundação do Solimões assim como terraços na região norte do modelo de elevação, o mesmo está relacionado com as estruturas neotectônicas da região que modelam a paisagem atual (*Figura 46*).

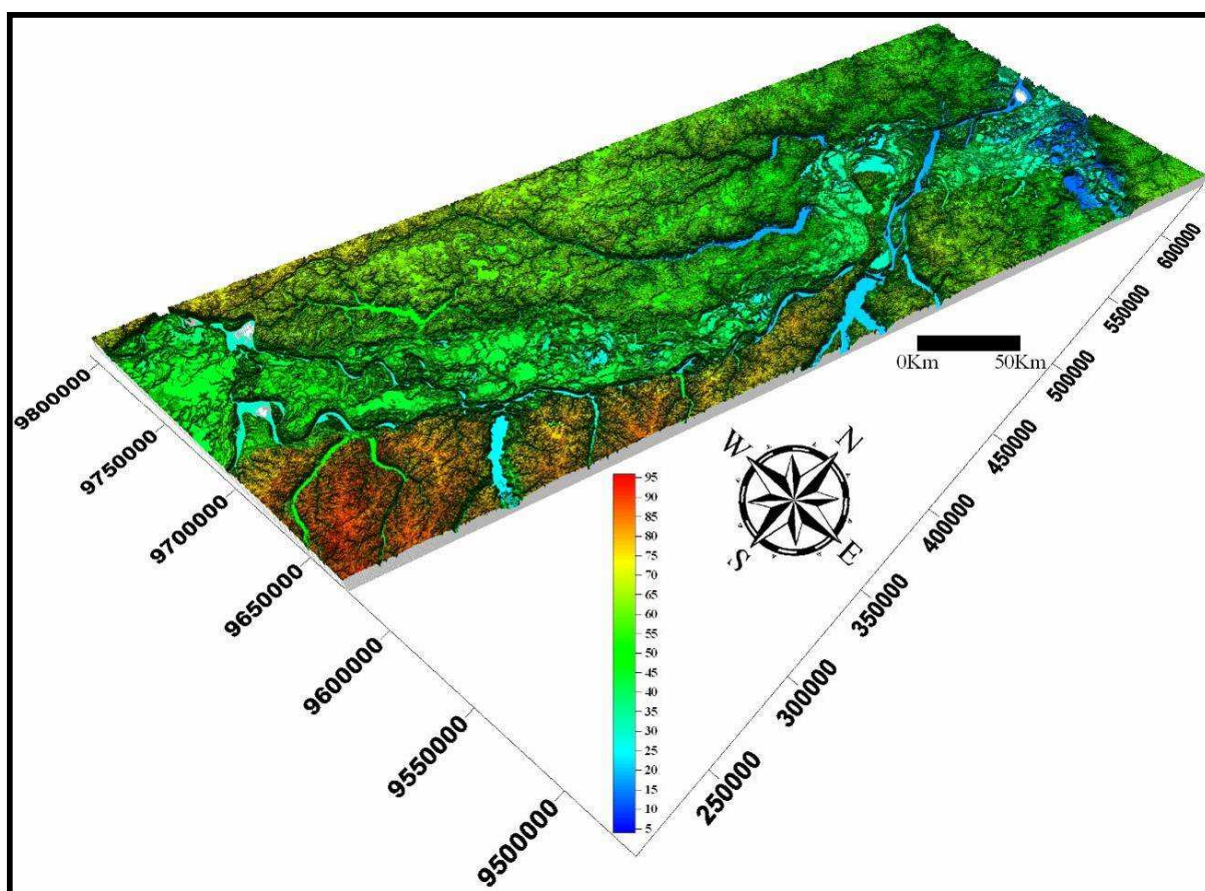


Figura 46 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) da Calha do Rio Solimões Leste da Região de Urucu e Adjacências (AM).

O modelo de elevação da calha do rio Purus mostra extensas planícies de inundações assim como terraços e paleoterraços dos canais meandранtes e entrelaçados (*Figura 47*).

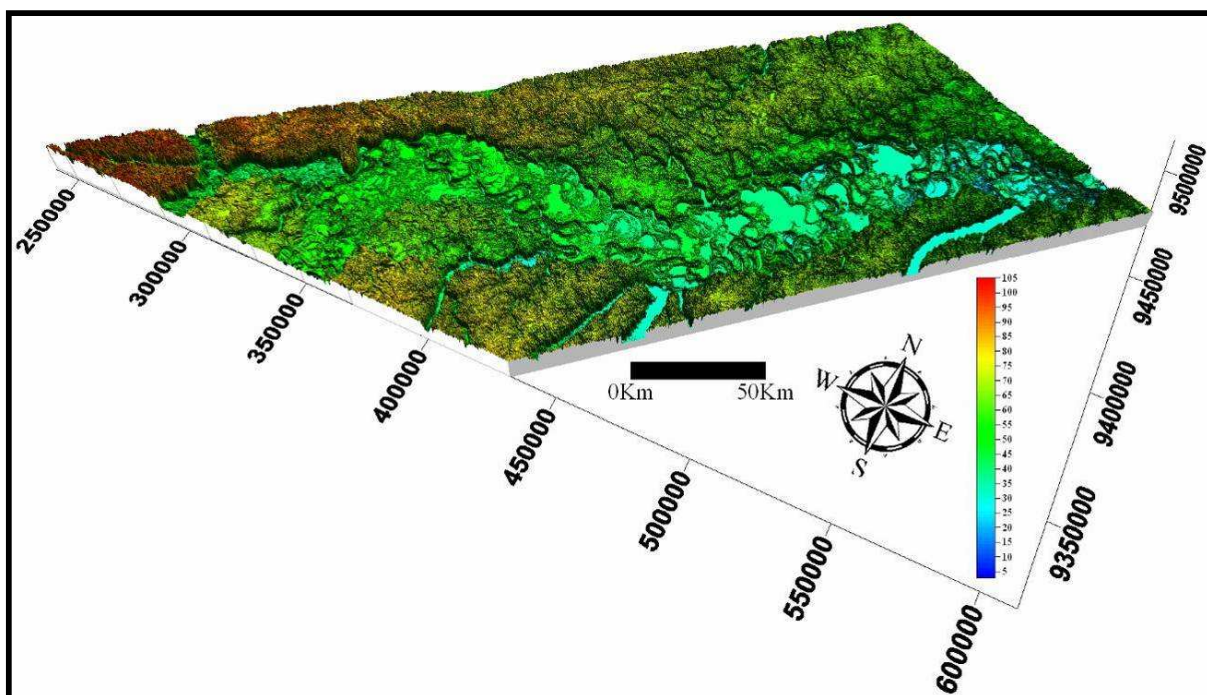


Figura 47 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) da Calha do Rio Purus da Região de Urucu e Adjacências (AM).

24. MODELOS 3D DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS

Foram criados modelos 3D de todas as microbacias hidrográficas, deste modo foi possível constatar a morfologia das mesmas, assim como suas elevações, possibilitando melhor análise das estruturas neotectônicas que controlam a paisagem atual. (*Figuras 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61 e 62*).

Com o modelo digital de elevação da Calha do Rio Uarani 1 foi possível observar melhor o destaque dos canais retilíneos de direções N-S e NNE-SSW que são controlados por estruturas de natureza extensiva e também a evidência da barragem do rio principal por estruturas de mesma natureza que controlam a calha do rio Solimões (*Figura 48*).

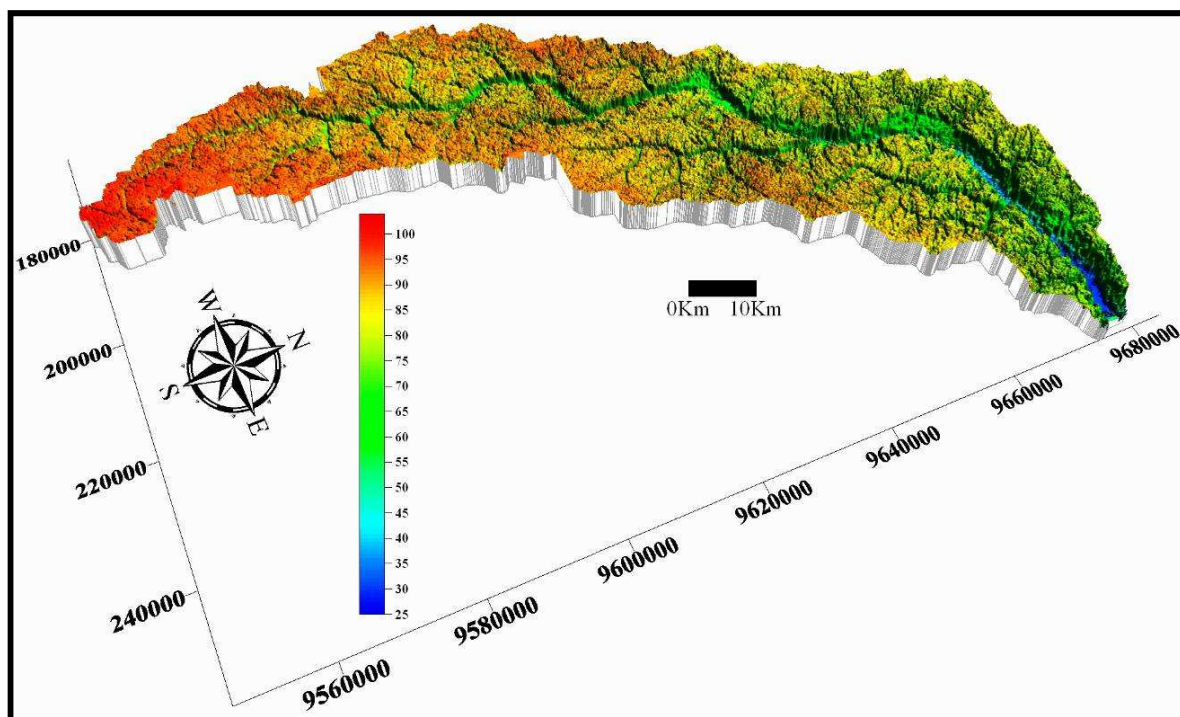


Figura 48 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Uarani 1, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Na Calha do Rio Uarani 2 foi possível observar um exemplo de captura de rio e também forte controle estrutural do rio principal por estruturas NE-SW de natureza compressiva, assim como drenagens que segue a orientação NW-SE e NNW-SSE de natureza extensiva, além de evidenciar a barragem do rio principal por estruturas de mesma natureza que controlam a calha do rio Solimões (*Figura 49*).

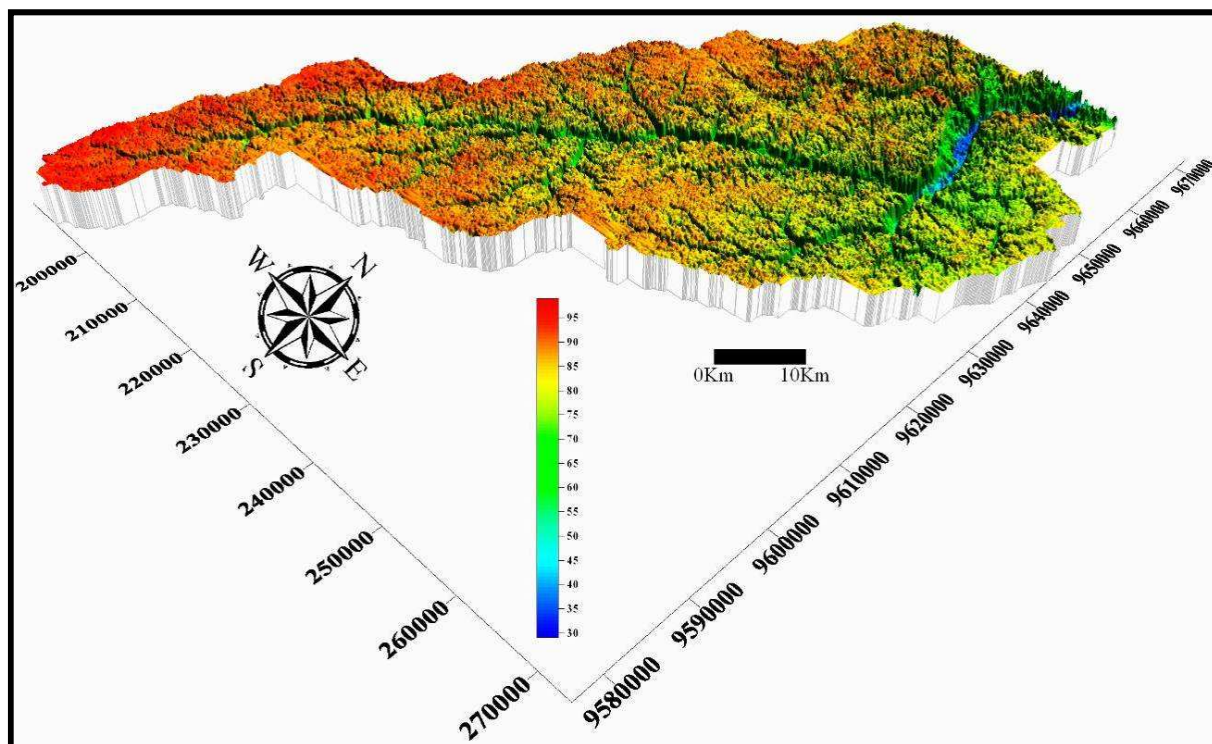


Figura 49 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Uarani 2, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Com o modelo digital de elevação do Rio Tefer possibilitou a observação de um forte controle estrutural, de direção NE-SW, do rio principal assim como os tributários a oeste do rio principal, de possível natureza compressiva. A barragem do rio Tefer está associada a estruturas que controlam a calha do Rio Solimões (*Figura 50*).

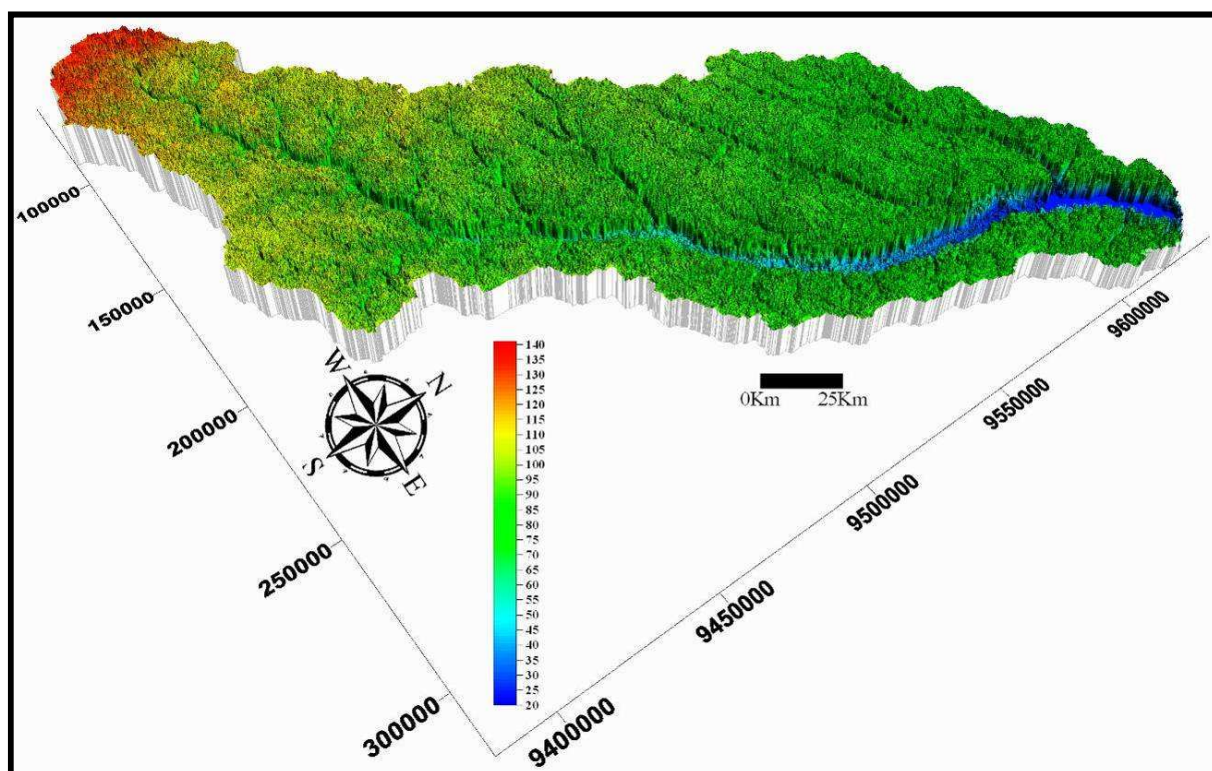


Figura 50 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Tefer, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A drenagem principal do Rio Caiambé segue a mesma estruturação do Rio Tefer, porém apresentam algumas seus tributários orientados por estruturas NW-SE e NNW-SSE provavelmente de natureza extensional (*Figura 51*).

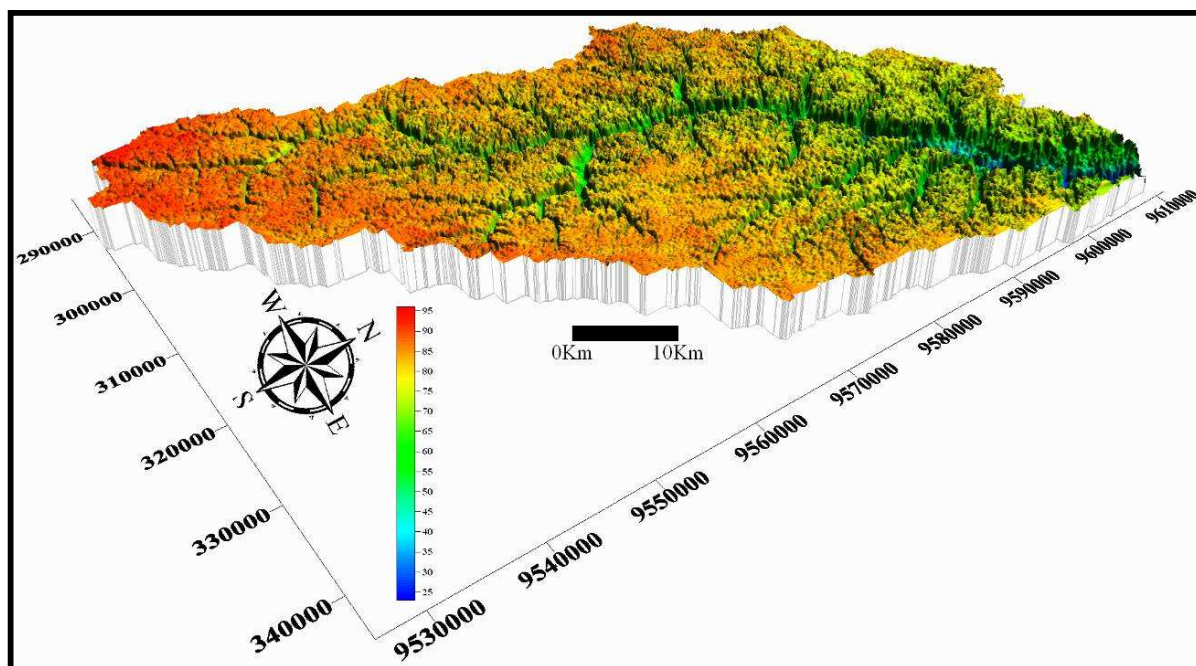


Figura 51 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Caiambé, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

O modelo digital de elevação da microbacia do Igarapé Catauá foi possível observar que apresenta uma estruturação da rede de drenagem na direção NE-SW possivelmente associada a regimes compressivos, porém um tributário maior no lado oeste da microbacia apresenta direção SSE-NNW possivelmente associados a transcorrências dextrais, pois estruturas com direções subhorizontais são as únicas estruturas realmente neoformadas devido a rotação da placa sulamericana para oeste (*Figura 52*).

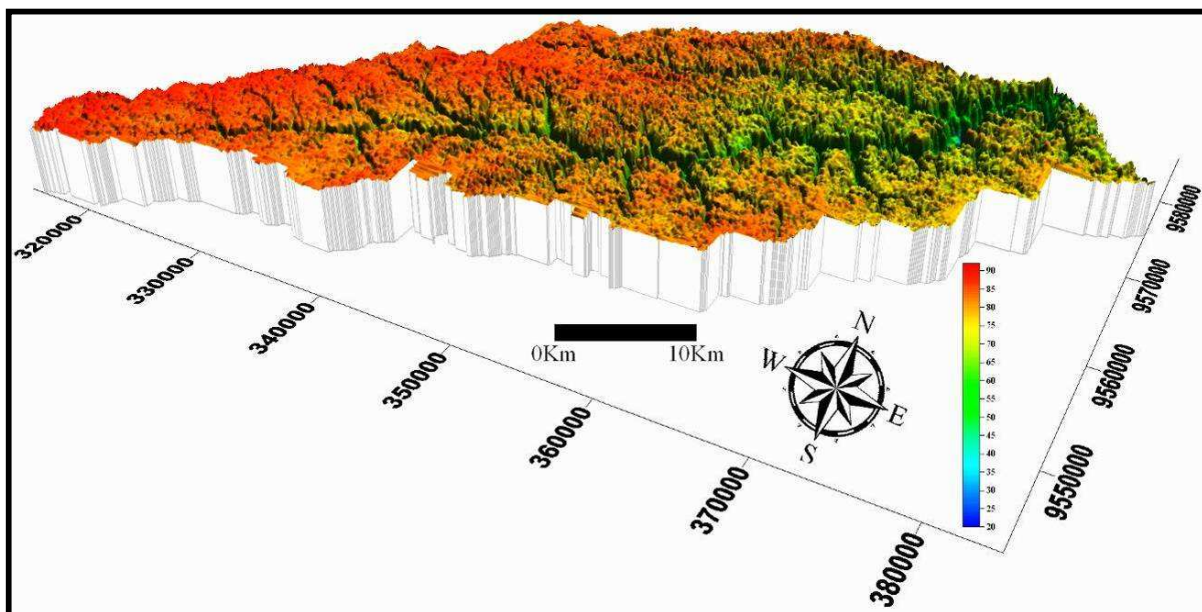


Figura 52 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Igarapé Catuá, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Na microbacia do Igarapé Ipixuna apresenta orientação do rio principal NE-SW, possivelmente associado a estruturas neotectônicas compressivas (*Figura 53*).

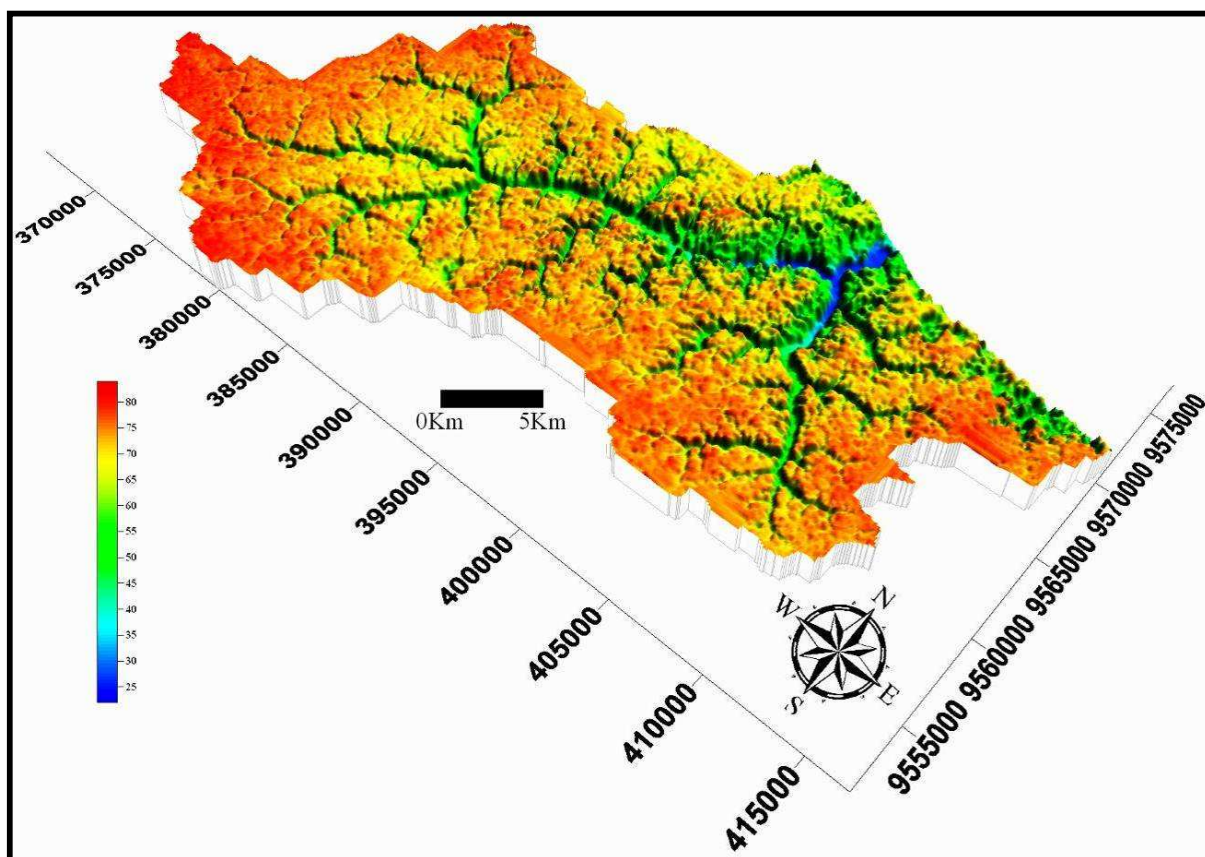


Figura 53 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Igarapé Ipixuna, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A microbacia do Rio Aruã forte alinhamento da drenagem principal com direção NE-SW, possivelmente associado a regimes compressivos, também verificam-se a orientação de algumas drenagens tributárias que apresentam direção NW-SW, provavelmente relacionadas a regimes extensivos (*Figura 54*).

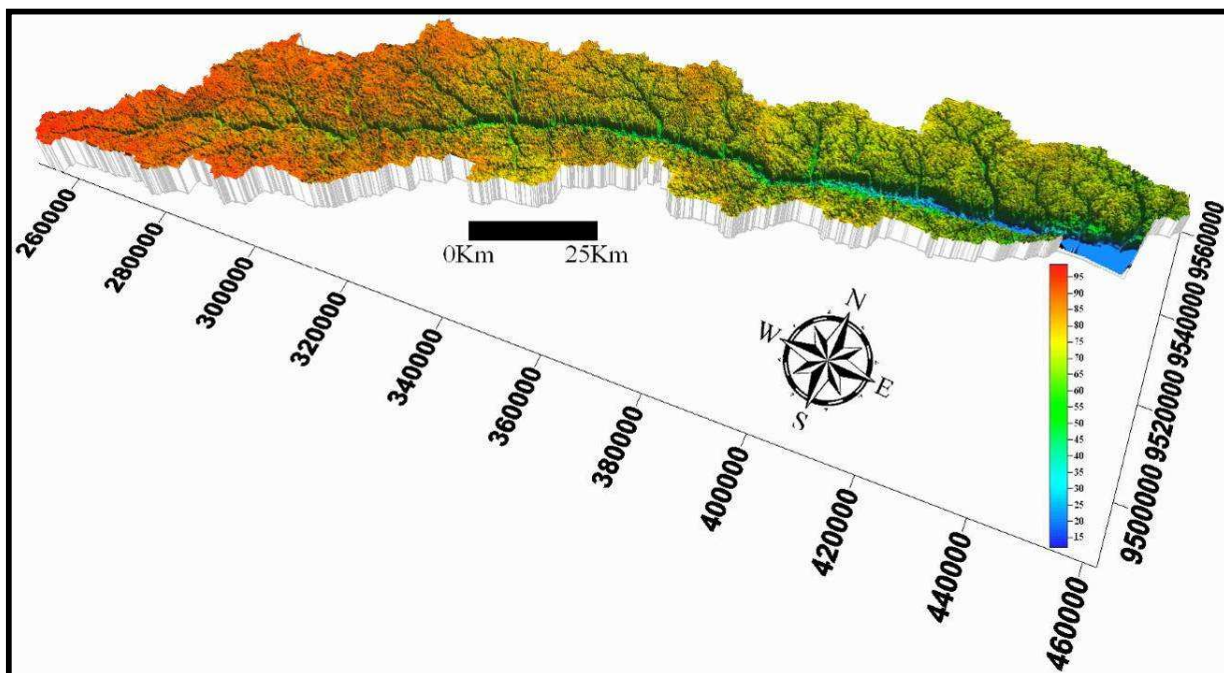


Figura 54 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Aruã, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

O Modelo Digital de Elevação da microbacia do Rio Urucu demonstrou que a drenagem principal apresenta uma orientação NE-SW, sendo que alguns dos trechos dos rios tributários apresentam-se paralelos ao rio principal, a orientação dos mesmos está relacionada a regimes compressivos, também a montante da drenagem principal é observado uma forte inflexão e orientação NW-SE dos tributários, os mesmo podem está associados a sistemas extensivos (*Figura 55*).

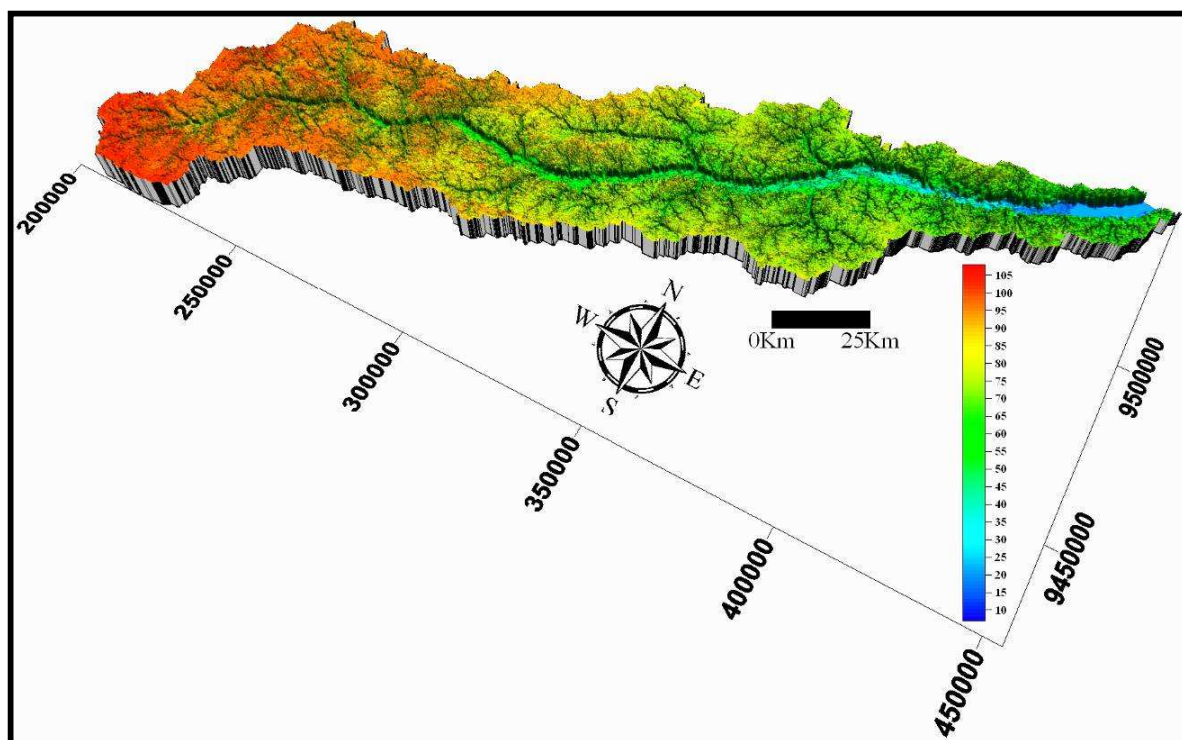


Figura 55 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Urucu, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A microbacia do Rio Itanhauã apresenta o rio principal com orientações NE-SW associadas a ENE-WSW, possivelmente controlados por estruturas neotectônicas de regime compressivo, porém apresenta também drenagens alinhadas com direções NW-SE possivelmente associadas as estruturas extensivas. Mas também existem drenagens menores que apresentam orientação ENE-WSW que se associam a estruturas neotectônicas transcorrentes (*Figura 56*).

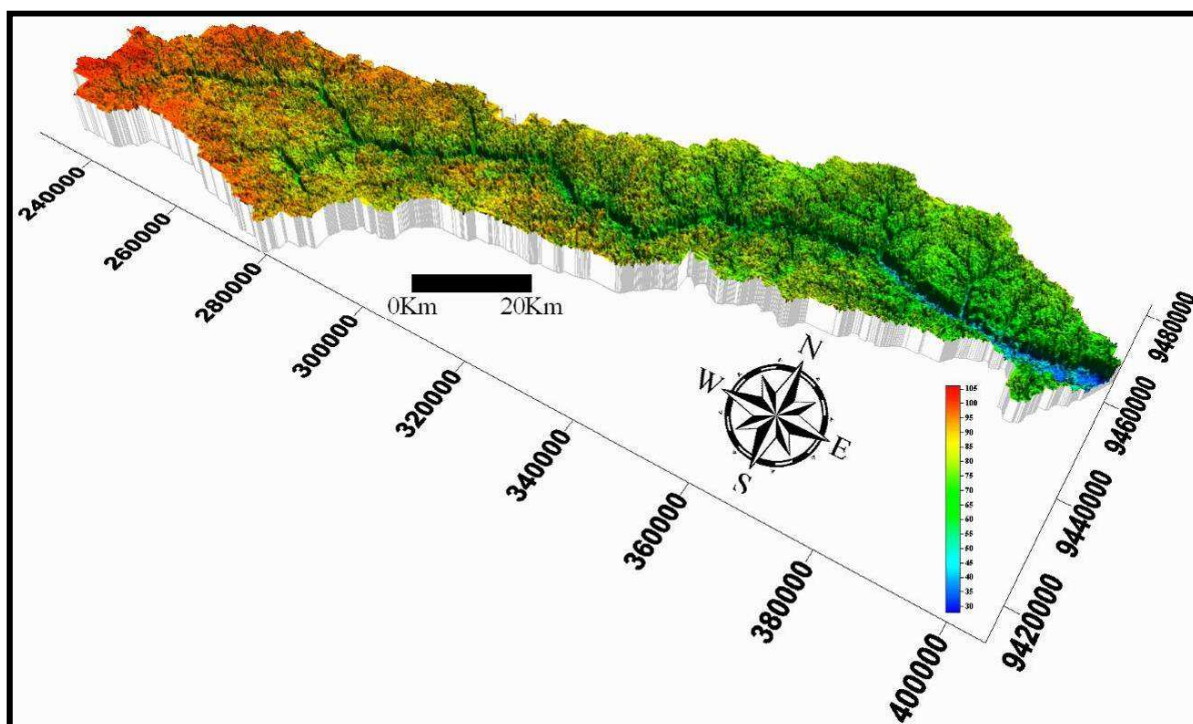


Figura 56 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Itanhauã, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

O Modelo de Digital de Elevação microbacia do Rio Juma observa-se que o rio principal com orientações NE-SW associadas à ENE-WSW, possivelmente controlados por estruturas neotectônicas de regime compressivo, no entanto também apresenta algumas drenagens alinhadas com direções NW-SE e NNW-SSE possivelmente associadas as estruturas extensivas. Mas também existem drenagens menores que apresentam orientação ENE-WSW que se associam a estruturas neotectônicas transcorrentes (*Figura 57*).

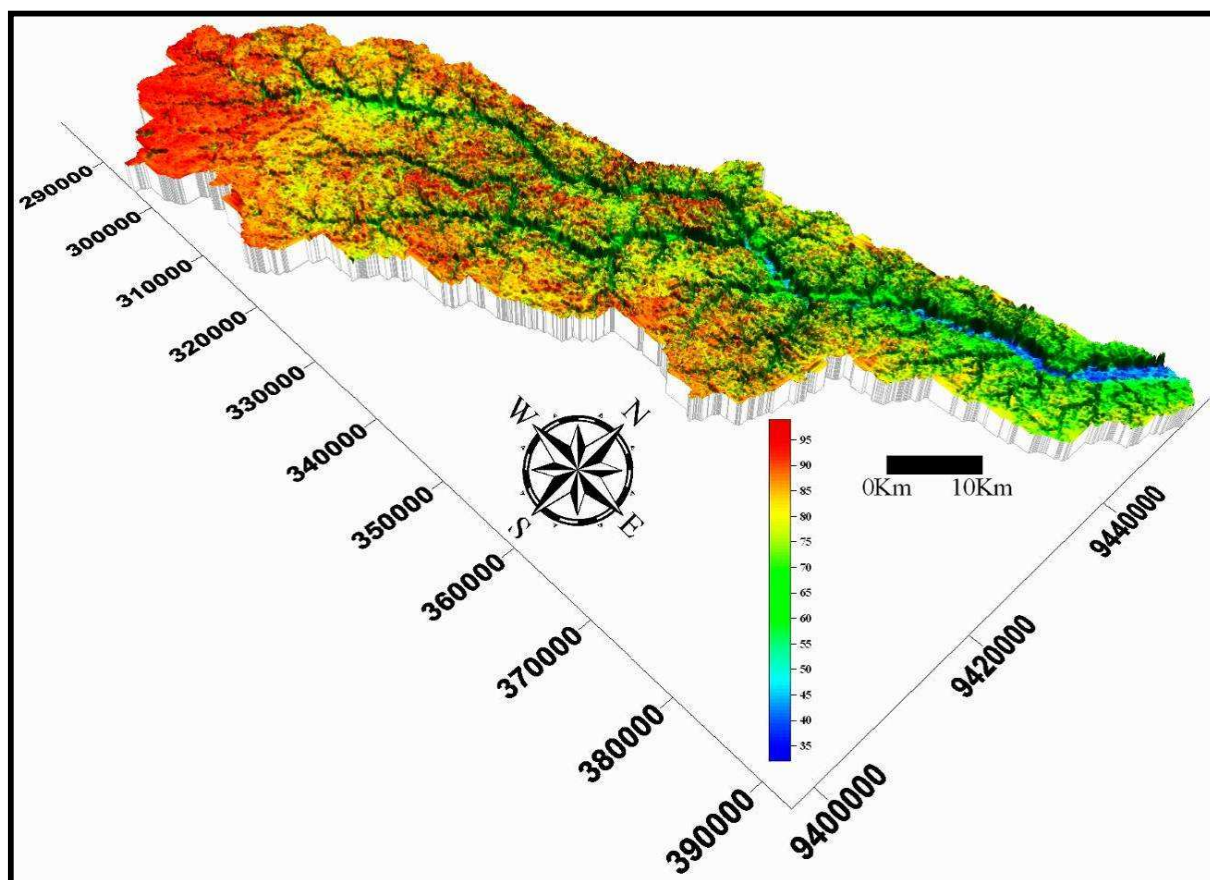


Figura 57 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Juma, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A microbacia do Rio Coarí apresenta o rio principal com orientações NE-SW associadas a ENE-WSW, possivelmente controlados por estruturas neotectônicas de regime compressivo, observam-se também uma forte inflexão a montante do rio principal caracterizando uma anomalia de drenagem em cotovelo, também observam-se rios tributários alinhada com direção NW-SE possivelmente associadas as estruturas extensivas. A barragem natural da microbacia está associada a estruturas neotectônicas extensivas que controlam a calha do Rio Solimões (*Figura 58*).

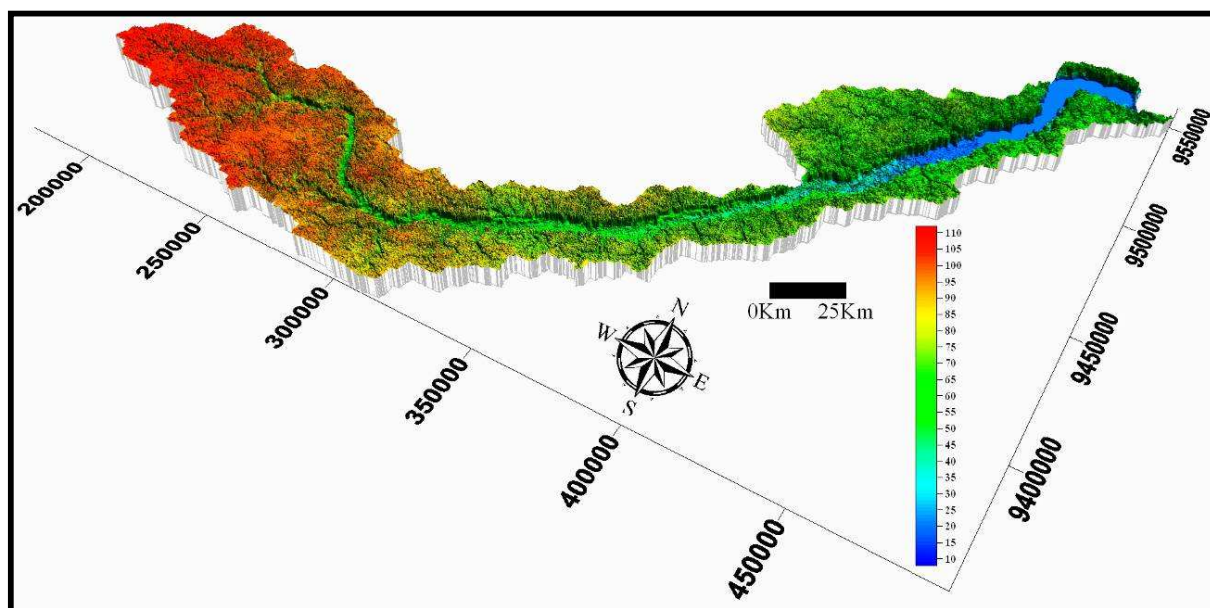


Figura 58 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Coari, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Com o Modelo Digital de Elevação da microbacia de drenagem do Rio Mamiá possibilitou a observação dos terraços e paleoterraços (noroeste da microbacia) os mesmos são controlados por estruturas com orientação ENE-WSW, provavelmente associadas as regimes transcorrentes, assim como a disposição das drenagens que seguem uma orientação NW-SE e NNW-SSE, associadas possivelmente com estruturas neotectônicas extensivas (*Figura 59*).

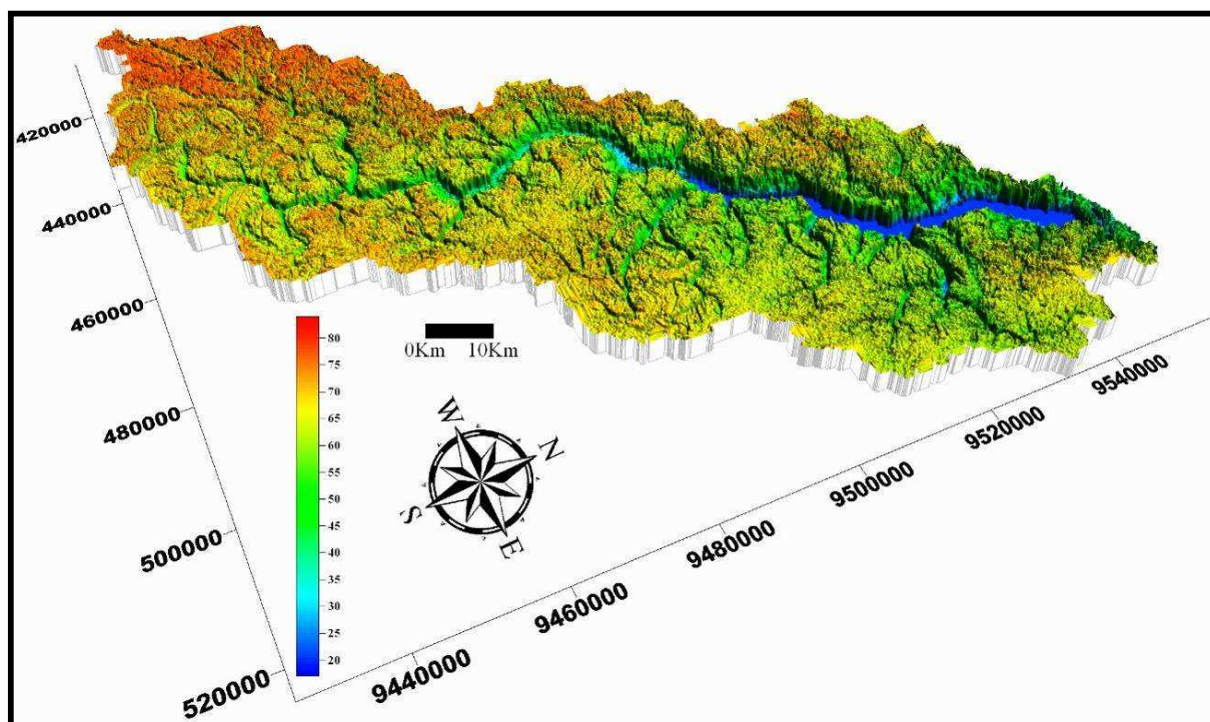


Figura 59 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Mamiá, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

Com o Modelo Digital de Elevação da microbacia de drenagem do Rio Urumutum foi possível dicriminar terraços e paleoterraços (noroeste da microbacia), os mesmos são controlados por estruturas com orientação ENE-WSW, provavelmente associadas as regimes transcorrentes, assim como a disposição das drenagens que seguem uma orientação NW-SE e NNW-SSE, associadas possivelmente com estruturas neotectônicas extensivas (*Figura 60*).

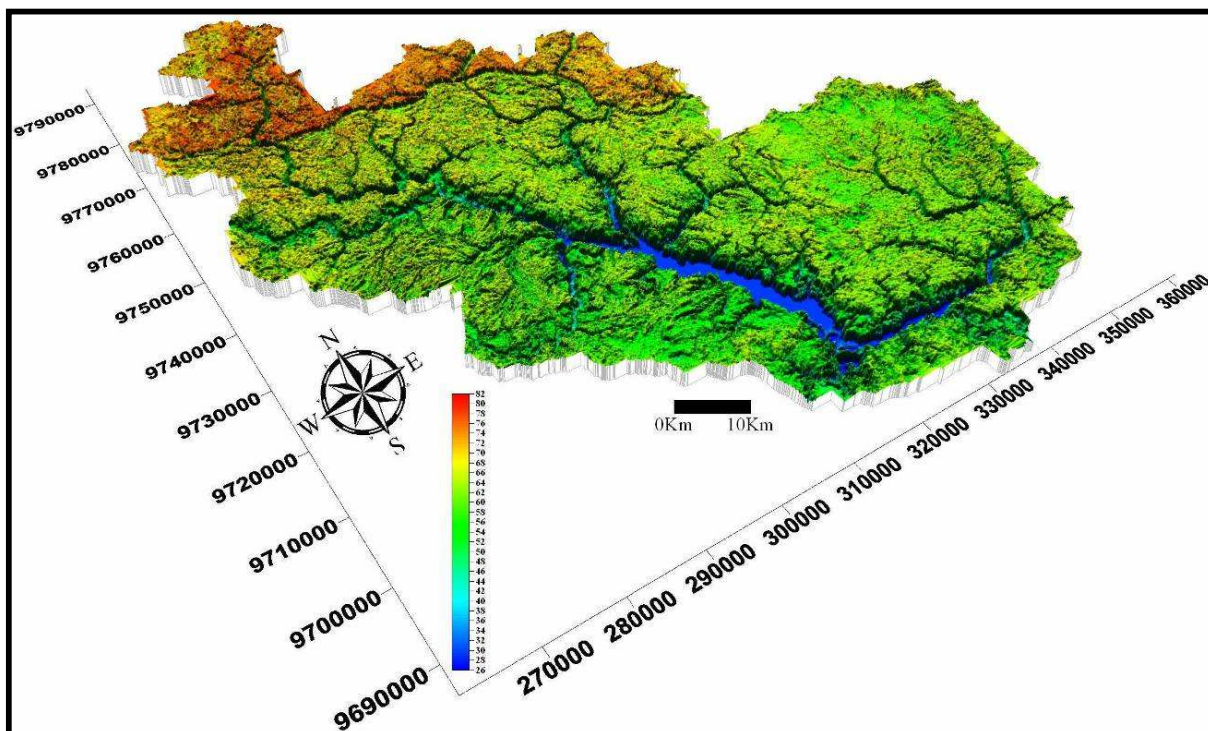


Figura 60 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Urumutum, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

A microbacia de drenagem do Rio Piorini foi possível observar os terraços e paleoterraços (noroeste da microbacia) os mesmos são controlados por estruturas com orientação ENE-WSW, provavelmente associadas as regimes transcorrentes, a drenagem principal segue a orientação NW-SE e NNW-SSE, associadas possivelmente a estruturas neotectônicas extensivas. A barragem da microbacia está associada a estruturas extensivas que controlam a calha do Rio Solimões (*Figura 61*).

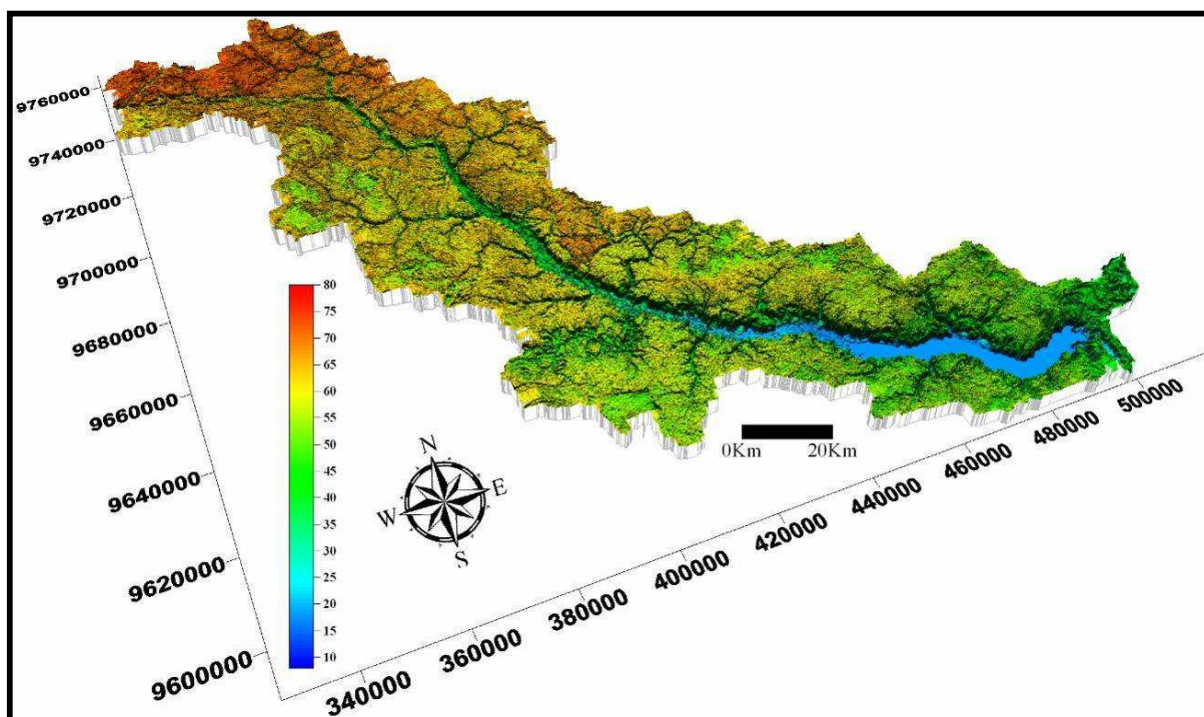


Figura 61 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Piorini, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

O Modelo Digital de Elevação da microbacia de drenagem do Rio Patajós permitiu a visualização da drenagem principal que segue a orientação NW-SE e NNW-SSE, associadas possivelmente a estruturas neotectônicas extensivas. Também ajustante do rio principal foi possível identificar uma anomalia de drenagem do tipo captura de rio que desloca o rio principal. A barragem da microbacia está associada a estruturas extensivas que controlam a calha do Rio Solimões (*Figura 62*).

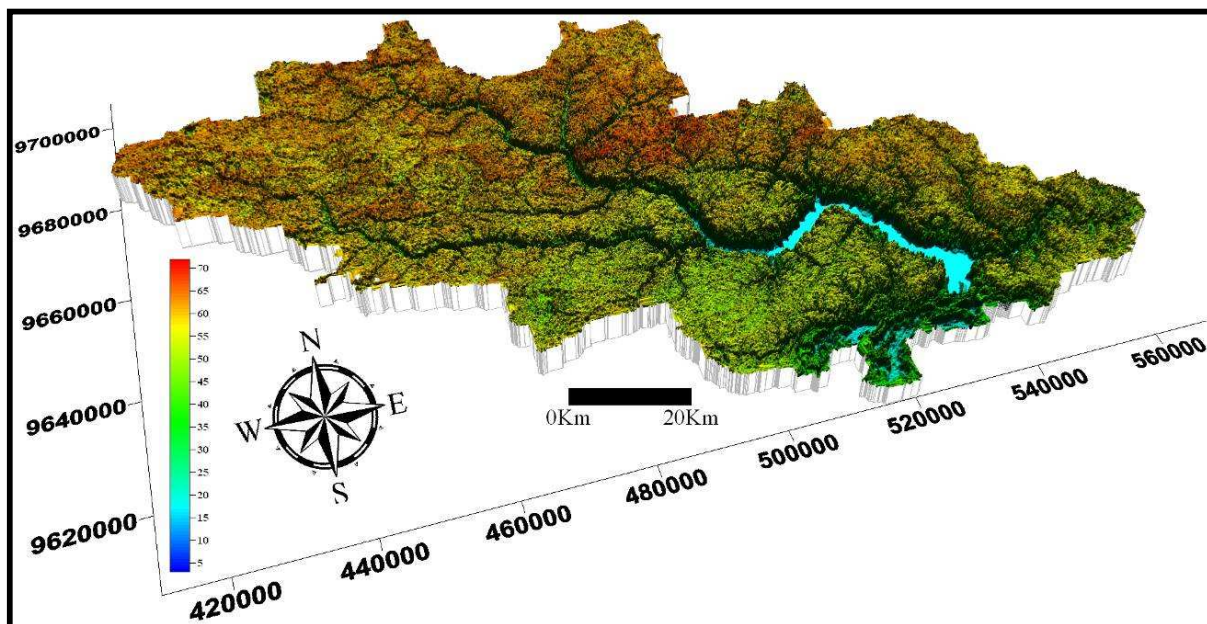


Figura 62 – Mapa com o modelo 3D (exagero vertical de 5X) do Rio Padajós, da Região de Urucu e Adjacências (AM).

25. ANÁLISE DOS LINEAMENTOS OBTIDOS COM OS SENSORES SRTM

Os lineamentos foram obtidos a partir de observações diretas da morfologia e da drenagem, seguindo a metodologia sugerida por Freitas, Rostirolla e Ferreira (2006), Martins (2007), Martins *et al.* (2007) e Silva (2005), pois esses lineamentos estão condicionados pelas estruturas geológicas (Christofolletti, 1980).

A extração dos seguimentos retilíneos de drenagem assim como de relevo possibilitou a individualização de lineamentos de drenagens (**Figura 63**) e análise da continuidade das estruturas (**Figura 64**), que correspondem a estruturas neotectônicas (**Figura 65**). Assim como sua associação com o controle neotectônico das Bacias Hidrográficas da Região de Urucu e Adjacência (**Figura 66**).

As estruturas neotectônicas foram separadas em 2 conjuntos de descontinuidades: (i) Um primeiro conjunto de falhas orientadas a E-W e ENE-WSW, Segundo Costa *et al.* (1996) podem está associadas a estruturas transcorrentes dextrais, estas se associam outras falhas NNE-SSW entendidas como “*splays*”, as quais conjuntamente compõe geometrias semelhantes a duplexes direcionais transpressivos. As falhas NE-SW parecem corresponder a uma partição do *strain* neste quadro de transpressão inicial. (ii) Um segundo conjunto de estruturas reuniu feixes de falhas orientadas a NNW-SSE e NW-SE, as quais parecem associar-se a falhas normais (transtensivas) no contexto da rotação dextral da Placa Sul Americana e sua deriva para oeste (HASUI, 1990). As microbacias são contraladas por essas estruturas, percebe-se que as bacias ao norte da área de trabalho estão sendo contraladas principalmente por estruturas NW-SE enquanto que as bacias ao sul seguem a orientação das estruturas NE-SW, logo podemos dizer que as podemos separá-las em compartimentos extensivos e compressivos, respectivamente, no setor norte e no setor sul.

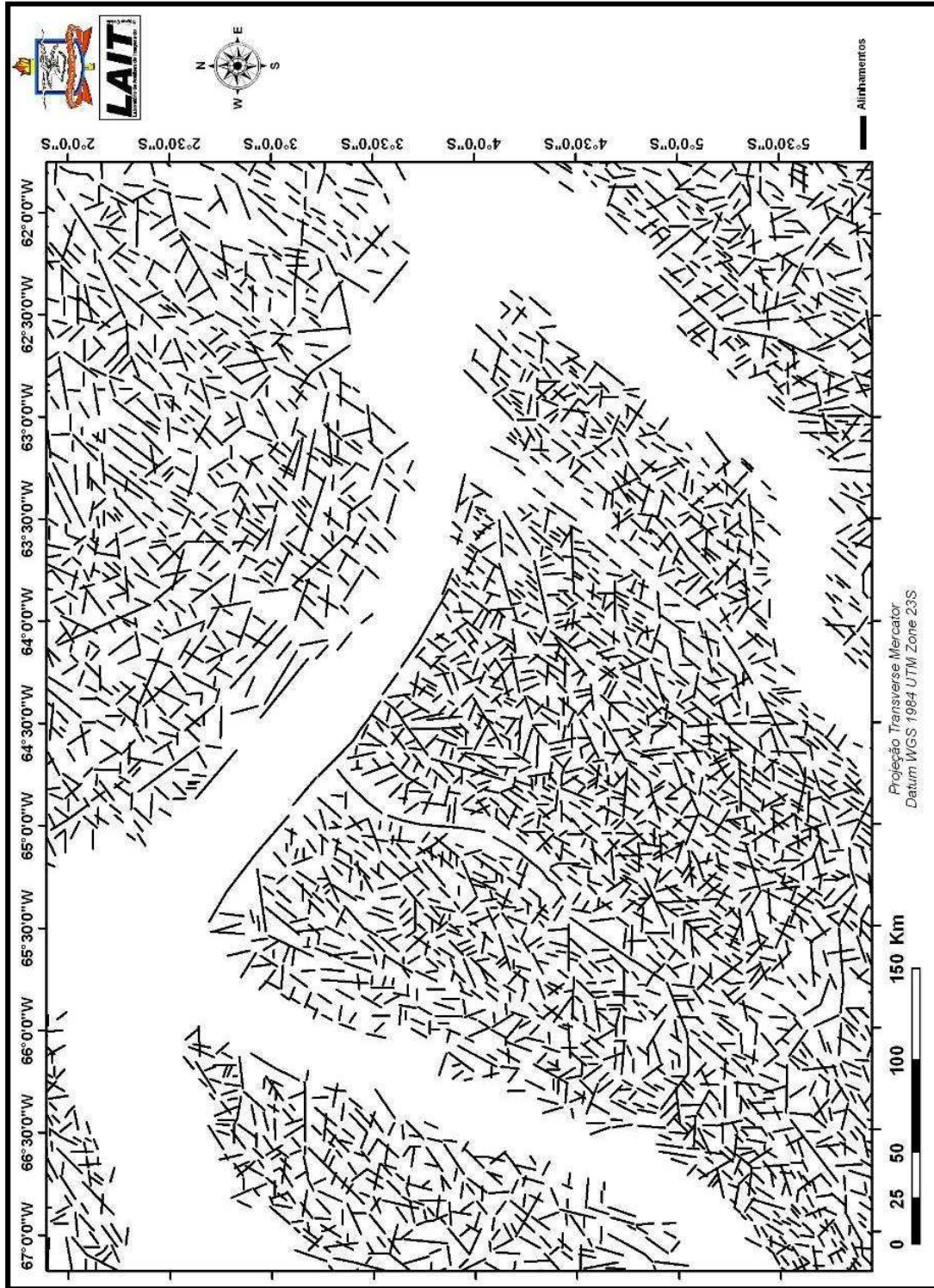


Figura 63 – Mapa com os lineamentos estruturas extraído a partir da rede de drenagem.

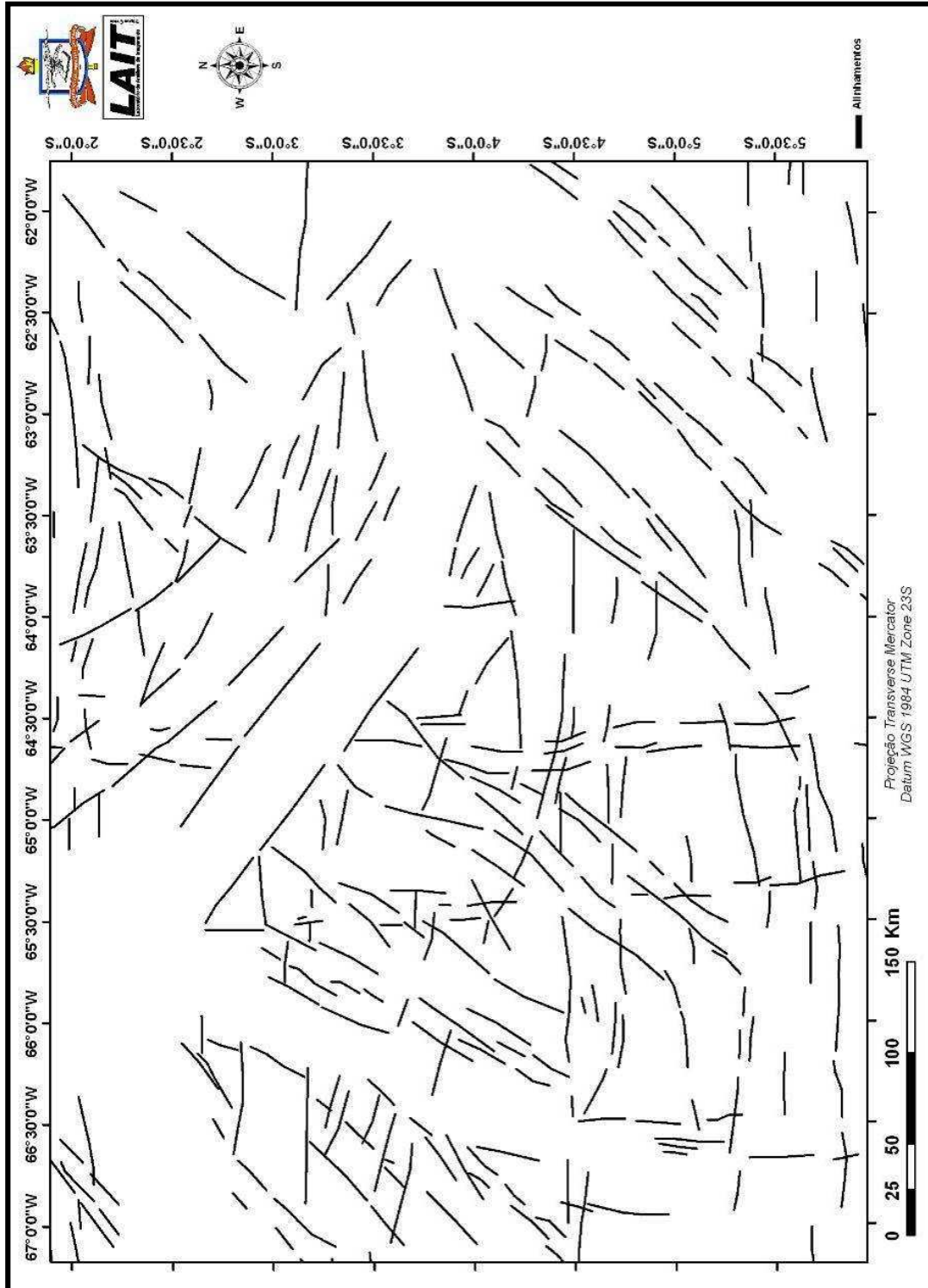


Figura 64 – Mapa com a interpretação da continuidade dos lineamentos estruturais baseado no Mapa anterior.

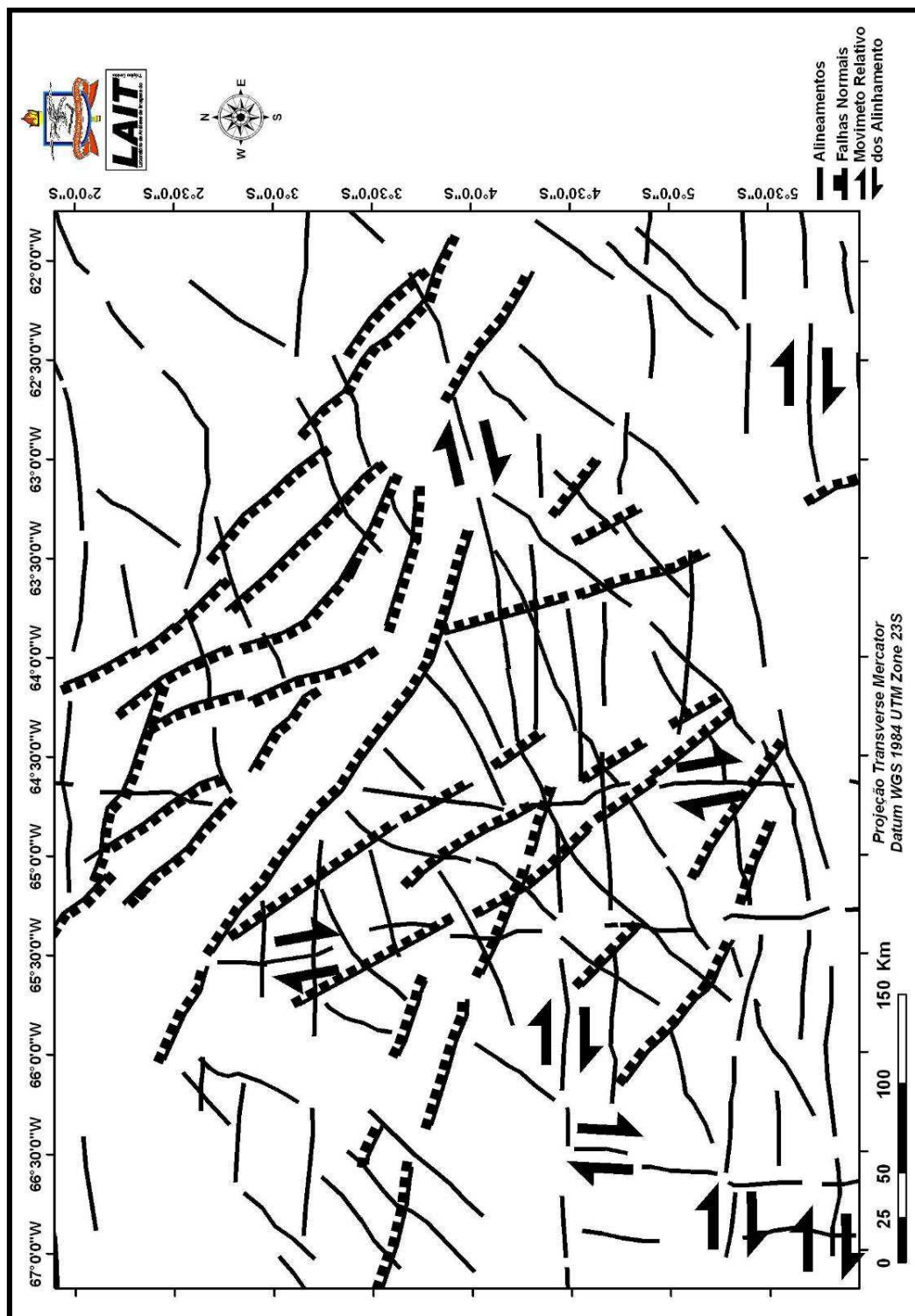


Figura 65 – Mapa de Estruturas Neotectônicas da Região de Urucu e Adjacências (AM).

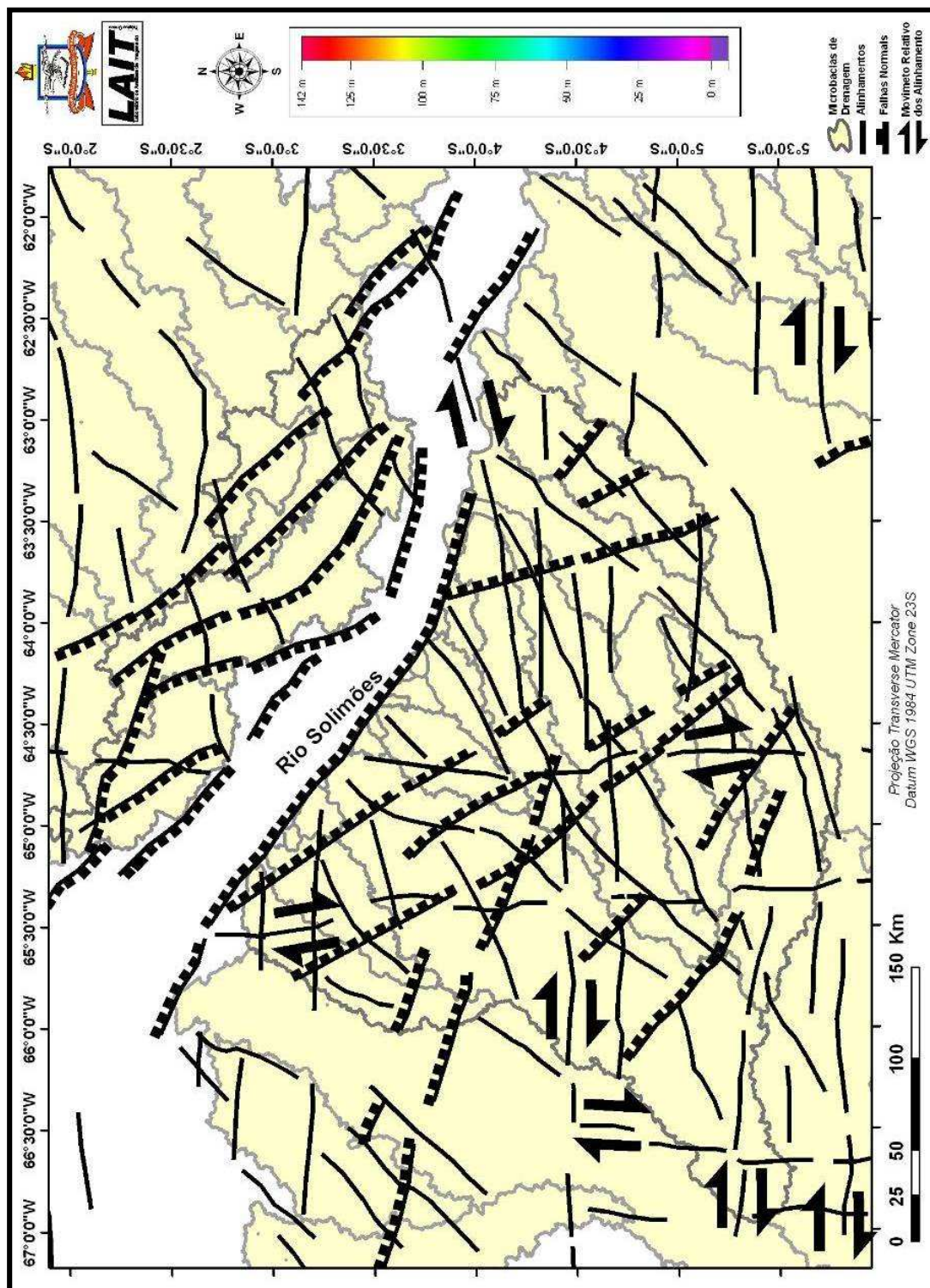


Figura 66 – Mapa das Microbacias de Drenagem sobrepostas as Estruturas Neotectônicas da Região de Urucu e Adjacências (AM), demonstrando claramente o controle neotectônico das bacias.

26. REFLEXO MAGNÉTICO DAS ESTRUTURAS NEOTECTÔNICAS DA REGIÃO DE URUCU E ADJACÊNCIAS

Os dados utilizados para a análise do reflexo magnético das estruturas neotectônicas da região de Urucu e Adjacências foram os dados do Campo Total Reduzido (CTR) do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) das Folhas Içá (SA.19), Manaus (SA.20), Juruá (SB.19) e Purus SB20 da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), gerados a partir de dados de projetos aerogeofísicos oriundos de diversas fontes: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Agência Nacional do Petróleo – ANP, Empresas Nucleares Brasileiras – NUCLEBRÁS, Comissão de Energia Nuclear – CNEN, Billiton Metais S.A., Instituto de Recursos Naturais – IRN entre outros. A malha utilizada para a integração dos dados é de 1.000 metros, com continuação para cima de 1.000 metros, a inclinação da fonte luminosa é de 45° e o azimute é de 0°. A unidade usada é o nanoTesla (nT) (CPRM, 2004).

O primeiro ponto a se considerar é que as anomalias magnéticas evidenciadas neste produto (**Figura 67**) correspondem a respostas profundas que podem alcançar a crosta média, ao redor de 17 Km de profundidade.

Neste contexto as tramas magnéticas, as quais correspondem as estruturas de natureza planar, são vinculadas ao cinturão de cisalhamento antigo, de provável idade arqueana a paleoproterozóica, provavelmente decorrente da interação de dois blocos crustais do Pré-Cambriando Antigo de acordo com o modelo geotectônico de Hasui, Aralyi e Schobbenhauss (1984). Com base nesse entendimento toda essa macroestruturação antiga pode ser vinculada a uma etapa colisional avançada provavelmente em estágio de geossutura.

Outro ponto a se considerar são os valores magnéticos exibidos ao longo desse Mapa. A variabilidade é grande indo desde os valores superiores a 150 nT e valores negativos a baixos de 170 nT.

Do ponto de vista geométrico destacam-se as geometrias fatiadas, “*lit-par-lit*” das várias unidades magnéticas, atenção especial deve ser dada aos altos magnéticos, estes geralmente exibem traçados que ressaltam a trama estrutural que muitas vezes apresentam formato lenticularizados.

Os “*megapodes*” de anomalia magnética positiva comumente exibem dimensões maiores que 100 Km de extensão ao longo do seu eixo maior.

A visualização do Mapa magnético permitiu a visualização de dois domínios magnéticos. Denominaram-se estes de Domínio Centro Sul (DCS) e Domínio Centro Norte (DCN). O DCS exhibe limite superior ao redor do paralelo 4°S estendendo-se para além do paralelo 6°S. Geometricamente exibem uma série de anomalias magnéticas positivas de forma lenticular, com tendência segmentada. Exibe geometria geral alinhada segundo a orientação ENE-WSW a NE-SW, DCS na altura do paralelo 4°S separa-se do DCN por uma trama magnética marcada pela alternância de altos e baixos magnéticos fortemente orientados a E-W. O DCN é caracterizado por anomalias magnéticas positivas com tendência a maior continuidade em área. De maneira geral a alternância alto/baixo magnético exhibe orientação NE-SW. Destacam-se, anormalmente, contatos de alto/baixos magnéticos fortemente orientados a NW-SE.

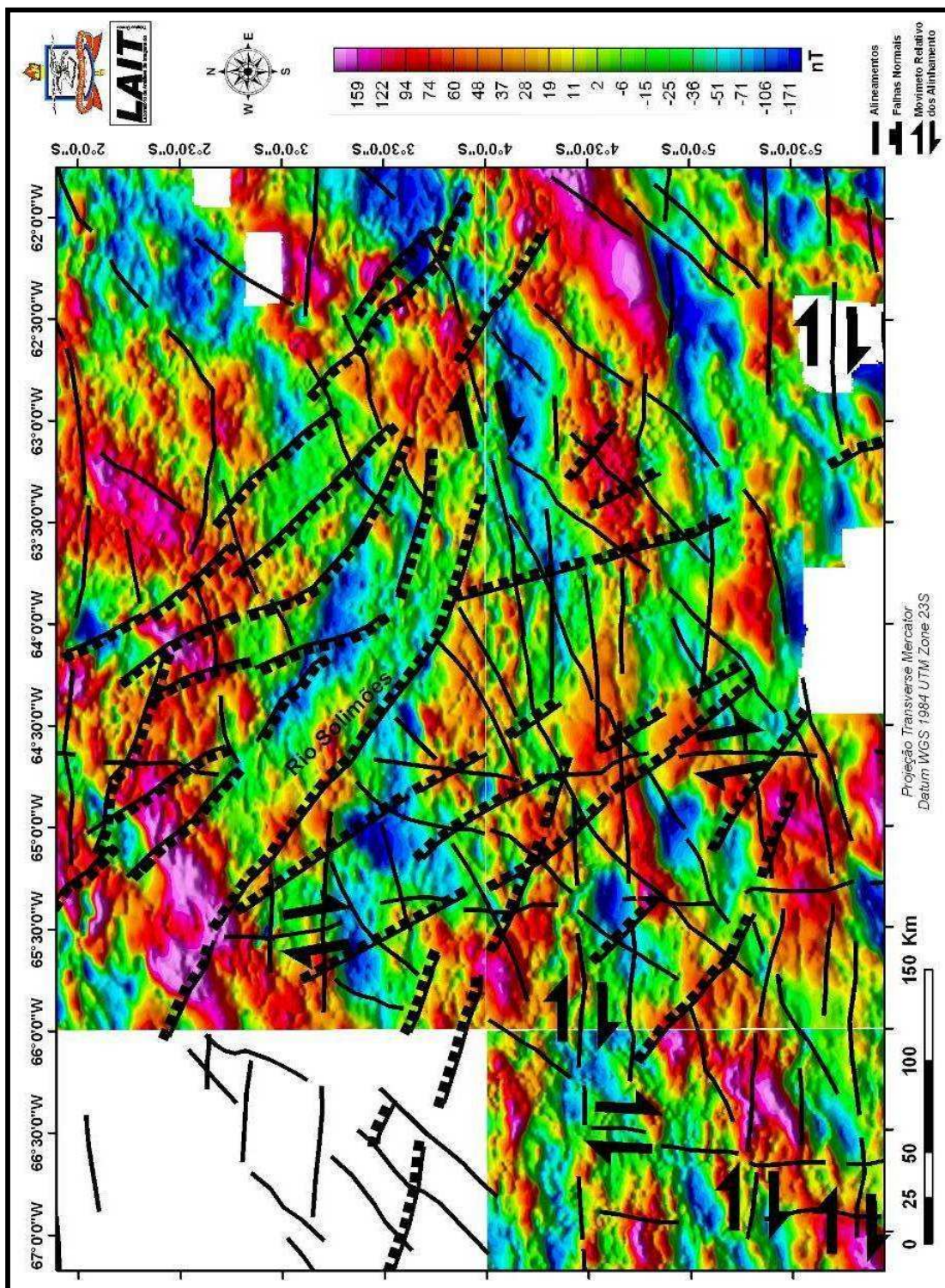


Figura 67 – Mapa com as Estruturas Neotectônica e CTR do IGRF sombreado, mostrando a correlação das anomalias magnéticas com as estruturas.

27. INTEGRAÇÃO DE DESCONTINUIDADES NEOTECTÔNICAS INTERPRETADAS COM BASE NA REDE DE DRENAGEM E NAS TRAMAS MAGNÉTICAS

É notável a coincidência geométrica entre a geometria fatiada e lenticularizada nos arranjos altos e baixos magnéticos no Domínio Centro Sul (DCS) com as falhas neotectônicas interpretadas a partir da rede de drenagem. São destacadas as orientações espaciais segundo a orientação ENE-WSW a NE-SW. Tais similitudes indicam que as estruturas neotectônicas são decorrentes da reativação das tramas dúcteis vinculadas ao Cinturão Pré-Cambriano Antigo.

Na altura do paralelo 4°S as estruturas neotectônicas exibem forte orientação E-W, as quais têm sido interpretadas como falhas transcorrentes a partir da visão macroregional de Costa *et al* (1996). Também é notório com a coincidência das orientações dos limites alto/baixo magnético que separam os Domínios Magnéticos Centro Sul e Centro Norte, desta forma é notória a tendência da reativação das estruturas neotectônicas E-W.

A região que se estende do paralelo 4°S até 2°S apresenta estrutura neotectônica orientada NE-SW as quais são coincidentes com os limites alto/baixo magnéticos do Cinturão Orogênico do Pré-Cambriano Antigo, e portanto, também confirmando o caráter de reativação das estruturas neotectônicas orientadas a NE-SW, conforme descrito nos parágrafos anteriores destacam-se na região central do Mapa para as estruturas neotectônicas uma larga faixa com tendência dinâmica “*dip-slip*”, esta larga faixa que pode alcançar largura da ordem de 300 km, exibem orientações NE-SW a WNW-ESE, para seus conjuntos de descontinuidades neotectônica.

Essas orientações neotectônicas se associam pelo menos ao redor da calha do Rio Solimões e parte das adjacências a limites alto/baixo magnéticos profundos oriundos do orogeno, ou de outras unidades vinculadas a outros períodos geológicos (rochas básicas?) as quais tem

fortes orientações NW-SE a WSW-ENE. Tais coincidências geográficas também apontam para o incontestado fenômeno da reativação tectônica como parte do mecanismo gerador das falhas do Neógeno.

28. CONCLUSÕES

- As estruturas neotectônicas encontradas na área são decorrentes da implantação de descontinuidades. Seus principais efeitos são as orientações dos padrões estruturais de drenagem, definição de conjuntos de topias e assimetrias. Também são encontradas formas anômalas associadas a curvas e cotovelos.
- A retificação digital dos elementos texturais de drenagem possibilitou a geração de um Mapa de lineamentos, o qual serviu de base para a composição geométrica da arquitetura neotectônica.
- As descontinuidades encontradas foram organizadas em dois grandes conjuntos. O primeiro conjunto engloba as estruturas com orientação E-W e ENE-WSW, as quais se associam orientações NE-SW e NNE-SSW. O segundo conjunto reúne as estruturas posicionadas a NW-SE e NNW e SSE.
- O primeiro conjunto relaciona-se a estruturas com provável movimentação transcorrente, onde as orientações NE-SW representam “*splays*” que se dispõem de modo a compor estruturais sigmóidais semelhantes a duplexes direcionais. Os conjuntos estruturais orientados a NNE-SSW parecem representar um segundo pulso no contexto dessa movimentação direcional / transpressiva.
- O segundo conjunto é representado por descontinuidades NNW-SSE. Estas orientam a geometria e impõem assimetrias na rede de drenagem, as quais são compatíveis com a definição de “*fronts*” e reversos no relevo. A paisagem observada assemelha-se aquelas desenvolvidas em movimentações “*dip-slip*” normais. Um segundo pulso de movimentação com geometria de falha normal orientada a NW-SE limita as planícies aluviais e provoca a barragem natural do sistema hidrográfico, proporcionando deslocamentos dos canais fluviais.

- A utilização de produtos sensores oriundos do SRTM apresenta grande potencial no que tange a representação de elementos naturais da paisagem, destacando-se sobremaneira parâmetros de métrica do relevo e também a possibilidade de avaliação da geometria dos cursos fluviais. Assim como a análise das estruturas neotectônicas da região de Urucu e Adjacências. Com os Modelos Digitais de Elevação gerados a partir das imagens SRTM foram possíveis verificar de forma clara a influencia das estruturas neotectônicas na configuração e ordenação da paisagem.
- Com base nisso, foram identificados conjuntos de descontinuidades neotectônicas para a região do Urucu (AM), as quais foram organizadas da seguinte maneira: (1) Um primeiro conjunto de falhas orientadas a E-W e ENE-WSW, interpretadas aqui como estruturas transcorrentes dextrais, adotando-se a modelagem proposta por Costa *et al.* (1996). A estas associam-se a outras falhas, orientadas a NNE-SSW entendidas como “*splays*”, as quais conjuntamente podem compor geometrias semelhantes a duplexes direcionais transpressivos. Falhas NE-SW parecem corresponder a uma partição do “*strain*” neste quadro de transpressão inicial. (2) Um segundo conjunto de estruturas é visualizado como reunindo os feixes de falhas orientadas a NNW-SSE e NW-SE, as quais parecem associar-se à falhas normais (transtensivas) no contexto da rotação dextral da Placa Sul Americana e sua deriva para oeste (Hasui, 1990).
- Com base na avaliação do Mapa Magnético Integrado as Estruturas Neotectônicas identificadas a partir da análise das anomalias das redes de drenagem concluíram-se pela forte atuação da reativação tectônica de estruturas dúcteis de um cinturão do Pré-Cambriano Antigo como mecanismo gerador ao menos em grande parte, das estruturas neotectônicas presentes na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTINER, D. e SAVINE, R. 1991. Pennsylvanian Foraminifera and Carbonate Microfacies from the Amazonas and Solimões Basin: Biostratigraphy, Paleoecologic and paleogeographic results. **Rel. Interno PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.
- ASSUNÇÃO, M. 1983. Terremotos no Brasil. **Ciência Hoje**. 1 (6).
- ASSUNÇÃO, M. 1998. Sismotectónica y Esfuerzo en Brasil. **Física da Terra**, São Paulo, 10: 149-166p.
- BEMERGUY, R.L. 1997. Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas. Universidade Federal do Pará. Belém, Pa. Tese de Doutorado. 200p.
- BEMERGUY, R.L. E COSTA, J.B.C. 1991. Consideração sobre a Evolução do Sistema de Drenagem da Amazônia e sua Relação com o Arcabouço Tectônico-Estrutural. **Bol. Mus. Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra** (3), Belém, PA.
- BEZERRA, P.E.L 2002. Análise estrutural da drenagem e do relevo aplicada à compartimentação morfotectônica como base do zoneamento geoambiental do interflúvio Solimões Negro. Tese (Doutorado em Curso de pós-graduação em Geologia e Geoquímica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.
- CAVALCANTE, L.M. 2000. Neotectônica na área do Tiracambu. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 200p.
- CPRM 2004. Carta geológica do Brasil 1:1.000.000,00 - Multimídia. CDROM. **Serviço Geológico do Brasil**.

- COSTA, J.B.S. 1996. A Neotectônia na Amazônia. Anais do V **Simp. Geol. Da Amaz.** Belém, SBG/NO, 35-38p.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M.DAS.; FERREIRA JUNIOR, C.R.P.; BEZERRA, P.E.L.B; COSTA, M.L.DA; FERNANDES, J.M.G. 1996. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. **Geonomos**, 4(2): p.23-44.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M.DA S. 2001. Tectonic And Paleogeographic along the Amazon River. **Jornal of South American Earth Sciences**, 14: 335-347p.
- COSTA, J. B. S. e HASUI, Y 1997. Evolução geológica da Amazônia. In: **V Simpósio de Geologia da Amazônia** Belém. SBG/NO, 31-34p.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1978. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v.18, n.36, p.130-2.
- CHRISTOFOLETTI, A 1980. Geomorfologia. **Livro**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 149 p.
- DEFFONTAINES, B., CHOROWICZ, J. 1991. Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire basin. **Tectonophysics**, 194:237-263.
- EIRAS, J.F. 1998. Tectônica, sedimentação e sistemas petrolíferos da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas. **Searching For Oil and Gas in the Land of Giants**. The Search. Rio de Janeiro, edição especial sobre o Brasil, cap. 2, p.23-31.

- EIRAS, J.F.; BAIKER, C.R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; SILVA, J.G.F. DA; DANIEL, L.M.F.; MATSUDA, N.S. E FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia do Solimões. **Bol.Geoc. PETROBRAS**, Rio de Janeiro 8(1): 17-45p, Jan/Mar.
- FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. 2006. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, 45, Pg 1-33.
- FARR, T. G., AND M. KOBRICK 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, *Eos Trans. AGU*, 81, 583–585.
- FIORI, A.P. 1979. Geologia da região de Pouso Alegre-Machado: análise estrutural de dobramentos superpostos. **Tese de Doutorado**, USP, São Paulo capital.
- FREITAS, R.C.; ROSTILLA, S.P.; FERREIRA, F.J.F. 2006. Goprocessamento multitemático e análise estrutural no sistema petrolífero Iratí – Rio Bonito, Bacia do Paraná. **Bol. Geoci. Petrobras**. V. 14, n 1, p71-93.
- GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.
- GRAHN, C.Y. 1989. Evaluation of the Chinozoan Biostratigraphy of the Solimões Basin. **Rel. Interno PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.
- GRAHN, C.Y. 1990. The Late Silurian and Early Devonian of Brazil: New Evidence from the Chitinozoan Biostratigraphy. **Rel. Interno PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica resurgente no Brasil. In: **Workshop sobre neotectônica do sudeste do Brasil**, 1, Belo Horizonte, SBG, 1-31p.

- HASUI, Y. 1996. Evolução geológica da Amazônia. In: **Simpósio de Geologia da Amazônia**, 5, Belém, 1996. Boletim de Resumos Expandidos... Belém: SBG, p. 31-34.
- HASUI, Y., HARALY, N.L.E, SCHOBENHAUSS. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: **Anais II Symposium Amazônico**, 2, 1984, Belém. Anais... Belém: SBG, p. 129-48.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional Development Of Streams And Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach To Quantitative Morphology. *Geol. Soc. America Bulletin* 56 (3), 275-370.
- HOWARD, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. **Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.** Chicago, 51(11):2246-2259.
- LEMOS, V.B. 1989. Bioestratigrafia do Paleozóico Superior das Bacias do Amazonas e Solimões com Base em Conodontes. **Rel. Interno PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.
- LUEDER, D.R. 1959. **Aerial photographic interpretation: principles and applications**. New York: McGraw-Hill, 462p.
- LIMA, M.I.C. de 2006. Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico. **Apostila**, Belém, PA. 178 p.
- MARTINS, E.S.F. 2007. Geração e atualização de bases cartográficas a partir de dados de elevação SRTM: um estudo de caso para as bacias do atlântico nordeste ocidental. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 63p

- MARTINS, E.S.F.; SOUZA FILHO, P.W.M.; COSTA, F.R. e ALVES, P.J.O. 2007. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao nordeste do Maranhão a partir de imagens SRTM. Anais **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 6827-6834.
- MELO, J.H.G. 1993. Coletanea dos Pareceres Técnicos e Sumários Biocronoestratigráficos e Paleocológicos em Poços do Solimões (Intervalo Ordoviciano/Devoniano). **Rel. Interno PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, RJ.
- MIOTO, J.A. 1993. Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil. Rio Claro: IGCE/UNESP. **Tese Doutorado**, 2 v.
- QUADROS, L.P. 1986. Ocorrências de Microfósseis (*Acritarchae*) ordovicinianos na Sub-Bacia do Alto Amazonas, Brasil. In: **IV Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía** v1 (151-156). Argentina.
- QUADROS, L.P. 1988. **Zoneamento Bioestratigráfico do Paleozóico Inferior e Médio (Seção Marinha) da Bacia do Solimões**. Bol. Geociências PETROBRÁS. V2, n.1, (95-109). Rio de Janeiro, RJ.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, PAULO CÉSAR FONSECA; MANCINI, F.. Rios e Processos Aluviais. IN: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. 2001. **Decifrando a Terra**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. , p. 191-214.
- RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C.S., BELZ, J.E.; CHAPIN, E.C.; MARTIN, J.M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report, JPL D-31639. **Jet Propulsion Laboratory**, Pasadena, California, 143 p.

- ROSSETTI, D. de F.; VALERIANO, M.M. 2007. Applying SRTM topographic data to characterize a Quaternary paleovalley in northern Brazil. Anais **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2125-2132.
- RUST, B.R. 1978. Depositional models for braided alluvium. **Fluvial Sedimentology**: Canadian Society of Petroleum. 76p
- SCHIETTI, J.; DRUCKER, D.; KEIZER, E.; FILHO, A.C.; MAGNUSSON, W. 2007. Avaliação do uso de dados SRTM para estudos ecológicos na Amazônia central. Anais **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, INPE, p. 6949-6955.
- SCHUMM, S.A 1986. Alluvial River Response to Active Tectonics. **Active Tectonics: Impact on Society**. The National Academic Press, US. p. 2031-2059.
- SHREVE, R. L. 1966. Statistical law of stream numbers. **Jornal of Geology**. 74. 17-37.
- SILVA, O.B. 1987. Análise da Bacia do Solimões (Revisão Estratigráfica, Magmatismo e Geoquímica). **Dissertação de Mestrado**, UFOP, Ouro Preto, MG. 177p.
- SILVA, O.B. 1988. Revisão Estratigráfica da Bacia do Solimões. In: **XXV Congr.Bras.Geol.V.6** (2428-2438), Belém, PA.
- SILVA, C.L. 2005. Análise da Tectônica Cenozóica da região de Manaus e Adjacências. **Tese de Doutorado**. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Geociências-Área de Concentração em Geologia Regional pela Universidade Estadual Paulista (Unesp) –IGCE – Rio Claro/SP. 282p.
- SCHEIDEGGER, A,E, 1961. **Theoretical geomorphology**. Berlin, Springer Verlag, 327p.

- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfologia**, Campinas, 16 (32): 71:104.
- SUMMERFIELD, M.A. 1991. **Global Geomorphology**. New York, John Wiley & Sons, 537p.
- STRAHLER, A.N. 1952. Hipsometric (area-amplitude) analysis of erosional topography. **Bulletin Geological Society of American**. 63: 1117-42.
- SUGUIO, K.; J. J. BIGARELLA. 1990. Ambientes Fluviais. Florianópolis, **UFSC-UFPR**, 183p.
- WOLMAN, M.G.; LEOPOLD, L.B. 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. **Livro**, Governo US, 736p.