

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE MORFOTECTÔNICA DA REGIÃO ENTRE TEFÉ E COARI,  
AMAZONAS**

**MARIA ROSÁRIA DO CARMO**

Manaus

2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE MORFOTECTÔNICA DA REGIÃO ENTRE TEFÉ E COARI,  
AMAZONAS**

**MARIA ROSÁRIA DO CARMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Departamento de Geociências, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva

Manaus

2010

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAM

C287a Carmo, Maria Rosária do  
Análise morfotectônica da região entre Tefé e Coari, Amazonas

/

Maria Rosária do Carmo. - Manaus, AM: UFAM, 2010.  
109 f. : il. color.; 30 cm

Inclui referências.

Dissertação (Mestre em Geociências). Universidade Federal do Amazonas. Orientador: Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva.

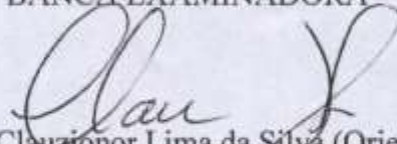
Solimões, Rio  
Lima da  
1. Morfoestrutura - Solimões, Rio (AM) 2. Neotectônica –  
(AM) 2. Sistemas de informação geográfica I. Silva, Clauzionor  
(Orient.) II. Título

**“Análise Morfotectônica da região entre Tefé e Coari, Amazonas”**

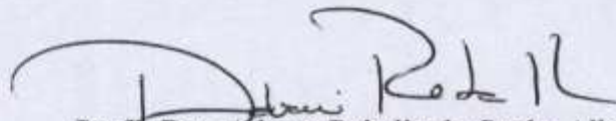
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Regional.

Aprovada em 16 de julho de 2010.

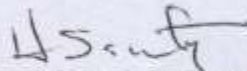
BANCA EXAMINADORA



Prof.Dr. Cláudio Lima da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof. Dra. Adorea Rebello da Cunha Albuquerque  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof.Dr. Helder Manuel da Costa Santos  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM/Coari

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Saúde e Biotecnologia – ISB / UFAM - Coari pela liberação para a realização deste mestrado.

Ao Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva pela brilhante forma de orientar meu trabalho, incentivo, profissionalismo e amizade.

Um agradecimento especial à amiga geóloga Joemes de Lima Simas pelo constante auxílio, dicas e discussões incansáveis durante a realização de todo este trabalho.

À minha amiga Anete Rubim pelo grande incentivo para a realização do mestrado.

Ao amigo Miqueas Barroso pelo apoio prestado durante a realização das disciplinas.

Agradeço ao Valcir Jr., graduando de geologia, pelo interesse e ajuda nos programas de *Arc Gis* e definições de imagens.

Ao Prof. Helder Manuel por ter assumido minha disciplina durante minha ausência do ISB – Coari e pelo incentivo.

Às amigas Renata Syallen e Zeina Silva do Lab. de Limnologia pelo apoio e, principalmente a Rita Mileni pela revisão de português da dissertação, Samira e Eliud pela amizade durante esse período.

Ao Mário Wu por todo o incentivo dado, carinho e amizade e, principalmente, pelo apoio em horas muito difíceis, o meu agradecimento especial.

Por fim, porém de forma alguma menos importante, minha mãe e minhas irmãs Conceição, Maria e Lúcia, por sempre acreditarem em mim, na importância do estudo e, também, por sempre estarem me acompanhando, dividindo os momentos felizes e me carregando nos braços nas horas difíceis. Sem elas a realização desse trabalho jamais teria sido possível.

MUITO OBRIGADA a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode  
começar agora e fazer um novo fim.  
Chico Xavier

## RESUMO

A partir da análise morfoestrutural integrada às informações de produtos de sensores remotos (imagens SRTM), da geologia e da geomorfologia da região entre as cidades de Tefé e Coari, às margens do rio Solimões no estado do Amazonas, foi definida a estruturação neotectônica e sua influência na elaboração das formas de relevo e da rede de drenagem da área estudada. A caracterização das unidades geológicas, comparando-as com o sistema de drenagem e o sistema de relevo, a partir da análise em imagens de satélites (Landsat7 ETM+, e SRTM), nas quais foram descritas e evidenciadas as unidades aflorantes na região, contribuiu para o entendimento dos processos que controlam a evolução neotectônica da região estudada. A rede de drenagem evidencia uma compartimentação do relevo em sistemas de planícies, ligados à dinâmica fluvial atual, e em sistemas de interflúvios tabulares normalmente nivelados por uma superfície de aplainamento. O sistema de relevo diferencia-se pelo grau de desenvolvimento da rede de drenagem, havendo uma nítida gradação da mais evoluída (Formação Içá), encontrada principalmente na margem direita do rio Solimões para a menos evoluída (aluviões e terraços holocênicos) na margem esquerda. Com a integração dos dados de drenagem e relevo, obtidos a partir da interpretação de imagens, foi evidenciado que a área possui dois compartimentos morfotectônicos diferenciados, principalmente em termos de superfície topográfica, desenvolvimento da rede de drenagem, sendo um compartimento na margem direita do rio Solimões e outro na margem esquerda, separados por uma zona de falha normal de direção NW-SE. Na confluência do rio Solimões com o lago Coari há a ocorrência de falhas de direção N-S, posteriores às falhas de direção NW-SE e E-W, o que provavelmente promoveu a captura do rio Solimões para sul, em um trecho em que o canal principal abandona sua planície antiga, a qual descreve uma curvatura para norte.

Palavras-chave: Morfoestrutura, Neotectônica, rio Solimões.

## ABSTRACT

Through a morphostructural analysis integrated to information about remote sensors products (SRTM images), by geology and geomorphology of the region between the cities of Tefé and Coari, the Solimões River borders in the state of Amazonas, it was defined the effect of neotectonic structuring and its influence in the elaboration of the relief shapes and of the drainage net in the researched area. The characterization of geological unities, comparing them to the drainage and the relief systems, based on analysis of satellites images (Landsat7 ETM+ and SRTM) in which they were described and evidenced the region outcropping units, contributed for the understanding of the processes that control the neotectonic evolution of the area. The drainage net evidences a compartmentalization of the relief in plains systems, related to the present fluvial dynamics and in the tabulars areas between rivers normally leveled by a planning surface. The relief system is differentiated by the drainage net development degree, where there is a clear gradation from the most evolutioned (Içá Formation) to the less evolutioned (Holocenics Alluviums) at the left border. With the integration of datas of drainage and relief, obtained from the images interpretation, it was evidenced that the area has two different morphotectonics compartments, mainly in terms of topographical surface, development of the drainage net, being a compartment in the right border of the Solimões River and another in the left border, separated by a regular failure zone in the NW-SE direction. Na confluência do rio Solimões com o lago Coari há a ocorrência de falhas de direção N-S, posteriores as às falhas de direção NW-SE e E-W, o que provavelmente promoveu a captura do rio Solimões para sul, em um trecho em que o canal principal abandona sua planície antiga, a qual descreve uma curvatura para norte. In the confluence of the Solimões River with the Coari Lake there is an occurrence of failures of N-S direction, posteriors to failures of NW-SE and E-W, which probably promoted the capture of the Solimões River to south, in a space where the main canal abandons its older plain, which describes a curvature to the north.

Keywords: Morphostructure, Neotectonic, Solimões River.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo na porção da Amazônia Ocidental. ....	19
Figura 02 - Mapa de localização da Bacia do Solimões, conforme Silva (1987).....	21
Figura 03 - Seção geológica longitudinal da Bacia do Solimões com a distribuição dos campos de óleo e gás, segundo Eiras, 1999.....	21
Figura 04 - Carta Estratigráfica da Bacia do Solimões (EIRAS <i>et al.</i> , 1994). ....	23
Figura 05- Unidades geológicas e a correlação entre as bacias do Amazonas e Solimões, conforme Milani & Thomas Filho (2000). ....	24
Figura 06 - Distribuição de unidades recentes na área de estudo, conforme Rossetti <i>et al.</i> (2005). ....	28
Figura 07 - Principais propriedades de drenagens.....	32
Figura 08 - Alguns tipos de padrão típicos de drenagem de cursos de água, adaptado de Zernitz (1932).....	33
Figura 09 A - Padrões de drenagem radial e seus modificados.....	34
Figura 09 B - Padrão de drenagem retangular e seu modificado.....	35
Figura 09 C - Padrão de drenagem treliça e seus modificados.....	35
Figura 09 D - Padrão de drenagem paralelo e seus modificados.....	36
Figura 09 E - Padrão de drenagem dendrítico e seus modificados.....	36
Figura 10 - Modelo de planície de inundação do rio Purus – AM. ....	38
Figura 11 - Terraços acumulativos: antigas planícies de inundação .....	38
Figura 12 - Modelos de blocos crustais de Hasui <i>et al.</i> (1984). ....	45
Figura 13 - Modelo de deformação para a Placa Sul Americana em sua deriva para NW, promovendo binário transcorrente dextral EW e o desenvolvimento de falhas normais NW-SE, falhas de empurrão e dobras NE-SW e falhas transcorrentes EW, de acordo com modelo de RIEDEL. ....	46
Figura 14 - Lineamentos dos rios afluentes da margem esquerda do rio Amazonas (modificado de Sternberg, 1950).....	47

Figura 15 - Modelamento neotectônico da região do baixo Rio Negro com pulso predominantemente distensivo. Modificado de Franzinelli & Igreja (1990). .....	50
Figura 16 - Falhas e lineamentos quaternários no Amazonas, modificado do Mapa de Falhas do Quaternário no Brasil de Saadi et al. (2002). As falhas do Rio Negro e Barcelos são normais. A Falha do Rio Madeira foi considerada como transcorrente dextral e para as demais foi atribuída a movimentação inversa com componente transcorrente associada. ....	51
Figura 17 - Mapa de distribuição de terremotos na Amazônia, segundo Mito (1993). Isossistas (contorno pontilhado) do sismo de Codajás com direção de compressão (ASSUMPÇÃO <i>et al.</i> , 1983). .....	52
Figura 18 - Mapa de principais ocorrências de sismos (estrela) no estado do Amazonas (SILVA, 2005). .....	53
Figura 19 - Mapa Geológico da região, compreendendo as unidades Formação Içá, os Depósitos aluvionares Flúvio-lacustres, os depósitos em Terraços Holocênicos, os Depósitos em Barras Recentes e os Depósitos em Aluviões Recentes. ....	61
Figura 20 - Características morfológicas das unidades mapeadas: A e B- Formação Içá, C - Depósitos de Aluviões Flúvio-Lacustres, D- Terraços Holocênicos, E - Depósitos em barras aluviais recentes e, F - Depósitos de Aluviões Recentes.....	65
Figura 21- Mapa de drenagem da região em estudo.....	67
Figura 22 - Mapa de sub-bacias de drenagem na região de estudo, compreendendo as bacias dos rios Tefé, Caiambé, Catuá, Jutica, Ipixuna, Aruã, lago de Coari e Mamiá, pela margem direita do rio Solimões, e, pela margem esquerda, as sub-bacias do Lago do Davi, Paraná do Copeá e Piorini. ....	70
Figura 23 - Mapa de densidade de drenagem, conforme o modelo de Kernel efetuado a partir do mapa de drenagem da figura 22.....	71
Figura 24 - Mapa de lineamentos de drenagem apresentando os principais segmentos de drenagens orientados. As principais orientações obtidas a partir dos diagramas de roseta mostra que as duas direções NW-SE e NE-SW são marcantes, mas sendo também notada as direções E-W e N-S. ....	76
Figura 25 – Mapa de confluência de drenagem anômalas da área de estudo que obedecem as orientações estruturais abordados na figura anterior. ....	78

Figura 26 - Imagem SRTM (modelo digital de elevação) indicando as diferenças de topografia.....	82
Figura 27 - Mapa de unidades geomorfológicas da região estudada, mostrando as unidades de relevo: Planície Amazônica, a Depressão Solimões-Unini, a Depressão Ituxi-Jari e a Depressão Purus-Juruá. ....	83
Figura 28 - Mapa de curva de nível.....	85
Figura 29 - Perfil topográfico NW-SE na margem direita do rio Solimões (Perfil A), SW-NE na margem esquerda (Perfil B) e outro seccionando o rio Solimões (Perfil C). ....	88
Figura 30 - Modelo 3D SRTM (MDE), indicando elementos de morfoestruturais na paisagem: Escarpas de falhas (linha pontilhada) e rebordos erosivos (seta). A cota mais elevada, na ordem de 90m localizada entre os igarapés Caiambé e Jutica.....	90
Figura 31 - Mapa de lineamentos de relevo e os diagramas de rosetas e suas direções preferenciais. Comprimento Total (A) e número de lineamentos (B). ....	92
Figura 32 - Principais lineamentos obtidos a partir da análise em modelos SRTM, imagens de satélite, mapa de lineamentos de relevo e de drenagem. ....	94
Figura 33 - Perfis topográficos entre as cidades de Carauari e Coari, mostrando a superfície pouco dissecada e a inclinação para nordeste.....	98
Figura 34 - Mapa geológico/estrutural da área de estudo a partir da análise morfoestrutural e de lineamentos. ....	100

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Alguns padrões de drenagem básicos e sua interpretação geológica. ....	33
Tabela 02 – Técnicas de aquisição de dados para investigação neotectônica de caráter local e regional (STEWART & HANCOCK 1994).....	54

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	OBJETIVOS .....	17
2.1	GERAL: .....	17
2.2	ESPECÍFICOS:.....	17
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
4.1	GEOLOGIA DA ÁREA .....	20
4.1.1	Bacia do Solimões.....	20
4.1.2	Formação Içá.....	25
4.1.3	Depósitos Quaternários .....	26
4.2	GEOMORFOLOGIA DA ÁREA.....	29
4.2.1	Drenagem.....	29
4.2.2	Relevo .....	39
4.3	NEOTECTÔNICA .....	42
5	MATERIAL E MÉTODOS .....	55
5.1	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS .....	55
5.2	ANÁLISE EM IMAGENS DE SATÉLITE .....	55
5.3	ANÁLISE DO RELEVO.....	56
5.4	ANÁLISE DA DRENAGEM.....	56
5.5	ANÁLISE MORFOLÓGICA EM MODELOS 3-D SRTM .....	57
5.6	ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	59
6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS .....	59
6.1.1	Formação Içá.....	62
6.1.2	Depósitos Aluvionares Flúvio-lacustres .....	62
6.1.3	Depósitos em Terraços Holocênicos.....	63
6.1.4	Depósitos em Barras Recentes .....	63
6.1.5	Depósito em Aluviões Recentes .....	64
6.2	ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM .....	66
6.2.1	Análise de lineamento da Drenagem .....	74
6.3	ANÁLISE DO RELEVO.....	80
6.3.1	Análise de lineamentos de relevo.....	91

6.4 ANÁLISE MORFOTECTÔNICA .....	93
7 CONCLUSÃO .....	101
8 BIBLIOGRAFIA .....	103

# 1 INTRODUÇÃO

Os estudos geológicos na região Amazônica mostram importantes aspectos da paisagem associada a processos tectônicos, desde os estudos, na década de 1970, do PROJETO RADAMBRASIL, o qual trouxe significativos avanços na descrição de forma e processos, sobretudo, no que concerne ao relevo dessa região. Considerando o conhecimento daquela época e as informações obtidas podem-se atualmente abordar o sistema fluvial amazônico numa concepção nova. Nesse novo entendimento, não somente o clima e a sedimentação são importantes para o entendimento da formação do relevo, mas, também, uma associação multidisciplinar entre tectônica (no que tange a neotectônica), sedimentação (tipos de depósitos e associação com a paisagem), e geomorfologia (abrangendo os conceitos de morfoestrutural e morfotectônica) em clima atual ou pré-atual.

Particularmente, a neotectônica passou a ser evidenciada a partir de estudos do quadro tectônico regional que, segundo a maioria dos autores, segue o modelo da Plataforma Brasileira proposto por Hasui (1990). Muitos trabalhos nessa temática foram realizados nessa região, destacando-se os estudos de Franzinelli & Piuci (1988), Eiras & Kinoshita (1988), Franzinelli & Igreja (1990), Cunha (1991), Costa *et al.* (1994, 1996), Fernandes Filho *et al.* (1995), Silva (2005) e Silva *et al.* (2007), entre outros.

A atuação da tectônica no relevo atual segue o conceito de morfotectônica, termo utilizado para estudos que buscam avaliar a relação existente entre tectônica recente e feições morfológicas, conforme Summerfield (1993). Saadi (1993) ressalta que o termo morfotectônica deveria ser utilizado apenas quando se verificasse que a elaboração das formas ou paisagens se processa sob controle tectônico ativo, sendo o termo morfoestrutural relacionado a compartimentos morfológicos cujas principais características demonstrariam a existência de um nítido controle exercido pelo arcabouço litológico e/ou estrutural.

A partir da análise morfoestrutural e morfotectônica integrada aos dados obtidos com sensores remotos orbitais de alta qualidade é possível estabelecer a estruturação neotectônica e sua influência na elaboração das formas de relevo e da rede de drenagem da região. Nesse contexto a utilização de Modelo Digital de Elevação (*Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM*) obtidos da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) é útil para a caracterização do terreno de forma rápida e eficiente, permitindo a análise de grandes áreas,

como o ambiente amazônico, onde a densa vegetação e a elevada cobertura de nuvens restringem a utilização de outros dados de sensores remotos.

O estudo geológico é de fundamental importância para os fatores que influenciam e/ou controlam os padrões morfológicos da sedimentação quaternária e sua associação com o quadro tectônico do Cenozóico para melhorar o entendimento dos aspectos neotectônicos e a dinâmica geomorfológica.

Nessa abordagem, se destacam as pesquisas de Bezerra *et al.* (1999), Silva *et al.* (2002), Bezerra (2003), Silva *et al.* (2003) e Silva *et al.* (2007) no que se refere à individualização de zonas de falhas e a formação de bacias quaternárias na porção da Amazônia Ocidental. Latrubesse & Franzinelli (2002) e Rossetti *et al.* (2005) têm demonstrado que tais arranjos aprisionam sedimentos, os quais mostram um padrão morfodinâmico específico, impossível de ser analisado sem a conotação tectônica quaternária.

No contexto abordado, o estudo acerca da análise morfotectônica do trecho que compreende a região entre os municípios de Tefé e Coari, as margens do rio Solimões, pretende contribuir para o entendimento da dinâmica fluvial naquele setor. Especialmente devido ao fato dessa região ser um polo de interesse econômico devido à exploração e transporte de hidrocarbonetos vinculados à Bacia do Solimões. Estudos como este se justificam pelo fato de permitir o conhecimento da dinâmica fluvial e da formação da paisagem, cujos estudos servirão para análise futuras no ponto de vista ambiental.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL:

O principal objetivo deste trabalho é a análise morfotectônica da região entre os municípios de Tefé e Coari, estado do Amazonas, a partir de estudos de produtos de sensores remotos, com o intuito de compreender a dinâmica fluvial do rio Solimões e sua relação com os processos neotectônicos na Amazônia.

### 2.2 ESPECÍFICOS:

Os objetivos específicos compreenderam:

- a) Analisar o sistema de drenagem e relevo, com base na análise morfoestrutural e morfotectônica;
- b) Confeccionar modelos digitais de elevação (SRTM) para subsidiar a análise morfoestrutural;
- c) Gerar mapa geológico/estrutural da região de estudo, através da análise e interpretação de diversos produtos digitais gerados;
- d) Estabelecer a compartimentação morfotectônica da área em estudo.

### **3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área em estudo está localizada entre os municípios de Tefé e Coari, no estado do Amazonas, pertencendo a Bacia Paleozóica do Solimões (FIGURA 01).

O Solimões é o principal rio da região, tendo como afluentes, na área estudada, o lago Tefé, lago Caiambé, lago Catuá e o lago Coari.

Os principais rios da área estudada são: Tefé, Caiambé, Jutica, Catuá, Ipixuna, Copeá, Aruã, Urucu, Coari e Piorini, e os lagos de Coari, Copeá, Davi, Atravessado, Soró, Paçu, Moura e São Gabriel.

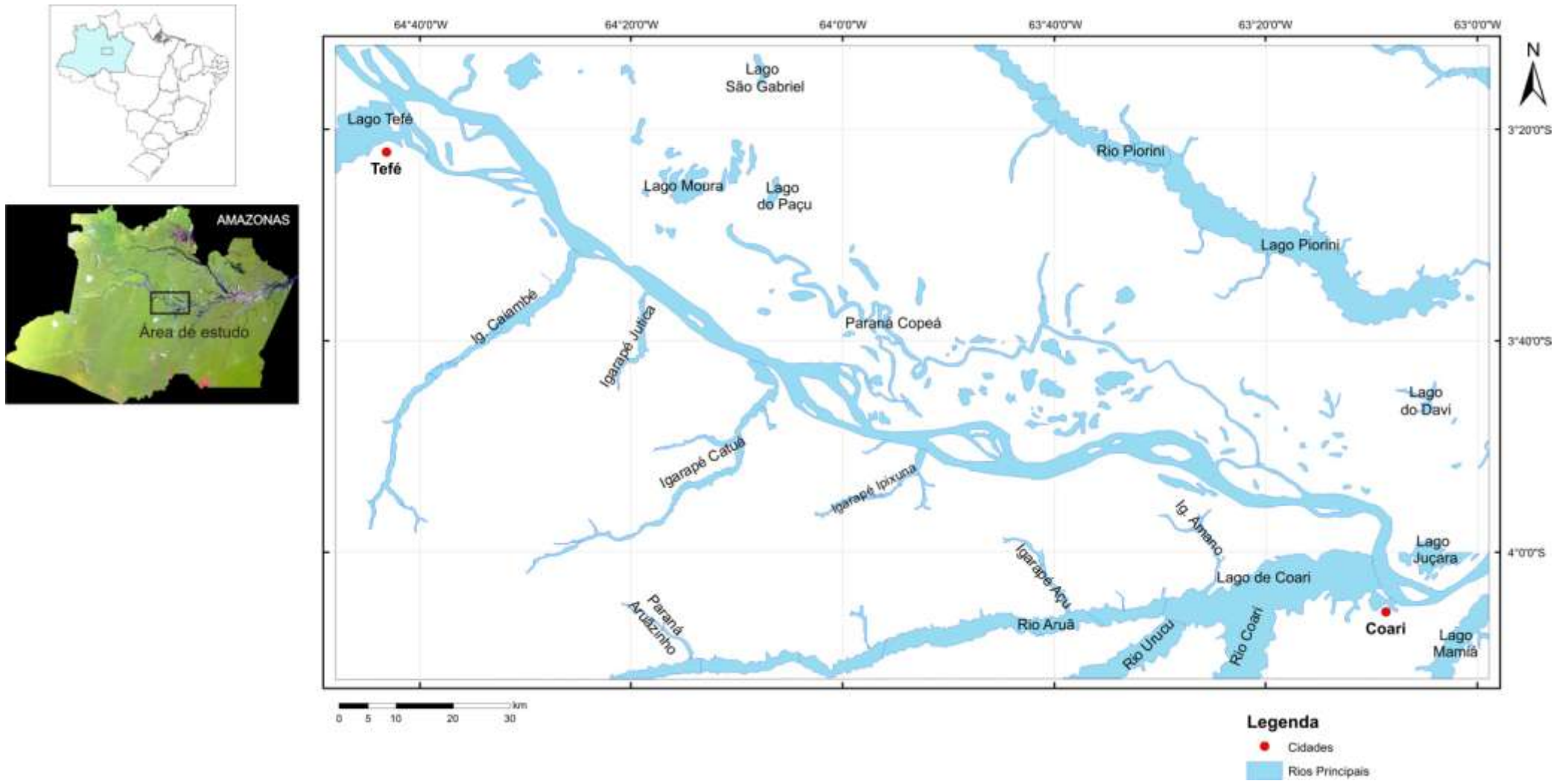


Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo na porção da Amazônia Ocidental.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 GEOLOGIA DA ÁREA

A área em estudo está inserida no contexto geológico da Bacia do Solimões que tem seu embasamento em áreas cratônicas denominadas de Escudo das Guianas e Escudo Brasil-Central (CAPUTO, 1984; CORDANI *et al.*, 1984). As rochas sedimentares predominam nesta bacia e formam o substrato principal da área.

A Bacia do Solimões é a bacia sedimentar paleozóica mais antiga no Brasil. Engloba seqüências de ambiente marinho, com sucessivas transgressões e regressões da linha de costa, gerando uma seqüência de rochas detríticas, pelíticas, além de conglomerados arenitos, siltitos e folhelhos desde o Ordoviciano e finalizando com seqüências continentais durante o Cenozóico. Os processos erosivos-deposicionais observados no relevo atual são resultantes da modelagem da paisagem no Quaternário, os quais devem estar associados a compartimentação geomorfológica atual.

#### 4.1.1 Bacia do Solimões

A Bacia do Solimões abrange aproximadamente uma área de 500.000 km<sup>2</sup> no estado do Amazonas e seus limites a norte e a sul são os Escudos das Guianas e do Brasil-Central (FIGURA 02 e FIGURA 03). Seu limite a oeste com a Bacia do Acre é através do Arco de Iquitos e, a leste, com o Arco de Purus, que a separa da Bacia do Amazonas (CAPUTO, 1984; CORDANI *et al.*, 1984; EIRAS *et al.*, 1994).

A Bacia do Solimões está dividida em dois compartimentos tectônicos distintos, cujo Arco de Caruari a separa na Sub-bacia do Juruá (a leste), e a Sub-bacia de Jandiatuba (a oeste), ambas sotopostas por rochas metamórficas e ígneas (EIRAS *et al.*, 1994).

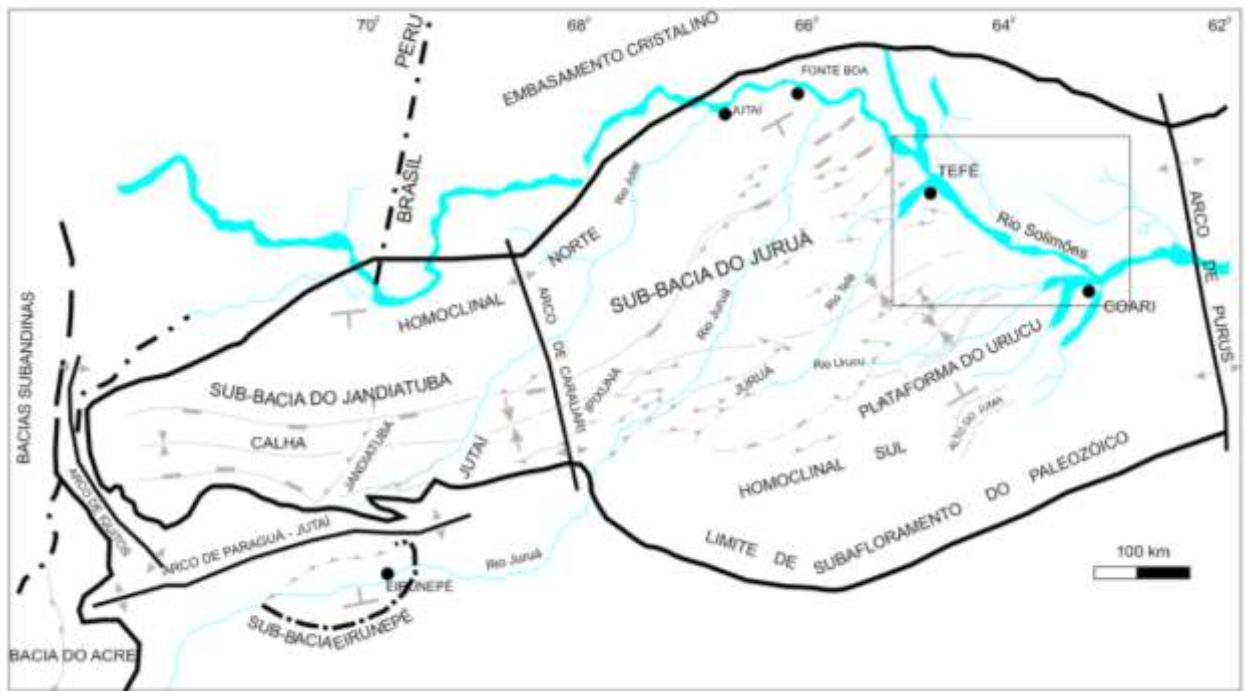


Figura 02 - Mapa de localização da Bacia do Solimões, conforme Silva (1987).

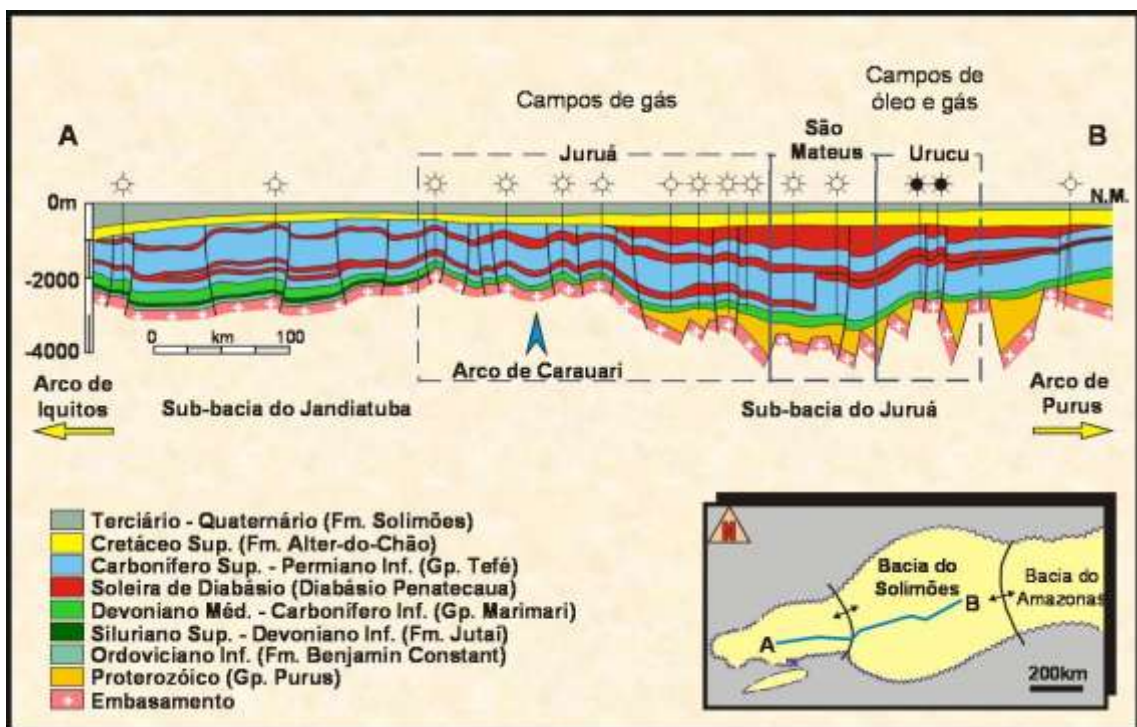


Figura 03 - Seção geológica longitudinal da Bacia do Solimões com a distribuição dos campos de óleo e gás, segundo Eiras, 1999.

A Bacia do Solimões está definida em cinco sequências estratigráficas que vão do Ordoviciano ao Neógeno, conforme Eiras *et al.*, 1994 (FIGURA 04).

O substrato pré-cambriano da Bacia é formado por rochas ígneas e metamórficas, além de rochas sedimentares depositadas numa sucessão de bacias de um sistema de *rifts*, cujas unidades sedimentares foram unificadas no Grupo Purus. Este grupo está constituído por arenito caulínico fino a grosso avermelhado, siltito e folhelho avermelhados e níveis conglomeráticos, além de dolomito esbranquiçado a acastanhado da denominada Formação Acari.

A sequência fanerozóica da Bacia do Solimões está individualizada em duas sequências sedimentares: a Paleozóica não é aflorante e está intrudida por diques e soleiras de diabásio, as quais as formações Benjamin Constant e Jutai e os grupos Marimari e Tefé são as unidades que representam essa era geológica. A Mesozóica-Cenozóica tem como sedimentação representante o Grupo Javari que resume o empilhamento pós-paleozóico.

A Formação Benjamin Constant está composta por arenito mal selecionado cinza-esbranquiçado, com estratificação plano-paralela e cruzada de baixo ângulo e folhelho cinza-escuro a preto. O ambiente deposicional dessa unidade é interpretado como sendo marinho raso a costeiro. A sedimentação que cobre a unidade anterior compreende a Formação Jutai constituída por folhelho cinza-escuro com intercalações de arenito fino branco e siltito. Essa formação pode ser correlacionada, em parte, ao Grupo Trombetas da Bacia do Amazonas, conforme a Figura 5, as quais representam um ambiente marinho nitidamente transgressivo.

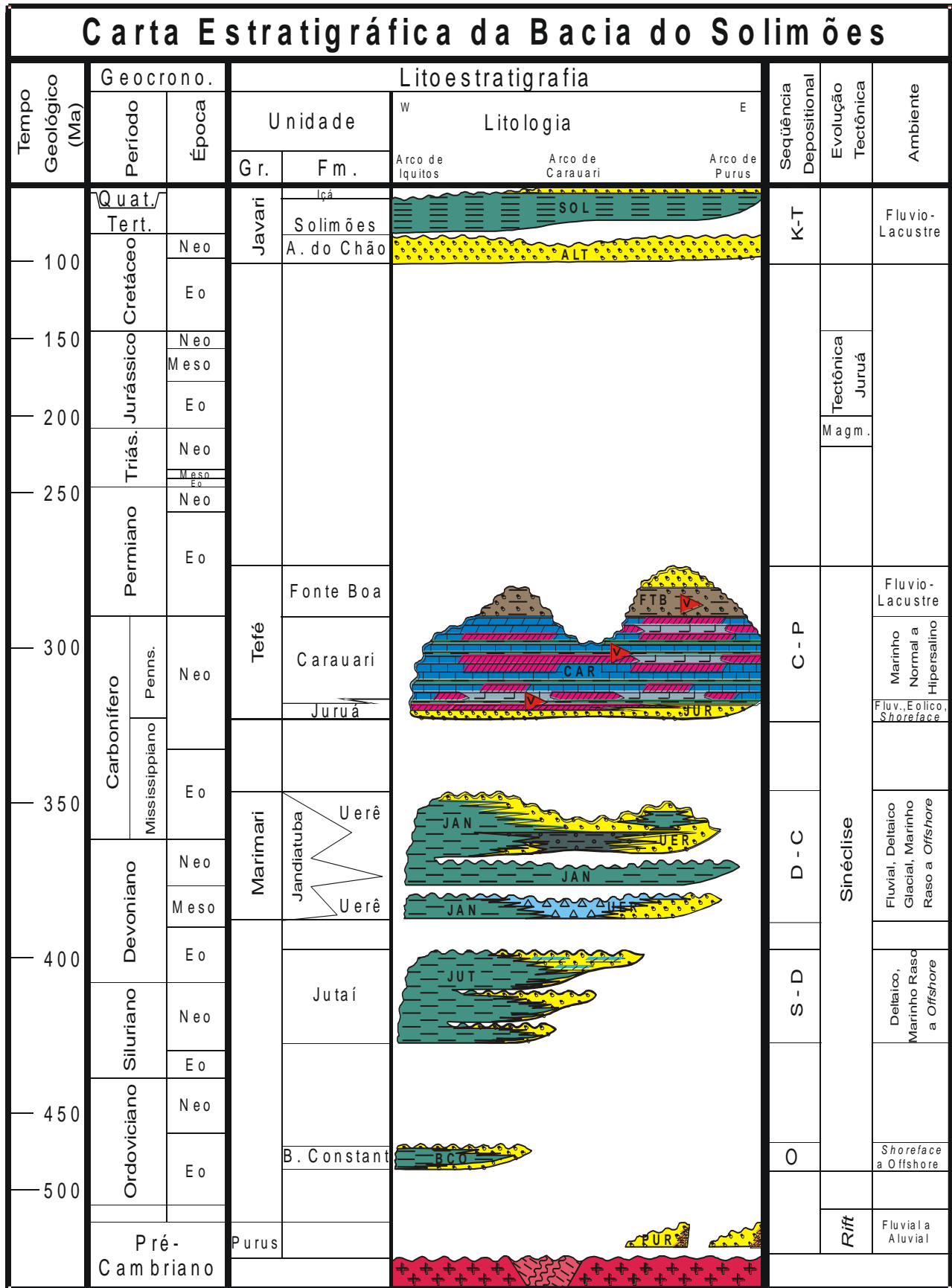


Figura 04 - Carta Estratigráfica da Bacia do Solimões (EIRAS *et al.*, 1994).



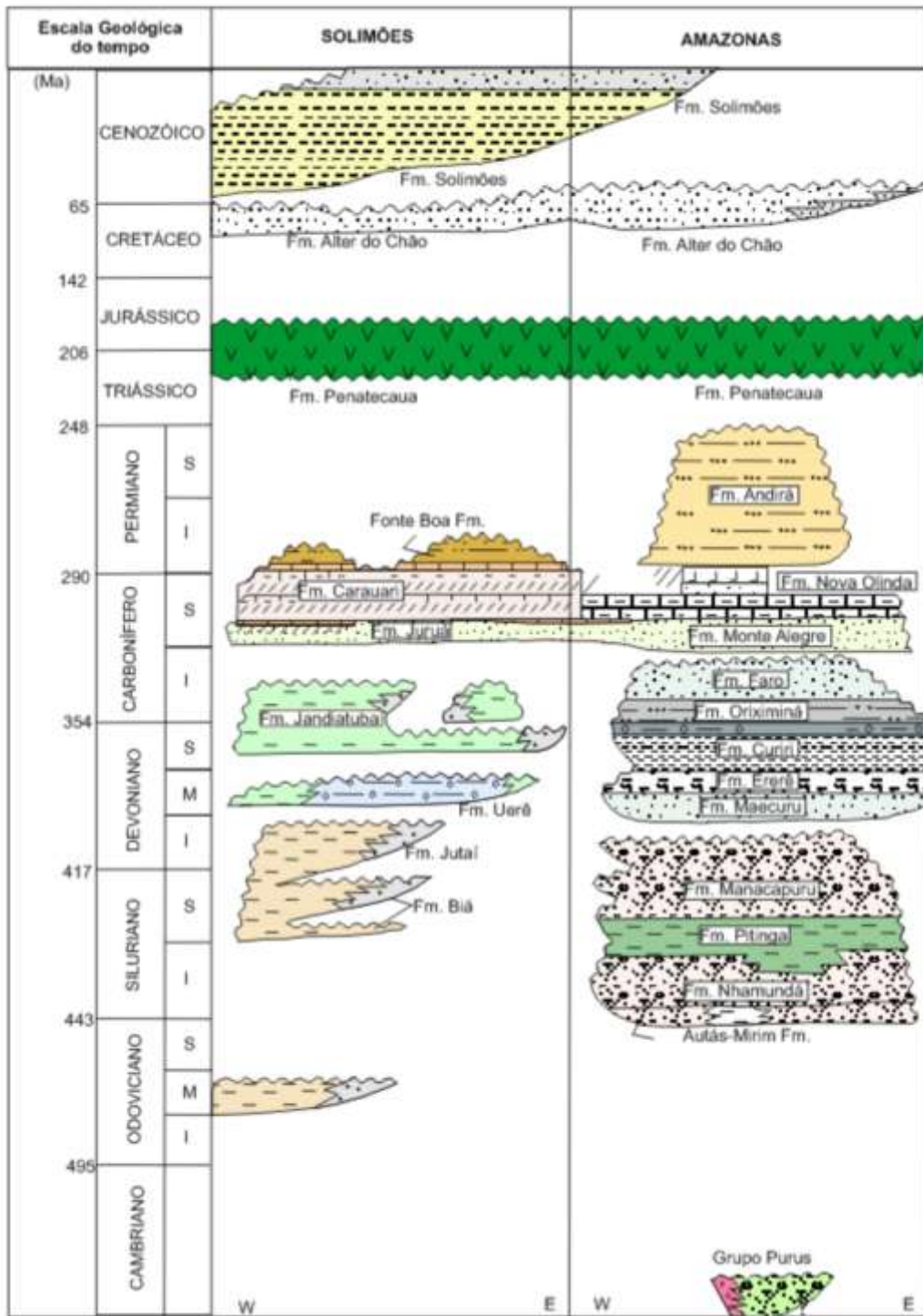


Figura 05- Unidades geológicas e a correlação entre as bacias do Amazonas e Solimões, conforme Milani & Thomas Filho (2000).



O Grupo Marimari é constituído pelas Formações Uerê e Jandiatuba, a primeira é composta por silexito e arenito com espículas de esponja e folhelho cinza-escuro. A segunda é caracterizada por folhelho cinza-escuro com níveis em matéria orgânica intercalados a arenito com espículas e siltito.

O Grupo Tefé é composto pelas Formações Juruá, Carauari e Fonte Boa (SILVA, 1987). A unidade Juruá é composta por arenito muito fino a grosso, branco e cinza, com estratificação cruzada de grande e pequeno porte. A Formação Juruá apresenta ambientes de deposição flúvio-deltaico e eólico. A Formação Carauari tem ampla distribuição na Bacia do Solimões e é representado por folhelho cinza e calcilutito recristalizado, anidrita maciça branca e halita hialina fina a grossa, cujo ambiente de deposição caracteriza ciclos transgressivos e regressivos.

A Formação Fonte Boa, segundo Caputo *et al.* (1971), é caracterizada por folhelho de coloração vermelho e castanho e siltito, de idade permiana a neopermiana, conforme Daemon & Contreiras (1971), cujo ambiente deposicional é marinho regressivo.

Grupo Javari está constituído por sedimentos neocretáceo da Formação Alter do Chão e miocênicos da Formação Solimões, as quais se distribuem tanto na Bacia do Solimões quanto na Bacia do Amazonas. Os arenitos da Formação Alter do Chão na Bacia do Solimões interpõem-se em discordância angular entre o Grupo Tefé e Formação Solimões.

A Formação Solimões, termo revalidado por Caputo *et al.* (1971), compreendem os argilitos que recobrem as bacias do Solimões e Acre. Essa unidade é composta por argilito vermelho e cinza, com camadas de conchas e de linhito, além de fósseis vegetais e animais, escamas, dentes e ossos. O ambiente deposicional relacionado é fluvial meandrante fino e lagos formados por canais abandonados.

#### **4.1.2 Formação Içá**

As pesquisas de carvão realizadas pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil) na região do Alto Solimões mostraram diferenças morfológicas que justificam a existência de unidades litoestratigráficas distintas, conforme Maia *et al.* (1977). Ao longo do rio Içá foi reconhecido um pacote sedimentar predominantemente arenoso sobre a Formação Solimões. Estes autores denominaram esta unidade de Formação Içá, referindo-se as exposições de seções no rio homônimo.

A Formação Içá se sobrepõe à Formação Solimões nas margens dos rios Içá e Solimões, e apresenta morfologia em colinas muito suaves, com drenagem densa, é exposta a leste do alinhamento do Arco do Jutaí, com relevo conservado essencialmente plano (COELHO, 2000).

Segundo Bezerra (2003), os sedimentos da Formação Içá foram depositados através de um sistema complexo, onde canais fluviais divagavam sobre uma ampla área de planície aluvial com significativas interferências neotectônicas. O autor cita alguns aspectos que diferem a Formação Içá da Formação Solimões, onde os mais notáveis são:

a) Conteúdo litológico: na Formação Solimões predomina sedimentos pelíticos e clastoquímicos, com intercalações mais grosseiras de arenitos finos, enquanto na Formação Içá a sucessão predominante é arenosa, com intercalações lenticulares de material fino (MAIA *et al.*, 1977; COELHO, 2000).

b) Conteúdo fossilífero: presente em quase todas as exposições da Formação Solimões, é raro ou ausente na Formação Içá.

c) Características morfológicas: o relevo é dissecado em colinas na Formação Solimões, com vertentes acentuadas, a Formação Içá possui um relevo extremamente plano, sendo comum a ocorrência de áreas alagadiças.

As versões mais recentes do mapa geológico consideram o oeste da Amazônia quase que inteiramente representado pela Formação Içá, de idade inferida Plio-Pleistocênica, com apenas poucos depósitos quaternários que se desenvolveram localmente nas margens dos rios devido a mudanças de fluxo na bacia de drenagem (ROSSETTI *et al.*, 2005).

### **4.1.3 Depósitos Quaternários**

A planície aluvial do rio Amazonas e seus afluentes caracterizam-se por depósitos quaternários constituídos de sedimentos arenosos e argilosos em um sistema complexo de formas aluviais, no qual se destacam depósitos de canais e barras meandranes, depósitos de planície de inundação, terraços aluviais, diques marginais, meandros abandonados e lagos (NASCIMENTO *et al.*, 1976). Os sedimentos aluviais de composição arenosa e argilosa estão ao longo dos principais rios da região, conforme Iriondo (1982).

Duas fases morfogenéticas foram destacadas por Iriondo (1982):

- Planície de barras de meandros, depósitos de inundação e depósitos de estuário do período Mesoholoceno e;
- Planície de barras e meandros do período presente.

Três unidades distintas pela sua geomorfologia e sedimentologia foram definidas por Latrubesse & Franzinelli (2002): 1) planície antiga, que ocorre em terraços compostos por silte-argila, dominadas por barras de migração; 2) planície de inundação barrada, que tem como característica principal uma ampla área de lagos de formas variadas, a qual fica inundada durante a cheia; 3) planície de inundação dominada por canais, caracterizadas por feições de barras arenosas ativas, diques e predominância de barras de migração, com ilhas e sistema de canais abandonados constituído por sedimentos arenosos finos.

No Projeto RADAMBRASIL, Nascimento *et al.* (1976), Mauro *et al.* (1978) e Costa *et al.* (1976) mostram características morfológicas para os depósitos quaternários, onde a terminação em delta e as formas complexas dos depósitos são resultantes da dinâmica fluvial.

Os depósitos cenozóicos foram individualizados por Rossetti *et al.* (2005) a partir da interpretação de modelos SRTM, no qual foram comparados com os depósitos “Barreiras” no estado do Pará, região de Belém. Os autores descreveram os depósitos quaternários denominados de Q1, Q2, Q3 e Q4, na ordem do mais antigo progredindo para a sedimentação atual (FIGURA 06).

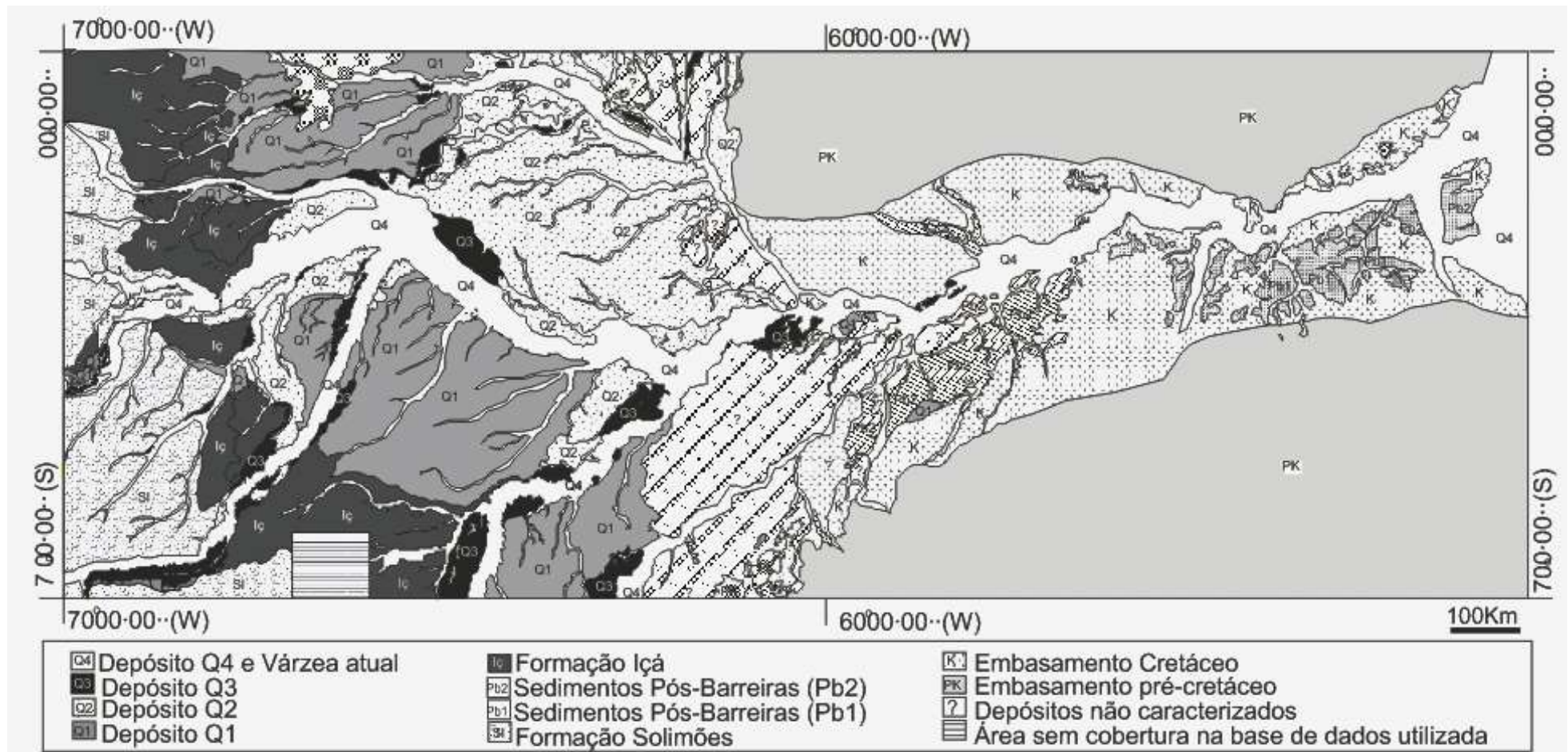


Figura 06 - Distribuição de unidades recentes na área de estudo, conforme Rossetti *et al.* (2005).

## 4.2 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA

O estudo dos processos geomorfológicos é necessário para dar suporte ao entendimento dos modelos de relevo e padrões de drenagem através dos quais se pode analisar as unidades morfoestruturais.

A geomorfologia da região norte está estreitamente relacionada aos principais traços da geologia regional, onde se destacam a Bacia Paleozóica do Amazonas e os grandes blocos compostos de rochas cristalinas formadoras dos escudos das Guianas e do Brasil-Central. Segundo o projeto RADAMBRASIL, as unidades de relevo foram agrupadas em três grandes conjuntos morfológicos, os quais são os planaltos, as depressões e as planícies.

O mapeamento geomorfológico no estado do Amazonas foi executado pelo projeto RADAMBRASIL, no Levantamento dos Recursos Naturais das folhas NB.20, NA.19-21, SA.19-21, SB.18-21, SC.19-21, sendo que na área estudada está inserida nas folhas SA.20 e SB.20 PURUS. Dados geomorfológicos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (GATTO, 1991) região Norte, também constitui um bom acervo de informações para a área de estudo.

### 4.2.1 Drenagem

De acordo com Lima (2002), a drenagem sempre desempenhou papel importante para a humanidade, desde os seus primórdios até os dias de hoje, tanto para locomoção, transporte de bens, comunicação, alimentação e fornecer o insumo vital para os seres vivos: *a água*. Ao longo de sua história, as populações sempre procuram se fixar às margens dos cursos d'água e muitas civilizações devem seu florescimento à presença de um grande rio.

No estado do Amazonas a grande bacia hidrográfica é a do rio Amazonas que recebe distintas denominações nos países limítrofes ao Brasil. Esse rio nasce no Peru, no Planalto de La Raya com o nome de *Vilcanota*, neste território também recebe as denominações de *Ucayali* e *Maranon*. Na Colômbia é denominado pela primeira vez de Amazonas e, já em território brasileiro (Tabatinga-Amazonas) denomina-se rio Solimões. A denominação rio Amazonas só ocorre à jusante da confluência com o Rio Negro.

O rio Solimões que possui cerca de 980 km em território brasileiro é pouco citado até mesmo nos livros de ensino fundamental e ensino médio.

Além da importância social, política e econômica, a drenagem e seus padrões apresentam informações relevantes sobre o meio físico tanto geológico quanto geomorfológico. Estes conhecimentos são de grande importância na execução de obras de engenharia (hidrelétricas), planejamento agrícola, zoneamento ecológico-econômico, planejamento de cidades, potencial geoambiental, etc. As bacias de drenagem constituem a principal unidade para estudos de macrozoneamento ambiental e de zoneamento ecológico muito aplicado atualmente.

Deffontaines & Chorowicz (1991) definem rede de drenagem como um conjunto de superfícies topográficas sub-aéreas, 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 por água temporariamente ou de forma perene. Guerra (1993) define drenagem como uma feição linear negativa produzida por água de escorrência, que modela a topografia de uma região.

Para este trabalho, a definição utilizada é a proposta por Guerra (1993), ao passo que em geologia sugere-se: feição linear negativa relacionada às zonas de fraqueza dos terrenos geológicos. Estas zonas podem representar fraturas (juntas ou falhas), estruturas primárias ou secundárias e interfaces litológicas de comportamento reológico distinto.

A drenagem apresenta inúmeros sinônimos, como rio, ribeirão, regato, igarapé, arroio ou riacho, entre outros (LIMA, 2002). Na Amazônia, a drenagem secundária é denominada de igarapé (igarapé = igara+apé de tupi = caminho de canoa). A bacia do Amazonas-Solimões na drenagem secundária recebe denominações como: igarapé, paraná ou furo.

Paraná são cursos de água que subdividem um rio, em razão da presença de uma ilha. Furos são braços de água que ligam um curso de água (paraná) a outro, ou a um lago.

Em função do fornecimento de água a drenagem pode ser: efêmera que contém água somente com a presença de água pluvial; intermitente contém água em determinadas épocas do ano ou perene sempre apresentam água em seu canal, devido o abastecimento por água subterrânea.

A bacia de drenagem constitui uma área na qual a água de precipitação sobre a superfície é transferida para o mar ou oceano (drenagem exorreica), ou para um foco de drenagem interna como um lago ou outra drenagem de ordem mais elevada (drenagem endorreica). A bacia de drenagem também pode ser dividida em sub-bacias.

Em análise de bacias de drenagem ou conjunto de drenagens é necessário a observação das características morfométricas e topológicas. No estudo morfométrico, que é utilizado

neste trabalho, é possível quantificar a extensão, forma, densidade e a distância dos interflúvios, facilitando a comparação com outras bacias. Na análise topológica, não foi utilizado neste trabalho, é importante confrontar o percurso de um rio e seus afluentes com outros de uma mesma bacia.

Outro conceito relevante para a análise das drenagens e de bacias de drenagens se refere às confluências e capturas de drenagens. Em se tratando da confluência ou junção, a definição proposta por Christofolletti (1980) descreve o lugar onde dois canais se encontram não sendo permitida junções tríplices. Captura resulta de uma erosão lateral ou aplanção, isto acontece depois que os rios estão equilibrados e quando predomina a erosão lateral. O ponto onde se realiza a captura é denominado *nó de captura* e o rio que perdeu parte de sua bacia chama-se *decapitado*. O motivo mais comum que leva a captura é a aptidão que um rio possui para manter e estender seu vale a um nível mais baixo do que um rio adjacente.

Outras propriedades analisadas são a densidade de drenagem e a assimetria. De acordo com Horton (1945), por meio da propriedade da densidade de drenagem, pode ser obtido informação sobre a ocorrência de terrenos porosos, ou impermeáveis. Com esta propriedade são encontrados dados sobre permeabilidade, porosidade e, conseqüentemente, sobre a litologia.

A assimetria é um parâmetro de grande importância, pois determina o caimento do terreno ou estruturas planares primárias ou secundárias. A assimetria forte é marcada pela presença de afluentes bem curtos e os afluentes longos indicam fraco caimento. Geralmente a assimetria está relacionada à presença de blocos basculados, onde seu limite é demarcado por uma drenagem retilínea.

Howard (1967) destaca como propriedades descritivas da rede drenagem a integração, continuidade, densidade, tropia, controle, sinuosidade, ângulo de junção e assimetria (FIGURA 07). Destas, o grau de integração, continuidade e a densidade têm implicações diretas com o tipo litológico, ao passo que as demais permitem a identificação de anomalias sugestivas de controle estrutural (DEFFONTAINES & CHOROWICZ, 1991; RAYMOND *et al.*, 1994; SILVA, 2005).

1-Grau de Integração	2-Grau de Continuidade	3-Densidade	4-Tropia	5-Grau de Controle	6-Sinuosidade	7-Angularidade	8-Ângulo de Junção	9-Assimetria
Alto	Alto	Alta	Unidirecional	Forte	Curvos	Alta	Agudo	Fraca
Médio	Médio	Média	Bidirecional	Forte	Mistos	Média	Reto	Média
Baixoe	Baixo	Baixa	Tridirecional	Fraco	Retilíneos	Baixa	Obtuso	Forte
			Multidirecional desorientada					
			Multidirecional orientada					

Figura 07 - Principais propriedades de drenagens.  
Adaptado de SOARES & FIORI (1976).

Os padrões de drenagem podem ser referidos como básicos e modificados. Nos padrões básicos, segundo Howard (1967), são aqueles em que suas propriedades se diferem de fundamentalmente de outro padrão. A drenagem modificada contém variações das propriedades de um padrão básico.

Zernitz (1932) classificou os principais padrões básicos como: Dendrítico, Paralelo, Treliça, Retangular, Radial e Anelar conforme a Figura 08. Já Howard (1967), descreveu os padrões de drenagem de acordo com seu significado geológico, conforme mostrado na Tabela 01.



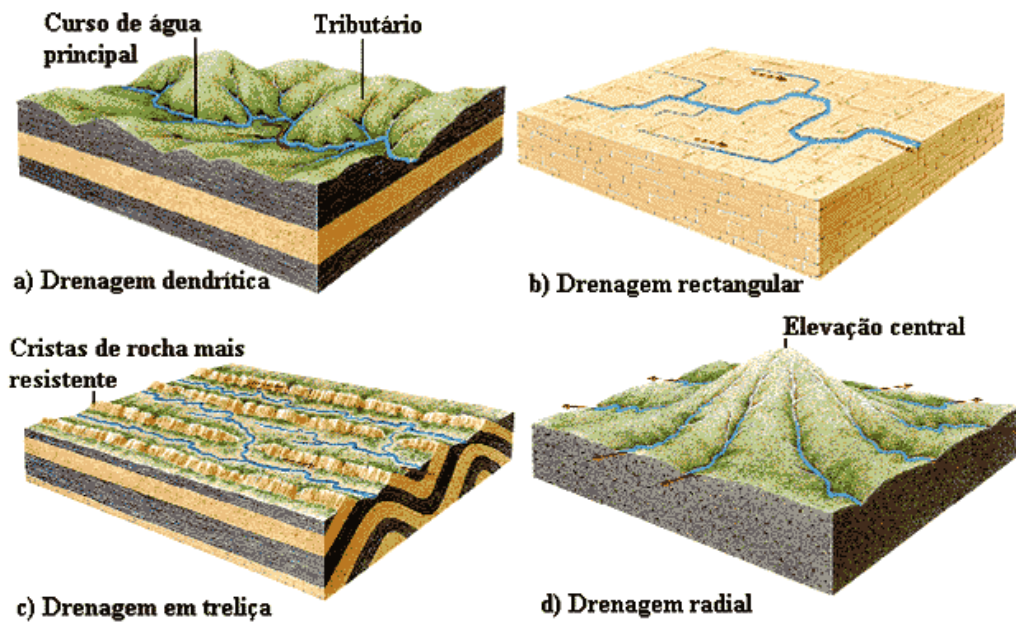


Figura 08 - Alguns tipos de padrão típicos de drenagem de cursos de água, adaptado de Zernitz (1932).

Tabela 01 – Alguns padrões de drenagem básicos e sua interpretação geológica.  
*Modificada de Howard 1967.*

BÁSICO	SIGNIFICADO
Dendrítico	Rochas reologicamente homogêneas das classes sedimentar e ígnea; derrames basálticos; terrenos dominados por granitóides não deformados.
Paralelo	Geralmente indica caimento do terreno, principalmente em rochas sedimentares; seqüências sedimentares depositadas sob a forma de cristas. Transição para o dendrítico.
Treliça	Sistemas de fraturas paralelas em rochas ígneas ou sedimentares; Transição para o paralelo. Seqüência metamórfica de baixo a médio grau dobradas.
Retangular	Fraturas em ângulos retos.
Radial	Domos, vulcões, diatremas e bossas, estruturas circulares em geral.
Anelar	Estruturas circulares em geral (stocks).

Howard (1967) também desenvolveu técnicas para caracterizar os padrões de drenagem, apresentando o arranjo pelos diversos canais para compor a bacia de drenagem, os quais foram denominados de *padrões de drenagem básicos modificados* (FIGURA 09 A, B, C, D e E).

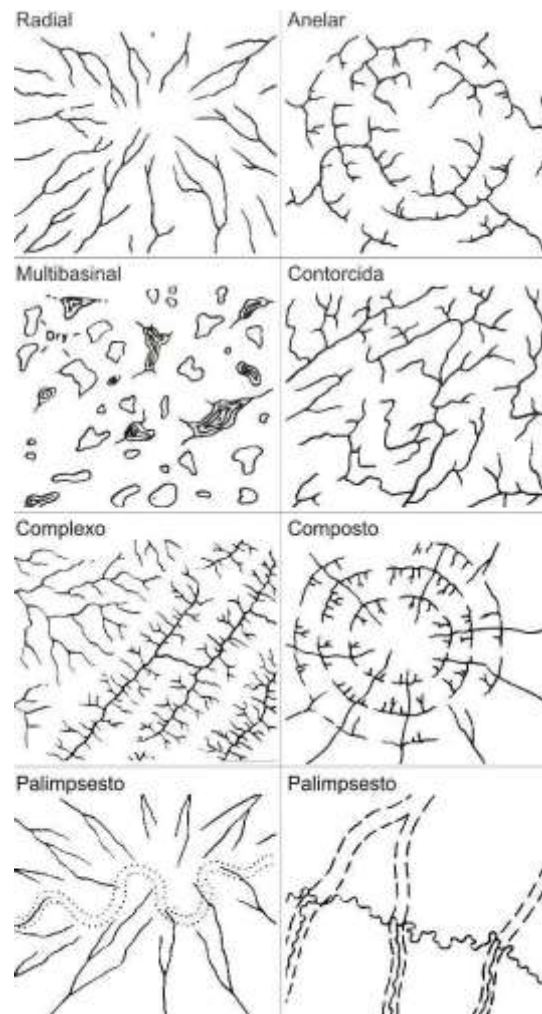


Figura 09 A - Padrões de drenagem radial e seus modificados.  
*Fonte: Adaptado de HOWARD (1967)*

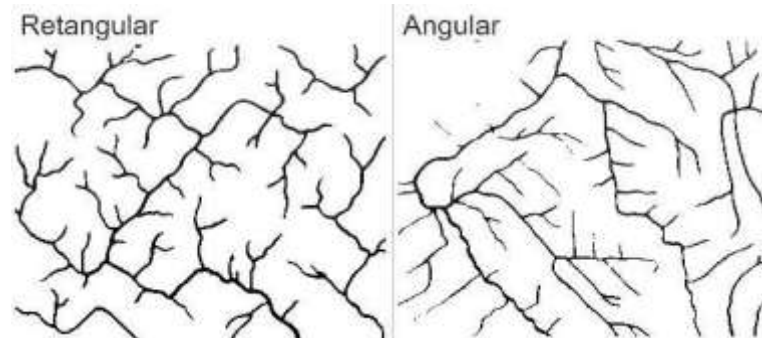


Figura 09 B - Padrão de drenagem retangular e seu modificado.  
*Fonte: Adaptado de HOWARD (1967)*

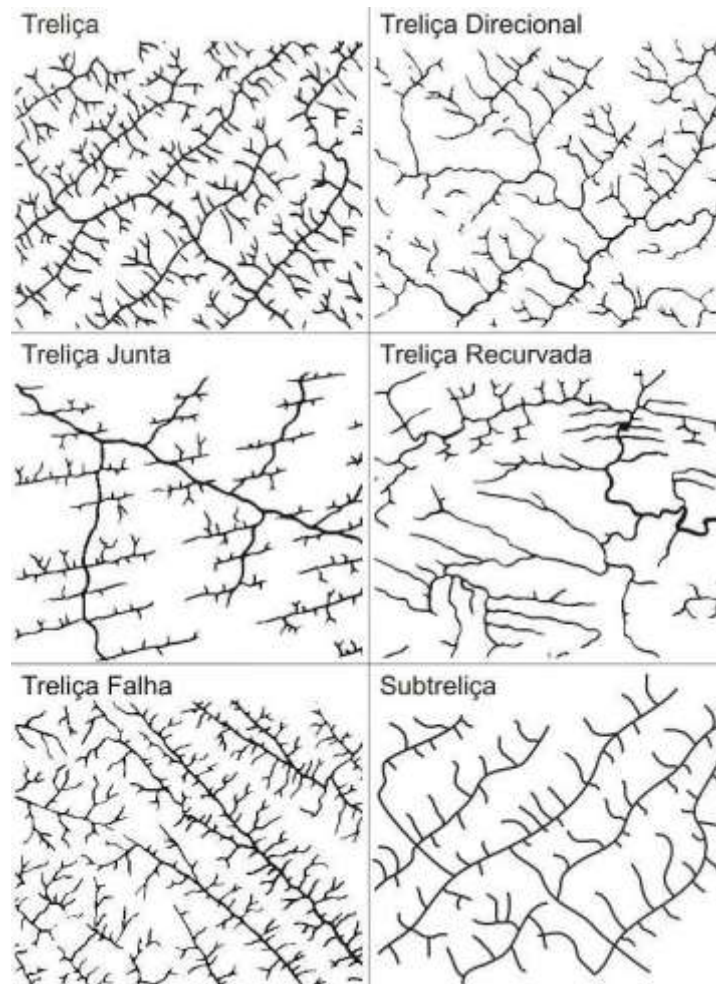


Figura09 C - Padrão de drenagem treliça e seus modificados.  
*Fonte: Adaptado de HOWARD (1967)*

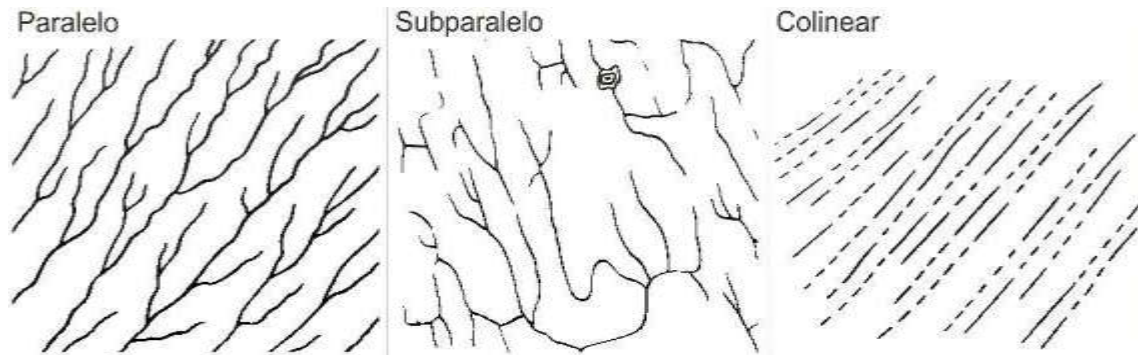


Figura 09 D - Padrão de drenagem paralelo e seus modificados.  
 Fonte: Adaptado de HOWARD (1967)

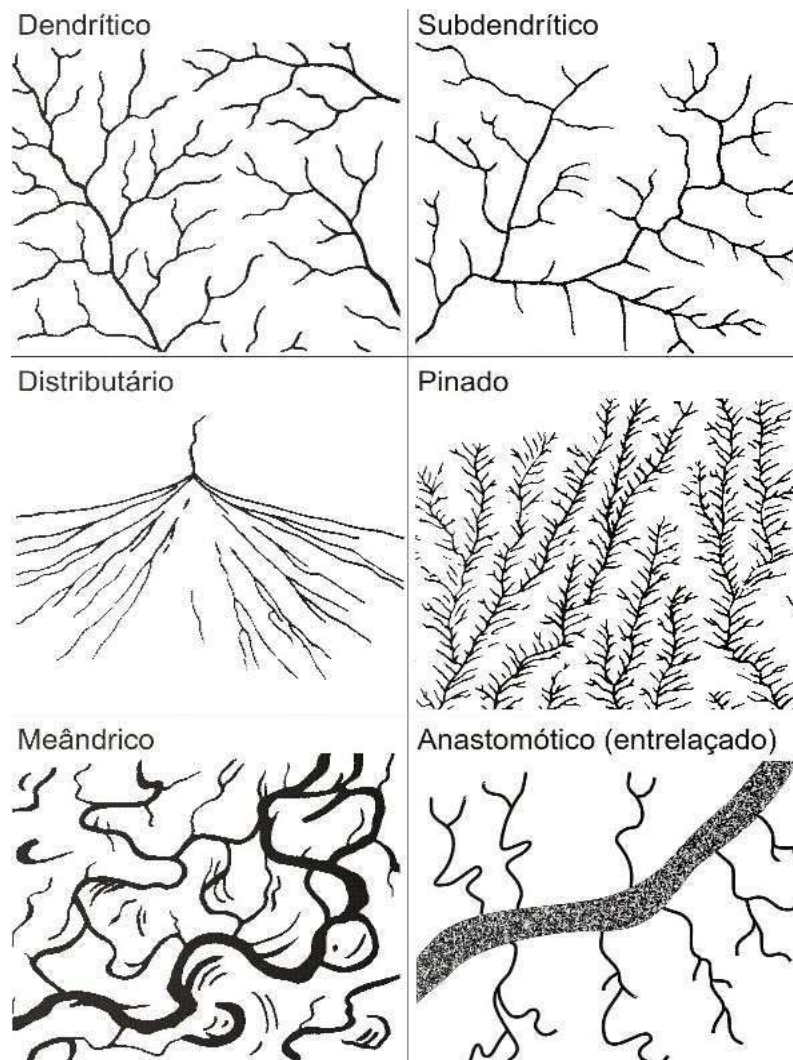


Figura 09 E - Padrão de drenagem dendrítico e seus modificados.  
 Fonte: Adaptado de HOWARD (1967).

Christofoletti (1980) caracteriza outra propriedade muito importante que é o condicionamento a estrutura geológica, a partir da qual é possível diferenciar os cursos d'água. Neste sentido, os cursos d'água podem ser classificados em: a) Conseqüente é o rio que tem seu curso controlado pelo sentido de mergulho principal das camadas, que nem sempre coincide com a declividade do terreno; b) Subseqüente é o rio com curso desenvolvido sobre zonas de fraqueza (fraturas, falhas, juntas) ou feições estratigráficas; c) Reseqüente é o rio que possui um nível topográfico inferior ao da drenagem conseqüente, porém com curso orientado no mesmo sentido; d) Obseqüente é o rio que corre em sentido inverso à inclinação original dos rios conseqüentes, ou seja, em sentido contrário à orientação das camadas planares e, e) Inseqüente é o rio que não apresenta controle geológico, seja ele estrutural, litológico ou estratigráfico.

Por anomalia de drenagem entende-se, segundo Howard (1967), modificações ou desvios locais, em algum lugar da drenagem regional ou padrão de drenagem e tem como base sua conhecida estrutura regional e/ou topográfica, De Blieux (1949) (citado por HOWARD, 1967) considera o padrão de drenagem esperado, normal e os desvios, como feições anômalas. Uma anomalia sugere mudanças geológicas e geomorfológicas, consequentemente, nas formas de relevo em âmbito regional. Os principais exemplos de anomalias de drenagem são apresentados por Holmes (citado por HOWARD, 1967), são representadas pelas seguintes feições: retilinearidade, aparecimento de meandros, meandros comprimidos, canal anastomótico, estreitamento de vales e canais, curvas anômalas.

Abaixo temos a definição de algumas dessas feições:

*Retilinearidade* – feição com extensos e retilíneos canais de drenagem inseridos em um padrão de drenagem que não seja retangular ou treliça. Geralmente está associado a fraturas.

*Lagos, Pântanos e Depósitos aluviais localizados* – sugerem a presença de subsidência ou levantamento.

*Curvas anômalas* – indicam, em sua maioria, inversão de relevo ou marcante controle estrutural.



*Planície de inundação* – superfície plana, ao longo das margens dos rios, formada por aluviões e por materiais diversos, depositados no canal fluvial ou fora dele. Durante as enchentes toda essa área é inundada (FIGURA 10).



Figura 10 - Modelo de planície de inundação do rio Purus – AM.

*Terraço Fluvial* – formas de relevo contidas no vale que foram elaboradas pelo rio devido a mudanças em seu regime (flutuações climáticas ou alterações no nível de base) (FIGURA 11).

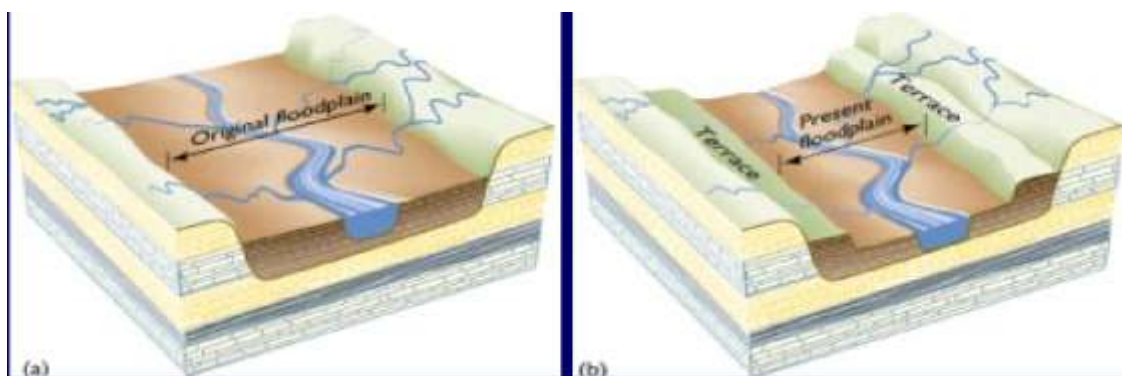


Figura 11 - Terraços acumulativos: antigas planícies de inundação

#### 4.2.2 Relevo

De acordo com Guerra (1993) todas as formas de relevo são estudadas na Geomorfologia, tendo em vista a origem, a estrutura e a natureza das rochas, o clima da região e os diversos fatores externos e internos que modificam as formas de relevo.

Os fatores externos ou exógenos atuam no modelamento do relevo e seus principais agentes são: erosão (eólica, fluvial, pluvial), intemperismo das rochas, entre outros. Os fatores internos, considerados como agentes endógenos estão relacionados principalmente ao tectonismo, vulcanismo, movimentos orogênicos e que resultam na acumulação, desgaste e deformações do relevo terrestre. A paisagem topográfica pode parecer imutável na escala temporal de milhares de anos. Mas na escala local e pontual apresenta modificações sensíveis no transcurso de anos e décadas. Essas modificações têm origem a partir de evolução de voçorocas, carregamento de detritos de vertentes, que são indicadores de desequilíbrios ocorridos num determinado local.

As características do relevo possuem relação direta com as unidades litoestratigráficas do mapa geológico da área, refletindo as diferenças nas propriedades físicas ou composicionais das rochas. No geral, as rochas do embasamento cristalino e rochas sedimentares pré-cambrianas caracterizam os Pediplano Rio Branco-Rio Negro (PBN), Planalto Dissecado Norte da Amazônia (PDNA) e Depressão Periférica Norte do Pará (DPNP) enquanto os demais domínios são esculpidos em rochas sedimentares fanerozóicas (IBGE, 2006).

Ainda segundo IBGE (2006), a Planície Amazônica (PA) é a principal unidade da área. Corresponde a terrenos aplainados, com altimetria máxima de 30m, áreas de depósitos fluviais situados ao longo das calhas dos rios Amazonas e Solimões encaixados nas rochas sedimentares do Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (PRAO) e parcialmente do Planalto Dissecado Rio Trombetas – Rio Negro (PDTN).

As áreas denominadas várzeas compreendem as planícies de inundação fluvial de deposição holocênica e pleistocênica que margeiam os rios de águas barrentas, ricas em material em suspensão, basicamente às margens do rio Solimões.

A unidade de “Terra Firme” está relacionada à cotas topográficas superiores a 30m, bem como as ocorrências de área isoladas com declividades acima de 5 %, basicamente, refletindo os depósitos da Formação Solimões e/ou Içá. Esporadicamente essa unidade é representada por terraços e barras abandonadas holocênicas, as quais são as barras em pontais

associado ao rio Solimões. Formam platôs geralmente sustentados por crostas lateríticas, com grau de dissecação moderado a alto, caracterizados por padrão de drenagem dendrítico mais desenvolvido sobre as rochas da Formação Alter do Chão (PETROBRÁS, 2004).

A planície de inundação em depósitos em crescente é representada por planície de inundação desenvolvida em depósitos de barras areno-argilosas, isoladas e truncadas pelo canal do rio Solimões. As barras mostram uma série de eventos de acresção lateral, separadas por sucessivas reativações, de escala de centenas de metros até quilométrica. Lagos assimétricos e estreitos seguem a configuração alongada das linhas de acresção, as quais são estabilizadas pela vegetação e comportam-se como diques marginais (PETROBRÁS, 2004).

De acordo com RADAMBRASIL (1978), a área caracteriza-se pela predominância de interflúvios tabulares de intensidade de aprofundamento da drenagem muito fraca, ocorrendo também superfície pediplanada e colinas, sendo mais características as colinas na região do Rio Coari e Urucu. A litologia do planalto é representada pelos sedimentos pleistocênicos da Formação Solimões e por litologias pré-cambrianas.

Atualizações mais recentes das unidades de relevo da região foram produzidas pelo IBGE (2006), que descreve a Planície Amazônica, a Depressão Solimões-Unini, a Depressão Madeira-Purus, a Depressão Ituxi-Jari e a Depressão Purus-Juruá.

A Planície Amazônica representa planícies e terraços fluviais e flúvio-lacustres elaborados em sedimentos aluviais recentes e correspondem às várzeas permanentemente alagadas e/ou inundáveis nas cheias anuais (BEZERRA, 2003). Segundo Costa *et al.* (1978), esta unidade é caracterizada por apresentar uma colmatagem atual e ativa, onde se destacam lagos, furos, paranás e depósitos lineares recentes. Bezerra (2003) destaca a presença de diques arenosos, correspondentes aos depósitos de barra em pontal, bacias de decantação, como depósitos de transbordamento e lagos de meandro, como aluviões flúvio-lacustres. A drenagem é complexa com trechos meandranes e retilíneos devido a um forte controle estrutural (BEZERRA, 2003).

Costa *et al.* (1978) descrevem, sucintamente, o desenvolvimento da Planície Amazônica na área estudada. Comentam os autores, que no limite ocidental da área até a cidade de São Pedro, a faixa de planície fluvial está posicionada somente ao longo da faixa esquerda do rio Solimões. Deste ponto para a jusante, a Planície Amazônica posiciona-se principalmente ao longo da margem direita deste rio. A norte da junção entre estes dois trechos, a planície passa a acompanhar um antigo curso do rio Solimões dispondo-se de forma arqueada com a convexidade voltada para norte. Tal anomalia se deve a um forte controle



estrutural por zonas de falhas normais, conforme Silva *et al.* (2003). Esta descrição apresentada por Costa *et al.* (1978) é puramente descritiva e pouco se conhecia na época a respeito da deformação tectônica existente.

Ainda, segundo Costa *et al.* (1978), quatro padrões fisionômicos são distintos para a Planície Amazônica no rio Solimões. Destes, apenas dois se enquadram na área estudada: o padrão de lagos e o padrão de depósitos lineares fluviais.

No trecho do sistema Solimões-Amazonas, Iriando (1982) destaca duas fases morfogênicas na Planície Amazônica: as planícies de barras de meandro, depósitos de inundação e depósitos de estuário do período Mesoholoceno, e as planícies de barras e meandros do período presente. Uma descrição minuciosa da compartimentação geomorfológica desses depósitos é encontrada no referido trabalho.

A descrição mais atual sobre os depósitos da Planície Amazônica, no trecho do rio Solimões, é encontrada em Latrubesse & Franzinelli (2002). Segundo os autores, na planície do rio Solimões podem ser reconhecidas três unidades com características geomorfológicas e sedimentológicas distintas: a) a planície antiga, dominada por barras de migração; b) a planície de inundação barrada; e c) a planície de inundação dominada por canais, incluindo um cinturão aluvial abandonado.

Segundo esses autores, na planície antiga ocorrem baixos terraços com topografia plana composto por silte-argila e onde são encontradas as barras que indicam meandramento do rio Amazonas. A planície de inundação barrada caracteriza-se por uma ampla área com lagos de formas variadas situados em uma superfície plana, inundada na época de cheias. Dominam sedimentos lamosos cinza a cinza-esverdeados, mosqueados, com feições de bioturbação e resto de vegetais modernos, cuja origem deve ser por acreção vertical, mas com contribuição de depósitos de rompimento de diques e sistema em deltas variados. As idades desses depósitos variam entre 300 a 1.020 anos. Nas planícies de inundação dominadas por canais, as principais feições são canais, barras arenosas ativas, diques, planície predominando barras de migração, ilhas e sistema de canais abandonados constituído basicamente por sedimentos arenosos e finos.

Uma característica interessante da morfologia dos depósitos quaternários recentes são rios com terminação em delta, mencionada nos levantamentos geomorfológicos no Projeto RADAMBRASIL (MAURO *et al.* 1978, COSTA *et al.* 1978, NASCIMENTO *et al.* 1976), e as formas complexas dos depósitos, resultantes da dinâmica fluvial nessa região.

Bezerra (2003) mostra que uma característica comum dos canais é o desenvolvimento de lagos represados na região estudada, na confluência com o rio Solimões, e pelos vales assimétricos e a continuidade do sistema de interflúvios tabulares é interrompido por amplas planícies fluviais, desenvolvidas ao longo dos rios principais.

### 4.3 NEOTECTÔNICA

O conceito de Neotectônica, desde o seu surgimento, passou por várias mudanças e as discussões a respeito de sua localização no tempo e no espaço prosseguem até os dias atuais. Os estudos de sismicidade estão diretamente ligados aos estudos de neotectônica, ou tectônica recente, sendo complicada a sua desvinculação, existindo uma relação entre eles como efeito e causa, existindo ainda poucos trabalhos que tratam desses dois aspectos no Brasil.

Os estudos da neotectônica são de fundamental importância para a análise e interpretação da geomorfologia atual e evolução paleogeográfica mais recente. Na década de 1940, Hills (1940) mostrou pela primeira vez a existência de falhas condicionando o quadro geomorfológico da Austrália. Segundo o autor, tais falhas teriam se instalado em coincidência com zonas de movimentação mais antigas, que apresentavam evidências de uma longa história de deslocamentos (HASUI, 1990).

A importância dos processos geológicos recentes foi reconhecida por Obruchev (1948, citado por MESCHERICOV, 1968) que propôs um novo ramo independente dentro das Geociências. Com isso, o termo “Neotectônica” foi criado para indicar o estudo dos movimentos da crosta terrestre atuantes durante os períodos Neógeno e início do Quaternário, que correspondem à formação da topografia contemporânea. As evidências de neotectônica apenas nas estruturas de superfície foram apresentadas até 1968, quando Meschericov observou, a partir de estudos gravimétricos e sísmicos, movimentos tectônicos em estruturas profundas da crosta terrestre, evidenciando tais movimentos em regiões intracratônicas como a planície Amazônica, Norte America e do Leste Europeu, os platôs da Sibéria e do Colorado, a Plataforma Africana e a Plataforma Brasileira.

A importância da neotectônica na evolução da crosta continental foi apresentada a partir de 1970, após a apresentação de propostas com a criação de outros termos como: *movimentos contemporâneos* (dos últimos 6.000 anos), *movimentos novíssimos* (Neógeno e

Quaternário mais antigo), *movimentos jovens* (Holoceno), *tectônica ativa* e *tectônica viva* (HASUI & COSTA, 1996).

Pavlidis (1989) esclarece que a neotectônica é o estudo de eventos tectônicos jovens, que ocorreram desde o Terciário Superior (Neógeno) ou que ainda ocorrem associados às últimas orogêneses, epirogêneses ou tensões crustais diversas. O desenvolvimento da atual morfologia da Terra está ligado aos eventos neotectônicos e necessitam de observações detalhadas combinadas com resultados obtidos através de dados sismológicos. Acrescentando ainda aos estudos da neotectônica os movimentos horizontais e verticais de escala local e global (PAVLIDES, 1989).

A grande polêmica sobre a definição da Neotectônica é até onde se pode recuar no tempo e usar o prefixo “NEO”. A INQUA (*Association for the Study of the Quaternary Period*), define neotectônica como qualquer movimentação ou deformação do nível geodésico de referência, sua origem geológica, seus mecanismos, suas aplicações para vários propósitos e suas futuras extrapolações, não existindo um marco temporal que indique o início da neotectônica (SAADI, 1993).

Fairbridge, em 1981, reuniu as evidências da atuação da neotectônica em termos de movimentos crustais verticais e horizontais, já estudados por outros autores na década de 1970:

Movimentos crustais verticais - encontrados em estudos de inundações recorrentes em terras baixas costeiras (Países Baixos, Norte da Alemanha, sudeste da Inglaterra e o Delta do Rio Pó na Itália); flutuações rápidas do nível do mar em regiões vulcânicas instáveis (Baía de Tóquio e Baía de Nápoles); regiões soerguidas por movimentos isostáticos pós-glaciais (plataformas da Escandinávia e do Canadá) e amplos cinturões de subsidência lenta que marcam regiões periglaciais (sul dos mares do Norte Báltico).

Movimentos crustais horizontais - a atuação da neotectônica extensional é observada no Gráben Central da Groelândia, no Sistema Transcorrente Mar Morto / Rio Jordão e na Falha de Santo André na Califórnia.

Com base neste estudo, o referido autor subdividiu a susceptibilidade neotectônica da crosta continental terrestre dentro de seis províncias geotectônicas:

*Plataformas Continentais*: RVCMS (Movimentos Crustais Verticais Recentes) inferiores a  $1 \text{ mm/ano}^{-3}$  e movimentos horizontais indetectáveis;

*Cinturões Orogênicos Cenozóicos*: RVCMS localmente superior a  $20 \text{ mm/ano}^{-1}$  e movimentos horizontais raramente maiores que  $1 \text{ mm/ano}^{-1}$ ;

*Cinturões Orogênicos mais velhos que o Fanerozóico:* RVCMS superiores a 5 mm/ano<sup>-1</sup>, soerguimentos neotectônicos superiores a 1 mm/ano<sup>-3</sup> e movimentos horizontais indetectáveis;

*Bacias Intra-Orogênicas:* RVCMS superiores a 10 mm/ano<sup>-1</sup>, neotectônica diferencial superior a 5 mm/ano<sup>-2</sup> e movimentos horizontais superiores a 1 mm/ano<sup>-1</sup> (extensional ou cisalhamento);

*Bacias Intracratônicas:* RVCMS superiores a 5 mm/ano<sup>-1</sup>, neotectônica diferencial superior a 2 mm/ano<sup>-2</sup> e movimentos horizontais superiores a 1 mm/ano<sup>-1</sup> (extensional ou cisalhamento);

No Brasil as primeiras pesquisas em relação à Neotectônica foram realizadas por Hasui em 1990, que se baseou na caracterização do quadro tectônico no Brasil, destacando o regime tectônico e a idade dos processos envolvidos. O autor cita duas possibilidades para o tempo de atuação da neotectônica no Brasil:

✓ considerar como neotectônica todos os processos ligados à abertura do Oceano Atlântico e seus posteriores retrabalhamentos até o Triássico ou Permiano, ou;

✓ considerar os processos pós-clímax da abertura do Atlântico a partir do Mioceno ou Oligo-Mioceno.

Após outras pesquisas envolvendo principalmente análises geológicas, gravimétricas e magnetométricas, geomorfológicas e sedimentológicas no sudeste do Brasil, optou-se por esta última consideração, porque diz respeito à movimentação ainda vigente com manifestações de ambiente intraplaca.

Hasui (1990) admite que o movimento da placa se dá sobre a esfera terrestre e deve ser assimilado em termos de rotação em torno de um eixo imaginário, perpendicular à superfície. Tal movimento é rotacional e horário, induzindo tensões segundo um binário destal, cuja expressão estrutural seria dada eminentemente através de falhas de caráter ressurgente, condicionadas pelas zonas de cisalhamento e suturas ligadas à estruturação antiga da crosta (FIGURA 12).

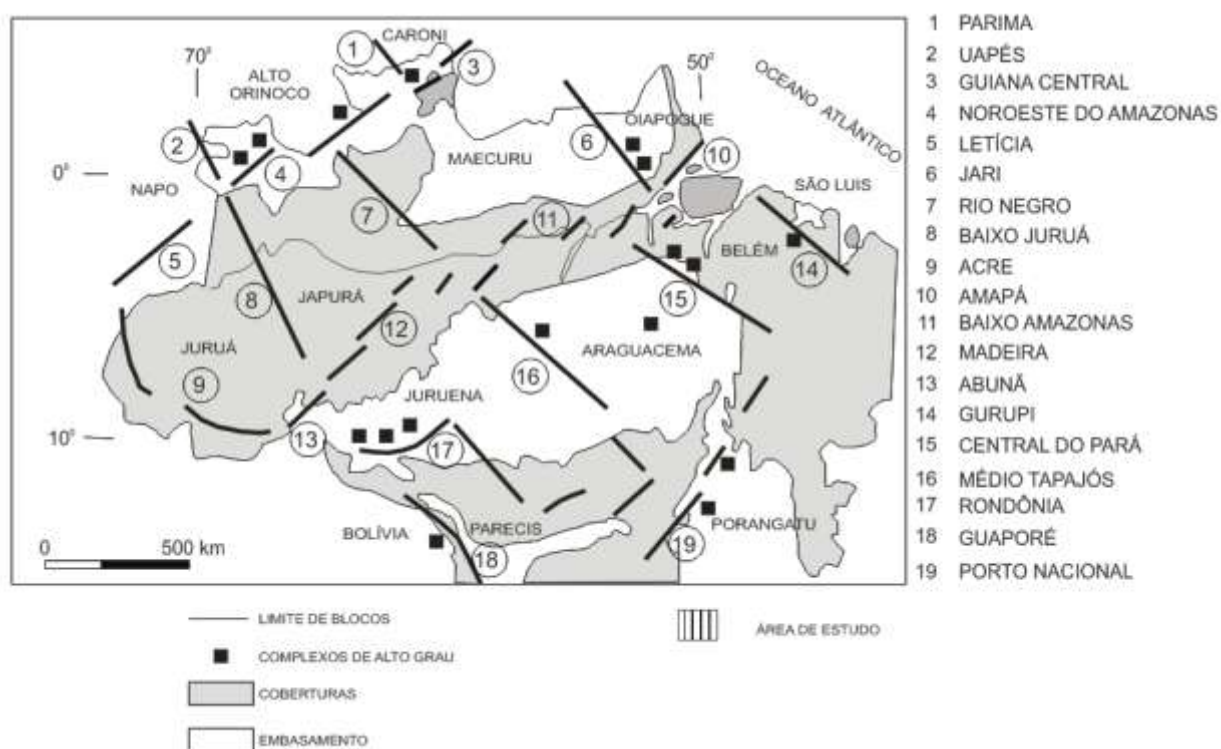


Figura 12 - Modelos de blocos crustais de Hasui *et al.* (1984).

Ainda neste trabalho, Hasui (1990) mostrou a mudança do regime tectônico distensivo para um regime transcorrente, está diretamente vinculado ao início da neotectônica no Brasil, relacionado aos processos de abertura do Oceano Atlântico e que o Brasil se insere no cenário de uma placa litosférica (Placa Sul-Americana) em movimento para WNW, com movimentos epirogenéticos positivos, e menos expressivamente negativos. As tensões existentes são induzidas pelos deslocamentos das bordas da placa, envolvendo compressão horizontal WNW-ESSE (FIGURA 13).

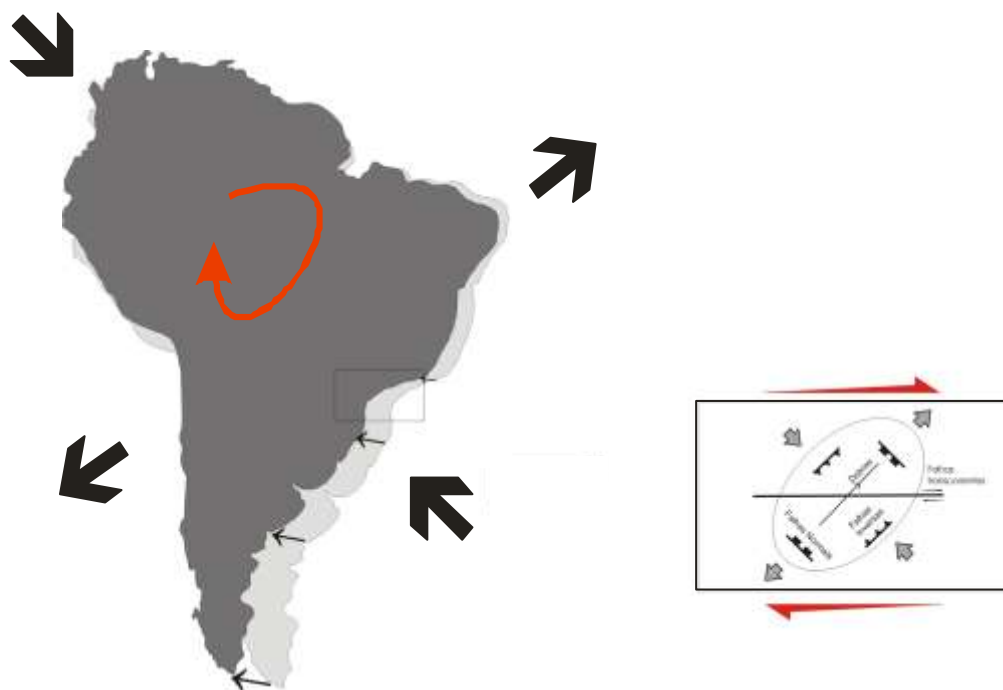


Figura 13 - Modelo de deformação para a Placa Sul Americana em sua deriva para NW, promovendo binário transcorrente destal EW e o desenvolvimento de falhas normais NW-SE, falhas de empurrão e dobras NE-SW e falhas transcorrentes EW, de acordo com modelo de RIEDEL.

O autor considerou as últimas manifestações de magmatismo alcalino no Nordeste (12 Ma) e o início da deposição da última seqüência das bacias costeiras e da Formação Barreiras na área emersa como balizadores do início da Neotectônica, que ficou fixado, enfim, no Mioceno Superior (Neógeno e Quaternário).

Uma avaliação geral das informações neotectônicas foi apresentada por Saadi (1993), apontando que o território brasileiro é marcado por grandes discontinuidades crustais de direções noroeste e nordeste, em parte coincidentes com aquelas indicadas por Hasui (1990), que relacionam com grandes lineamentos pré-cambrianos, compartimentando-o em bloco que estariam em movimentação.

Hasui & Costa (1996) identificaram os principais problemas encontrados por pesquisadores nos estudos neotectônicos a partir da análise de estudos realizados até a década de 1970. Dentre esses problemas destacam-se: caracterização mais precisa do quadro geológico anterior, para identificar zonas de fraqueza crustal que têm sido reativadas; caracterização regional das feições estruturais neotectônicas e do regime tectônico que as gerou; caracterização da evolução geomorfológica, pedogênese e geração de depósitos sedimentares, sob a óptica da geomorfologia tectônica e estratigrafia; caracterização da

sismicidade regional e risco sísmico; determinação do regime de tensão; e datação dos processos tectônicos, morfogenéticos e de sedimentação.

Em diversas partes do Brasil foram feitos estudos neotectônicos e essa evolução de conhecimentos possibilitou um avanço significativo no entendimento dos processos neotectônicos atuantes, permitindo a elaboração das principais estruturas e/ou discontinuidades da Plataforma Brasileira. Saadi *et al.* (2002) elaboraram um mapa de compilação de falhas e dobras do Quaternário do Brasil como parte do mapeamento de falhas ativas proposto pelo Serviço Geológico Americano (USGS). A apresentação do mapa é importante para mostrar a localização, idade e taxa de atividades das principais feições (lineamentos, falhas e dobras) e a atividade sísmica relativa do Brasil.

A região amazônica possui uma neotectônica marcada por estruturas, sequências sedimentares, padrões de rede de drenagem e sistemas de relevo, cujas características vêm sendo estudadas gradativamente.

As primeiras informações a respeito da neotectônica na Amazônia remontam da década de 1950, quando Sternberg divulgou um trabalho sobre a presença de lineamentos próximos à Manaus (AM), que controlam parte da rede de drenagem atual, a incidência de terremotos em amplas áreas e o desenvolvimento de falésias (fenômenos de “terras caídas”) sob o controle de falhas nas margens dos principais rios. As evidências tectônicas apontadas foram os padrões retilíneos de rios como, por exemplo, os dos rios Negro, Urubu e Preto da Eva, as inflexões em ângulo reto (em cotovelo), e a formação de segmentos de drenagens paralelos (FIGURA 14).

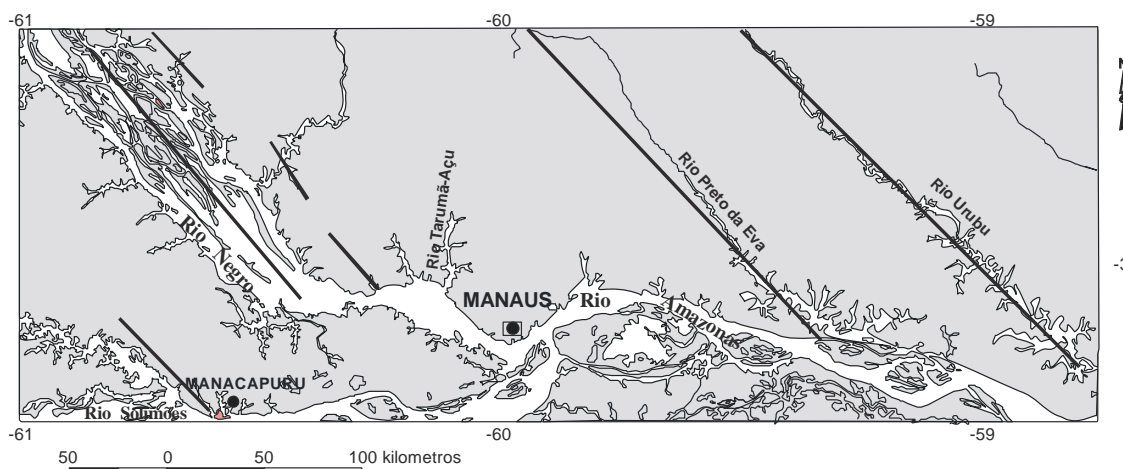


Figura 14 - Lineamentos dos rios afluentes da margem esquerda do rio Amazonas (modificado de Sternberg, 1950).

Na década de 1970, foi realizado o primeiro mapeamento em nível de reconhecimento e um apanhado regional da paisagem e seus elementos, executados no Projeto Radambrasil, no qual foram estudadas evidências acerca da manifestação de tectonismo na região amazônica a partir de levantamentos geológicos. As idéias de Sternberg (1950) e Tricart (1977) foram fundamentais para a análise dos processos geomorfológicos recentes estudados por Nascimento *et al.*, 1976, Costa *et al.*, 1978 e Mauro *et al.*, 1978 e divulgados nas folhas SA.21 – Santarém, SA.20 – Manaus e SB.20 – Purus do Projeto RADAMBRASIL.

De acordo com Iriondo (1982), a sedimentação quaternária no rio Amazonas evidencia uma série de “indícios indiretos” da manifestação tectônica na geomorfologia. A principal evidencia é a grande curvatura de bancos e de meandros que são decorrentes de subsidência tectônica, enquanto que os trechos retilíneos ou pouco divagantes de canais, estreitamento de planícies, mudanças angulares de direção dos canais e a ausência de lagos e de bancos com fraca curvatura são devido a soerguimentos tectônicos. Iriondo (1982) ainda afirma que falhas modernas são as causas da formação das rias fluviais.

Estudos de Miranda (1984) apontaram anomalias morfoestruturais na rede de drenagem na região da Bacia do Solimões, relacionadas a feições profundas como domos, depressões estruturais ou falhamentos antigos do embasamento, que se propagam nas formações mais novas. As anomalias foram interpretadas como resultado de estruturas antigas reativadas recentemente.

Diversos estudos foram divulgados a partir da década de 1980 sobre diversos aspectos da região amazônica, dando destaque a Franzinelli & Piuci (1988), Eiras & Kinoshita (1988), Franzinelli & Igreja (1990), Cunha (1991), Costa *et al.* (1993, 1994, 1995), Fernandes Filho *et al.* (1995), entre outros, que destacaram a ocorrência de falhas

Os movimentos geotectônicos na região amazônica, responsáveis pelas deformações translacionais, rotacionais, distorcionais, dilatacionais, consideradas isoladamente ou combinadas, a partir do Mioceno (24 Ma.) – portanto neotectônicas – e por consequência, responsáveis pela geomorfologia, fisiografia, geobotânica e eventos sismológicos terciários e quaternários, são consequentes da Colisão Andina a oeste e transpressão de noroeste e norte, pela interação entre as placas litosféricas de Nazca, Sul-Americana e Caribenha (FRANZINELLI & IGREJA, 1990), em particular, sobre as províncias estruturais Amazônica e Rio Branco respectivamente (ALMEIDA *et al.*, 1977).

Os arcos de Iquitos, Purus e Gurupá foram considerados por Cunha (1994) como Arcos tectonodivisores que refletiam reativações epirogenéticas no contexto das bacias,



interpretados como componentes transcorrentes da rototranslação das Províncias Rio Branco, Tapajós e Amazônica, participantes do processo de migração das placas continentais do pólo para o equador, que geram três grandes geocompartimentos, cujas áreas subsidentes acolheram sete importantes sequências sedimentares.

Costa *et al.* (1996) fizeram uma síntese da neotectônica da Amazônia, reunindo informações de diversos pesquisadores sobre dez áreas selecionadas na região amazônica nos aspectos morfoestruturais. O principal aspecto observado é que os autores entendem que o início da neotectônica remonta o Mioceno, estendendo-se até os dias atuais e é marcado por um regime transcorrente. No trabalho relacionado, a área que se destaca para o entendimento deste trabalho é região Centro-Oeste do Amazonas que abrange a área em estudo.

Nos últimos 10 anos, os avanços de estudos neotectônicos na Amazônia têm ocorrido para a consolidação do modelo de um Sistema Neotectônico Transcorrente Destral (SNTD), de direção geral ENE-WSW, comumente considerado leste-oeste (IGREJA, 1998).

Um dos reflexos geoestruturais mais expressivos são os geocompartimentos delimitados por extensos lineamentos, principalmente aqueles salientados pelos grandes rios. Grande parte das estruturas geológicas da região amazônica é resultado de reativações de elementos dos arcabouços geotectônicos do Mesozóico, Paleozóico e Pré-Cambriano, que formam principalmente as zonas de fraquezas restrições aos deslocamentos atuais (IGREJA, 1998). Na região de Manaus, Franzinelli & Piuci (1988), Piuci & Franzinelli (1989), Igreja & Franzinelli (1990) mostraram ocorrências de falhas neotectônicas em afloramentos na Formação Alter do Chão (Grupo Javari da Bacia do Amazonas). O modelo neotectônico apontado por Igreja & Franzinelli (1990) e Franzinelli & Igreja (1990) para a área do baixo Rio Negro, no qual as falhas normais NW-SE condicionam os rios Baleteiro, Tucumã, Coanã e Negro e as falhas de transferência NE-SW controlam os rios Apuaú e Cuieiras, se enquadraram no binário transcorrente destral proposto para o país por Hasui (1990). A pesquisa conclui que o Rio Negro é uma estrutura do tipo hemigráben escalonado para nordeste (FIGURA 15).



Figura 15 - Modelamento neotectônico da região do baixo Rio Negro com pulso predominantemente distensivo. Modificado de Franzinelli & Igreja (1990).

Feições estruturais que afetam a Formação Alter do Chão têm sido observadas por diversos pesquisadores em seções sísmicas nas bacias do Amazonas e Solimões. Nesse contexto juntam-se os trabalhos de Campos & Teixeira (1988), Eiras & Kinoshita (1988 e 1990), Barbosa Filho *et al.* (1989), Travassos e Barbosa Filho (1990), Wanderley Filho (1991), Wanderley Filho & Costa (1991), Neves (1990), Costa *et al.* (1991), Costa *et al.* (1994), Miranda *et al.* (1994), Costa (1996), Costa (2003), Silva (2005) e Silva *et al.* (2007). As estruturas mapeadas apontam para um sistema compressivo e/ou transcorrente composto por dobras assimétricas com eixo orientado NE-SW, associadas a falhas reversas *en échelon* e por estruturas transpressivas e transtensivas (estruturas em flor). As hipóteses de halocinese não têm sido muito aceitas como causa principal, mas sim os processos tectônicos que posteriormente ativam a migração de camadas de sal.

A compilação de importantes lineamentos do Quaternário do Brasil está sumarizado no mapa do Serviço Geológico Americano (USGS) e foi apresentado por Saadi *et al.* (2002). Esse mapa mostra a localização, idade e taxa de atividade das principais feições (lineamentos, falhas e dobras), além da atividade sísmica relacionada a cada estrutura (FIGURA 16). Conforme o citado mapa, os esforços que provavelmente ocasionaram as estruturas que

modelam o quaternário na Amazônia (*stress* máximo – SHMÁX) têm direção NW-SE para a região da Bacia do Amazonas. Isso é concordante com os dados de *breakout* em poços referidos por Miranda *et al.* (1994), que aponta compressão proveniente de noroeste para a região Amazônica.

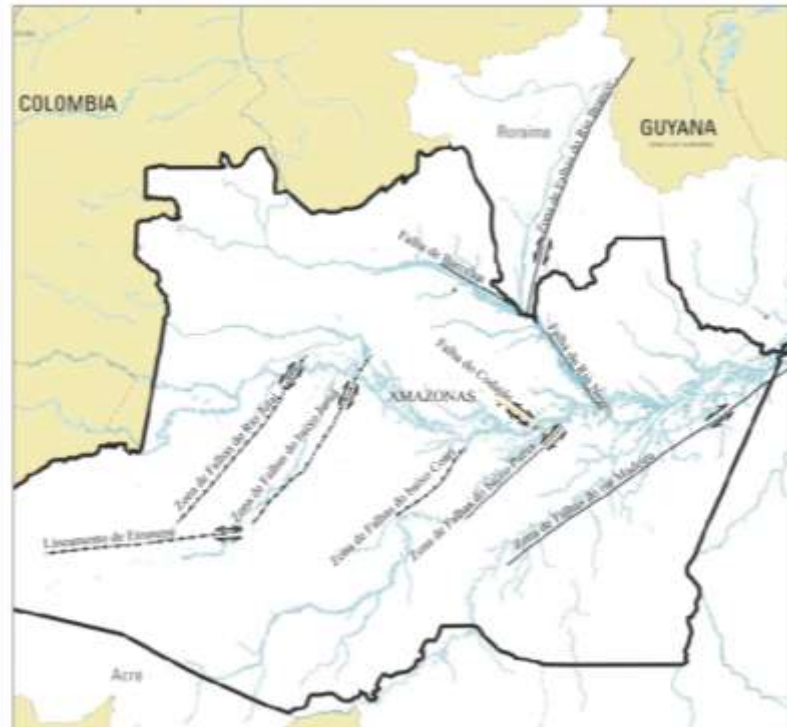


Figura 16 - Falhas e lineamentos quaternários no Amazonas, modificado do Mapa de Falhas do Quaternário no Brasil de Saadi *et al.* (2002). As falhas do Rio Negro e Barcelos são normais. A Falha do Rio Madeira foi considerada como transcorrente dextral e para as demais foi atribuída a movimentação inversa com componente transcorrente associada.

A ocorrência de importantes eventos sísmicos nas circunvizinhanças de Manaus levou Mioto (1993) a criar a Zona Sismogênica de Manaus (FIGURA 17). O principal evento sísmico ocorrido e que Mioto (1993) tomou como base foi aquele em Codajás em 1983, cuja magnitude foi da ordem de  $m_b = 5,5$  (ASSUMPÇÃO, 1983). O registro sísmico mais recente com epicentro na região Amazônica foi o do Parque Nacional do Jaú, em 8 de fevereiro de 2005, similar ao de São Gabriel da Cachoeira (região do alto Rio Negro) em 15.03.1999, com magnitude, para ambos, de  $m_b = 4,49$  (FIGURA 18).

Bezerra (2003), em sua compartimentação morfotectônica na Folha SA.20 Manaus mostra a existência dos seguintes compartimentos morfotectônicos: Compartimento Transpressivo Rio Juruá – Rio Purus, Compartimento Transcorrente Rio Madeira – Rio Purus, Compartimento Transcorrente Rio Negro – Rio Japurá, Compartimento Transpressivo Rio

Negro – Rio Solimões e Compartimento Transensivo Rio Branco – Rio Negro. Nos compartimentos transcorrentes predomina essencialmente feições associadas a falhas transcorrentes, enquanto que nas áreas transtensivas e transpressivas há a predominância de estruturas extensionais e compressivas, ambas relacionadas ao sistema transcorrente. A área de estudo está envolvida em dois compartimentos com natureza tectônica diferenciada, ou seja, no Compartimento Transpressivo Rio Juruá – Purus e no Compartimento Transtensivo Rio Negro – Rio Solimões.

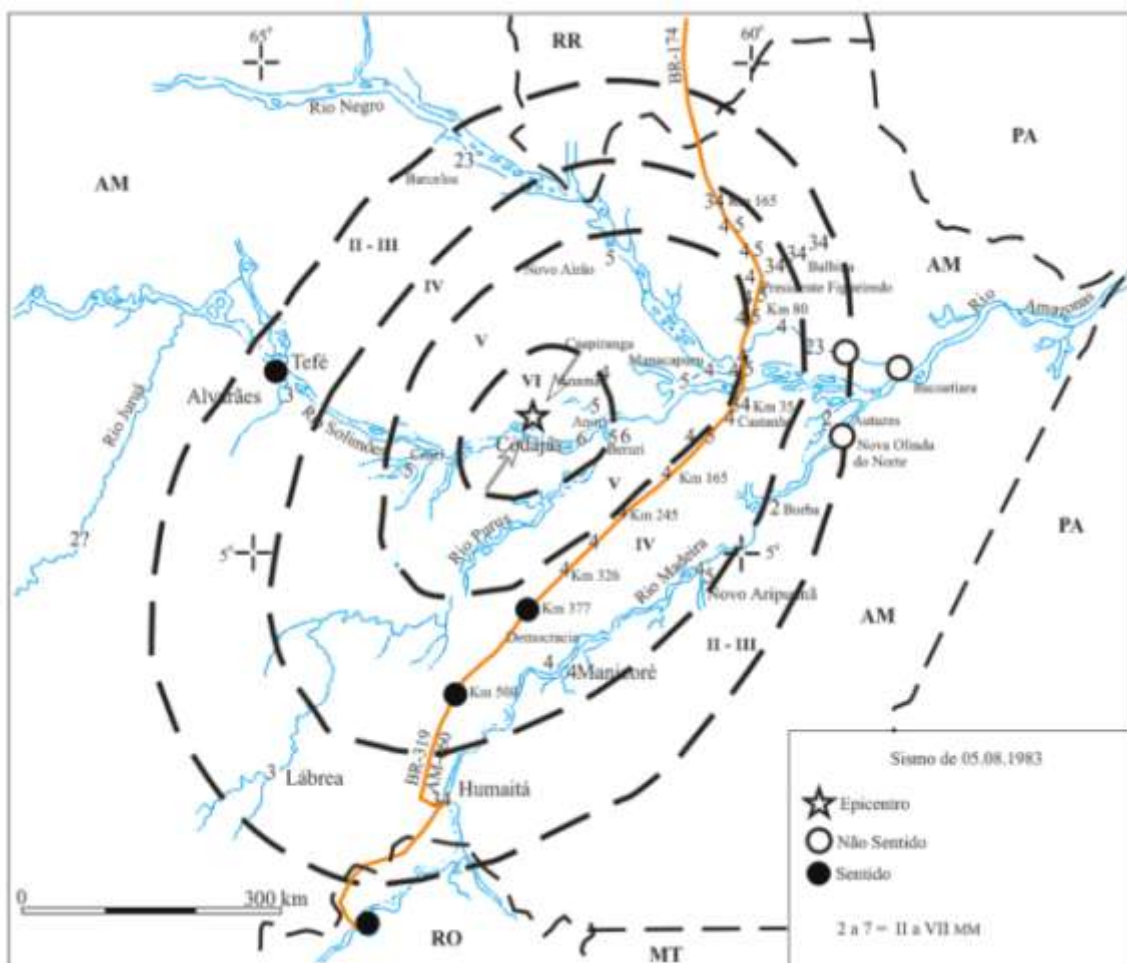


Figura 17 - Mapa de distribuição de terremotos na Amazônia, segundo Mioto (1993). Isossistas (contorno pontilhado) do sismo de Codajás com direção de compressão (ASSUMPCÃO *et al.*, 1983).



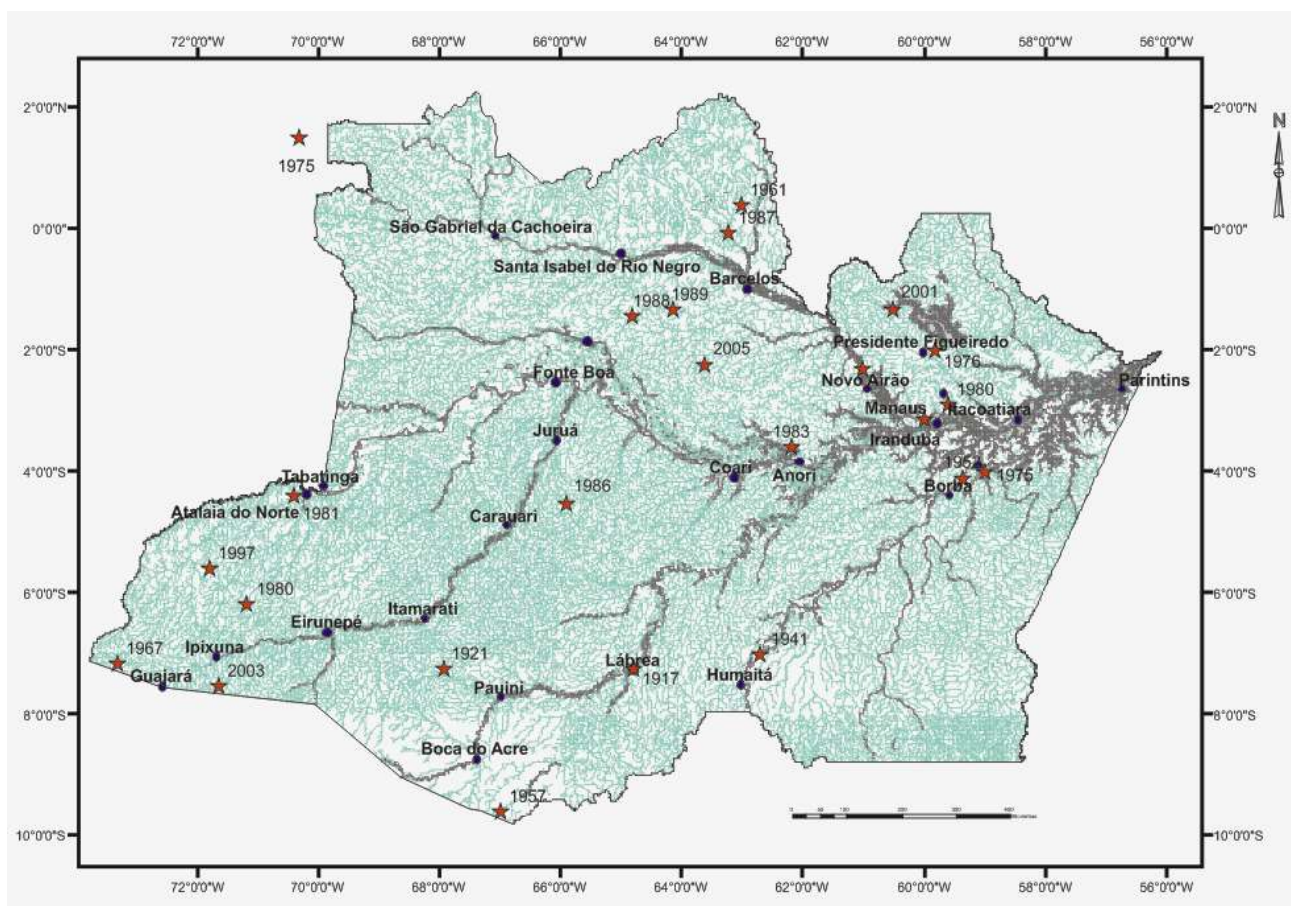


Figura 18 - Mapa de principais ocorrências de sismos (estrela) no estado do Amazonas (SILVA, 2005).

O Compartimento Transpressivo Rio Juruá – Rio Purus compreende a área entre os rios Purus e Juruá, a qual está inserida a área de estudo, foi caracterizada por Bezerra (2003) em seu sistema de drenagem como compreendendo rios subseqüentes, com adaptações a falhas inversas orientadas NW-SE, de acordo com a análise estrutural apresentada por Costa *et al.* (1996).

Por fim, os estudos de Silva *et al.* (2003), Silva (2005) e Silva *et al.* (2007) têm apresentado um quadro morfotectônico da região adjacente à Manaus e também na região de Coari consistente com o controle de importantes zonas de falhas mapeadas na paisagem amazônica. Nesse contexto, bacias sedimentares desenvolvidas no Quaternário são responsáveis pelo controle da sedimentação aluvionar holocênica.

A interação de dados geomorfológicos, sedimentológicos e tectônicos e seus desdobramentos constitui o papel fundamental da pesquisa neotectônica. A metodologia utilizada para tal pesquisa deve ser conduzida de acordo com o objetivo a ser alcançado, cujo desenvolvimento requer um processo sistemático. Levando em consideração o caráter

multidisciplinar da pesquisa, os obstáculos podem ser relevantes, principalmente no que diz respeito à separação de estruturas com relação a idade (TABELA 02) (STEWART & HANCOCK, 1994).

A metodologia utilizada por Pianizza *et al.* (1987) é citada por Silva (1997) como eficaz na determinação de regiões neotectônicas, tanto para áreas de relevo montanhoso, quanto para áreas de baixo relevo. A importância do estudo geomorfológico relacionado a eventos sísmicos e a caracterização de movimentos neotectônicos é observada pelos autores.

O desenvolvimento de novas técnicas para a análise sedimentológica e estratigráfica vem aumentando com o objetivo de melhorar a compreensão paleogeográfica de determinada região, mostrando a influência direta de estudos neotectônicos.

Tabela 02 – Técnicas de aquisição de dados para investigação neotectônica de caráter local e regional (STEWART & HANCOCK 1994).

	Local	Regional
Geodésia	Triangulação de inclinômetros	GPS – Sistema de Posicionamento Global
	Creepmeters (medidores de rastejamento)	Interferometria
		Triangulação a laser por satélites
Sismologia	Redes de monitoramento de microterremotos	Rede sismológica mundial
Sensoriamento Remoto	Fotografias aéreas	Imageamento termal
		Imageamento por radar
Geofísica	Eletromagnetismo	Imageamento digital
		Reflexão sísmica
Geoquímica	Resistividade elétrica	Anomalias gravimétricas
		Monitoramento hidrogeológico
Dados históricos	Depoimento de testemunhas	Mapas
	Evidencia documentária	
Arqueologia	Truncamento de estruturas feitas pelo homem primitivo	Terremotos pré-históricos
Geomorfologia	Formas de relevo geradas por falhas	Índices morfométricos
		Padrões de drenagem
Geologia	Escavação (trenching)	Análises de paleotensões

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos aqui utilizados envolvem estudos da rede de drenagem e das formas de relevo (geomorfológicos) e de geologia estrutural, tectônica e sedimentação (geologia), utilizando produtos de sensores remotos (fotos aéreas, imagens de radar e de satélites).

A primeira etapa do trabalho envolveu o levantamento de informações básicas como a aquisição de material bibliográfico, imagens de sensores remotos, cartas topográficas e mapas temáticos (mapa geológico e geomorfológico) utilizados como base de apoio para conhecimento regional, buscando as informações necessárias para o desenvolvimento das etapas de análises necessárias como interpretação de imagens de sensores remotos.

### 5.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

- Levantamento de informações disponíveis quanto à bibliografia referente a trabalhos desenvolvidos na região estudada, conforme item 4 (Referencial Teórico), aquisição de dados cartográficos (digitais e analógicos) e utilização de mapas geológicos existentes produzidos no projeto RADAMBRASIL na década de 1970, CPRM e IBGE (2006).

### 5.2 ANÁLISE EM IMAGENS DE SATÉLITE

- Obtenção de produtos de sensores remotos: são utilizadas imagens do satélite Landsat7 ETM+, para mapeamento das unidades geológicas. A análise em imagens de satélites foi desenvolvida por meio software específico, disponível no laboratório de geofísica do Departamento de Geociências. Este processamento compreende ao georreferenciamento da imagem, a aplicação de filtros e a elaboração de composições de bandas nos canais RGB (*red*, *blue* e *green*). Após essa etapa será efetuada a interpretação nas imagens de satélites, visando o mapeamento de feições estruturais e da unidade geológica. A partir dessa análise espera-se elaborar um mapa geológico e estrutural preliminar.
- Análise geomorfológica: identificação e caracterização de elementos geomorfológicos na paisagem indicativos de deformações tectônicas recentes.

A caracterização de domínios geomorfológicos foi feita a partir da análise do relevo e da drenagem, associando-os ao quadro geológico estrutural da região, permitindo determinar sua compartimentação tectônica.

### 5.3 ANÁLISE DO RELEVO

- Identificação de tipos morfológicos e de lineamentos de relevo: a identificação das unidades de relevo é realizada nos modelos SRTM, com a extração dos lineamentos de relevo a partir das curvas de nível. Tais estudos são suportados pela identificação de superfícies geomorfológicas vistas nos modelos SRTM. Lineamentos de relevo extraídos das curvas de nível são importantes para a elaboração do mapa de feições morfológicas.

### 5.4 ANÁLISE DA DRENAGEM

- A elaboração do mapa de drenagem foi obtida a partir da extração automática tomando-se por base dados SRTM com a resolução de 90m. Tal extração realizada por meio do software *ArcGis*, utilizando a ferramenta *Hydrology*. Os resultados obtidos com a extração automática da rede de drenagem mostraram resultados mais precisos, sendo utilizada para este fim a que representa a drenagem mais eficiente possível.
- As análises da rede de drenagem são efetuadas por meio da observação em imagens Landsat TM5 e ETM+ e no mapa de drenagem obtido a partir das cartas topográficas digitalizadas nas escalas 1:250.000 e 1:100.000. Os padrões de drenagem foram classificados conforme Howard (1967) nos tipos básicos e modificados.
- Análise de geometria de canais, forma dos canais, feições de afogamento ou alargamento de vales ou canais, curvas anômalas, captura de drenagem, assimetria de rios e formação de terraços, discutidas segundo as propostas de Ouchi (1985), Schumm (1986), Phillips & Schumm (1987), Deffontaine (1989), Summerfield (1993), Stewart & Hancock (1994) e Keller & Pinter (1996).



## 5.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA EM MODELOS 3-D SRTM

- O modelo 3-D utilizado a partir dos dados gerados pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Estes dados foram gerados a partir do consórcio da NASA em conjunto com as agências espaciais da Alemanha e Itália (<http://www.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>) que durante os onze dias que durou a missão, realizada a partir do ônibus espacial *Endeavour* em janeiro de 2000, geraram os dados necessários para mapear a topografia de cerca de 80% da superfície da Terra.
- A tecnologia de interferometria por radar já é conhecida há alguns anos e vinha sendo aplicada em áreas restritas, a partir de aeronaves. Com a missão SRTM, foi possível aplicá-la no levantamento de todo o planeta, favorecendo significativamente as aplicações em áreas para as quais não existiam levantamentos topográficos de detalhes, como é o caso da maior parte da Amazônia. O sistema empregado pela SRTM foi o de duas antenas idênticas de radar, uma delas colocada a bordo da *Endeavour* e a segunda na extremidade de um mastro de 60m de comprimento (a mais longa estrutura voadora no espaço), projetado para fora da espaçonave. A primeira antena emite um pulso de radar e as duas antenas recebem o retorno desse pulso. Utilizando a distância (conhecida) entre as duas antenas e as diferenças nas ondas de retorno por elas captadas, pode-se determinar com grande precisão as elevações da superfície terrestre e gerar superfícies contínuas de elevação, ou modelos digitais de elevação (DEMs). A partir dos DEMs, pode-se então construir modelos 3-D do terreno.
- O processamento dos dados gerados pela SRTM vem sendo realizado pela NASA desde o final da missão e em 2003 foram disponibilizados os dados referentes à América do Sul, que representam assim os primeiros dados topográficos digitais com cobertura continental (*wall-to-wall*) existente para essa região do planeta. Contudo, por razões político-militares, uma vez que esta missão foi custeada pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA—a agência cartográfica militar dos EUA), os dados disponibilizados não possuem a resolução integral oferecida pela tecnologia empregada, tendo sido degradados espacialmente. Assim, os dados utilizados neste trabalho possuem

a resolução espacial de 3 arc-segundos, o equivalente a 90m no terreno. Nesse sentido, as imagens DEM utilizadas têm a dimensão do pixel de 90m, ao passo que a resolução integral seria de 30m no terreno. Ainda assim, essa resolução é suficiente para gerar modelos 3-D com acurácia compatível com a escala aproximada de 1:100.000, o que já representa enorme avanço nas áreas para as quais não se dispunha até hoje de dados desse tipo, como é o caso da área de estudo em questão.

- No processo de interferometria por radar existem algumas limitações para o levantamento topográfico. A principal delas diz respeito à penetração das ondas de radar na vegetação, que é limitada para as bandas C e X utilizadas pela SRTM. Nesse sentido, os DEMs resultantes vão representar, em áreas de vegetação mais densa, principalmente a topografia do topo do dossel vegetal, e não a da superfície do terreno.
- Perfis topográficos elaborados para os compartimentos morfoestruturais de maneira semi-automática, além da geração de superfícies topográficas a partir dos modelos SRTM e, posteriormente, diagramação dos mesmos.

## 5.6 ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS OBTIDOS

Por fim, os dados e as informações obtidas através das análises em imagens de satélite, modelos SRTM e os diversos mapas temáticos gerados (geológico, geomorfológico, drenagem, lineamentos) foram integradas em programas de sistemas de informações georeferenciadas – SIG para confecção do mapa geológico/estrutural e da compartimentação morfotectônica da região de estudo.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

A partir da análise em imagens LANDSAT e dos modelos SRTM foi possível individualizar diversas unidades geológicas de acordo com as suas propriedades e características fotointerpretativas. Essas unidades foram correlacionadas às existentes no mapa geológico regional de Bizzi *et al.*, (2001), para a essa região da Amazônia Ocidental, seus contatos re-interpretados e adaptado à escala do mapa pretendido.

De acordo com o citado mapa geológico regional, apenas duas unidades são ocorrentes nessa área, compreendendo a Formação Içá e os depósitos quaternários associados à planície do rio Solimões, representados por um único polígono que não diferencia os diferentes tipos de depósitos. Nesse caso, envolvem os depósitos quaternários do complexo sistema fluvial, que inclui uma série de depósitos, tais como: os diques marginais, os depósitos de canais e de barras de meandros, as barras ativas, os depósitos de planície de inundação, os depósitos de rompimento de dique, os terraços aluviais, os depósitos em meandros abandonados e os depósitos em lagos, os quais foram cartografados por Nascimento *et al.* (1976), Costa *et al.* (1976), Mauro *et al.* (1978), Iriondo (1982) e Latrubesse & Franzinelli (2002). No entanto, tais depósitos não foram diferenciados no mapa produzido pela CPRM (BIZZI *et al.*, 2001).

A contribuição deste trabalho consiste na diferenciação desses diferentes depósitos ao longo da calha desse rio, nos moldes do representado por Ribeiro (2008) e Ribeiro *et al.* (2009) para o trecho do rio Solimões entre as cidades de Coari até Anamá. Portanto, a individualização das unidades, principalmente na planície do rio Solimões, obedeceu a aspectos interpretativos obtidos com o auxílio das imagens analisadas.

Identificar essas unidades na calha do citado rio, além de possibilitar detalhamento da unidades existentes e sua correlação com a dinâmica fluvial durante o quaternário, é base para a análise morfoestrutural pretendida e para a elaboração da compartimentação tectônica da área de estudo.

O empilhamento dessas unidades em unidades mais antigas até as mais jovens obedeceu a critérios puramente interpretativos tanto quanto a posição altimétrica quanto a aspectos texturais observados nas imagens de satélite como, também, da associação com a dinâmica fluvial quaternária. Nessa concepção cinco unidades foram diferenciadas

compreendendo a Formação Içá, os Depósitos de Aluviões Flúvio-Lacustres, os Terraços Holocênicos, os Depósitos em barras aluviais recentes e os Depósitos de Aluviões Recentes, conforme a Figura 19.

Em seguida serão descritas as características de cada unidade geológica identificada, conforme as análises realizadas nas imagens de satélite.

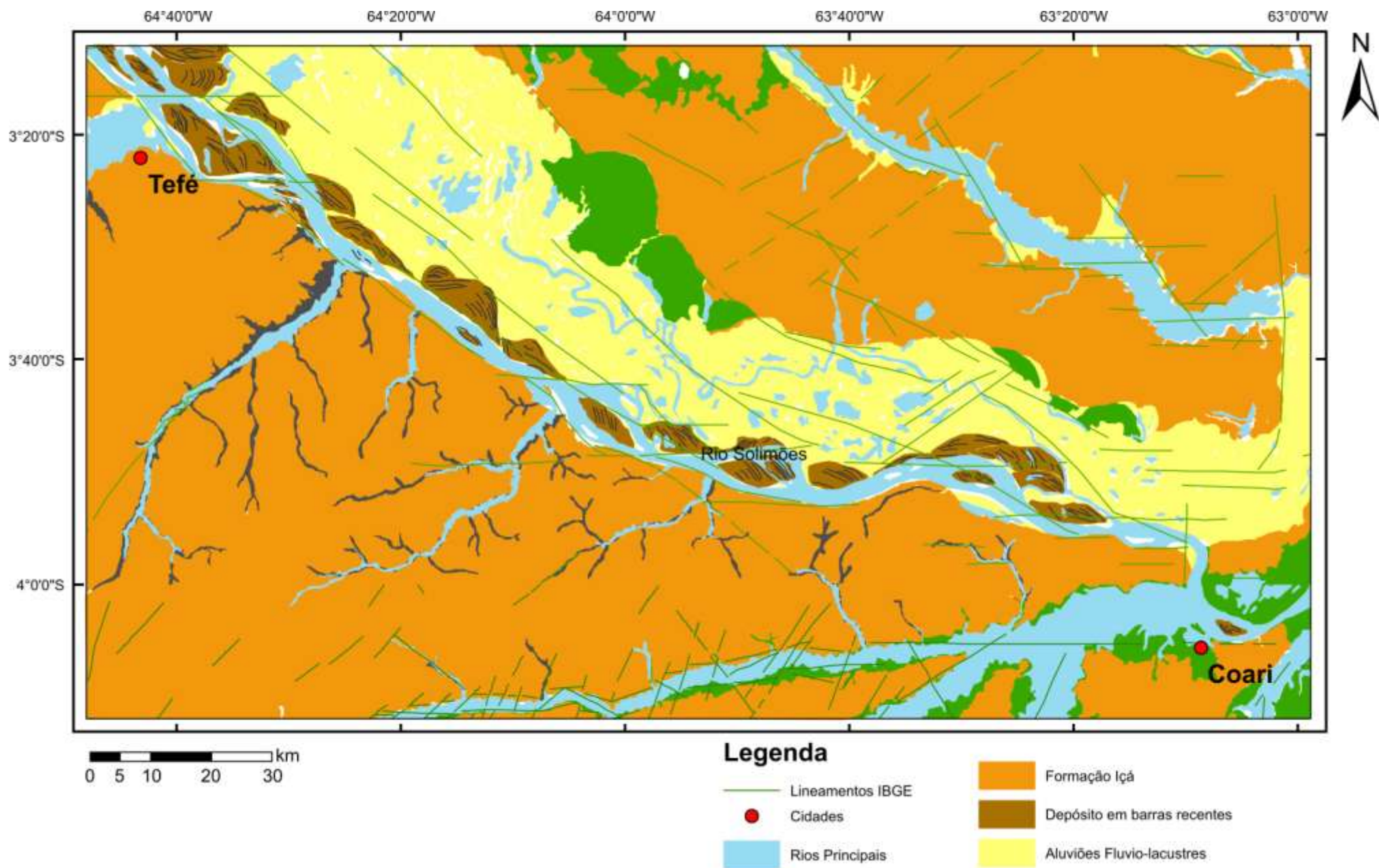


Figura 19 - Mapa Geológico da região, compreendendo as unidades Formação Içá, os Depósitos aluvionares Flúvio-lacustres, os depósitos em Terraços Holocênicos, os Depósitos em Barras Recentes e os Depósitos em Aluviões Recentes.

### **6.1.1 Formação Içá**

A Formação Içá é a unidade com maior distribuição na área pesquisada e foi identificada principalmente na margem direita do rio Solimões no trecho Tefé-Coari e na porção nordeste da região, identificada por Maia *et al.* (1977) como um pacote sobre a Formação Solimões predominantemente arenoso. Suas diferenças morfológicas devido a existência de distintas unidades litoestratigráficas, com relevo marcado por interflúvios tabulares dissecados, é também observado um padrão textural dissecado, onde destaca-se uma densidade de drenagem média e rios bem desenvolvidos (FIGURA 20 A e B). É também a unidade de maior distribuição entre as formações cenozóicas da Amazônia.

O relevo característico desta formação não possui diferenças altimétricas significativas, apresentando distinções entre o maior e o menor grau de organização da rede de drenagem. Os vales desenvolvidos mostram-se bem abertos, em forma de “U”, com a drenagem desenvolvida ou avançada, de acordo com a classificação de Deffontaines & Chorowicz (1991), com interflúvios tabulares dissecados e colinas nas regiões mais próximas aos canais de drenagem, conforme mostra a Figura 20 A, onde as cotas topográficas chegam a atingir 80m.

### **6.1.2 Depósitos Aluvionares Flúvio-lacustres**

Os aluviões flúvio-lacustres foram identificados principalmente nas áreas mais baixas da planície do rio Solimões, onde são desenvolvidos os lagos de várzea. O relevo é plano com cotas máximas de 40 metros. Esse tipo de depósito é observado na margem esquerda do rio Solimões, onde é identificado, em geral, um lago maior em torno do qual se dispõem lagos menores, em geral arredondados. Na região entre Tefé e Coari são observadas áreas contínuas de sedimentação flúvio-lacustre (FIGURA 20 C), cuja característica principal é a concentração de argilas cinzentas, por vezes amarelada devido a oxidação, possuindo uma sedimentação composta por sedimentos finos amplamente distribuídos. Bezerra (2003) afirma que no passado esses lagos formavam um só corpo d’água que foi segmentado por processo de colmatagem. Costa *et al.* (1978) mostra que essa colmatagem ocorreu por decantação de sedimentos trazidos pelo transbordamento do curso atual do rio Solimões.

O contato com as demais unidades é irregular, porém bem definido, no qual é nítida a existência de furos e paranás ao longo da planície, o que auxilia no processo de assoreamento dos lagos.

### **6.1.3 Depósitos em Terraços Holocênicos**

Os terraços holocênicos são caracterizados por feições de meandramentos antigos e escavações de canais (FIGURA 20 D). Este tipo de depósito foi identificado do lado esquerdo do rio Solimões, próximo ao lago Mouro e lago do Paçu e envolve a área onde está localizado o lago São Gabriel, lago Juçara e nas margens dos igarapés na margem direito do rio Solimões (lago Coari, rio Aruã, rio Urucu e rio Coari), conforme mostra a figura 20 D. Essa unidade se sobrepõe a Formação Içá, com forma de um modo geral alongada, com superfície topográfica de cerca de 40 metros. São os depósitos de areias, siltes, argilas e cascalhos geralmente inconsolidados com espessuras que podem chegar a 30 metros, conforme Bezerra (2003). Geralmente mostram superfícies planas ou suavemente rampeadas, com desnível topográfico no limite com a planície atual, notado principalmente nas região das margens do lago Coari, rio Aruã, rio Urucu e rio Coari, onde a diferença topográfica pode chegar a 30 metros.

### **6.1.4 Depósitos em Barras Recentes**

Os depósitos em barras são encontrados ao longo do rio Solimões e englobam sedimentos depositados segundo a dinâmica atual do canal do rio, formando ilhas alongadas preferencialmente no meio do canal (FIGURA 20 E). Essa unidade envolve os sedimentos de barras de migração de meandro, barras em pontal, diques marginais e depósitos de canal associadas a fase atual dos rios principais. No canal principal da área em estudo, representado pelo rio Solimões, existem inúmeras ilhas que compreendem barras de migração de meandros alongadas que se destacam ao longo da planície de inundação. Schumm (1986) classificou esse tipo de canal no tipo de carga mista (*mixed load*).

Ao longo da área estudada, os depósitos em barras recentes formam feições que representam as ilhas alongadas em barras de migração de meandros, destacadas principalmente em meio a planície flúvio-lacustre antiga, de acordo com a figura 20 E.

### **6.1.5 Depósito em Aluviões Recentes**

Os depósitos em aluviões recentes correspondem às superfícies de terraços próximas aos atuais cursos dos rios, pouco acima do nível atual. De acordo com Bezerra (2003) estas formas de acumulação refletem o antigo posicionamento da planície do rio as margens do qual estão desenvolvidas, sendo mais antigas que os depósitos das atuais planícies de inundação. Estão localizados prioritariamente às margens dos afluentes da margem direita do rio Solimões, como o rios Caiambé, Jutica, Catuá, Ipixuna e notam estágios de migração dos rios em fase pré-atual. Esta unidade parece corresponder a uma fase pré-atual do trabalho fluvial na superfície geomorfológica em processo de dissecação. Bezerra (2003) descreve a unidade como depósitos de canal e transbordamento sob a forma de areias, silte, argilas e cascalhos geralmente inconsolidados, de cores esbranquiçadas, amareladas e acinzentadas, com espessuras chegando a 30 metros em alguns lugares (FIGURA 20 F).



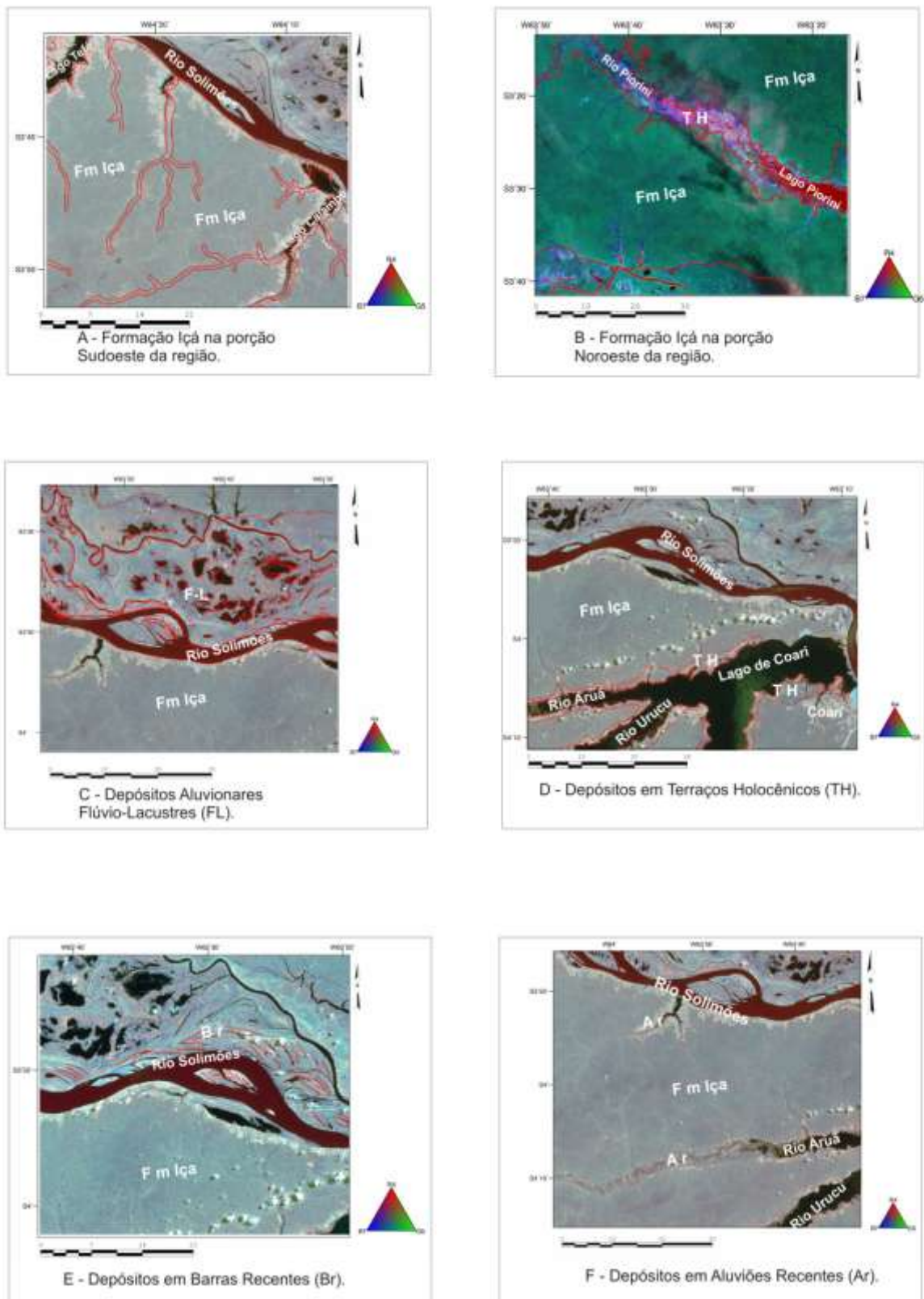


Figura 20 - Características morfológicas das unidades mapeadas: A e B- Formação Içá, C - Depósitos de Aluviões Flúvio-Lacustres, D- Terraços Holocênicos, E - Depósitos em barras aluviais recentes e, F - Depósitos de Aluviões Recentes.

## 6.2 ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM

Alguns estudos têm demonstrado que a região em particular apresenta nítido controle estrutural, como, por exemplo, os estudos de Silva *et al.* (2003), Bezerra (2003), Silva *et al.* (2005), Silva *et al.* (2007), Ribeiro (2009), Ribeiro *et al.* (2009), Silva & Rossetti (2009). Por definição a drenagem é muito sensível a qualquer tipo de alteração no sistema, seja de natureza hidrodinâmica, climática ou, até mesmo, geológica/geomorfológica (tectônica).

Na descrição das drenagens são empregados parâmetros de natureza topológica que se referem a forma e geometria de como os canais estão conectados, o que permite uma análise ao longo do percurso de um rio e seus afluentes em uma mesma bacia. Dados acerca dos parâmetros morfométricos, tais como área, forma, densidade, extensão e distância entre interflúvios que facilitam essa análise (WERNER e SMART, 1973; CHRISTOFOLETTI, 1981).

No entanto, é necessária a utilização de dados cartográficos em escala adequada, mas, em especial, a região Amazônica não possui uma base de apoio de mapas nessa linha temática que possam auxiliar esse tipo de investigação. Silva *et al.* (2007) mostraram uma comparação entre os dados cartográficos disponíveis para a região sudoeste à cidade de Manaus com os dados dos modelos SRTM. Mesmo para áreas próximas a centros urbanos, como foi o caso do estudo realizado pelos citados autores, os modelos SRTM fornecem excelentes dados em contraposição aos mapas cartográficos na escala 1:100.000 disponíveis para aquela área estudada.

No caso da área de estudo, o recobrimento cartográfico é muito aquém, pois tem recobrimento de mapas e cartas na escala 1:250.000. Assim sendo, o uso de modelos de elevação digital baseados em dados SRTM se constituem em uma ferramenta de grande auxílio no estudo de drenagens atuais, especialmente na Amazônia. Além de fornecer subsídios para uma análise visual detalhada, esses dados podem ser usados em processamentos automáticos de extração da rede de drenagem, conforme Jenson & Dominique (1988), Deffontaines & Chorowicz (1991), Martz & Garbrecht (1992.), Curkendall *et al.* (2003), Jordan *et al.* (2005).

O mapa de drenagem, base para toda a análise morfoestrutural, foi elaborado a partir dos modelos SRTM, conforme descrito no item metodologia. O resultado dessa extração automática resultou na Figura 21.

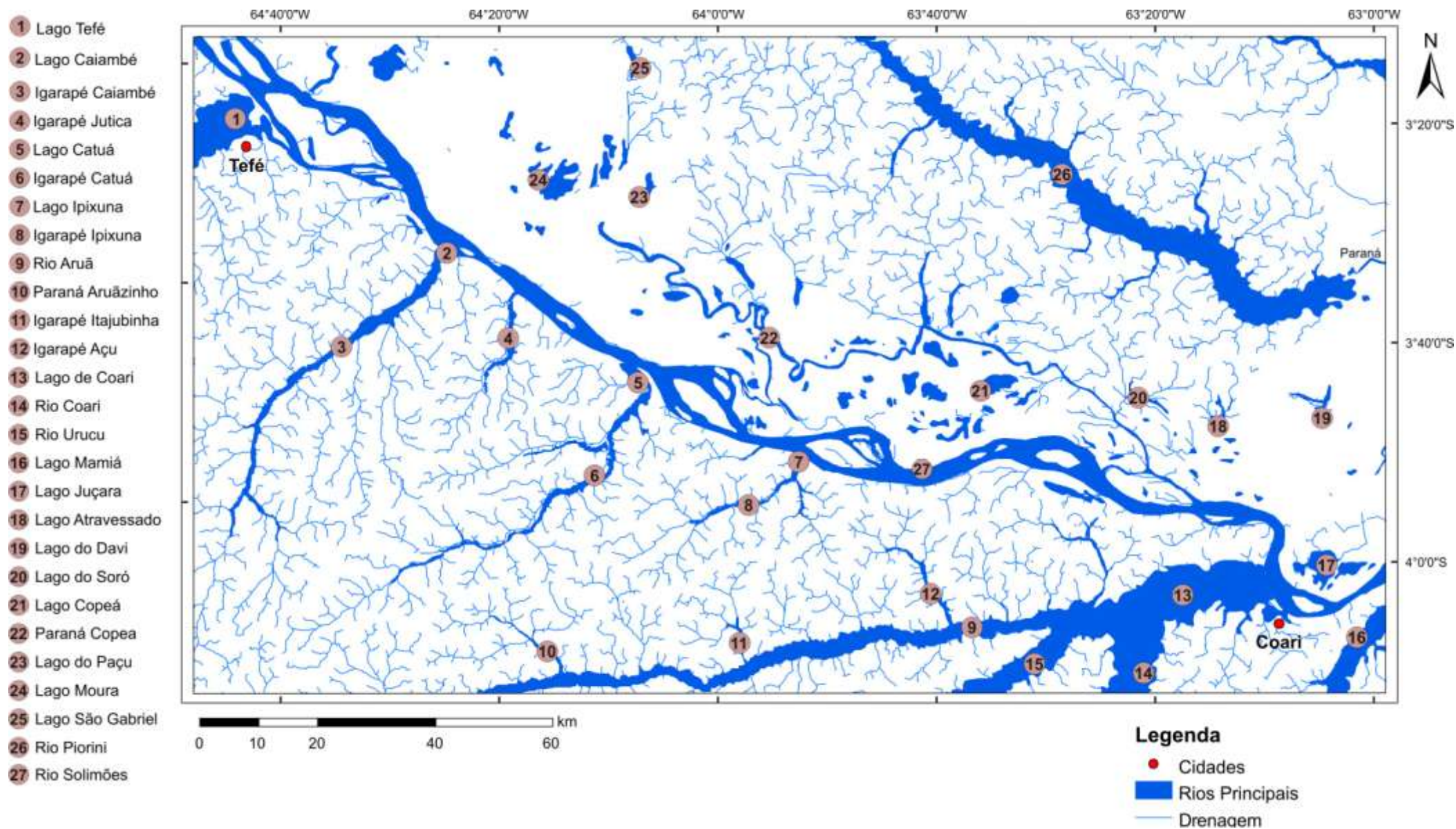


Figura 21- Mapa de drenagem da região em estudo.



A análise do sistema de drenagem foi realizada visando a determinação dos padrões, identificação de feições anômalas, caracterização das bacias e sub-bacias de drenagem, determinação de feições alinhadas na drenagem, análise estatística dos lineamentos e análise morfoestrutural, conforme Ouchi (1985), Schumm (1986), Phillips & Schumm (1987), Deffontaines (1989), Summerfield (1993), Stewart & Hancock (1994) e Keller & Pinter (1996). Os padrões de drenagem foram classificados conforme Howard (1967) levando em consideração os tipos básicos e modificados. Os mapas de rede de drenagem, lineamentos de drenagem e bacias de drenagem foram elaborados para dar suporte nas interpretações tectônicas.

Seguindo a classificação do padrão de drenagem de Howard (1967), as drenagens da região estudada mostram um padrão do tipo dendrítico modificado para o tipo subdendrítico. Tal classificação está em consonância com a pesquisa de Bezerra (2003) e Silva *et al.* (2003) que apontam para um sistema subdendrítico em que a superfície plana na área do Planalto da Amazônia Ocidental justifica tal caracterização (FIGURA 21). Entretanto, observam-se certos condicionantes físicos que promovem uma padronagem particular na drenagem dessa área. Em ambas as margens do rio Solimões observam-se canais de primeira a terceira ordem orientados em uma dada direção. Estes mostram configuração similar a padrões sub-retangulares a retangulares, como observados nos afluentes da margem direita e esquerda do rio Piorini, como também naqueles da margem direita do rio Solimões. Nesse último caso, a orientação desses canais aparentemente responde a própria orientação do rio principal, indicando um condicionamento estrutural. Essa configuração, às vezes, é transversal a direção do canal principal, como é o caso dos rios Caiambé, Jutica, Catuá e Ipixuna. Outros, no entanto, mostram que a padronagem sub-retangular obedecendo a mesma orientação do canal principal do rio, caso do rio Aruá. Silva *et al.* (2003) descrevem também os padrões paralelos e treliça como associados a essa estruturação. Bezerra (2003) mostra que esses padrões estão associados a controle nitidamente tectônico. Os canais principais, ou seja, os rios tributários do rio Solimões mostram canais retilinizados, os quais parecem obedecer a mesma padronagem dos sistemas de bacias e sub-bacias.

Quanto a classificação genética da drenagem os poucos estudos que abordam essa temática dificultam a análise. Considerando que os sedimentos da Formação Içá ou Solimões fluíram de oeste para leste, pode-se destacar que todos os rios dessa região não podem ser classificados como conseqüentes, mas sendo rios subseqüentes os quais provavelmente são adaptados à estruturação de falhas e fraturas existentes.

O rio Solimões apresenta orientação geral de noroeste para sudeste, seguindo um padrão francamente retilíneo. Os afluentes desse rio pela margem esquerda obedecem a essa orientação geral, significando que o caimento do relevo é suave e direcionado para sudeste. A margem oposta, em contraposição, mostra que os afluentes fluem em posição oblíqua ao canal principal, ou seja de sudoeste para nordeste. Além de demonstrar que a superfície do terreno tenha um caimento para nordeste, diferente da outra margem, talvez seja uma das explicações para o grande número de rias fluviais existentes na margem direita.

Feições adicionais podem ser descritas como a geometria das bacias com formas alongadas e, geralmente, paralelas entre si. Os tributários dos canais principais estão alinhados em sua maioria resultantes de significativos lineamentos (zonas de falhas e fraturas). Algumas anomalias de drenagem, como os lagos e as curvas anômalas, capturas e confluências podem ser observadas neste sistema de drenagem.

A partir do mapa de drenagem, foi possível a identificação das principais sub-bacias da área em estudo, conforme disposto na Figura 22, as quais receberam as seguintes nomenclaturas: sub-bacia lago de Tefé, sub-bacia do rio Aruã, sub-bacia do Igarapé Ipixuna, sub-bacia do Igarapé Catuá, sub-bacia do Igarapé Jutica, sub-bacia do Igarapé Caiambé, sub-bacia do Paraná Copeá, sub-bacia do rio Piorini, sub-bacia do rio Badajós, sub-bacia do lago do Davi, sub-bacia do lago Mamiá e sub-bacia do lago de Coari. Com exceção das sub-bacias dos rios Jutica, Catuá e Ipixuna, as demais estão representadas somente parte das suas bacias hidrográficas.

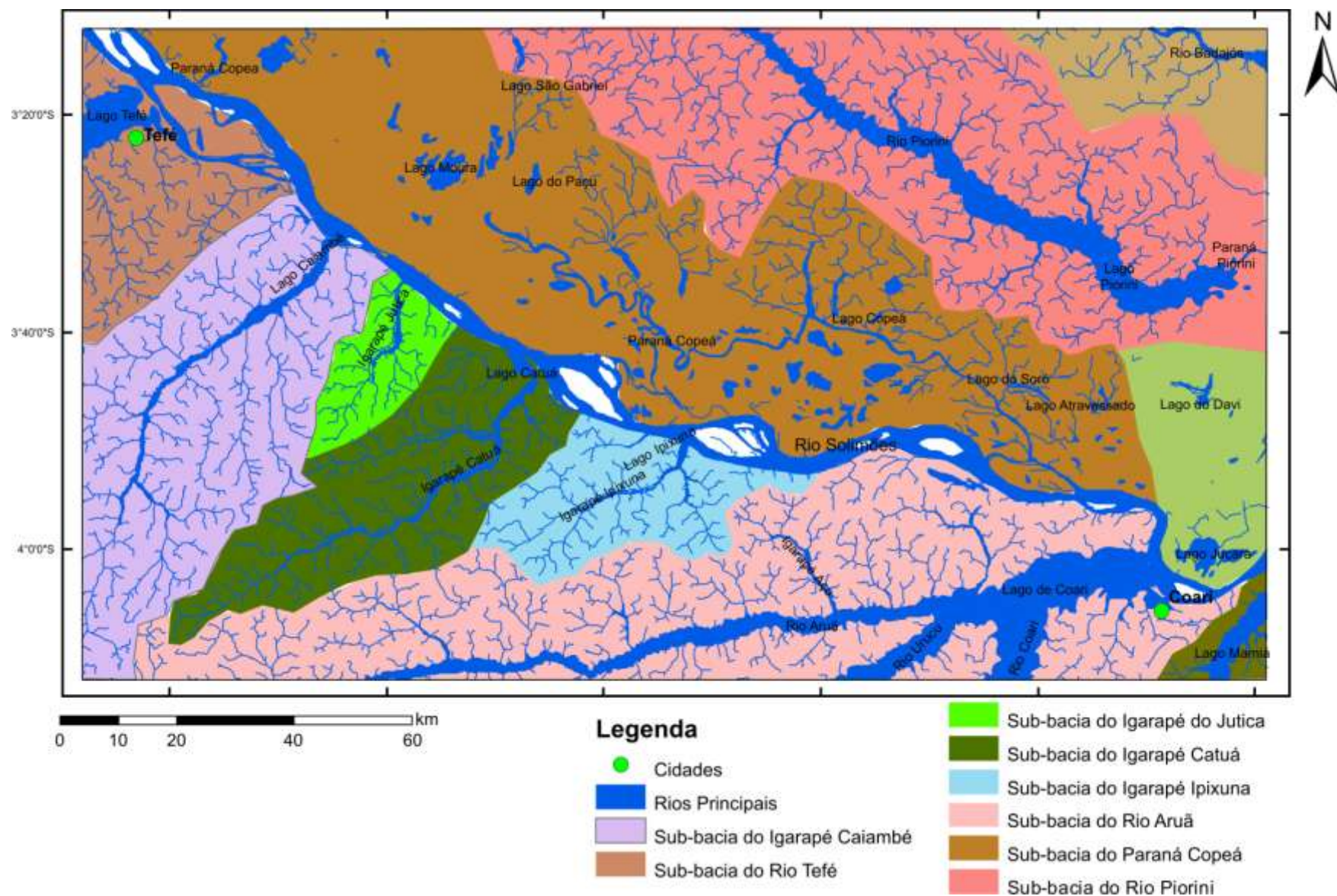


Figura 22 - Mapa de sub-bacias de drenagem na região de estudo, compreendendo as bacias dos rios Tefé, Caiambé, Catuá, Jutica, Ipixuna, Aruã, lago de Coari e Mamiá, pela margem direita do rio Solimões, e, pela margem esquerda, as sub-bacias do Lago do Davi, Paraná do Copeá e Piorini.

De um modo geral, as sub-bacias da margem direita do rio Solimões possuem orientação SE-NW, enquanto a orientação das sub-bacias da margem é NE-SW.

As sub-bacias da margem direita do rio Solimões são de pequena dimensão e com densidade predominantemente baixa a média. Já na margem esquerda do rio Solimões, a dimensão das bacias é, em sua maioria, grande e sua densidade varia de muito baixa a média. As áreas com densidade de drenagem muito baixa são vastas e estão associadas à área da planície do rio Solimões (FIGURA 23).

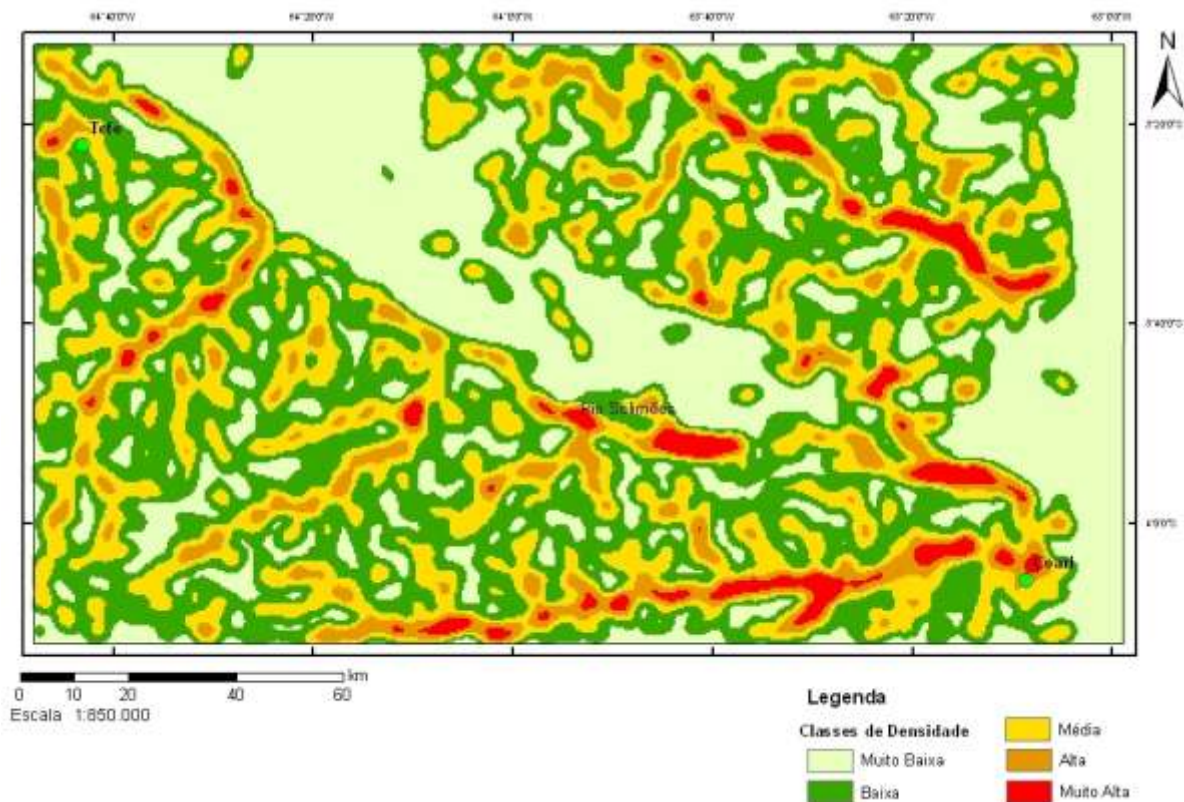


Figura 23 - Mapa de densidade de drenagem, conforme o modelo de Kernel efetuado a partir do mapa de drenagem da figura 22.

Essas sub-bacias apresentam, de um modo geral, forte assimetria, com exceção da sub-bacia do rio Piorini, que possui assimetria fraca. A sub-bacia do Igarapé Catuá é a única a apresentar maior área na porção esquerda da bacia, enquanto que as demais sub-bacias possuem maior extensão na margem direita. De acordo com Keller & Pinter (1996), a assimetria de bacias pode refletir basculamentos de blocos. Daí o aumento de uma porção da sub-bacia (área da esquerda ou da direita) seria decorrente da migração do canal no sentido da área mais baixa do bloco adernado.



Com o intuito de descrever as características morfológicas do sistema de drenagem de cada sub-bacia, em particular, buscou-se diagnosticar as principais características de cada subsistema.

### **Sub-bacia do Rio Tefé**

Parte da sub-bacia rio de Tefé está localizada na porção nordeste da área estudada, possui uma área aproximada de 84 km<sup>2</sup>. O rio Tefé, principal tributário dessa bacia, tem direção preferencial e o fluxo do seu curso d'água de sudoeste para nordeste (SW-NE), desaguardo no rio Solimões, cuja foz é afogada, em feição do tipo “ria fluvial”, recebendo a denominação de Lago de Tefé. A sub-bacia desse rio foi considerada assimétrica, onde os canais dessa bacia são, em sua maioria, paralelos e os igarapés apresentam muitas ramificações mantendo um espaçamento predominantemente regular entre si.

A densidade de drenagem é, em geral baixa, e localmente média a alta. Os padrões de drenagem configuram o tipo subdendrítico.

### **Sub-bacia do Igarapé Caiambé**

A parte da sub-bacia do rio Caiambé que está localizada na porção sudeste da região de estudo possui área de aproximadamente 190 km<sup>2</sup>. O igarapé Caiambé, assim como os demais canais dessa margem do rio Solimões, tem direção preferencial de sudoeste para nordeste (SW-NE), com o mesmo sentido de fluxo do curso d'água e foz afogada. A assimetria da bacia foi considerada forte, com os canais de drenagem dos principais afluentes da margem esquerda são paralelos em sua grande maioria. Os afluentes da margem direita são mais extensos que os da margem esquerda.

Nessa sub-bacia podem ser notadas anomalias nos canais de primeira e segunda ordem. Assim como observado na sub-bacia do rio Tefé, essas anomalias são do tipo encurvamento anômalos com ramificações extensas (FIGURA 22). Essas drenagens configuram padrões tipicamente em treliça, conforme Howard (1967).

### **Sub-bacia do Igarapé do Jutica**

A sub-bacia do Igarapé do Jutica, adjacente a bacia anterior, ocupa área de aproximadamente 33 Km<sup>2</sup>. A direção preferencial dessa sub-bacia é de sudoeste para nordeste (SW-NE), apresentando densidade de drenagem é predominantemente média, mas área diminuta. Como ocorre nas sub-bacias, o padrão de drenagem que prevalece é o



subdendrítico, destacando uma sensível assimetria e anomalias do tipo encurvamentos anômalos e segmentação retilínea de canais de baixa ordem.

### **Sub-bacia do Igarapé Catuá**

Essa sub-bacia possui área de aproximadamente 122 km<sup>2</sup> com direção preferencial similar ao fluxo no mesmo sentido sudoeste para nordeste. A densidade predominante nesta sub-bacia é baixa, sendo em alguns pontos de média a alta. Esta sub-bacia possui uma assimetria considerada forte e drenagem subdendrítica. Alguns encurvamentos anômalos podem ser notados nessa área. Tais anomalias podem indicar possíveis processos de captura de drenagem.

### **Sub-bacia do Igarapé Ipixuna**

A sub-bacia do Igarapé Ipixuna está localizada a sul da região em estudo, com uma área aproximada de 68 km<sup>2</sup>. Essa sub-bacia possui um fluxo para nordeste e a direção é de sudoeste para nordeste (SW-NE). Desenvolve um padrão de drenagem é considerado dendrítico, com tributários de primeira ordem alinhados. A assimetria é fraca.

### **Sub-bacia do Rio Aruã**

Esta é a maior sub-bacia da margem direita do Rio Solimões, ocorrendo na porção sul da área com aproximadamente 346 km<sup>2</sup>. O principal tributário é o rio Aruã, porém junto com os rios Coari e Urucu estes formam o chamado lago de Coari, um sistema de drenagem cujo afogamento da foz ocupou uma área significativa, inundando os rios dessa área. O fluxo do curso d'água do rio Aruã é preferencialmente no sentido oeste-leste (W-E), enquanto que o rio Coari possui o fluxo para norte e o rio Urucu para nordeste. O padrão de drenagem desta sub-bacia é subdendrítico, mas mostrando segmentações retilíneas. A assimetria forte dessa bacia, apesar de não ser plenamente observada na Figura 22, foi constatada nos estudos de Silva *et al.* (2003).

### **Sub-bacia do Paraná Copeá**

A sub-bacia do Paraná Copeá, aqui descrita, compreende toda a área que se estende na margem esquerda do rio Solimões, envolvendo a planície de inundação e parte das drenagens que fluem para essa área. Ocupa a maior área da região estudada possuindo forma alongada, sendo esta de aproximadamente 445 km<sup>2</sup>. Esta é a mais complexa região, onde é observada a

ocorrência de lagos arredondados e alongados e drenagens do tipo paranás e furos. O canal principal desta sub-bacia é o Paraná Copeá, com sinuosidade curva e mista ao longo de sua extensão, fracamente assimétrico, onde há uma grande ocorrência de lagos. Na margem esquerda possui uma influência de afluentes com assimetria fraca. O fluxo do canal principal é de noroeste para sudeste (NW-SE) e a direção preferencial da sub-bacia também é de noroeste para sudeste (NW-SE). O padrão de drenagem do Paraná Copeá é bastante variado, com extensões meandantes e outras retilíneas. Uma característica peculiar nesta sub-bacia é a densidade muito baixa em toda a sua extensão, sendo observada em pequenos pontos a densidade média.

### **Sub-bacia do Rio Piorini**

Esta sub-bacia, não se comunica com a bacia principal do rio Solimões dentro da área estudada, porém está situada na região de estudo com uma área de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>. O principal tributário desta sub-bacia é o Rio Piorini, que possui direção preferencial e fluxo de água no sentido noroeste para sudeste (NW-SE), com forma retilínea. A assimetria é forte com padrão de drenagem subdendrítico, mostrando formas encurvadas e paralelizadas. A densidade de drenagem varia de baixa a muito alta.

#### **6.2.1 Análise de lineamento da Drenagem**

A partir da análise da drenagem da região de estudo se buscou a obtenção de feições de alinhamento de cursos d'água, como critério para identificação de possíveis elementos estruturais de juntas e fraturas, ou até mesmo falhas, que possam controlar o sistema. Bezerra (2003) mostrou nessa região que as principais direções do sistema de drenagem obedecem a direção NW-SE e NE-SW, mas secundariamente E-W e N-S, cujos elementos foram compatíveis com a mesma orientação das formas de relevo (escarpas) observadas na área.

A extração de lineamentos de drenagem segue a mesma metodologia empregada por Silva (2005), as quais pequenos segmentos de canais representam alinhamentos regionais. Esses lineamentos foram obtidos a partir do mapa de drenagem oriundo dos modelos SRTM, conforme já comentado anteriormente.

Os lineamentos de drenagem foram individualizados a partir de elementos retilíneos na rede de drenagem (FIGURA 24).

Os segmentos retilíneos de drenagem foram extraídos para as quatro direções (N-S, E-W, NE-SW e NW-SE), de onde foram feitos os diagramas de rosetas para demonstrar a tendência de cada direção. Os mapas elaborados por essa técnica possibilitam a observação de tendências, muito embora isso não possa corresponder necessariamente à caracterização de zonas de falhas e fraturas, tal determinação pode auxiliar na melhor descrição de locais onde foi determinado lineamento possui um significado geológico.

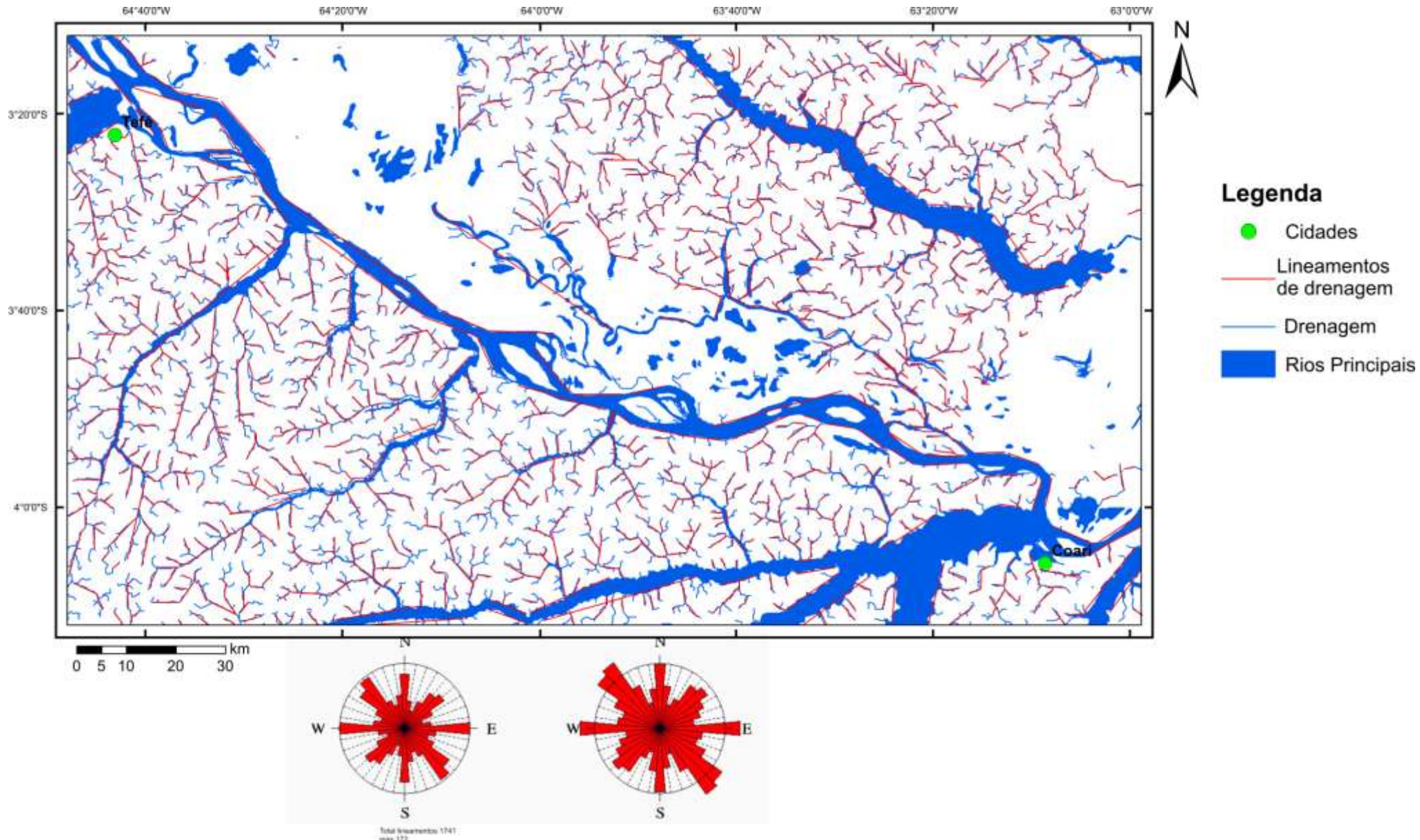


Figura 24 - Mapa de lineamentos de drenagem apresentando os principais segmentos de drenagens orientados. As principais orientações obtidas a partir dos diagramas de roseta mostra que as duas direções NW-SE e NE-SW são marcantes, mas sendo também notada as direções E-W e N-S.

## **Anomalias na rede de drenagem**

De acordo com o mapa de drenagem da área de estudo foi observado um padrão de drenagem fortemente anômalo marcado por segmentos retilinizados, orientados, encurvados e, sobretudo, apresentando ramificações anômalas dos segmentos de primeira e segunda ordem. A maior parte dessas ramificações deve evoluir de capturas de drenagens. A partir da observação dessas anomalias elaborou-se um mapa que destaca essas confluências anômalas, conforme (Keller & Pinter, 1996; Silva, 2005).

Os principais tipos de anomalias verificadas na rede de drenagem são o paralelismo dos canais principais, os encurvamentos anômalos nos segmentos de primeira ordem, a presença de lagos, meandros, capturas e confluências de drenagem.

A partir do mapa das confluências notou-se que essas feições mostram correlação com os *trends* estruturais mapeados (FIGURA 25). Na margem direita do rio Solimões os encurvamentos e as ramificações anômalas coincidem com as direções NW-SE, paralelas a orientação do rio Solimões, e NE-SW, paralelas as direções dos segmentos das drenagens principais. A margem esquerda apresenta comportamento similar à margem direita do referido rio.

O paralelismo dos canais principais é facilmente observado na porção norte da área de estudo, onde estão as sub-bacias do Paraná Copeá e do rio Piorini. Esse paralelismo também se apresenta nos segmentos de primeira ordem, onde se nota encurvamentos anômalos.

Uma das anomalias mais marcantes da área é da planície do rio Solimões que se mostra uma planície formada inteiramente assimétrica, onde os lagos, com gênese diversa, estão desenvolvidos somente na margem esquerda. Nitidamente, esse rio migrou de nordeste para sudoeste, conforme já diagnosticado por Costa *et al.* (1978), Gatto (1991), Bezerra *et al.* (1999), Bezerra (2003), Silva *et al.* (2003), Ribeiro (2009) e Ribeiro, *et al.* (2009). Essa migração foi considerada por esses autores por controle estrutural (tectônico), cujo processo de basculamento de blocos propiciou a divagação do canal para sudoeste.



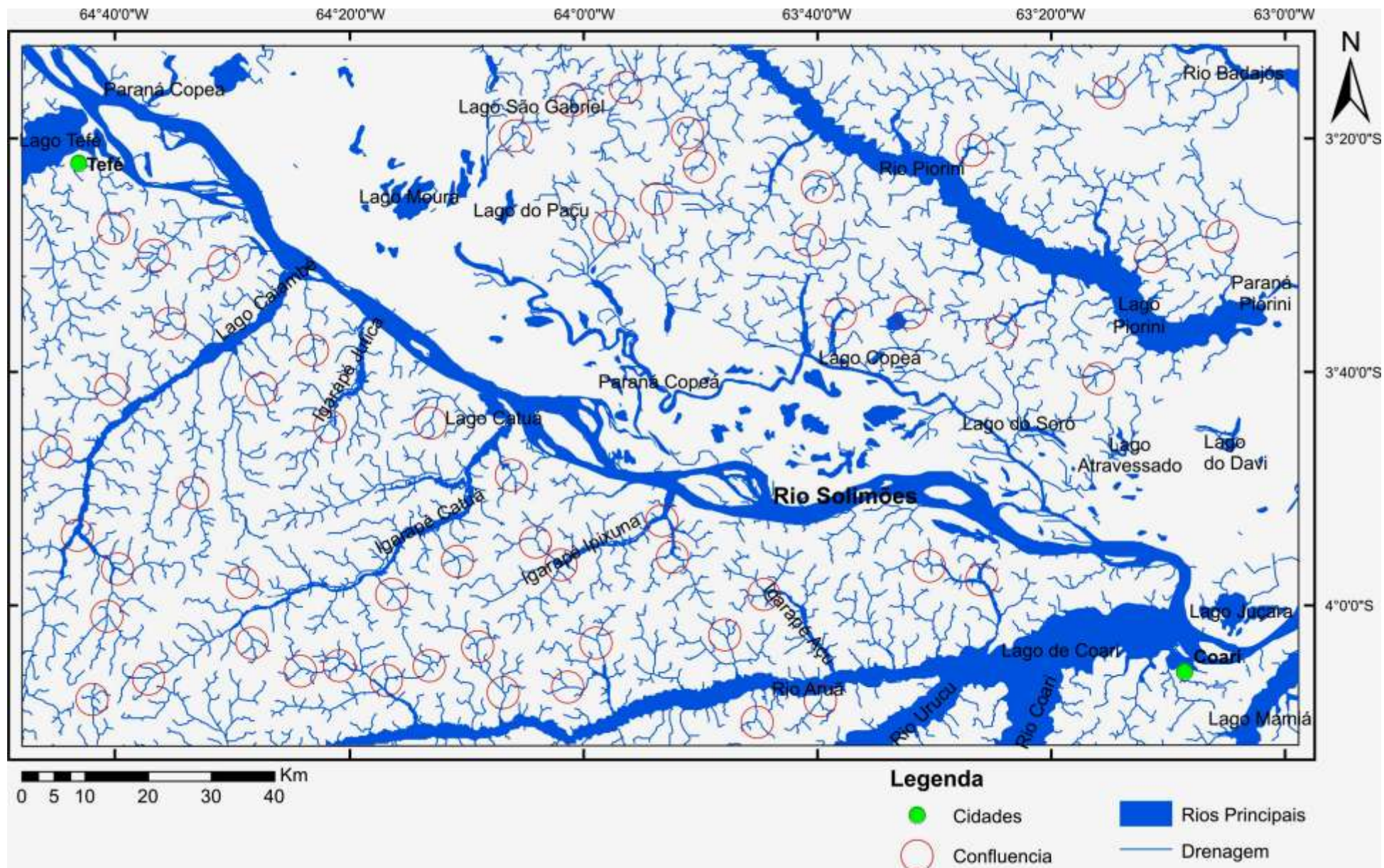


Figura 25 – Mapa de confluência de drenagem anômalas da área de estudo que obedecem as orientações estruturais abordados na figura anterior.

Com a finalidade de avaliar a influência tectônica nas bacias e sub-bacias de drenagem da área de estudo foi aplicada a análise do padrão de assimetria de bacias. A quantificação da assimetria é feita comparando o valor da área total pela área da direita da bacia, conforme a expressão:

$$Af = 100 \times (Ad/At)$$

Onde: Af= fator de assimetria (Asymmetric Factor);

Ad = área da direita da bacia (direção a jusante);

At = área total da bacia

Considera-se que o valor de  $Af = 50$  significa que uma bacia é simétrica. Porém, valores maiores ( $Af > 50$ ) indicam que houve basculamento para a esquerda da bacia, e valores menores ( $Af < 50$ ) indicam que o movimento foi para o lado oposto (KELLER & PINTER 1996). Esse cálculo aplicado na Sub-bacia do Lago Caiambé, conforme mostra a figura 22, apresentou  $Af = 61$ , o que representa que a área a direita da bacia é maior e possivelmente ocorreu um basculamento para a esquerda da bacia, ou seja, na direção SE-NW oposta ao fluxo da bacia. Na sub-bacia do Jutica o AF foi igual a 54, indicando que houve basculamento para a esquerda da bacia, na mesma direção que a sub-bacia do Caiambé. A sub-bacia do Catuá possui um  $AF \ll 50$  significando que o movimento é para a direita da bacia. A sub-bacia Ipixuna possui um  $Af = 57$  mostrando pouco basculamento para a esquerda.

Para a bacia do rio Solimões, a área considerada foi a partir da planície de inundação, o que resultou em um cálculo de Fator de Assimetria indicando um basculamento para a direita, em direção a esta planície de inundação.

### 6.3 ANÁLISE DO RELEVO

A análise do relevo da região estudada foi baseada no reconhecimento de feições a partir de observações feitas em imagens de satélite, modelos digitais de elevação (FIGURA 26) e seções topográficas. A área de estudo está inserida na Formação Içá e localmente com depósitos quaternários nas margens dos rios.

De acordo com o IBGE (2006), as unidades de relevo que se enquadram na região são a Planície Amazônica, a Depressão Solimões-Unini, a Depressão Ituxi-Jari e a Depressão Purus-Juruá, conforme mostra a Figura 27.

A Planície Amazônica representa planícies e terraços fluviais e flúvio-lacustres elaborados em sedimentos aluviais recentes e correspondem às várzeas permanentemente alagadas e/ou inundáveis nas cheias anuais, de acordo com Bezerra (2003), que define a disposição dessa unidade de relevo principalmente nas margens do rio Solimões e margens dos rios da porção sul e sudeste da área estudada. Costa *et al.* (1978) caracterizou esta unidade por possuir uma colmatagem atual e ativa, onde se destacam lagos, furos, paranás e depósitos lineares recentes. Bezerra (2003) destaca a presença de diques arenosos, correspondentes aos depósitos de barra em pontal, bacias de decantação, como depósitos de transbordamento e lagos de meandro, como aluviões flúvio-lacustres

A Depressão Solimões-Unini, ocupa a porção noroeste da área estudada, margem esquerda do rio Solimões, onde está inserida Formação Içá, é caracterizada por relevo de cotas que variam de 50 a 60m, com vales escarpados nas margens do rio Piorini, onde as cotas chegam a 40m. Esta unidade é individualizada por apresentar interflúvios tabulares de grandes a médias dimensões, delimitados por vales rasos, situados em toda porção a norte do rio Solimões. Bezerra (2003) mapeou os antigos níveis de terraços descaracterizados por processos erosivos como formas de dissecação de topos planos. Esta unidade é também caracterizada pela baixa densidade de drenagem tendo como rio principal na região o Piorini seccionando terraços de um paleossistema fluvial, onde Bezerra (2003) evidenciou um forte soerguimento geral da margem esquerda do rio Solimões.

A Depressão Purus-Juruá é observada margem direita do rio Solimões, onde as cotas são mais elevadas, caracterizada pela Formação Içá, sendo a maior unidade geomorfológica da área estudada. Tal unidade compreende interflúvios tabulares de dimensões pequenas a médias, fracamente desnivelados. O conjunto de relevo que compõe a unidade decai em



altitude à medida que se aproxima da calha do rio Solimões. Bezerra (2003) afirma que essa superfície, suavemente basculada para NNE, foi posteriormente dissecada por retomadas erosivas, resultando em interflúvios tabulares de pequena a média dimensão e moderado aprofundamento, fracamente desnivelados.

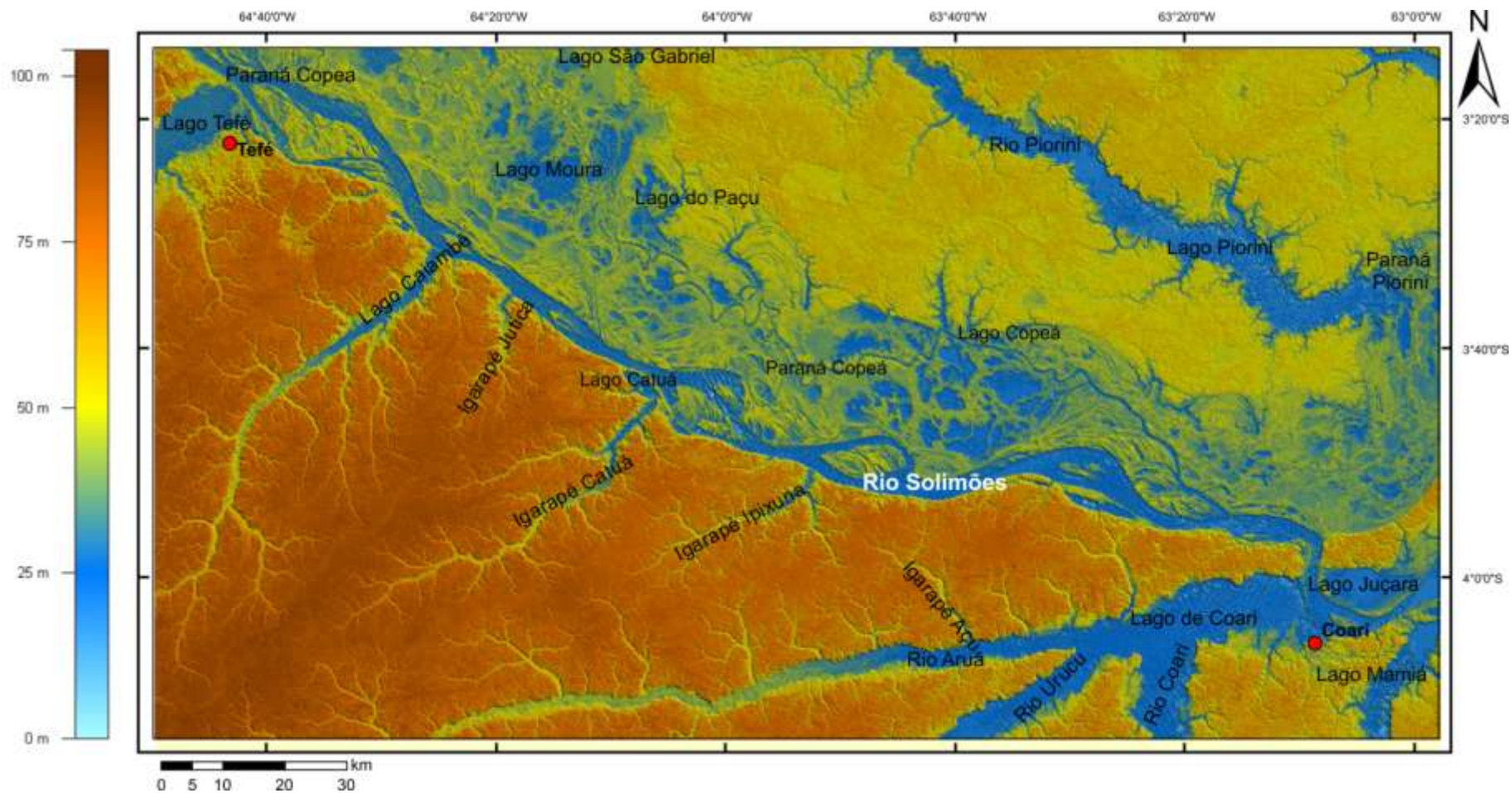


Figura 26 - Imagem SRTM (modelo digital de elevação) indicando as diferenças de topografia.

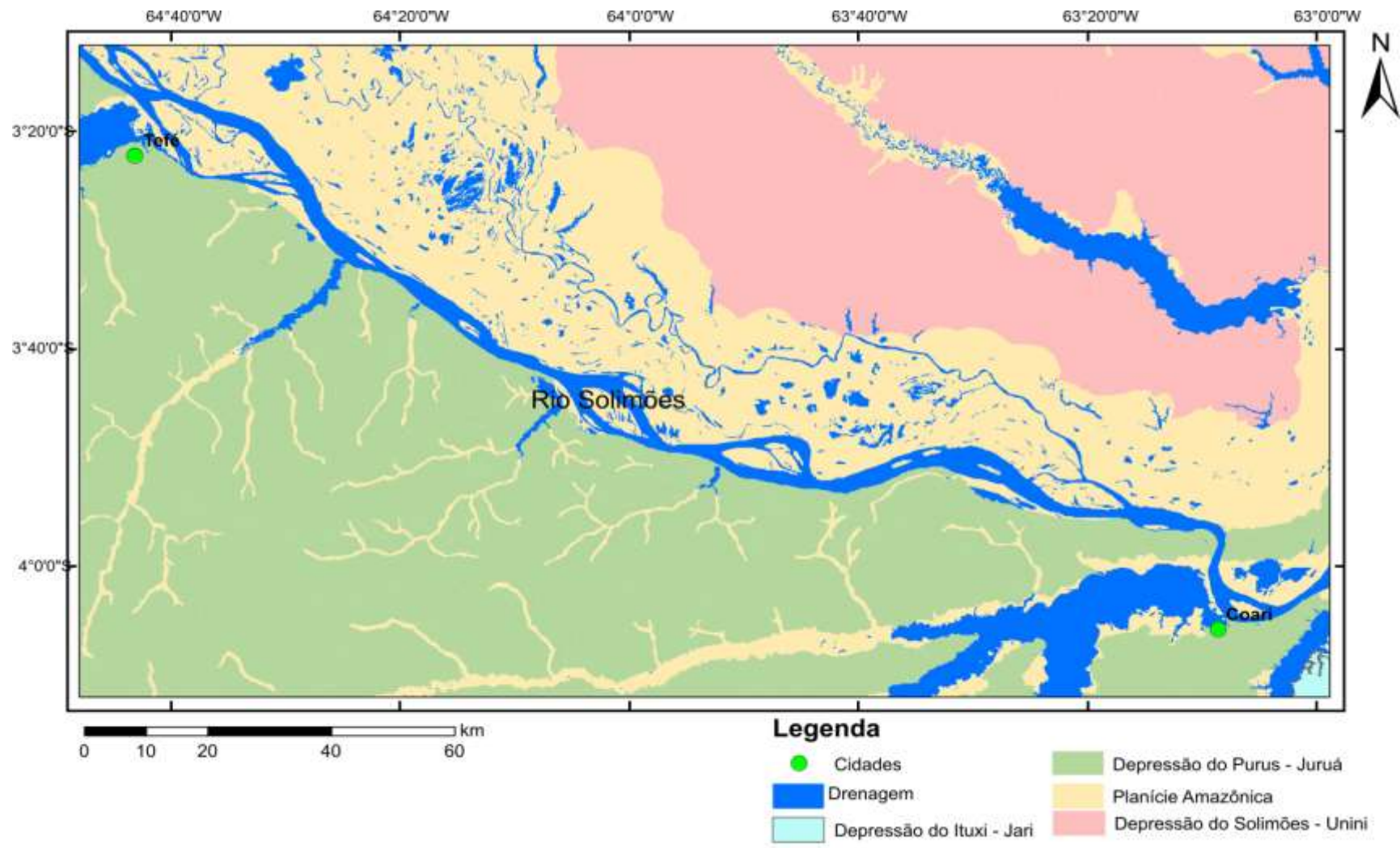


Figura 27 - Mapa de unidades geomorfológicas da região estudada, mostrando as unidades de relevo: Planície Amazônica, a Depressão Solimões-Unini, a Depressão Ituxi-Jari e a Depressão Purus-Juruá.

A partir do modelo SRTM, foram extraídas as curvas de nível e de acordo com o mapa elaborado (FIGURA 28). Observa-se que o relevo não é superior a 90 metros. As cotas de 90 metros não foram representadas no mapa de curva de nível por serem pontuais na região da margem direita do Rio Solimões. Na margem esquerda desse rio são encontradas cotas de 40 a 60 metros e, na margem direita, as cotas variam de 70 a 90 metros, predominando cotas de 70 metros. O fato das cotas maiores estarem presentes na margem direita é devido a ocorrência de terra-firme, o que segundo Rosseti (2005) compreende o relevo mais antigo enquanto que a margem esquerda é composta predominantemente por várzea com depósitos mais recentes. As cotas de 40 metros são encontradas ao longo da planície fluvial e não ultrapassam esse valor.

Na região sudoeste da área, ocorrem cotas mais elevadas, em torno de 90, ocasionando uma anomalia linear, característica de região de colinas. Essa anomalia possui direção SW-NE, a qual funciona como um divisor de bacias entre os rios Caiambé e Jutica.

A partir do mapa de curvas de nível (FIGURA 28) é possível observar duas superfícies topográficas distintas: a planície fluvial e a área de terra-firme, confirmando os trabalhos de Costa *et al.* (1976), Nascimento *et al.* (1976), Mauro *et al.* (1978), IBGE (2006) identificando o planalto rebaixado e as depressões interfluviais.

A área onde está compreendida a terra-firme, onde são encontradas superfícies desniveladas, é a superfície de cotas mais elevadas e foi elaborada em rochas sedimentares da Formação Içá. Nesse relevo são encontradas colinas pouco dissecadas e interflúvios tabulares onde se instalou a drenagem. Esses interflúvios tabulares possuem de pequena a média dimensão e moderado aprofundamento e próximo aos vales se desenvolvem as formas colinosas que são resultantes da dissecação em decorrência de clima úmido, de acordo com Bezerra (2003). A organização da rede de drenagem acompanha o caimento topográfico dominante para nordeste e tem seus rios principais e suas sub-bacias um padrão paralelo indicando possivelmente um controle estrutural.

Uma característica comum desse sistema de relevo é o desenvolvimento de rias fluviais na confluência com o rio Solimões observado nos lagos de Tefé e Caiambé. Isso se deve ao desnível topográfico nas proximidades da margem com o rio Solimões, as quais mostram uma fisiografia similar a zonas escarpadas.



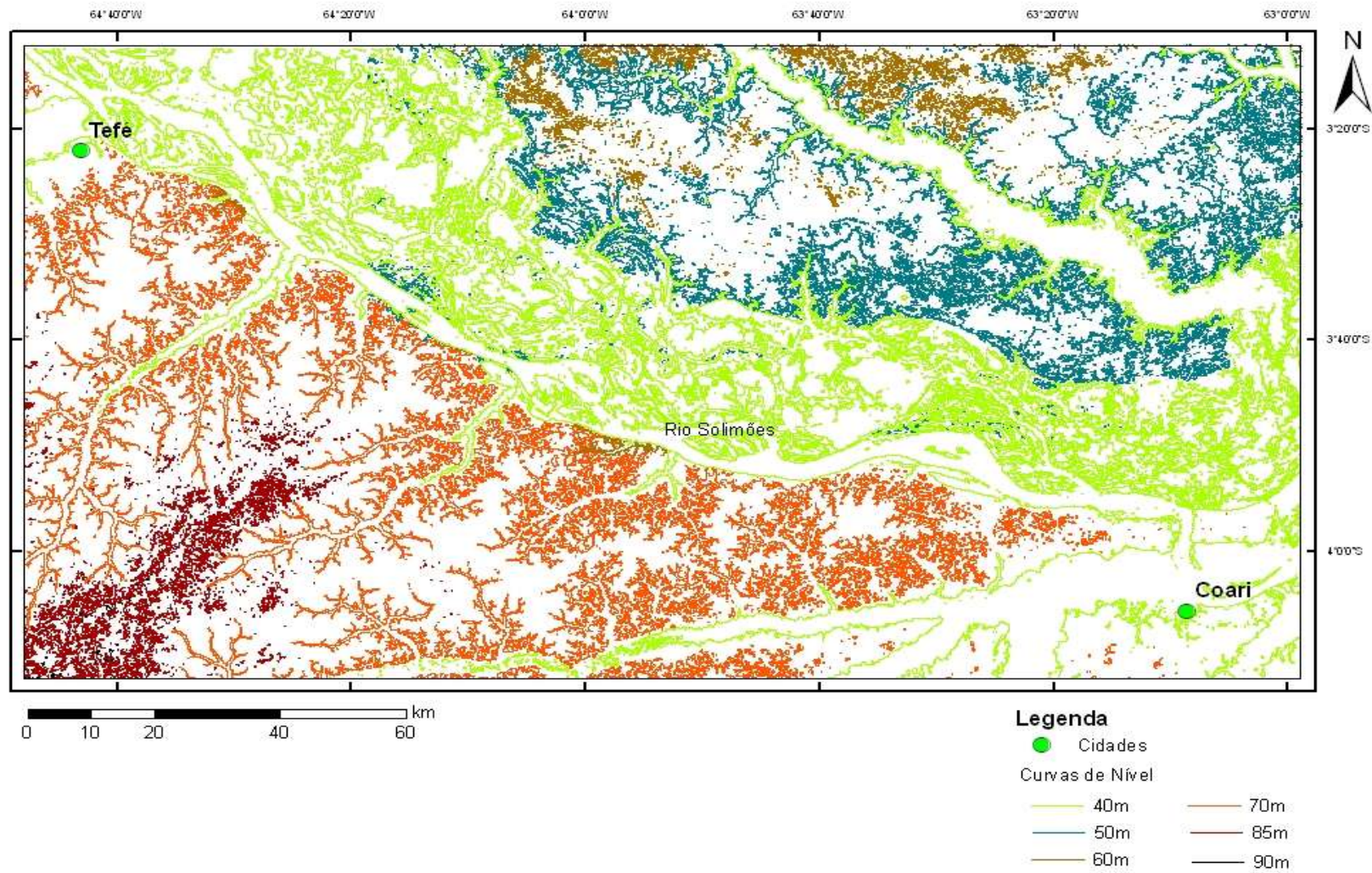


Figura 28 - Mapa de curva de nível.

A planície fluvial é encontrada em um nível topográfico mais baixo e também são observadas superfícies desniveladas. Nessa planície a acumulação de sedimentos evolui de acordo com a dinâmica fluvial e fluviolacustre, com isso, o sistema de interflúvios tabulares tem sua continuidade interrompida. As planícies fluviais mostram disposição retilínea e abrigam os canais meandantes, apresentando quebras bruscas e acentuadas de continuidade caracterizando as anomalias em forma de “cotovelo”. Tal anomalia indica que os rios estão adaptados aos seus vales, e não se observa qualquer desproporção entre a largura do vale e a largura dos canais.

A pouca dissecação do relevo na área de terra-firme pode ser notada na figura 28 que mostra o perfil topográfico (FIGURA 29 - Perfil A) na direção NW-SE e observa-se que os canais principais estão bem encaixados, apresentando um desnível de mais de 40m em relação a cota mais alta do perfil topográfico, tendo como exemplo o igarapé Caiambé que possui um aprofundamento de aproximadamente 35m. Tal situação configura a morfologia em falésias fluviais ou margens escarpadas, muito citado na literatura por Costa *et al.* (1976), Mauro *et al.* (1978) e Iriondo (1982). A região onde o relevo está com a cota mais alta, chegando a 90m, é entre os igarapés Caiambé e Catuá, apresentando um topo plano, com densidade de drenagem baixa fluindo para nordeste. Os desníveis topográficos não são muito significativos, chegando, no máximo, a 20m, sendo expressiva a escarpa de falha nas margens do igarapé Caiambé, definindo assim um vale em “V”.

Na margem esquerda do rio Solimões os interflúvios tabulares apresentam topo plano e pouca dissecação com baixa densidade de drenagem e fraco aprofundamento mostrado no perfil topográfico (FIGURA 29 - Perfil B) SW-NE. Os rios Copeá e Piorini são os principais canais do perfil B, sendo que o rio Piorini secciona o terraço de um paleossistema fluvial de acordo com Bezerra (2003), fluindo paralelamente para a planície do rio Solimões, desaguando nele após um longo percurso, o que caracteriza um forte soerguimento da margem esquerda do rio Solimões. As margens escarpadas do rio Piorini elaboraram uma ampla erosão fluvia com aprofundamento aproximado de 35m, formando um grande vale em “U”. O rio Copeá, situado mais a sudoeste do perfil, possui um nível topográfico em torno de 45m em suas margens e aprofundamento de vale em “U” de 20m, caracterizando as escarpas em suas margens.

O Perfil C (FIGURA 29), que secciona o rio Solimões, mostra um desnível topográfico significativo entre as margens esquerda e direita desse rio, destacando a diferença entre a área de terra-firme e a várzea. A margem direita, caracterizada pela Formação Içá,

com relevo mais dissecado que a outra margem possui cotas topográficas que alcançam 90m, configurando zonas escarpadas nas margens do rio Solimões. Na margem esquerda o perfil mostra menor dissecação do relevo com cotas topográficas não ultrapassando 40m na região da Planície Amazônica e na unidade geomorfológica Depressão Solimões-Unini a topografia alcança 50m. Tal perfil mostra o caimento da margem esquerda do rio Solimões de nordeste para sudoeste, enquanto que na margem direita o caimento é pouco significativo de sudoeste para nordeste, evidenciando a grande escarpa de falha na margem do rio.

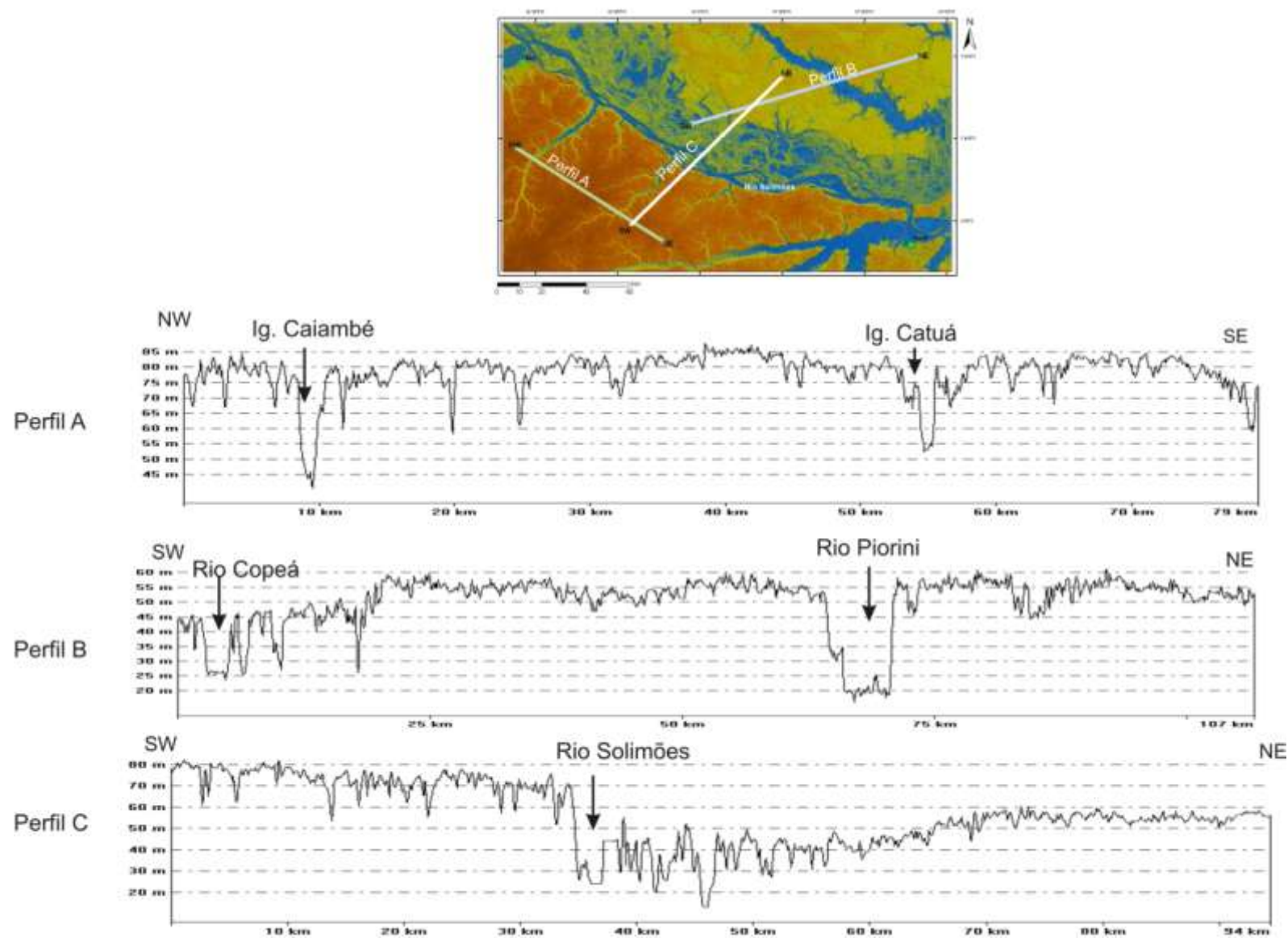


Figura 29 - Perfil topográfico NW-SE na margem direita do rio Solimões (Perfil A), SW-NE na margem esquerda (Perfil B) e outro seccionando o rio Solimões (Perfil C).



O modelo 3-D (FIGURA 30) elaborado a partir da integração de dados SRTM e cartas topográficas na escala 1:100.000, observa-se um relevo que não foi superior a 90 metros (Figura 28). Este mostra superfícies com caimentos diferenciados.

No modelo 3-D é possível observar uma grande feição que se encontra paralela entre as sub-bacias do Caiambé e do Catuá com direção preferencial SW-NE e outro grande lineamento é observado paralelo ao rio Piorini com direção preferencial NW-SE.

As feições morfológicas de interesse para este estudo, reveladas pelo modelo de elevação digital com base em seus sistemas de drenagens atuais, mostram a preservação de uma complexa malha constituída por canais principais e seus afluentes.

A morfologia sinuosa a meandrante dos canais da margem esquerda do rio Solimões sugere que a área de estudo apresentava amplas planícies de inundação entre canais de estabilidade média de seus cursos. Além disto, a morfologia meandrante sugere que os canais apresentavam domínio de carga mista, ou seja, o fluxo carregava sedimentos como cargas de fundo e como suspensões. Em particular, o grande canal meandrante que forma feição em “S” deitado teria estas características, o que é observado no Paraná Copeá.

Duas feições principais se destacam na paisagem da área: rebordos erosivos, frutos da atividade fluvial marcante, e as escarpas de falhas alinhadas que controlam as margens do rio Solimões, principalmente na sua margem esquerda.

Os rebordos erosivos e zonas de erosão fluvial descrevem áreas de migração de segmentos dos rios. Estes mostram, em alguns casos, uma orientação que obedece a lineamentos expressivos no relevo.

Os terraços antigos e recentes, bem determinados na margem esquerda do rio Solimões, representam esses processos de avulsão. As demais morfologias associadas à Planície Amazônica demonstram expressivos processos de migração do rio Solimões.

As zonas de escarpas de falhas são evidentes principalmente nas margens do rio Solimões e em seus afluentes como, por exemplo, os rios Urucu, Coari, Arua, Piorini, Caiambé, Jutica, Ipixuna e Catuá, como pode ser observado na Figura 30. Estas configuram segmentos retilíneos que controlam a sedimentação da ampla planície fluvial dos rios. Os desníveis topográficos produzidos nas zonas escarpadas implicam no desenvolvimento de um forte padrão de barramento dos canais, sob a forma de “ria fluvial”, no bloco mais alto.

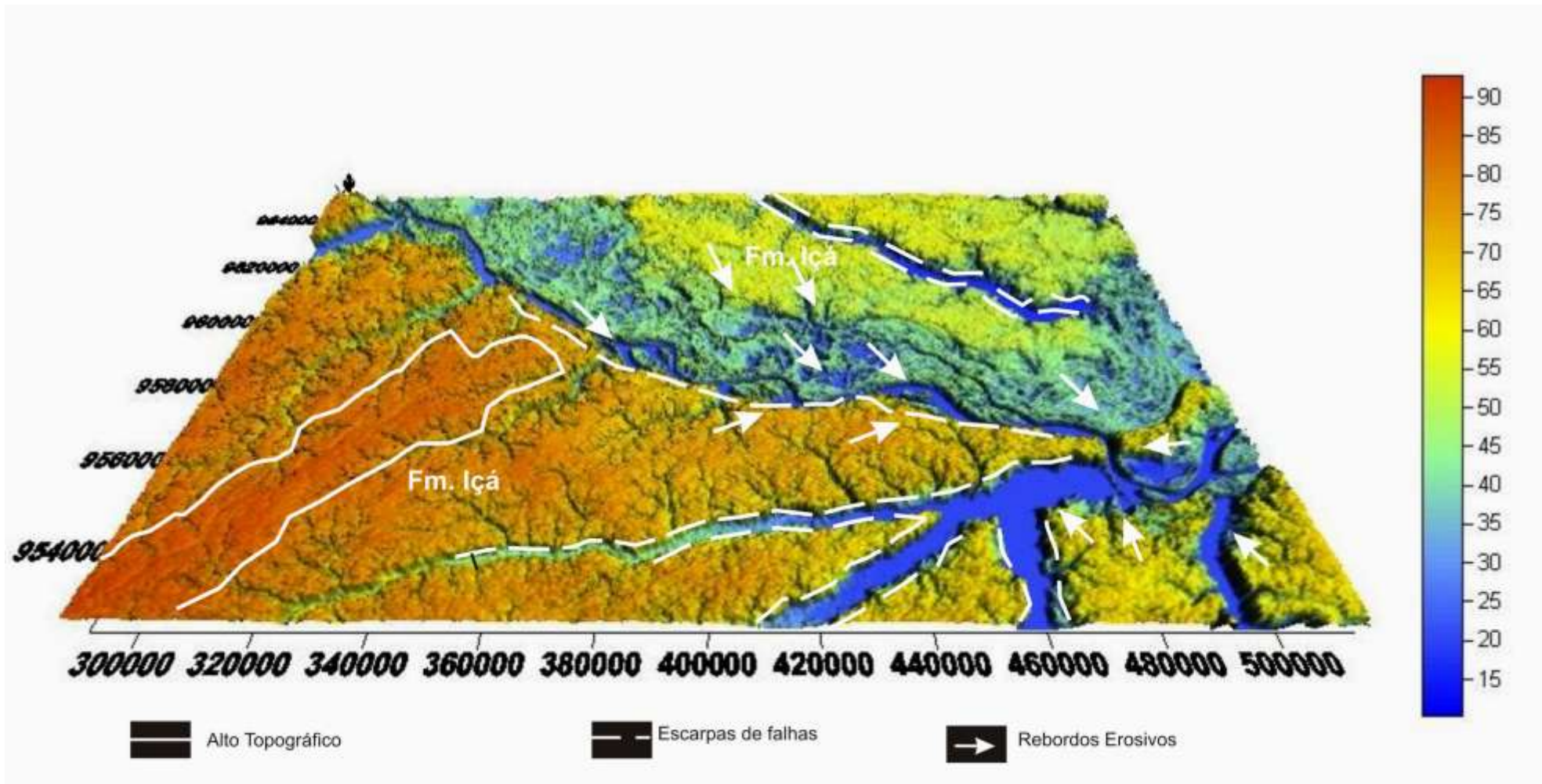


Figura 30 - Modelo 3D SRTM (MDE), indicando elementos de morfoestruturais na paisagem: Escarpas de falhas (linha pontilhada) e rebordos erosivos (seta). A cota mais elevada, na ordem de 90m localizada entre os igarapés Caiambé e Jutica.

### 6.3.1 Análise de lineamentos de relevo

A partir da análise no mapa de curvas de nível (FIGURA 28) e no modelo SRTM foi possível identificar importantes feições alinhadas no relevo. Na Figura 31 estão representados os segmentos retilíneos obtidos a partir das curvas de nível e também daqueles observados no modelo SRTM. O mesmo procedimento adotado para os lineamentos obtidos na rede de drenagem foi realizado para os de relevo. Os lineamentos em todas as direções são apresentados na Figura 31 juntamente com os diagramas de rosetas mostrando as direções preferenciais e número de lineamentos.

Na porção norte, são destacados os lineamentos com direção preferencial NW-SE e NE-SW. No comprimento de lineamentos (Figura 31 A) a direção preferencial é presente no intervalo de N35-55W e N55-75E. Quanto ao número de lineamentos (Figura 31 B), a direção preferencial é NW-SE, no intervalo N35-55W. Essas duas feições estruturais são muito comentadas na literatura desde tempos remotos por Sternberg (1950), Tricart (1977) e Mauro *et al.* (1978). Tais direções marcantes analisadas (NW-SE e NE-SW) marcam expressivos elementos na paisagem.

Na margem direita do rio Solimões, a direção preferencial SW-NE marca uma estrutura linear definida por um relevo de cotas topográficas que chegam a alcançar 90m. Tal estrutura é observada por um grande lineamento que define um divisor de bacias. Essa região, entre os igarapés Caiambé e Catuá mostra um predomínio de lineamentos na mesma direção (SW-NE).

Já na margem esquerda, o predomínio de lineamentos é na direção NW-SE, representado por poucas feições lineares, porém bem expressivas, principalmente os lineamentos entre a Planície Amazônica e o rio Piorini.



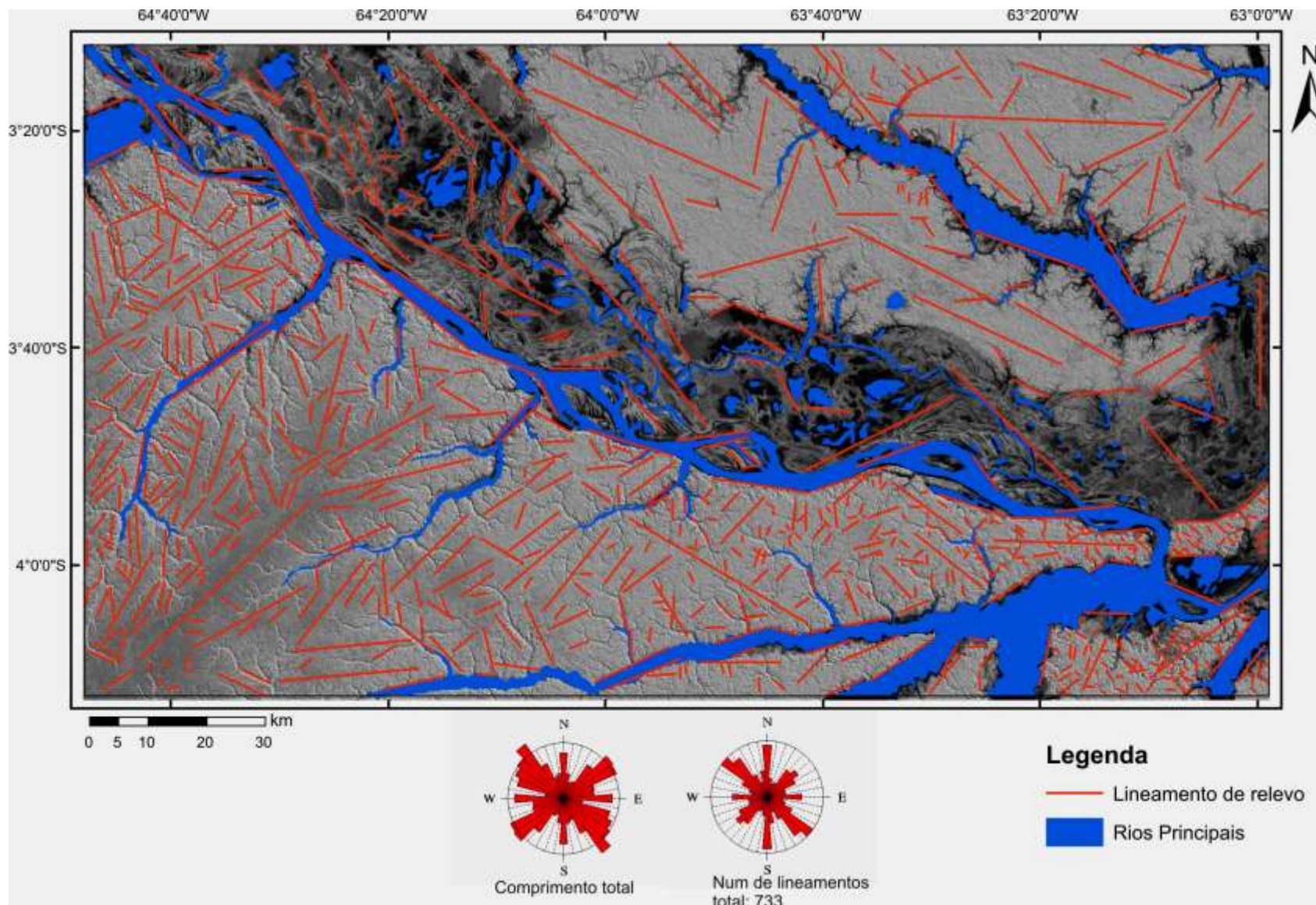


Figura 31 - Mapa de lineamentos de relevo e os diagramas de rosetas e suas direções preferenciais. Comprimento Total (A) e número de lineamentos (B).

## 6.4 ANÁLISE MORFOTECTÔNICA

As análises na drenagem e no relevo da região proporcionaram a confecção de um mapa morfotectônico para área (FIGURA 32), permitindo a identificação de dois compartimentos morfotectônicos: um na margem direita do rio Solimões e outro na margem esquerda. Os lineamentos representam tanto feições lineares no relevo quanto na drenagem. Isso representa provavelmente que tais lineamentos são existentes e podem ser considerados como importantes elementos morfoestruturais.

### **Compartimento 1 – Margem direita do rio Solimões**

Este compartimento ocupa toda a região da margem direita do rio Solimões compreendido entre os rios Tefé e Coari e corresponde a unidade de relevo Depressão Purus-Juruá, desenvolvido sobre os sedimentos da Formação Içá, incluindo as planícies fluviais dos afluentes dessa margem do rio Solimões, que abrange as bacias do lago de Tefé, Caiambé, Jutica, Catuá, Ipixuna e Aruã.

Os lineamentos que compreendem os rios Tefé, Caiambé, Catuá, Ipixuna e Urucu caracterizam um sistema de drenagem de orientação NE-SW. Os lineamentos dos rios Aruã e parte do lago de Coari possuem orientação E-W, o que está de acordo com a descrição de Bezerra (2003). A caracterização é conforme a análise estrutural neotectônica feita por Costa *et al.* (1996) na região que foi considerada como *Compartimento Transpressivo Rio Juruá-Rio Purus*, o qual faz parte do que chamaram de Centro-Oeste do Amazonas.

O relevo nessa área possui um grande lineamento com direção NE-SW, entre os rios Caiambé e Catuá, chegando à cabeceira do igarapé Jutica, conforme mostrado na descrição de lineamentos de relevo, com cota aproximada de 85m.

Os lineamentos com direção NE-SW foram interpretados por Costa *et al.* (1996) como falhas inversas, enquanto que os lineamentos E-W foram interpretados como falhas transcorrentes sinistrais conforme a Figura 32.



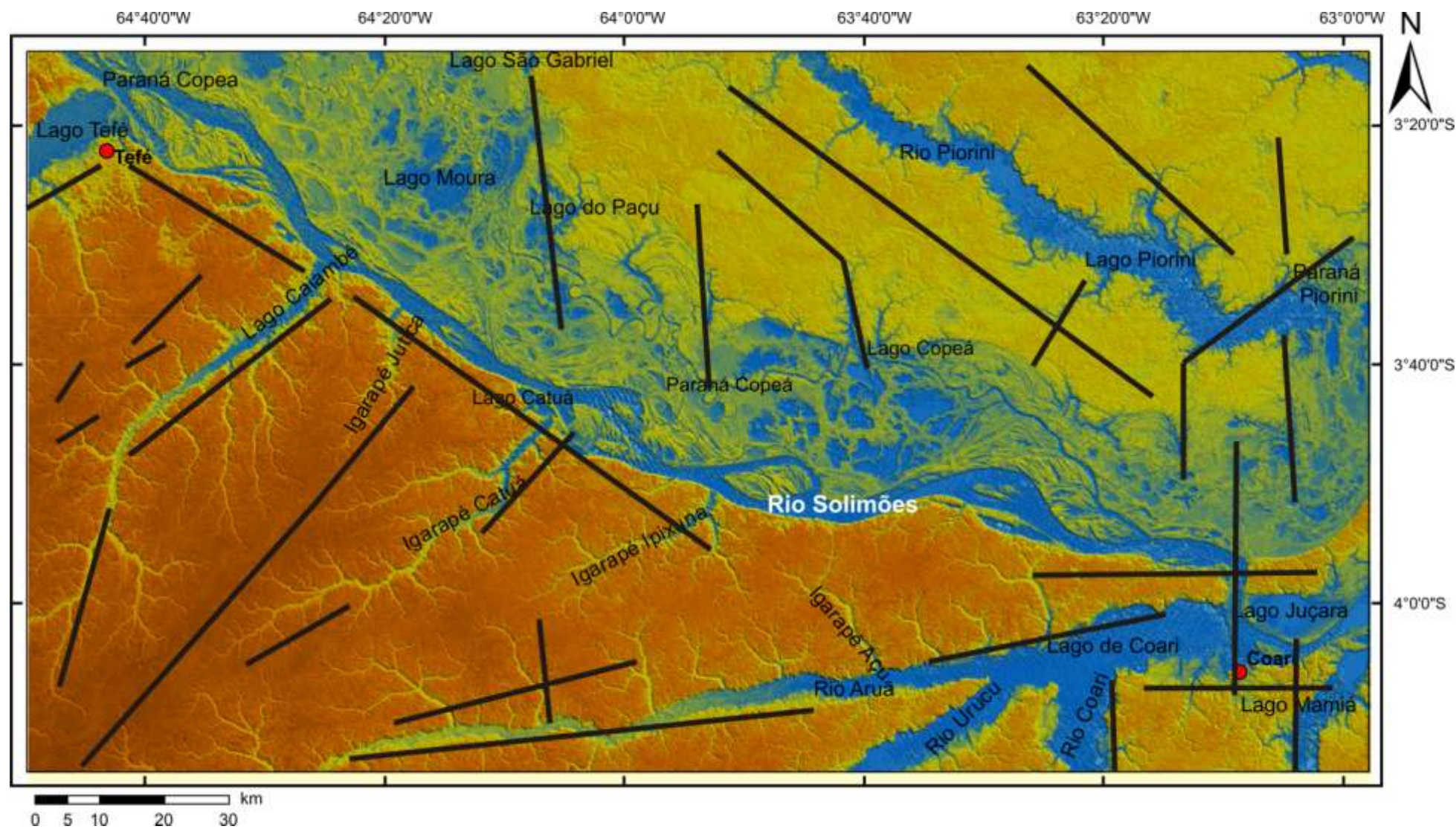


Figura 32 - Principais lineamentos obtidos a partir da análise em modelos SRTM, imagens de satélite, mapa de lineamentos de relevo e de drenagem.

## **Compartimento 2 – Margem esquerda do rio Solimões**

A margem esquerda do rio Solimões é ocupada, por quase sua totalidade, pelo compartimento denominado por Bezerra (2003) de *Compartimento Transtensivo Rio Negro-Rio Solimões*. Tal compartimento abrange os interflúvios tabulares que constituem os sistemas de relevo entre os rios Solimões e Piorini, incluindo a Planície Amazônica e a Depressão Solimões-Unini. As unidades geológicas em destaque na região são: Formação Içá e aluviões flúvio-lacustres.

A extensa área que abrange este compartimento é formada por um conjunto de morfoestruturas identificadas com lineamentos de direção NW-SE, a qual Bezerra define como uma *área transtensiva* integrada por domínios essencialmente extensionais.

Neste domínio extensional estão as imensas áreas inundáveis (planície fluvial e fluvio-lacustre) do rio Solimões, que configuram lineamentos na direção N-S. Os processos erosivos nas margens do rio Solimões ao longo das falhas, provavelmente causaram a migração do curso do rio para sudoeste no trecho entre o lago de Tefé e o igarapé Ipixuna e para sul no trecho entre o igarapé Ipixuna e o lago de Coari.

Os lineamentos presentes na área estudada serão identificados a seguir:

### **Lineamentos NW-SE**

A interpretação morfotectônica mostra que as estruturas NW-SE correspondem a falhas normais, com mergulhos para nordeste e sudoeste. A análise comparativa entre os lineamentos de relevo e drenagem mostra os lineamentos mais representativos: Lineamento do Rio Solimões, Lineamento Rio Piorini

- **Lineamento do Rio Solimões:** este lineamento margeia o rio Solimões no trecho entre o lago de Tefé e o Igarapé Ipixuna controlando um trecho com padrão retilíneo da drenagem, onde observa-se escarpas de falhas e as margens não possuem depósito em terraço, a superfície em torno de 90m é dissecada e apresenta uma pequena inclinação em sentido SW-NE, nota-se um desnível de bloco da margem direita em relação à margem esquerda de aproximadamente 40m, conforme a Figura 29 – Perfil B. Neste trecho do rio Solimões, a planície possui um padrão assimétrico, ou seja, a planície de inundação concentra-se na margem esquerda do rio, enquanto que a margem direita é constituída de terras-firmes, concordando com a descrição de Bezerra (2003). Tais

interpretações, de acordo com o descrito acima, podem revelar que o rio Solimões, neste trecho, encontra-se ajustado a falhas normais de direção NW-SE. A presença de terraços na margem esquerda e a assimetria da planície podem delimitar a migração do rio para sudoeste.

- Lineamento do Rio Piorini: apresenta pouco desnível no relevo controlando as margens do rio Piorini e seccionando as drenagens de 1ª. e 2ª. ordem dos afluentes do canal principal. Este controle estrutural pode causar as anomalias em cotovelo apresentadas na drenagem. O rio Piorini é controlado por esses lineamentos, ajustando-se a um feixe de falhas normais o que está de acordo com Bezerra (2003).

### **Lineamentos E-W**

- Lineamento da Rio Solimões com a Foz do Lago Coari
- Lineamento do Rio Aruã: apresenta margem escarpadas com a formação de terraços na margem direita e, na margem esquerda a escarpa de falha mostra um desnível aproximado de 45m. A interpretação de Bezerra (2003) descreve este trecho do rio Aruã como falhas normais controlando tal estrutura escarpada com sentido N-S.
- Lineamento de Coari: este lineamento é identificado às margens do município de Coari, com rebordos erosivos o que delimita um relevo pouco dissecado, com pequena inclinação na margem direita e, na margem esquerda apresenta escarpa com um desnível significativo de aproximadamente 40m. Tal lineamento pode significar uma estrutura de falha normal com sentido N-S, o que está de acordo com Ribeiro (2009).

### **Lineamentos N-S**

Os lineamentos com direção N-S encontram-se principalmente na região leste da área estudada, onde estão os aluviões flúvio-lacustres e são definidos próximos ao lago de Coari, rio Coari e Mamiá.

- Lineamento Lago de Coari: controla o trecho do rio Solimões que com inflexão para o lago de Coari na direção N-S. Bezerra (2003) descreve que falhas normais de direção N-S promovem a captura do rio para sul, no trecho em que o canal principal abandona sua antiga planície, a qual mostra



uma curvatura para norte. Este lineamento também faz o controle estrutural da foz do lago Mamiá e do rio Coari. As margens escarpadas formam um desnível de aproximadamente 30m na região onde há a captura de drenagem. Outra feição secciona o paraná Piorini e as outras feições (E-W, NW-SE e NE-SW), na margem esquerda do rio Solimões, confirmando as observações feitas por Ribeiro(2009), que descreve como falhas posteriores às feições E-W, NW-SE e NE-SW, identificando-as como falhas transcorrentes destrais.

- Lineamento do Lago do Paçu: este lineamento situado na Planície Amazônica, onde estão os depósitos flúvio-lacustres, se propaga para norte chegando até o lago São Gabriel, não possui diferenças significativas de relevo, porém forma desnível de aproximadamente 20m nas margens do lago do Paçu.

De acordo com a descrição acima explicitada, foi possível notar uma estrutura significativa de direção NW-SE, onde a instalação da rede da drenagem demonstra ainda um suave basculamento da superfície do relevo para leste-nordeste e os canais fluem para o sentido geral nordeste, o qual Feitoza (2009) caracteriza a superfície por um relevo submetido ao processo de erosão remontante, onde o sistema de drenagem está em franco aprofundamento (FIGURA 33). O basculamento de leste para nordeste, mostra um suave aplainamento do relevo, com o direcionamento dos canais de toda a área da margem esquerda do rio Solimões fluindo preferencialmente para nordeste.

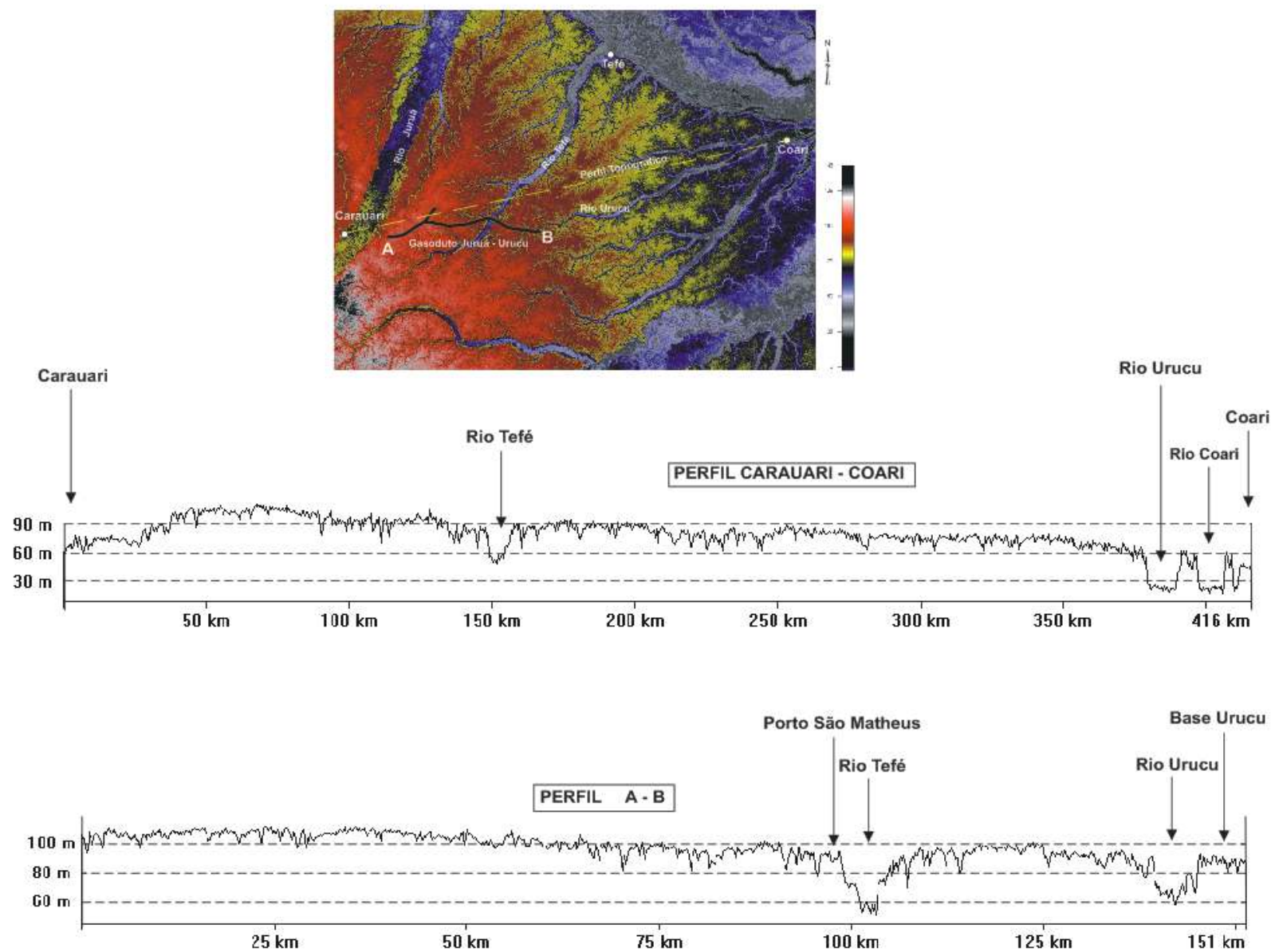


Figura 33 - Perfis topográficos entre as cidades de Carauari e Coari, mostrando a superfície pouco dissecada e a inclinação para nordeste.

A partir da associação das zonas de falhas existentes e das unidades sedimentares individualizadas no mapa geológico e estrutural elaborado (FIGURA 34). As falhas normais de direção NW-SE ao longo de um trecho do rio Solimões, mostram que o curso do canal era diferente do curso atual, o que está de acordo com Bezerra (2003). Na região onde ocorre a Formação Içá, a direção preferencial das estruturas é NW-SE, direcionando os afluentes de maior ordem. Na confluência dos canais com o rio principal, há a formação de rias fluviais causadas principalmente pelo desnivelamento de blocos ocasionados pelas falhas normais resultando em anomalias de drenagem, confirmando as descrições de Bezerra (2003) e Ribeiro (2009). Tendo como exemplo o lago de Tefé, lago Caiambé, lago Ipixuna, lago de Coari.

O sistema de falhas transcorrentes destrais (N-S) próximo à confluência do lago de Coari com o rio Solimões, condicionou uma modificação de curso do canal de leste para sul, cuja planície de inundação mostra que o curso do rio era para leste.

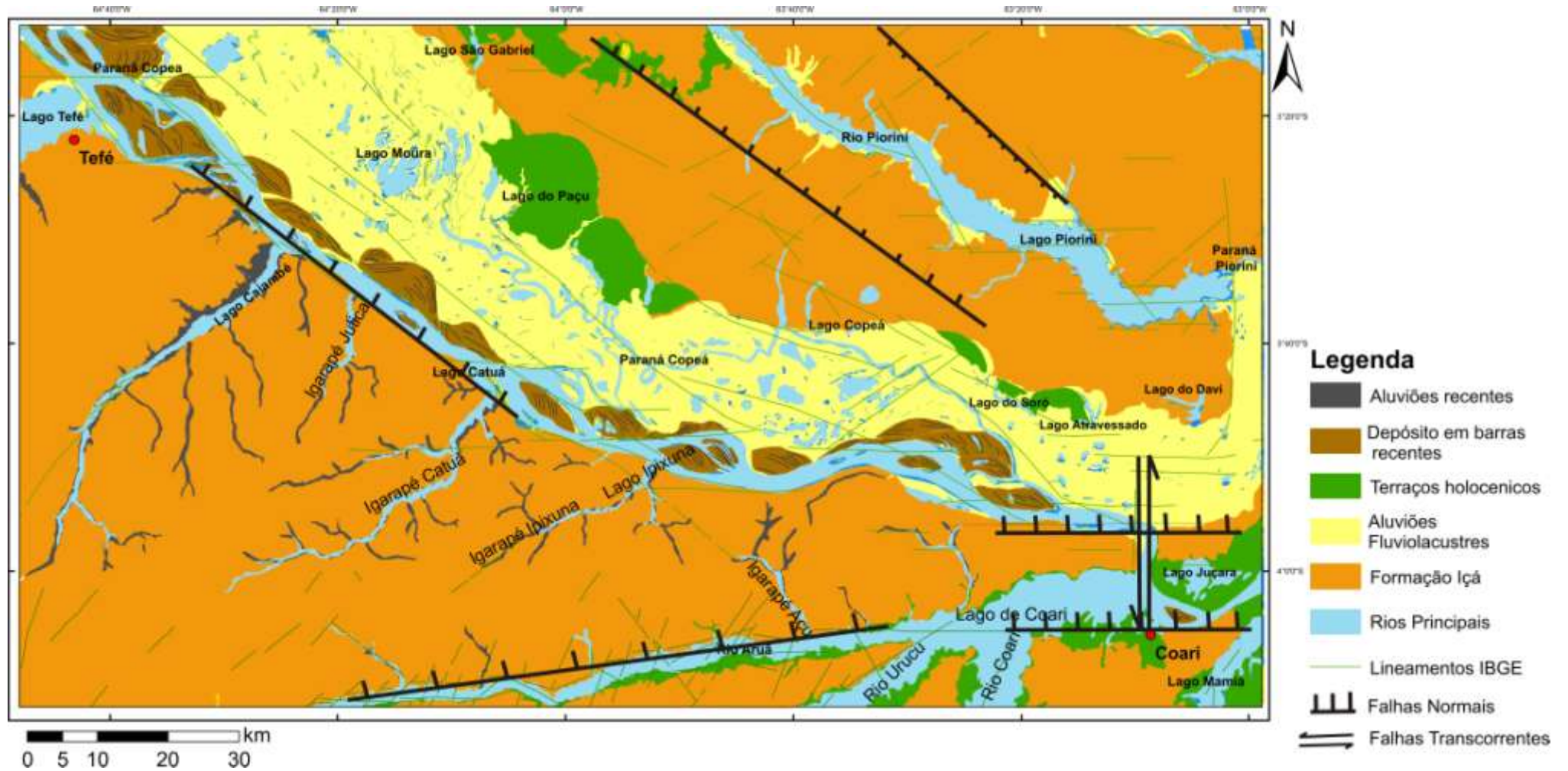


Figura 34 - Mapa geológico/estrutural da área de estudo a partir da análise morfoestrutural e de lineamentos.

## 7 CONCLUSÃO

A integração de dados de diversos produtos para a determinação do controle tectônico é necessário para qualquer análise em relação à neotectônica e, na região amazônica é de extrema importância para apoiar resultados mais convictos. A caracterização das unidades geológicas, principalmente na Planície Amazônica, é de fundamental importância para a análise, descrição e entendimento das ocorrências de relevo e drenagem na região estudada. A utilização de produtos de sensores remotos, tais como as imagens 3-D SRTM, possibilitou a individualização das unidades geológicas presentes na área.

A partir da análise dessas imagens, foi possível caracterizar a drenagem da região, segundo sua forma, padrão, grau de assimetria, densidade de drenagem e individualizar as principais sub-bacias da área estudada.

A análise do relevo (formas alinhadas, desnivelamentos de superfícies e escarpas de falhas), em conjunção com os produtos gerados (mapas de lineamentos de drenagem, diagramas de Kernel, mapas de curvas de nível, modelos digitais de elevação - SRTM, etc) permitiu a definição de importantes lineamentos estruturais, os quais foram associados a zonas de falhas.

O quadro morfotectônico da região permitiu a identificação de um compartimento na margem direita do rio Solimões composto por uma superfície da ordem de 90 metros suavemente inclinada para nordeste, onde desenvolve-se uma drenagem subdendrítica orientada por lineamentos NE-SW com parte do relevo pouco dissecado e, outro compartimento na margem esquerda, onde o relevo possui cotas mais baixas, na ordem de 40m, na unidade flúvio-lacustre, cuja dissecação é oriunda do basculamento tectônico ocorrido ao longo da zona de falha no rio Solimões.

Os lineamentos representam tanto feições lineares no relevo quanto na drenagem. Isso representa, provavelmente, que tais lineamentos podem ser considerados como importantes elementos morfoestruturais.

Com a interpretação dos lineamentos de relevo e drenagem, em conjunto, foi possível identificar as estruturas morfotectônicas mais importantes da área como a migração do canal do rio Solimões de nordeste para sudoeste, um alto estrutural na região sudoeste da área com leve basculamento para nordeste e um sistema de falhas destrais de direção N-S na confluência do lago Coari com o rio Solimões.

Diante desse quadro foi possível identificar que as falhas normais de direção NW-SE são as mais antigas na região e que condicionam o trecho do rio Solimões em sua maior parte na área estudada. A maioria dos afluentes da margem direita do rio Solimões, como o rio Tefé, Caiambé, Jutica, Catuá e Ipixuna, é ajustada por falhas transcorrentes com direção NE-SW. A mudança do leito do rio Solimões ocorreu devido à falha transcorrente N-S, que possivelmente é posterior às falhas de direção NW-SE e E-W, promovendo a captura do rio Solimões para sul, em um trecho em que o canal principal abandona sua planície antiga, a qual descreve uma curvatura para norte.

A caracterização das unidades a partir de trabalhos realizados em campo, por meio de amostragem em superfície e subsuperfície (furos), é necessária, assim como a datação das unidades principais e sua correlação temporal e o mapeamento das falhas por meio de reconhecimento em afloramento e através de métodos indiretos (p. ex. sísmica rasa), para complementação do quadro geológico estrutural.



## 8 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B .B.; FUCK, R. A.. Províncias estruturais brasileiras. *Simpósio de Geologia do Nordeste.*, 1, p. 363. Campina Grande: SBG, 1977.

ALMEIDA, L. F. *A drenagem festonada, a planície Sazonama e o Rio Amazonas*. Relatório Interno, 19-G, Belém, 1974.

ASSUMPÇÃO, M. O sismo de Codajás – AM, de 05.08.1983. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2, 39-44, 1983.

BARBOSA FILHO, C.M.; TEIXEIRA, L.B.; TRAVASSOS, W.A.S. Tectonismo terciário na área do Tapajós. *Anais do Congresso Brasileiro de Geofísica*. 3, pp. 1252-59. Rio de Janeiro: SBGF, 1989.

BEZERRA, P. E. *Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro*. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica), Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2003.

BEZERRA, P. E. L.; LIMA, M. I. C.; COELHO, F. A. J. F. Estruturação neotectônica da Folha SA.20-Manaus. *Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia*. 1, pp. 288-91. Manaus: SBG, 1999.

BIZZI, L.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M. O.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; SANTOS, J.O.S. *Mapa geológico do Brasil*. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistemas de informações geográficas - SIG, CPRM, Brasília, 2001.

BOUMAN, Q. *Geology of the Rio Uatumã, Rio Abacate and surrounding areas*. Relatório Técnico Interno, PETROBRÁS – RENOR. , Belém, 1959.

CAMPOS, J. N. P.; TEIXEIRA, L. B. Estilo tectônico da bacia do Baixo Amazonas. 35 *Congresso Brasileiro de Geologia*. 5, pp. 47-50. Belém: SBG/NO, 1988.

CAPUTO, M. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brasil*. (PhD Thesis), California University, Santa Barbara, 1984.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. *Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas*. PETROBRAS/RENOR, Brasil, 1971.

CAVALCANTE, L. M. *Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasiléia - Acre*. Documentos, EMBRAPA – ACRE, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia* (2 ed.). São Paulo: Blucher, 1980.

COELHO, F. A. Geological recognition of a Cenozoic sequence in the West of the Amazon State. *INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. Abstract Volume*. Rio de Janeiro: IUGS/SBGf, 2000.

CORDANI, U.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. (PETROBRÁS, Ed.) *Série Ciência- Técnica- Petróleo*, n. 15, 1984.

COSTA, J. B. A neotectônica na Amazônia. *5 Simpósio de Geologia da Amazônia. 1*, pp. 35-8. Belém: SBG/NO, 1996.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. Arcabouço tectônico mesozóico-cenozóico da região da calha do Amazonas. *Geociências*, 14, 77-83, 1995.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L.; SAADI, A.; COSTA JÚNIOR, P. S. Arcabouço tectônico meso cenozóico da região da calha do rio Amazonas. In SBG/NO (Ed.), *Anais do 4 Simpósio de Geologia da Amazônia*, (pp. 47-50). Belém, 1994.

COSTA, J. B. S.; BERMEGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA Jr., C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região amazônica - aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, 4, 23-44, 1996.

COSTA, J. R.; COSTA, M. L. A. A evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do estado do Pará. *Geociências*, 12, 373-396, 1993.

COSTA, R. C. R. da; NATALI FILHO, T.; OLIVEIRA, A. A. B. BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA. 20 - Manaus. In BRASIL, *Projeto RADAMBRASIL* (Vol. 18, pp. 167-244). Rio de Janeiro, RJ: DNPM, 1978.

COSTA, R. C. R., NATALI FILHO, T., OLIVEIRA, A. A. B. Geomorfologia da Folha SA.20-Manaus, 1976.

CUNHA, F. Morfologia e neotectonismo do rio Amazonas. *Anais do 3 Simpósio de Geologia da Amazônia*, (pp. 193-210). Belém, 1991.

CURKENDALL, D. W; FIELDING, E. J.; CHENG, T.; POHL, J. M. A Computational-Grid Based System for Continental Drainage Network Extraction Using SRTM Digital Elevation Models. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROCESSING WORKSHOPS (ICPPW03)* (pp. 181-190). California: California Proceedings.....,2003.

DAEMON, R. F.; CONTREIRAS, C. J. A. *Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas*. Rel. Interno, PETROBRÁS, Belém, 1971.

DEFFONTAINES, B. Proposition of a morpho-neotectonic method application in the forçères area, Oriental Brittany, France. *Bulletin INQUA Neotectonic Commission*, v. 12, pp. 48-52, 1989.

DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics*, 194, p.237-263, 1991.

EIRAS, J. F. Geologia e sistemas petrolíferos da Bacia do Solimões. *Boletim de Resumos Expandidos do VI SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA*. (pp. 30-32). Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 1999.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.8 (1), 17-45, 1994.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. M. Evidências de movimentos transcorrentes na bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 2, pp. 193-208, 1988.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. M. Geologia e Perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu. In G. P. GABAGLIA, *Origem e evolução de bacias sedimentares* (pp. 197-220). Rio de Janeiro, RJ, 1990.

FEITOZA, L. M. *Mapeamento Geológico e Geotécnicodo trecho do Gasoduto Juruá – Urucu, estado do Amazonas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Amazonas, Geociências, Manaus, 2009.

FERNANDES FILHO, L. A.; COSTA, J. B.; COSTA, M. L. Bacia de Manaus: uma estrutura pull-apart do Quaternário. *5 Simpósio Nacional de Estudos Neotectônicos*, 6, p. 425. Gramado, 1995.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H.L.S. Utilização do sensoriamento remoto na investigação da área do baixo rio Negro e Grande Manaus. *Anais do 6 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, (pp. 641-8). Manaus, 1990.

FRANZINELLI, E.; PIUCI, J. Evidências de neotectonismo na Bacia Amazônica. *Anais do 7 Congresso Latino-Americano de Geologia*. Belém, 1988.

GATTO, L. Relevo. In *Geografia do Brasil - Região Norte* (pp. 47-60). Rio de Janeiro: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1991.

GUERRA, A. J. *Dicionário Geológico Geomorfológico*. (5 Edição ed.). Rio de Janeiro, RJ, BRASIL, 1993.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos da tectônica ressurgente no Brasil. *Work-Shop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica no Sudeste do Brasi*. 1, pp. 1-31. Belo Horizonte: SBG, 1990.

HASUI, Y.; COSTA, J. B. Neotectônica: fundamentos, métodos e técnicas de análise. *Anais do 5 Simpósio de Geologia da Amazônia*, 1, p. 20p. Belém, 1996.

HASUI, Y.; HARALY, N. L.; E, SCHOBENHAUS. Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. *Anais do II Symposium Amazônico*, (pp. 129-48). Belém, 1984.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56, 275-370, 1945.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.51 (11), p. 2246-59, 1967.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de unidades do relevo do Brasil. Escala 1: 5.000.000* (2 ed.), 2006.

IGREJA, H. L. *Aspectos do Modelo Neotectônico da Placa Sul-Americana na Província Estrutural Amazônica, Brasil*. Tese de Professor Titular, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1998.

IGREJA, H. L. S.; FRANZINELLI, E. Estudos neotectônicos na região do baixo rio Negro - centro-nordeste do estado do Amazonas. *Anais do 36 Congresso Brasileiro de Geologia*, (pp. 2099-2108). Manaus, 1990.

IRIONDO, M. H. Geomorfologia da planície Amazônica. In: *Simpósio do Quaternário no Brasil, 4.*, Atas, pp. p. 323-48. Rio de Janeiro. : SBG/SE, 1982.

JORDAN, G.; MEIJNINGER, B. M. L.; HINSBERGEN, D. J. J.; MEULENKAMP, J. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 163-182, 2005.

KELLER, E.; PINTER, N. *Active tectonics: earthquake, uplift and landscape*. (1 ed.). New Jersey: Prentice Hall, 1996.

LATRUBESSE, E.; FRANZINELLI, E. The holocene alluvial plain of the middle Amazon river. *Geomorphology*, v. 44, 241-57, 2002.

LIMA, M. I. Análise de drenagem e seu significado geológico geomorfológico. *I*. Belém, PA, Brasil, 2002.

MAIA, R. G. N.; GODOY, H. de O.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F. da; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. *Projeto Carvão do Alto Solimões*. Relatório Final, CPRM/DNPM, Manaus. 1977.

MARTZ, L. W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage networks and. *Computers and. Geosciences*, 18, 747-761, 1992.

MAURO, C. A.; NUNES, B. T. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia da Folha SB.20-Purus. (MME/DNPM, Ed.) *BRASIL*, 17, 554, 1978.

MESCHERICOV, Y. A. Neotectonics. Encyclopedia of Geomorphology. In R. FAIRBRIDGE, *Encyclopedia of Geomorphology*. (pp. 768-73). New York, 1968.

MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. Sedimentary basins of South America. In U. CORDANI, E. MILANI, A. THOMAZ FILHO, & D. CAMPOS, *Tectonic evolution of South America* (pp. 389-449). Rio de Janeiro, 2000.

MIOTO, J. A. *Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil*. Tese de Doutorado, UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1993.

MIRANDA, F. P. Significado geológico das anomalias morfoestruturais da Bacia do Alto Amazonas. *Anais do 2 Simpósio Amazônico* (pp. 103-16). Manaus: DNPM, 1984.

MIRANDA, F. P.; BENTZ, C. M.; FONSECA, L. E. N.; LIMA, C. C.; COSTA, A. R.; NUNES, K. C.; FELGUEIRAS, C. A.; ALMEIDA FILHO, R. *Integração de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural da região do rio Uatumã (Bacia do Amazonas)*. Superintendência de Exploração e Produção (SUPEP), Divisão de Exploração (DIVEX)/Setor de Tectônica (SETEC), PETROBRÁS, CENPES, 1994.

NASCIMENTO, D. A.; MAURO, C. A.; GARCIA, M. G. L. Geomorfologia da Folha SA.21-Santarém. (MME/DNPM, Ed.) *Projeto RADAMBRASIL*, 10, 131-98, 1976.

NEVES, C. A. Prospectos Potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 4, 95-103, 1990.

OUCHI, S. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geological Society of American Bulletin*, v. 96, pp. 504-15, 1985.

PAVLIDES, S. B. *Looking for a definition of neotectonics*. Terra Nova, 1989.

PETROBRÁS. *Estudo Prévio de Impacto Ambiental do Gasoduto Coari - Manaus, Meio Físico*. Universidade Federal do Amazonas, Centro de Ciências do Ambiente - CCA, Manaus, 2004.

PHILLIPS L. F.; SCHUMM, S. A. Effect of regional slope on drainage networks. *Geology*, v. 15, p. 813-6, 1987.

PIANIZZA, M.; CASTALDINI, D.; BOLLETTINARI, G.; CARTON, A.; MANTOVANI, F. Neotectonic research in applied geomorphological studies. *Z. Geomorph*, 63, pp. 173-211, 1987.

PIUCI, J.; FRANZINELLI, E. Neotectonismo na Bacia Amazônica. *Anais do 1 Congresso Brasileiro de Geofísica*, 1, pp. 461-6. Rio de Janeiro, 1989.

RAYMOND, G. P.; BATHURST, R. J.; HAJEK, J. Geocomposite edge drain evaluation on Ontario Highway 402 at Strathorv. *INTERNATIONAL GEOTEXTILE AND RELATED PRODUCTS CONFERENCE*, 2, pp. 743-746. Singapore, 1994.

RIBEIRO, O. L. *Análise morfotectônica do rio Solimões na região de Coari, Estado do Amazonas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Geociências, Manaus, 2009.

RIBEIRO, O. L.; SILVA, C. L.; MORALES, N.; MIRANDA, F. P.; ALMEIDA FILHO, R.; BEISL, C. H.; FILIZOLLA FILHO, N. P. Controle tectônico na planície do rio Solimões, região de Coari (AM), a partir de análise em imagens ópticas e dados SRTM. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3301-3309.). São José dos Campos: SBG, 2009.

ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M.; GÓES, A. M. New geological framework for western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution.. *Quaternary Research* , 63, 78-89, 2005.

SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminar. *Geonomos* , 1, 1-15, 1993.

SAADI, A.; MACHETTE M. N; HALLER, K. M.; DART R. L.; BRADLEY L. A.; SOUZA A. M. P. D. *Map and database of quaternary faults and lineaments in Brazil*. Major Active Faults of the World, USGS - Project of the International Lithosphere Program Task Group II, 2002.

SCHUMM, S. A. Alluvial river response to active tectonics. *Active tectonics, studies in geophysics, National Academy Press* , p. 80-94, 1986.

SILVA, C. L. ; ROSSETTI, D. F. História geológica dos rios da Amazônia. *Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência* , 1, 24 – 26, 2009.

SILVA, C. L. *Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências*. Tese de Doutorado em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2005.

SILVA, C. L.; HORBE, M. A.; HORBE, A. M. C.; MORALES, N.; COSTA, S. S.; RUEDA, J. R. J.; BORGES, M. S.; MOTTA, M.; SILVA JUNIOR, J. B.; ARAGAO, A. Bacias Quaternárias ao longo do Rio Solimões – Amazonas. *Anais do Simpósio de Geologia da Amazônia*, 8, Manaus, 2003.

SILVA, C. L.; MORALES, N.; CRÓSTA, A. P.; COSTA, S. S.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary processes of the western amazon basin: an approach using satellite images and digital elevation model. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, no prelo*, 4, p. 71, 2007.

SILVA, C. L.; RUEDA, J. R. J.; COSTA, S. S.; BORGES, M. S. Tectônica cenozóica e relações geomorfológicas da Região de Urucu-Folha Coari, Estado do Amazonas. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 51 (p. 367). João Pessoa (PB): SBG, 2002.

SILVA, O. B. *Análise da Bacia do Solimões: revisão litoestratigráfica, magmatismo e geoquímica*. . Dissertação de Mestrado, UFOP, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Ouro Preto, 1987.



SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas. *Notícias Geomorfológicas* , 16 (32), 71-104, 1976.

SOARES, P. C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. *Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná*. São Paulo: PAULIPETRO, 1982.

STERNBERG, H. O. Vales tectônicos na planície amazônica? *Revista Brasileira de Geografia* , 12, 3-26, 1950.

STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. Neotectonics. In P. L. HANCOCK, *Continental deformation* (pp. 370-409.). New York: Pergamon Press, 1994.

SUMMERFIELD, M. A. Global geomorphology: in introduction to the study of landforms. *Logman Scientific e Technical* , 537, 1993.

TRAVASSOS, W. A.; BARBOSA FILHO, C. M. Tectonismo terciário na área do rio Tapajós. *Boletim de Geociências da Petrobrás* , 4, 299-314, 1990.

TRICART, J. L. Tipos de planícies aluviais e de leitos fluviais na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Geografia* , 03-40, 1977.

WANDERLEY FILHO, J. R. *Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento*. Dissertação de Mestrado, UFPA, Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.

ZERNITZ, E. Drainage pattern and their significance. *J. Geol.* , 40, 498-521, 1932.