

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

**ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA REGIÃO DA CIDADE DE
MANAUS (AM)**

JOEMES DE LIMA SIMAS

Manaus

2008

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

**ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA REGIÃO DA CIDADE DE
MANAUS (AM)**

Joemes de Lima Simas

Dissertação apresentada junto 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.

Área de Concentração: GEOLOGIA REGIONAL

Orientador: Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva

Manaus

2008

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Simas, Joemes de Lima

S588a Análise morfoestrutural da região da cidade de Manaus (Am) /
Joemes de Lima Simas. - Manaus: UFAM, 2008.

108 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade
Federal do Amazonas, 2008.

Orientador: Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva

1. Geomorfologia 2. Morfoestrutura - Amazônia 3. Sistema de
Informações Georeferenciadas I. Silva, Clauzionor Lima da II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

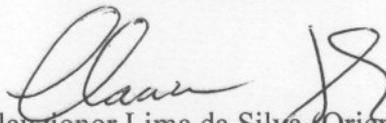
CDU 551.43(811.3)(043.3)

“Análise morfoestrutural da cidade de Manaus”

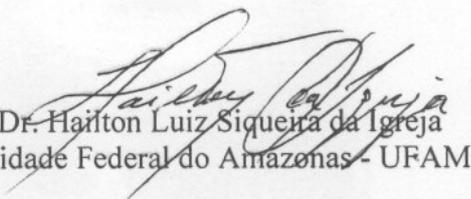
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Regional.

Aprovada em 18 de dezembro de 2008.

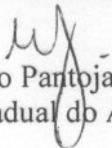
BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Hailton Luiz Siqueira da Igreja
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof.Dr. Naziano Pantoja Filizola Júnior
Universidade Estadual do Amazonas - UEA

A minha mãe Maria da Conceição de Lima
As minhas amigas Andréia, Déborah, Rosemary e Rúbia
Ao meu filho amado Sandro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que tornaram possível a realização deste trabalho, principalmente ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geociências.

Ao Prof. Dr. Clauzior Lima da Silva, orientador, um especial agradecimento, muito obrigada pela dedicação, amizade e profissionalismo.

Ao Felipe graduando no curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas pelas dicas no Programa Surffer, obrigada.

Aos meus colegas geólogos Maria Rosária do Carmo e Miquéas Barroso da Silva pelas constantes discussões sobre o uso das ferramentas do ArcGis e do Global Mapper e também a minha colega Keila Aniceto.

Ao meu amigo geólogo Carlos Augusto muito obrigada pelas dicas e discussões sobre as imagens de satélite.

Agradeço a Secretaria Municipal de Obras Serviços Básicos e Habitação-SEMOSBH, em especial ao Sr. Silvio Carlos de Souza Guimarães grande conhecedor do banco de dados do ArcGis e pelo interesse nas ferramentas do Programa, bem como seu uso, no qual serviu de grande conhecimento para melhor visualização das imagens, agradeço também por ter cedido apostilas e outros materiais referentes ao uso do ArcGis, e a Arquiteta Leena Motta por ceder mapas da cidade de Manaus, para uma melhor análise dos bairros.

Um especial agradecimento ao meu amigo Raimundo Nonato pelos incentivos nos momentos em que pensei em desistir. Aos meus colegas da Gerência de Informática da Secretaria

de Obras: Claudiane, Patrícia, Jeanne, Valéria, Jander, Sr. Hélder, Natalie, Neiva e outras que possam ter esquecido de citar, o meu sincero obrigado pelos constantes incentivos.

Meus sinceros agradecimentos ao Professor João da Silva Carvalho pelos trabalhos de campo, a Professora e amiga Rosemary Rocha da Silveira, muito obrigada pelos ensinamentos, discussões e incentivos.

As minhas amigas Andréia Albuquerque Arbona-Oliver e Rúbia Raulino Martins Sales pela companhia nos trabalhos de campo e Déborah Natalie Collyer Monteiro que mesmo a distância continuou na torcida, a Andréia um especial agradecimento pelas discussões dos trabalhos, muito obrigada!

A minha mãe Maria da Conceição de Lima, a minha irmã Pollyanne de Lima Simas muito obrigada pela compreensão. Ao meu filho ao qual também dedico esta dissertação Sandro Maia Freire Júnior que um dia entenda os motivos das minhas freqüentes ausências.

Ao meu companheiro e também um dos grandes incentivadores Mateus Arbona-Oliver.

Muito obrigada a todos!!!

Quando alguém encontra seu caminho, precisa ter coragem suficiente para dar passos errados. As decepções, as derrotas, o desânimo são ferramentas que Deus utiliza para mostrar a estrada... O caminho da Sabedoria é não ter medo de errar.

(Luciana Mendes Cavalcante)

RESUMO

A elaboração desta dissertação de mestrado constitui um exemplo da aplicação do conceito de morfoestrutura/morfotectônica, que com o advento dos estudos neotectônicos este conceito passou a ser sinônimo da atividade neotectônica de uma dada região. A caracterização morfotectônica da cidade de Manaus a partir da relação das principais zonas de falhas existentes e sua relação com a formação da paisagem foi o principal objetivo deste trabalho. A análise das imagens de satélite foi desenvolvida por meio de software específico e os elementos geológicos estabelecidos foram exportados para um software tipo SIG (Sistema de Informações Georeferenciadas) para elaboração do mapa geomorfológico-tectônico da região da cidade de Manaus. A análise geomorfológica foi desenvolvida principalmente sob a ótica da geomorfologia tectônica sendo subsidiada pelas imagens de satélite e os modelos digitais de elevação (MDE). O estudo e análise do relevo e da drenagem foram fundamentais para a caracterização dos domínios geomorfológicos que foram associados ao quadro geológico estrutural da região, permitindo determinar a compartimentação tectônica para área em estudo. Com a extração dos lineamentos em imagens de satélite do relevo e da drenagem foi possível nomear as feições mais marcantes mapeadas na cidade de Manaus e para compor a compartimentação morfoestrutural estes foram relacionados com as zonas de falhas mapeadas por Silva (2005). Desse modo pode-se concluir que a correlação dos lineamentos com as zonas de falhas mostram estreita relação e esses lineamentos morfoestruturais compreendem zonas de falhas que possuem as seguintes orientações: a) Falhas Normais NE-SW: falha da margem esquerda do Rio Amazonas, Falha do Igarapé dos Educandos, Falha do Igarapé do Mindú, Falha do Igarapé da Bolívia e Falha do Igarapé do Mariano; b) Falhas Normais NW-SE: Falha da margem esquerda do Rio Negro, Falha transversal ao Igarapé dos Educandos e Falha do Igarapé do Aleixo; c) Falha transcorrente E-W: Falha transcorrente Destral da porção norte de Manaus e Falha transcorrente Destral da Boca do Puraquequara.

ABSTRACT

The elaboration of this master thesis constitutes an example of the application of the morph-structure/morph-tectonic concept, that with the neotectonic studies this concept has become a synonymous of the neotectonic activity of a region. The morph tectonic characteristic of the city of Manaus, the relation of the main zones of existing faults and its relation with the formation of the landscape was the main objective of this work. The analysis of the satellite images was developed by means of specific software and the established geologic elements had been exported to a software type SIG (System of Geo-referenced Information) for elaboration of the geomorphologic-tectonic map of the region of the city of Manaus. The geomorphologic analysis was developed mainly under the optics of the tectonic geomorphology being subsidized for the images of satellite and the digital models of rise (MDE). The study and analysis of the relief and the draining they had been basic for the characterization of the geomorphologic spots that had been associated to the structural geologic picture of the region, which allow us determine the tectonic partitioning for area in study. With the extraction of the lineaments in relief and draining images of satellite it was possible to nominate the most striking mapped lineaments in the city of Manaus and to compose the morph structural partitioning these had been related with the zones of faults mapped for Hiss (2005). In this manner it can be concluded that the correlation of the guidelines with the zones of faults shows narrow relation and these morph structural guidelines understand zones of faults that possess the following orientation: a) Normal Faults NE-SW: it fault of the left edge of the River Amazon, Fault of the narrow river of the Educandos, Fault of the narrow river of the Mindú, Fault of the narrow river of Bolivia and fault of the narrow river of the Mariano; b) Normal Faults NW-SE: fault in leftside of Rio Negro, Transversal Faul at Igarapé do Educandos e Fault at Igarapé do Aleixo; c) Trough-the-course Fault E-W: trough-the course fault left in Northern portion of Manaus and through-the-river fault left to Boca do Puraquequara.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	16
LOCALIZAÇÃO.....	17
OBJETIVOS.....	19
Objetivo Geral:	19
Objetivos Específicos:	19
MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
Análise em imagens de satélite.....	20
Análise Geomorfológica.....	21
Análise do relevo.....	22
Análise da drenagem.....	23
Análise morfológica em modelos 3-D SRTM.....	24
Análise integrada dos resultados obtidos.....	26
REVISÃO DA LITERATURA.....	27
Conceito de morfoestrutura.....	27
Síntese dos estudos neotectônicos na cidade de Manaus.....	29
Contexto geológico da cidade de Manaus.....	52
Geomorfologia da Cidade de Manaus.....	55
RESULTADOS.....	58
Análise geomorfológica.....	58
Análise da Drenagem.....	58
Bacia de São Raimundo.....	63
Bacia dos Educandos.....	64
Bacia do Rio Tarumã-Açu.....	65

Bacia do Rio Puraquequara	66
Análise tectônica das drenagens na cidade de Manaus	67
Lineamentos de Drenagem	71
Análise do relevo	74
Lineamentos de Relevo	86
Compartimentação morfoestrutural da cidade de Manaus.....	92
CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo .	18
Figura 2 - Lineamentos estruturais (modificado de Sternberg 1950)	30
Figura 3 - Modelo neotectônico segundo Igreja & Franzinelli (1990)	36
Figura 4 - Modelo neotectônico segundo Costa & Hasui (1997)	40
Figura 5 - Falhas e lineamentos quaternários no Amazonas, modificado de Saadi <i>et al.</i> (2002)	42
Figura 6 - Mapa de distribuição de terremotos na Amazônia, segundo Mito (1993)	44
Figura 7 - Mapa com as principais ocorrências de sismos no Estado do Amazonas	44
Figura 8 - Esboço Morfotectônico da Região de Iranduba e Manacapuru	51
Figura 9 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, segundo Cunha <i>et al.</i> (1994)	54
Figura 10 - Mapa de unidades geomorfológicas - Projeto Radambrasil	56
Figura 11 - Unidades de relevo na região da cidade de Manaus, conforme (IBGE 2006)	57
Figura 12 - Mapa de drenagem da área estudada	61
Figura 13 - Mapa das bacias de drenagem região de Manaus	62
Figura 14 - Imagem de satélite Landsat	68
Figura 15 - Localização das confluências e capturas de drenagem da área em estudo	70
Figura 16 - Lineamentos de drenagem da área estudada	72
Figura 17 - Diagrama de roseta dos lineamentos de drenagem	74
Figura 18 - Formas do relevo na área de estudo	76
Figura 19 - Formas do relevo na área de estudo “falésias fluviais”	77
Figura 20 - Mapa de curvas de nível da região estudada	81
Figura 21 - Modelo 3-D obtido a partir da integração de dados SRTM	82
Figura 22 - Modelo 3-D de detalhe da cidade de Manaus, obtido por Silva (2005)	83

Figura 23 - Perfis topográficos na cidade de Manaus	85
Figura 25 - Modelo SRTM da área urbana da cidade de Manaus	89
Figura 26 - Diagrama de roseta dos lineamentos de relevo.....	90
Figura 27 - Diagrama de roseta dos lineamentos em imagens de satélite.	92
Figura 28 - Mapa de lineamentos morfoestruturais da cidade de Manaus.	94
Figura 29 - Mapa de correlação de lineamentos morfoestruturais na cidade de Manaus.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Sismos ocorridos na região de estudo com base em Berrocal <i>et al.</i> (1984), Bezerra (2003), informações do Observatório Sismológico da UnB e Silva (2005)	45
---	----

INTRODUÇÃO

A investigação da neotectônica na região de Manaus tem avançado consideravelmente a partir do estudo da evolução da paisagem regional, do relevo e da drenagem, e a associação com as falhas existentes. Desde os trabalhos de Sternberg (1950), Franzinelli & Piuci (1988), Franzinelli & Igreja (1990), Fernandes Filho (1996) e Silva *et al.* (1994, 1995, 2004, 2005 e 2007) muitas feições do relevo e da drenagem são agora entendidas pela associação com as feições neotectônicas observadas em afloramentos nessa região.

Recentemente, com o estudo de Silva (2005), a região de Manaus mostra a ocorrência de inúmeras zonas de falhas que controlam as principais drenagens e os divisores das bacias, cuja implantação na morfologia do terreno sedimentar é notada pelos desníveis topográficos significativos para a área do Planalto Dissecado Rio Trombetas – Rio Negro.

No entanto, nenhum estudo havia sido realizado no sentido de correlacionar a compartimentação tectônica existente, principalmente nos trabalhos de Fernandes Filho *et al.* (1997) e Silva (2005), com a formação das superfícies geomorfológicas ou morfoestruturais e a morfologia da cidade de Manaus.

A análise morfoestrutural da cidade de Manaus objetiva a associação dos processos tectônicos e o controle no sistema do relevo e da drenagem da referida cidade. A abordagem adotada para atingir o objetivo proposto consistiu na análise do relevo (formas e feições anômalas) e na drenagem (anomalias de padrões), subsidiada pela compilação das falhas na área urbana de Manaus, a confecção de modelos digitais de elevação e a análise em sensores remotos.

LOCALIZAÇÃO

A cidade de Manaus localiza-se à margem esquerda do Rio Negro, próximo a confluência do Rio Negro com o Rio Solimões entre as coordenadas 2°57' e 3°10' latitude Sul e 60°07' longitude Oeste, onde as margens leste e oeste têm limites com os rios Amazonas e Negro, respectivamente. Tal controle natural tem implicação no processo de expansão urbana dessa cidade seja para norte, atualmente possuindo aproximadamente 377 km² de área. Os cursos d'água são os principais condicionantes naturais da expansão da cidade. Os municípios que fazem limite com a referida cidade são: Presidente Figueiredo a norte, Careiro e Iranduba a sul, Rio Preto da Eva e Amajari a leste e Novo Airão a oeste. Os principais canais que cortam a cidade estão representados pelos igarapés do Educandos, São Raimundo, Quarenta, Cachoeira Grande, Mindú, Tarumã-Mirim, Tarumã-Açu e Puraquequara.

O acesso à cidade de Manaus é feito principalmente por via aérea, já que não existem estradas trafegáveis oriundas das demais regiões do país, com exceção a porção norte, que tem acesso via rodovia BR-174 (Boa Vista/RR – Manaus/AM), e da porção sudoeste, via BR-319 (Porto Velho/RO – Manaus/AM) e fluvial.

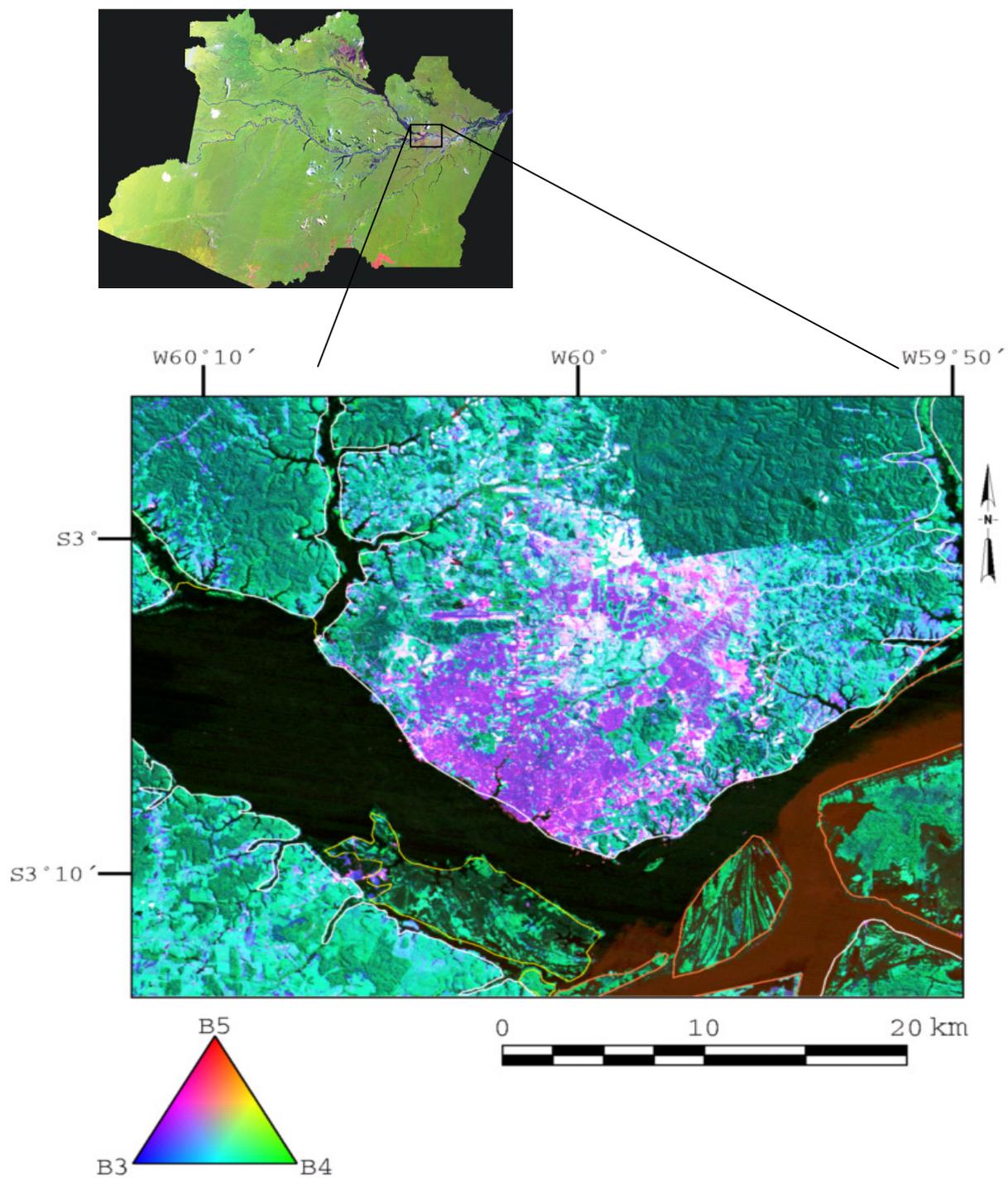


Figura 1 - Localização da área de estudo na região da cidade de Manaus (imagem Landsat TM, composição RGB 543).

OBJETIVOS

Este estudo, acerca da análise morfoestrutural da cidade de Manaus, está subdividido em objetivos Geral e Específico:

Objetivo Geral:

O principal objetivo desta pesquisa foi a caracterização morfotectônica da cidade de Manaus a partir da relação das principais zonas de falhas existentes e sua relação com a formação da paisagem.

Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- a) Analisar o sistema de relevo e drenagem, a partir do uso de cartas temáticas e imagens de satélite de alta resolução espacial para caracterização morfoestrutural da área;
- b) Elaborar modelos digitais de elevação (SRTM) e cartográfico como subsídios à investigação morfoestrutural;
- c) Associar o quadro geológico-estrutural existente com a formação da paisagem local;
- d) Determinar a compartimentação morfotectônica da área que envolve a cidade de Manaus;

MATERIAIS E MÉTODOS

A fase inicial do trabalho envolveu a etapa de aquisição do material cartográfico da área da cidade de Manaus. Foram utilizadas as folhas topográficas Manaus (SA20-Z-D-III), Igarapé Coanã (SA.20-Z-B-VI), Manaus-E (SA21-Y-C-I), Efigênio Sales (SA.21-Y-A-IV), na escala 1:100.000, como base de apoio regional. De modo específico foram usadas ainda a base cartográfica da área urbana de Manaus, na escala 1:10.000, elaborada pelo IMPLAN (Instituto Municipal de Planejamento e Informática), CPRM (Serviço geológico do Brasil) e com apoio da Prefeitura de Manaus. Esse material, em formato digital, foi muito útil para a análise do relevo e geração de modelos tridimensionais.

As imagens de satélites utilizadas foram as do tipo Landsat TM5 e ETM+, órbita/ponto 230/62 e 231/62, que correspondem a duas cenas completas (185x185 km), cada uma possuindo sete (7) e oito (8) bandas, respectivamente.

Os dados geológicos utilizados foram os mapas geológicos e geomorfológicos do Projeto Radambrasil (Folha SA.20-Manaus e Folha SA.22-Santarém) na escala 1: 1.000.000, e, também, o mapa geológico do Brasil na escala 1: 2.500.000 (formato digital arquivo Shapefile), elaborado pela CPRM (BIZZI *et al.*, 2001).

Análise em imagens de satélite

Os produtos de sensores remotos utilizados foram imagens de satélite Landsat 7 ETM+ (230/62 e 231/62), as quais serviram para o mapeamento de unidades geológicas e interpretação de lineamentos estruturais na área em questão. A análise em imagens de satélites foi desenvolvida

por meio de software específico como o SURFFER e AUTO CAD, disponível no laboratório de geofísica do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). O processamento envolveu o georeferenciamento da imagem, a aplicação de filtros e a elaboração de composições de bandas nos canais RGB (*red*, *blue* e *green*). Os elementos geológicos estabelecidos foram exportados para um software do tipo SIG (Sistema de Informações Georeferenciadas)- ArcGis9, para elaboração do mapa geomorfológico-tectônico da região de Manaus.

Análise Geomorfológica

Para a análise geomorfológica foram identificados e caracterizados elementos geomorfológicos na paisagem indicativos de deformações tectônicas modernas. No contexto da geomorfologia tectônica, as análises do relevo e da drenagem são fundamentais para a caracterização de domínios geomorfológicos que, quando associados ao quadro geológico-estrutural da região, permitem determinar a compartimentação tectônica. Os dados existentes, tais como, as unidades geomorfológicas e de relevo levantadas no Projeto Radambrasil (Folha SA.20 – Manaus e Folha SB.20 – Purus), juntamente com o mapa de unidades de relevo do IBGE (2006) foram compilados com uniformização de termos. O estudo geomorfológico foi desenvolvido principalmente sob a ótica da geomorfologia tectônica (análises morfoestrutural e morfotectônica), subsidiada por imagens de satélites e modelos digitais de elevação (MDE).

Análise do relevo

A análise do relevo envolveu a identificação de tipos morfológicos e de lineamentos de relevo (segmentos contínuos ou descontínuos observados nos mapas), através da análise em imagens. Esta análise foi baseada nos conceitos de Cotton (1958), Bloom (1978), Panizza & Piacente (1978), Bull & Wallace (1985), Doorkamp (1986), Cooke (1990), Summerfield (1993), Stewart & Hancock (1994) e Keller & Pinter (1996), dentre outros. Tais estudos foram suportados pela identificação de superfícies geomorfológicas obtidas por intermédio dos modelos SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Seções topográficas elaboradas foram importantes para o reconhecimento das superfícies do relevo e o grau de dissecação e, quando associada ao conjunto de falhas existentes, permitiu a caracterização de compartimentos morfotectônicos. O mapa de curvas de nível obtido na base cartográfica existente, na escala 1:250.000, e aquelas extraídas do modelo SRTM foram analisados e comparados. A integração dessas duas bases permitiu a melhoria da resolução dos dados cartográficos e a geração de modelos 3-D (DEM) usados na interpretação tectônica.

Análise da drenagem

As análises da rede de drenagem basearam-se em mapas de drenagem obtido a partir das cartas topográficas digitalizadas nas escalas 1: 250.000 e 1: 100.000 e da extração de drenagem dos modelos SRTM. Isso resultou em mapas mais completos usados para análise das formas e padrões e de lineamentos de drenagem. Os padrões de drenagem foram classificados conforme Howard (1967) nos tipos básicos e modificados. As formas e geometrias dos canais, formas retilíneas, feições de afogamento ou alargamento de vales ou canais, curvas anômalas, captura de drenagem, assimetria de rios e formação de terraços foram discutidas, segundo as propostas conceituais de Ouchi (1985), Schumm (1986), Phillips & Schumm (1987), Deffontaines (1989), Summerfield (1993), Stewart & Hancock (1994) e Keller & Pinter (1996). Mapas da rede de drenagem, bacias e sub-bacias, de anomalias de drenagem e de lineamentos de drenagem foram elaborados para dar suporte às interpretações tectônicas pretendidas. As informações do sistema de relevo e da drenagem foram integradas para auxiliar na interpretação e na definição de compartimentos estruturais da região estudada.

Análise morfológica em modelos 3-D SRTM

O estudo de modelo 3-D utilizado foi 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 utilizada, conhecida como interferometria por radar, foi aplicada no levantamento de todo o planeta, o que favoreceu significativamente as aplicações em áreas, tais como na região Amazônia, onde levantamentos topográficos de detalhe são inexistentes. 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 60 m de comprimento (a mais longa estrutura voada 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 precisão as elevações do terreno 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.

Para a melhoria da resolução espacial dos dados SRTM, dever-se-ia ter uma base cartográfica que pudesse auxiliar nesse processo. A existente para a região de Manaus é somente cartas na escala 1:250.000, com exceção de poucas áreas que possuem escala maior (1:100.000). No entanto, a ausência de variações topográficas, que reflete a pouca abundância de curvas de

nível (para as escalas existentes), resulta em cartas com poucas ou nenhuma informação topográfica.

Os dados gerados pelo SRTM, devido a questões político-militares, não possuem a resolução integral oferecida pela tecnologia empregada, tendo sido degradados espacialmente. Esses modelos possuem a resolução espacial de 3 arc-segundos, equivalente a 90 m no terreno, ou seja, as imagens MDE utilizadas têm a dimensão do pixel de 90 m, ao passo que a resolução integral seria de 30 m no terreno. Outra questão importante inerente aos dados SRTM se refere a ausência de dados nos modelos, denominados de “*gaps*” (vazios). Para suprir tais questões acerca da resolução e dos vazios existentes, inerente aos dados SRTM, dois software foram utilizados. O primeiro, conhecido como SRTMFill, disponível gratuitamente na rede mundial de computadores, preenche automaticamente os vazios existentes baseando-se nos valores proximais existentes. Como tal procedimento é automático não é possível adicionar valores manuais existentes na base cartográfica da região. O segundo Blackart (versão 4.03), entretanto, ao contrário do anterior, permite adicionar valores ao modelo antes do processamento. Em ambos os procedimentos um novo arquivo corrigido é gerado.

Exemplo do emprego de modelo 3-D para análise morfotectônica foi aplicado com sucesso por Silva *et al.* (2004), Silva (2005) e Silva *et al.* (2007) para a região sudoeste de Manaus. Nesse estudo foi possível fazer a integração dos dados digitais cartográficos com os provenientes da missão SRTM para a região. Os dados de altimetria foram comparados e se mostraram satisfatórios, permitindo a interpretação dos elementos morfoestruturais do setor sudoeste de Manaus. Ao modelo 3-D SRTM da área de estudo foi empregada a técnica de sombreamento sintético para realce de diferentes tipos de feições estruturais em diferentes ângulos de observação, tendo em vista que se trata de uma imagem de radar. Foram também

geradas as isolinhas das curvas de nível, o que possibilitou uma melhor representação da topografia da região em um mapa colorido.

Perfis topográficos obtidos a partir dos modelos SRTM foram elaborados de maneira semi-automática e, posteriormente foi realizada a diagramação dos mesmos.

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 foram integradas em programas de sistemas de informações geográficas – SIG para confecção do mapa geológico/estrutural e da compartimentação morfotectônica da região de estudo.

REVISÃO DA LITERATURA

Conceito de morfoestrutura

O conceito de morfoestrutura é definido como as formas da superfície da Terra que são produtos da interação entre forças endógenas e exógenas, onde o fator endógeno está associado à movimentação tectônica da crosta terrestre (GERASIMOV & MESCHERIKOV, 1968).

Com o advento dos estudos neotectônicos, originalmente proposto por Obruchev (1948 citado por MESCHERIKOV, 1968) na Plataforma Russa, o conceito de morfoestrutura/morfotectônica empregado por Gerasimov & Mescherikov (1968) passou a ser sinônimo da atividade neotectônica de uma dada região.

Estudos acerca de feições morfoestruturais na Bacia do Amazonas têm sido desenvolvidos por Andrade e Cunha (1971), Cunha (1982), Miranda (1984) e Miranda *et al.* (1994) e Costa (2003), pois o entendimento de feições morfoestruturais tem relação direta para a prospecção de hidrocarbonetos. Os processos tectônicos modernos podem tanto promover a formação de reservatórios, desenvolvimento de trapas, ou ainda permitir a migração de hidrocarbonetos. As feições morfoestruturais observadas compreendem principalmente anomalias notadas nas formas do relevo e na drenagem, as quais foram correlacionadas a feições estruturais do substrato rochoso superficial ou em subsuperfície.

Nesse sentido, Andrade e Cunha (1971) mostram anomalias morfoestruturais, como altos estruturais, nos rios Solimões-Amazonas: altos de Anamá, Manacapuru, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Óbidos, evidenciados principalmente como anomalias no relevo e na drenagem. Mais tarde, Cunha (1982) mostrou que as anomalias no baixo curso do Rio Amazonas são

respostas de estruturas em subsuperfície. Miranda (1984) citou vinte e três anomalias morfoestruturais na rede de drenagem na região da Bacia do Solimões, a região do campo petrolífero de Urucu, foi associada a domos, depressões estruturais e falhas no embasamento que afetaram as unidades Alter do Chão e Solimões.

Na região de Manaus várias feições morfoestruturais foram reconhecidas por Silva *et al.* (2005 e 2007) e Silva (2005) a partir da análise morfoestrutural e morfotectônica, as quais estas feições estão condicionadas por importantes zonas de falhas neotectônicas. Tal arranjo mostra duas direções de falhas (NW-SE e NE-SW), cuja orientação se relaciona com a direção estrutural principalmente do Rio Negro e de canais tributários, como, por exemplo, os rios Preto da Eva e Urubu.

Em Manaus, uma série de falhas que afetam a Formação Alter do Chão e o solo (crosta laterítica) foram mapeadas por Igreja & Franzinelli (1990), Fernandes Filho (1996) e Silva (2005) dentre outros. O arranjo estrutural predomina falhas normais NE-SW e NW-SE, falhas transcorrentes N-S e E-W, cuja estruturação segue o modelo tectônico transcorrente destal de Hasui (1990).

Síntese dos estudos neotectônicos na cidade de Manaus

Um dos primeiros autores a se referir à Neotectônica na Amazônia foi Sternberg (1950) no trabalho intitulado “Vales tectônicos na Planície Amazônica”. Este descreve que lineamentos estruturais (NE-SW e NW-SE) controlam o sistema hidrográfico (rios e lagos) dessa região. As evidências tectônicas apontadas foram os padrões retilíneos de rios como, por exemplo, os dos rios Urubu e Preto da Eva, as inflexões em ângulo reto ou em cotovelo, e a formação de feixes paralelos desses segmentos (Figura 2). O autor apontou como causa desse fenômeno o desequilíbrio isostático promovido pela subsidência na região da foz do Rio Amazonas.

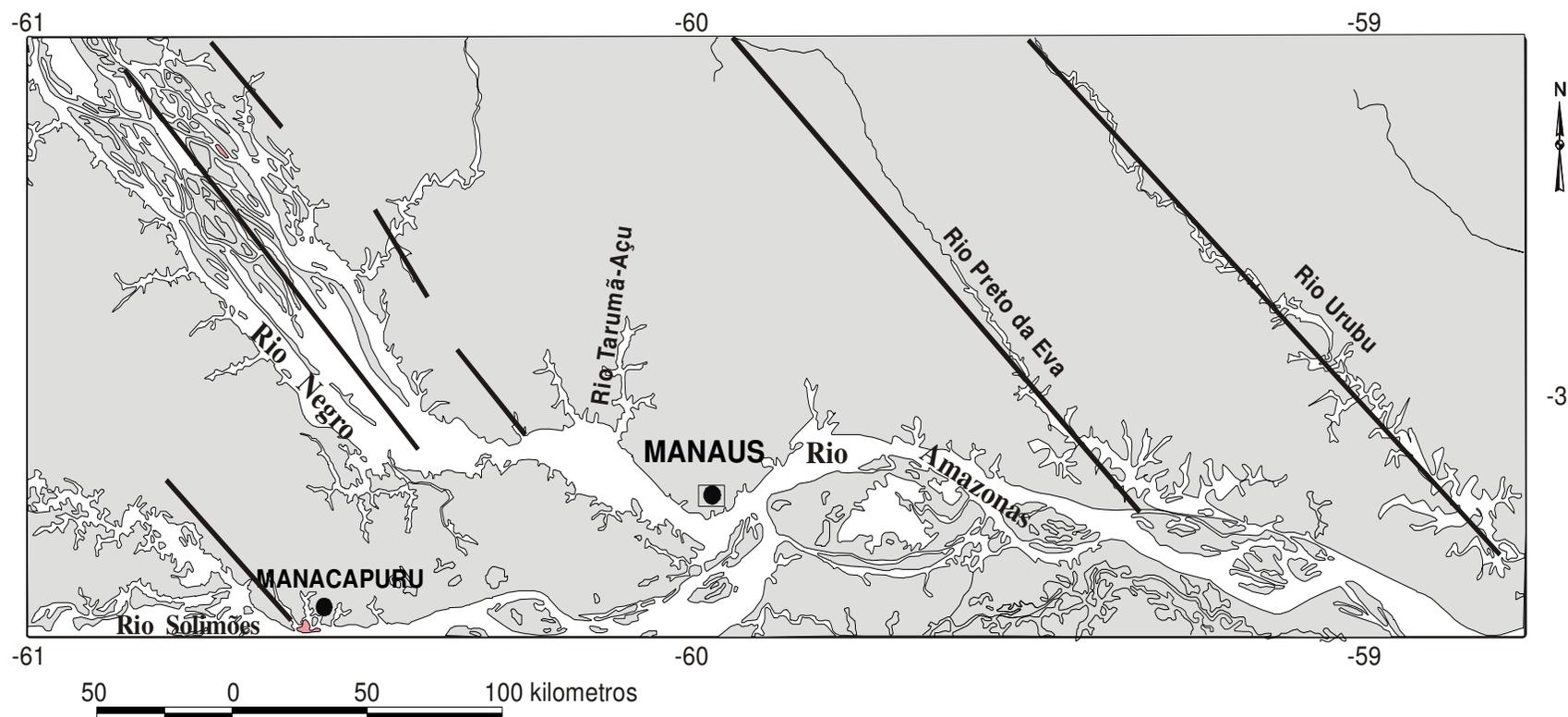


Figura 2 - Lineamentos estruturais da margem esquerda do Rio Amazonas (modificado de Sternberg 1950), que mostra o controle dos principais rios da região por falhas geológicas. Notar a zona de falha que controla a margem oeste da cidade de Manaus.

O controle estrutural na rede de drenagem e no relevo também foi abordado no Projeto Radambrasil (NASCIMENTO *et al.*, 1976, COSTA *et al.*, 1978, MAURO *et al.*, 1978), e corrobora com as idéias apontadas por Sternberg (1950) e Tricart (1977).

Na Folha Santarém, Nascimento *et al.* (1976) comentam acerca da orientação estrutural NW-SE dos rios da margem esquerda do Amazonas (rios Preto da Eva, Urubu, Anebá, Uatumã, Jatapu, Nhamundá e Trombetas) e NE-SW da margem direita (rios Paraconi, Maués-Açu e Mamuru). Os autores apresentam exemplos notáveis do controle estrutural na foz desses rios, destacando os rios Urubu, Caru, Anebá e Uatumã, cujo deságüe no Rio Amazonas é feito por meio de “furo” (designação regional para um canal que liga um rio a outro). A direção do “furo”, chamado de “furo adaptado à tectônica” por Nascimento *et al.* (1976, p. 167), coincide com o Lineamento do Rio Madeirinha ou Madeira (CORDANI *et al.*, 1984) na margem oposta do Rio Amazonas. A causa dessa estruturação na drenagem e da “foz afogada” (rias fluviais) dos rios na Amazônia, assim como referido por Sternberg (1950), foi atribuída ao ajuste tectônico e à reativação no Quaternário de zonas de fraquezas tectônicas do embasamento.

Assim como o elemento morfológico “furo” foi classificado conforme a atuação em estruturas tectônicas, o mesmo método foi adotado para os lagos. Estes foram chamados de “lagos adaptados à tectônica” quando estão associados a lineamentos. A origem foi atribuída à subsidência controlada em zonas estruturais (NASCIMENTO *et al.*, 1976, p. 170).

Na Folha Manaus, Costa *et al.* (1978) descrevem várias evidências neotectônicas na paisagem da região ocidental de Manaus. Dentre as feições indicativas destacam-se: a formação de lagos, formas de escarpas, assimetria de tributários, capturas de drenagem, barramento de drenagem, rios com foz afogada, processos de avulsão por basculamento, formação de terraços assimétricos, encurvamentos anômalos e subsidência localizada.

O Rio Negro, por exemplo, está encaixado em um lineamento NW-SE que tem reflexo na forma do rio e na forma das suas margens escarpadas, como no trecho do Arquipélago de Anavilhanas, a noroeste da cidade de Manaus. Mais a montante, na região de Barcelos, a ampla faixa de aluviões indica migração do rio para sudoeste e “isso é indicativo da ação de movimentos de báscula na área responsável pelo deslocamento do rio e aprofundamento de seu talvegue” (COSTA *et al.*, 1978, p. 209). Vários outros trechos retilíneos dos rios nessa região foram associados a alinhamentos estruturais, destacando-se as direções NE-SW e NW-SE, e, menos abundante, as direções N-S e E-W. Segundo os pesquisadores, o condicionamento de rios às direções preferenciais constitui indicao de reativao tectônica no Holoceno.

A partir do estudo da sedimentao na planície aluvial do Rio Amazonas, Iriondo (1982) descreve “indícios indiretos” geomorfológicos da manifestao tectônica na região. Tais indícios de subsidência tectônica na região foram relacionados ao alargamento da planície aluvial,  divagao de canais,  abundância de lagos e  grande curvatura de bancos e de meandros. Já os soerguimentos tectônicos foram evidenciados pelo estreitamento de plancias, trechos retilíneos ou poucos divagantes de canais, mudanças angulares de direção dos canais e a ausência de lagos e de bancos com fraca curvatura. A subsidência por falhas modernas, que podem atingir até dezenas de quilmetros, foi apontada como uma das causas do afogamento dos vales, embora estas não tenham sido cartografadas pelo citado autor.

Até então, os estudos avançaram somente na análise descritiva de feições na paisagem, fundamentalmente baseado no sistema de drenagem. Poucas são as evidências de campo, e isso é compreensível pela ausência de afloramentos e a baixa altimetria, características intrínsecas da região Amazônica. Os estudos neotectônicos diretos foram retomados com a investigao de petróleo nas bacias do Solimões, Amazonas e Marajó, onde foi possível avançar na análise morfoestrutural da superfície que poderia refletir reservatórios potenciais.

Cunha (1982), estudando feições morfoestruturais a partir de seções sísmicas na região do baixo Rio Amazonas e do Rio Tapajós, descreveu que as anomalias de drenagem e os alinhamentos em rochas paleozóicas e aqueles inferidos nas coberturas terciárias são decorrentes de estruturas antigas, com reflexo na superfície devido à compactação diferencial. Rios retilíneos com foz afogada, como o caso dos rios Xingu e Tapajós, estão controlados por falhas normais e, provavelmente, são estruturas tectônicas recentes reativadas.

Nessa abordagem, Miranda (1984) apresentou vinte e três anomalias morfoestruturais na rede de drenagem na região da Bacia do Solimões associadas a feições estruturais (domos, depressões estruturais e depressões estruturais falhadas) do embasamento. Algumas das anomalias morfoestruturais coincidiram com a linha de charneira do embasamento e com a paleotopografia do substrato cristalino e mostraram relação com os alinhamentos magnéticos ENE e E-W. Tais anomalias foram associadas a estruturas profundas, que se propagam além da discordância pré-cretácea e afetam as unidades das Formações Alter do Chão e Solimões, consideradas como reativação tectônica recente ou, ainda, devido a compactação diferencial.

O estudo neotectônico na região de Manaus teve grande avanço a partir do fim da década de 1980, principalmente pelos trabalhos de Franzinelli & Piuci (1988) e Piuci & Franzinelli (1989). Nesses trabalhos, os autores comentaram sobre as evidências tectônicas em afloramentos refletidos por fraturas, falhas, dobras de arrasto na Formação Alter do Chão, embora sem apresentar uma investigação sistemática de campo e conclusiva e um modelo tectônico para a região.

O primeiro modelo para explicar o arranjo tectônico terciário da região do baixo Amazonas foi proposto por Campos & Teixeira (1988). Dois conjuntos de estruturas foram analisados: um transtensivo, a leste do Arco de Gurupá, formado por esforços oblíquos noroeste, que promoveu a rotação de blocos ao longo de fraturas preexistentes; e outro, transpressivo, na

região do Rio Tapajós, ligado a esforços convergentes oriundos de sudeste. A explicação para a combinação de estilos lateralmente divergentes, segundo os autores, deveu-se a rototranslação anti-horária do escudo das Guianas e do Brasil Central, que gerou movimentação destal com interação das placas Sul-Americana, Caribeanas e Nazca, no Eoceno Superior. Esse modelo adotado segue o arranjo do tipo *concave arc to concave arc* de Dewey (1987, citado por CAMPOS & TEIXEIRA, 1988), mesmo mecanismo adotado por Rezende & Brito (1973) para explicar o tectonismo mesozóico na Bacia do Amazonas.

Essa região passou a ser investigada por Barbosa Filho *et al.* (1989) e Travassos Barbosa Filho (1990) que mostraram um arcabouço estrutural de natureza tectônica que afetou a Formação Alter do Chão, sendo descartada a possibilidade de influência da halocinese aventada por outros pesquisadores. O quadro estrutural apresentado é constituído por dobras assimétricas, associadas a falhas reversas, *en échelon*, com eixo orientado NE-SW, estruturas transpressivas e transtensivas (estruturas em flor), foi enquadrado no sistema transcorrente destal.

Na porção nordeste do Estado do Pará, Igreja & Franzinelli (1990) apresentaram um quadro neotectônico composto por estruturas terciárias e quaternárias estreitamente relacionadas como as características geomorfológicas daquele setor. As feições estruturais descritas, falhas normais NE-SW e de transferências NW-SE, foram associadas ao esforço distensivo NW-SE ativo, pelo menos, desde o Terciário.

Na região de Manaus, Igreja & Franzinelli (1990) e Franzinelli & Igreja (1990) apresentaram um modelo neotectônico para a região do baixo Rio Negro que se enquadra no sistema transcorrente destal com direção S80-90E (E-W) de Hasui (1990). O conjunto de feições compreende falhas normais NW-SE, representadas pela orientação dos rios Baleteiro, Tucumã, Coanã e Negro, e falhas de transferência NE-SW, destacadas pelos alinhamentos dos rios Apuaú e Cuieiras. Segundo a interpretação dos referidos autores, o Rio Negro compreende um

hemigráben escalonado para nordeste, onde nas extremidades ocorrem zonas de restrição do rio (Figura 3).

Embora esses estudos tenham sido baseados em alguns afloramentos na cidade de Manaus e na estrada de Itacoatiara-Itapiranga (AM-363), o quadro estrutural proposto foi baseado no quadro regional. Em especial na região de Manaus e ao longo da Rodovia BR-174, Silva *et al.* (1994 e 1995) procuraram descrever as feições estruturais em campo e associar ao quadro geológico regional.



Figura 3 - Modelo neotectônico da região do baixo curso do Rio Negro, segundo Igreja & Franzinelli (1990) que mostra a formação de um importante sistema transtensivo, onde AA' e BB' representam a estrutura do tipo hemigráben escalonado para nordeste.

O arcabouço tectônico da região de Manaus, descrito por Fernandes Filho (1996), compreende falhas normais NW-SE e NE-SW e falhas transcorrentes destrais NE-SW e E-W, cuja inter-relação gerou uma bacia tipo *pull-apart* que controla a sedimentação cenozóica na região. Essas falhas mostram registro em afloramentos, pois afetam inclusive o perfil laterítico do plio-Pleistoceno e as linhas de pedras. As falhas de empurrão NE-SW e os eixos de dobras com a mesma orientação afetam os sedimentos cretáceos (Formação Alter do Chão) e, provavelmente, o nível laterítico.

A história tectônica da região, segundo o autor, possui três eventos: um transpressivo, no Mioceno, um transtensivo no Pleistoceno Médio a Superior e, por fim, um transcorrente no Pleistoceno Superior-Holoceno responsável, inclusive, pela sismicidade observada na região. Esses eventos tectônicos seriam intercalados por relativo período de estabilidade que resultou na formação do perfil laterítico no Plio-Pleistoceno, segundo Fernandes Filho (1996) e Fernandes Filho *et al.* (1995 e 1997).

No estudo sobre o arcabouço estrutural da região do Rio Uatumã (AM), Miranda *et al.* (1994) mostram uma série de anomalias morfoestruturais associadas ao interflúvio dos rios Uatumã-Anebé. Essa estruturação foi relacionada às feições topográficas e magnéticas na Bacia do Amazonas. Os dados de campo coletados pelos autores mostraram um predomínio de falhas normais e, secundariamente, falhas inversas.

Os autores sugeriram esforços distensivos WNW a NW, posterior à deposição da Formação Alter do Chão e do colúvio, e esforços compressivos WNW a NW, posterior à fase extensional. Uma das principais conclusões do referido trabalho é que a região do interflúvio dos rios Uatumã-Anebé mostra características de soerguimento recorrente representada pelo entalhe ativo do Rio Uatumã sobre o seu substrato.

O cenário regional da estruturação neotectônica na Amazônia deve-se a Costa & Hasui (1991) e Costa *et al.* (1991), que compartilham o modelo neotectônico proposto por Hasui (1990) e, posteriormente, consubstanciado em Hasui (1996) e Costa & Hasui (1997). Esse modelo é caracterizado pelo sistema transcorrente destrai E-W, cujo eixo de extensão NE-SW é diferente das deformações da tectônica mesozóica. A partir do Plioceno, o sistema de drenagem foi fortemente controlado por estruturas transcorrentes compatíveis com as discontinuidades do modelo de Riedel. O eixo principal do Rio Amazonas comporta-se como a componente Y ou D, enquanto que os afluentes das margens esquerda e direita dos rios Solimões e Amazonas seguem as zonas fraturas P, R, R' e T, como por exemplo, os rios Negro e Madeira que podem corresponder as fraturas R e P, segundo Bemerguy & Costa (1991).

Vários domínios foram diferenciados nessa caracterização regional. Segundo Costa *et al.* (1994), o Compartimento do Alto/Médio Amazonas, compreendendo as regiões de Manaus (AM) a Gurupá (PA), possuiu um eixo extensivo WNW-ESE no Mesozóico responsável pela subsidência incipiente, acompanhada de magmatismo e subsidência termal, especialmente na região do Compartimento do Baixo Amazonas. Aliás, compatível com as idéias de Sternberg (1950), que havia mencionado a possibilidade de correlação tectônica entre as regiões manauense e marajoara, do que ele definiu como “afundamento na boca do vale pudesse repercutir na tectônica rionegrense”.

Ainda segundo este mesmo autor, dois episódios de movimentação foram reconhecidos no Terciário Superior (Mioceno-Plioceno) e Quaternário, como resposta à atuação do binário destrai E-W. No compartimento entre Manaus e Santarém predominou o sistema transpressivo, caracterizado por feixes de falhas inversas NE-SW inclinados para SE que afetaram a Formação Alter do Chão, e entre as cidades de Itacoatiara e Parintins, dois feixes de falhas transcorrentes NE-SW formam o Lineamento Tupinambarana. Essas estruturas resultam na formação de bacia

pull-apart desenvolvendo falhas normais E-W. Enquanto que na região do baixo Rio Amazonas, especialmente no litoral paraense, desenvolvida no Terciário Superior, prevaleceu o regime transtensivo com falhas normais NW-SE limitadas por transcorrências NE-SW.

O evento compressivo no Terciário Superior, conforme comentaram Costa *et al.* (1994), é unânime e suas evidências são mostradas nas investigações sísmicas na Bacia do Amazonas, em particular na região do Rio Tapajós (CAMPOS & TEIXEIRA, 1988; BARBOSA FILHO *et al.*, 1989; TRAVASSOS & BARBOSA FILHO, 1990; NEVES, 1990), na Plataforma de Manaus (WANDERLEY FILHO, 1991; WANDERLEY FILHO & COSTA, 1991; COSTA *et al.*, 1991 e 1994; MIRANDA *et al.*, 1994; COSTA, 1996; NEVES, 1990; COSTA, 2003) e, inclusive, na Bacia do Tacutu (EIRAS & KINOSHITA, 1988 e 1990, dentre outros pesquisadores).

A maioria destes trabalhos descreve a ligação deste evento ao processo de movimentação da Placa Sul-Americana com a Placa do Caribe. Na Bacia do Solimões, entretanto, este tectonismo mais precoce é chamado de Diastrofismo Juruá, cujo evento deve estar relacionado a colisão oblíqua entre as placas Sul-Americana e de Nazca no fim do Jurássico (CAPUTO, 1985; ESTEVES, 1994 citado por CAPUTO, 1990).

A fase compressiva da região do Caribe iniciou somente no final do Cretáceo, entre o Cretáceo e o Paleoceno, de acordo com Burke *et al.* (1984), Jaillard *et al.* (2000), dentre outros, e período Oligoceno/Mioceno corresponde à principal fase tectônica das placas do Caribe, Norte Americana e Sul-Americana.

No Quaternário, de acordo com Costa *et al.* (1994), existem junções tríplices designadas de Baixo Tapajós e Marajó-Mexiana, respectivamente dos tipos R-R-T e T-T-R e duas áreas transtrativas próximas a Manaus (região de Manaus e Manacapuru) e no litoral norte do Pará. O arcabouço neotectônico da Amazônia está sumarizado no trabalho de Costa & Hasui (1997) e Costa *et al.* (2001) (Figura 4).

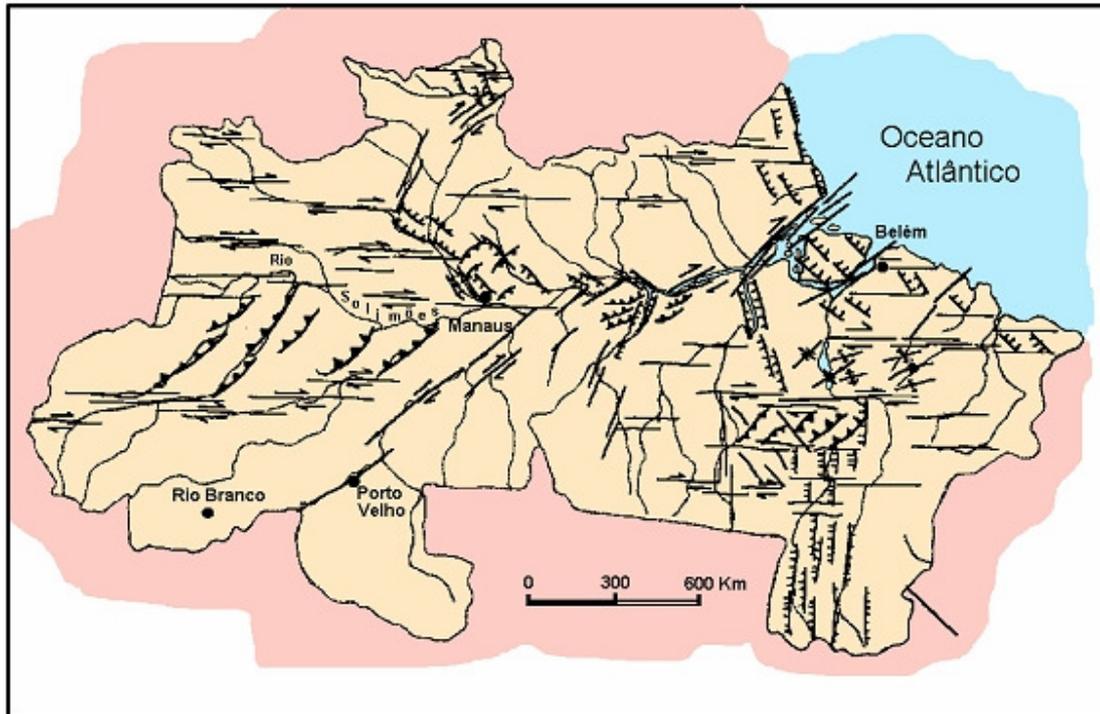


Figura 4 - Modelo neotectônico para a Amazônia durante o Mesozóico e Cenozóico, segundo Costa & Hasui (1997).

Recentemente, Saadi *et al.* (2002) realizaram uma compilação de falhas e dobras do Quaternário do Brasil, como parte do mapeamento de falhas ativas proposto pelo Serviço Geológico Americano (USGS). O mapa apresentado mostra a localização, idade e taxa de atividade das principais feições (lineamentos, falhas e dobras) e a atividade sísmica relativa (Figura 5). De acordo com o mapa apresentado pelos citados autores, o campo de *stress* máximo SHMÁX tem direção NW-SE para a região da Bacia do Amazonas. Esses resultados são concordantes com os dados de *breakout* em poços referidos por Miranda *et al.* (1994), que aponta compressão proveniente de noroeste para a região Amazônica.

De acordo com o mapa apresentado, a Falha do Rio Madeira, como extensão de 855 km, é interpretada possivelmente como transcorrente dextral e que controla fortemente o vale do Rio

Madeira e o trecho do Rio Amazonas, entre as cidades de Itacoatiara e Itapiranga (SAADI *et al.*, 2002). A idade estimada dessa zona de falha de 1,6 Ma. A Falha do Rio Negro, segundo o trabalho apresentado, estende-se por cerca de 270 km desde a região do embasamento cristalino e controla o vale da região do baixo Rio Negro, e funciona como uma falha normal com mergulho para SW.

A taxa de movimentação dessa zona de falha foi estimada em 1 mm/ano, com idade de 1,6 Ma. Segundo os autores, as características geomorfológicas, dissecação fluvial e morfologia detalhada da região de Manaus, sugerem que esta falha tem continuado ativa no Holoceno, inclusive com atividade sísmica. E essas informações sugerem que a Falha do Rio Negro está ativa, conforme comentam Saadi *et al.* (2002) e Assumpção & Suarez (1988).

De acordo com o mapa de falhas quaternárias apresentado, várias outras zonas de falhas ocorrem na região, como por exemplo: as zonas de falha normal de Barcelos e do Baixo Trombetas e Tapajós, as zonas de falhas inversas (com possível componente transcorrente) do Baixo Juruá, Codajás, do Rio Jutáí, do Baixo Coari e do Baixo Purus, e a falha transcorrente destal de Monte Alegre.

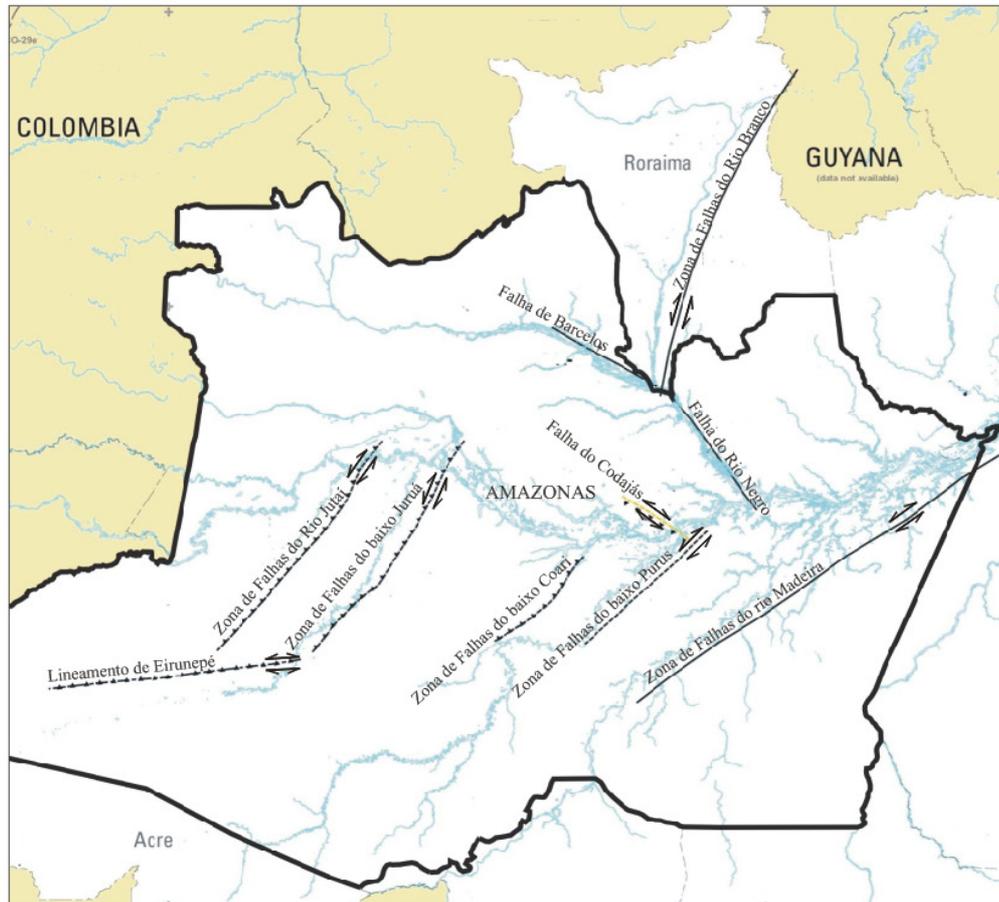


Figura 5 - Falhas e lineamentos quaternários no Amazonas, modificado do Mapa de Falhas do Quaternário no Brasil de Saadi *et al.* (2002). As falhas do Rio Negro e Barcelos são normais. A Falha do Rio Madeira foi considerada como transcorrente destal e para as demais foi atribuída a movimentação inversa com componente transcorrente associada.

Essa estruturação quaternária é responsável pela ocorrência de alguns sismos naturais na região, que têm sido registrados, desde longa data, por padres, missionários e a população, através de relatos históricos, mas também por meio de instrumentos, fatos que caracterizam a região Amazônica com uma zona sismotectônica em ambiente de intraplaca. Esse fato levou Mito (1993) a definir uma região sismogênica importante denominada de Zona Sismogênica de Manaus (Figura 6).

O maior evento sísmico registrado nessa região foi em Codajás em 1983 com magnitude $m_b=5,5$ (ASSUMPTÃO, 1983). Contudo, o recente registro do Parque Nacional do Jaú, em 8 de fevereiro de 2005, é o maior sismo na intraplaca brasileira, similar ao de São Gabriel da Cachoeira (região do alto Rio Negro) em 15.03.1999, com magnitude, para ambos, de 4,4 (Tabela 1). Os principais registros de sismos no Amazonas podem ser observados na Figura 7.

Essa compartimentação tectônica certamente está associada ao Lineamento do Rio Madeira, considerado como sistema transcorrente dextral (COSTA *et al.*, 1994; IGREJA & CATIQUE, 1997; COSTA *et al.*, 2001; SAADI *et al.*, 2002, dentre outros). O arranjo de falhas transcorrentes predominando feições transpressionais para essa região tem sido reportado por Costa (2002), o qual destacou o sistema de falhas transcorrentes Urucará (NW-SE). Segundo o citado autor a tectônica transcorrente, durante o Mio-Plioceno (Evento 2) na Bacia do Amazonas foi responsável pela ativação da tectônica salinífera (halotectonismo) na região.

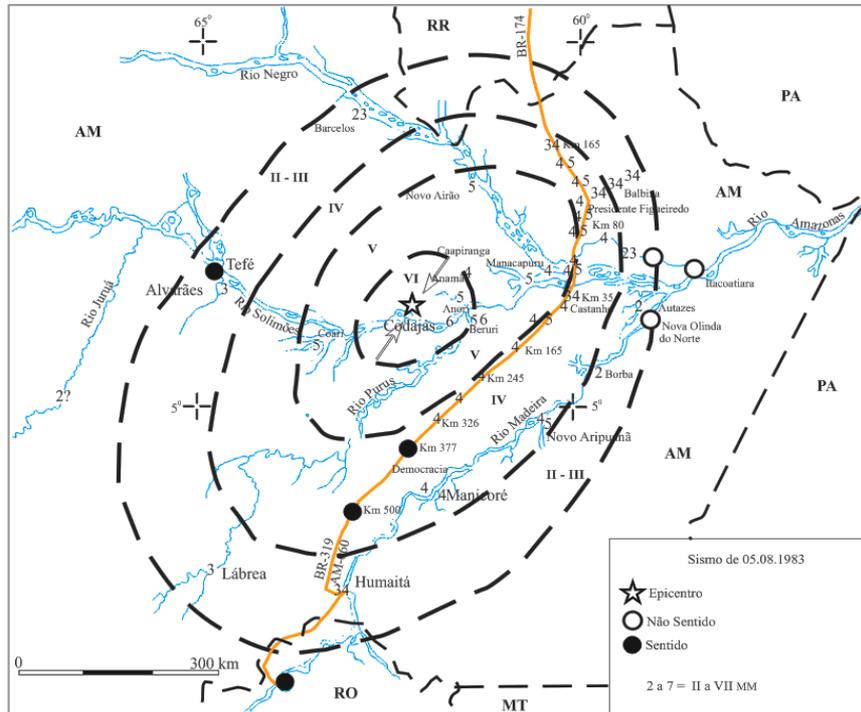


Figura 6 - Mapa de distribuição de terremotos na Amazônia, segundo Mito (1993). Isossistas (contorno pontilhado) do sismo de Codajás com direção de compressão (segundo Assumpção et al. 1983).

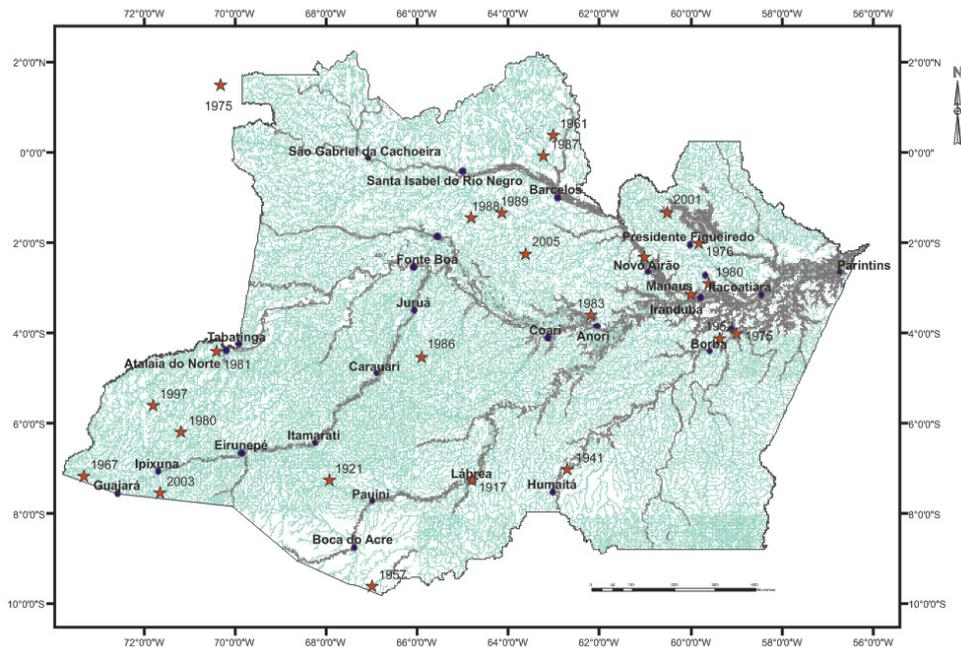


Figura 7 - Mapa com as principais ocorrências de sismos no Estado do Amazonas, de acordo com a compilação de Silva (2005).

	Local	Data	Hora	Epicentro (lat/long)		Magnitude	Prof. (km)	Observação
01	Rio Purus	1785						
02	Alto Rio Negro	1798						
03	Rio Purus	1827						
04	Rio Purus	1840						
05	Manaus	29.01.1885		-3.13	-60.00			
06	Itacoatiara	1906						
07	Lábrea	1917		-7.26	-64.79			Ano incerto
08	Igarapé Perseverança	21.01.1921		-4.10	-59.35			
09	Manaus	1922						
10	Três Casas	1941		-7.00	-62.70			Ano incerto
11	Benjamin Constant	01.11.1947	11h 58 min					
12	Careiro	16.08.1952		-3.20	-59.77			
13	Sul do Amazonas	16.04.1957	15h 17min 12s	-9.50	-67.00			
14	Norte Amazonas	03.10.1961	17h 35min 54 s	0.40	-63.00	4.0		Caracas, Trinidad-Tobago
15	Manaus	13.12.1963	21h 05min 42s	-2.30	-61.01	5.1	45	H= 45 (ISS)
16	Manaus	10.02.1967						
17	Sudoeste Amazonas	11.05.1967	23h 21min 43s	-7.17	-73.30			
18	Leste Amazonas	18.05.1975	02h 42min 18s	-4.00	-59.00			
19	Colômbia/Amazonas	22.06.1975	11h 04min 44s	1.50	-70.30	3.5		(ISS)
20	Hidrelétrica Balbina	08.10.1976	17h 01min 12s	-2.00	-59.80			
21	Oeste Amazonas	06.03.1980	06h 46min 18s	-6.17	-71.16	4.8		H=8(ISC,H=67?)
22	Manaus	02.09.1980	22h 36min 03s	-3.30	-60.00			
23	Amazonas	17.02.1981	05h 00min 00s	-4.40	-70.40	3.4		(UnB)
24	Codajás	05.08.1983	03h 21min 42s	-3.59	-62.17	5.5		H=23(UnB,IAG)
25	Codajás	05.08.1983	05h 24min 18s	-3.59	-62.17	3.5		(UnB) réplica
26	Codajás	05.08.1983	07h 07min 14s	-3.59	-62.17	2.6		(UnB)
27	Amazonas	05.07.1984				3.5		
28	Rio Tefé	05.03.1986	22h 51min 39s	-4.50	-65.90	3.8		(UnB)
29	Rio Aripuanã	07.12.1986				3.8		
30	Barcelos	28.01.1987	03h 59min 56s	-0.04	-63.22	3.9		(UnB)
31	Rio Cuiuni	06.06.1988	09h 25min 31s	-1.44	-64.82	3.8		(UnB)
32	Rio Jatapu	03.09.1988				3.8		
33	Amazônia	08.06.1989	12h 26min 00s	-1.32	-64.13	3.7		(UnB)
34	Amazonas	09.06.1997	14h 20min 06s	-5.58	-71.78	4.7		H=603(UnB,NEIS)
35	São Gabriel da Cachoeira	15.03.1999				4.4		
36	Balbina	27.05.2001	09h 50min 00s	-1.30	-60.50	3.7		Induzido?
37	Amazonas	20.06.2003	06h 19min 38s	-7.54	-71.62	7.1	555,8	USGS(NEIC)
38	Parque Nac. do Jaú	08.02.2005	18h 04min 22s	-2,22	-63.62	4.4	18	(UnB)

Tabela 1 - Sismos ocorridos na região de estudo com base em Berrocal et al. (1984), Bezerra (2003), informações do Observatório Sismológico da UnB e Silva (2005).

E Silva (2005) caracterizou que Manaus está enquadrada na denominada Compartimentação tectônica do Rio Negro que se caracteriza pela ocorrência de falhas normais, predominando a direção NW-SE (N30W), cujo principal elemento estrutural é o Lineamento do Rio Negro.

A margem esquerda do Rio Negro é formada pelo abatimento por falhas normais mestras NW-SE com mergulho para sudoeste, como pode ser observado pelas falhas na cidade de Manaus (Avenida do Turismo e zona leste). Mas também por falhas antitéticas N30W/55NE, como aquela mapeada na região do Ramal do Pau Rosa. Essas falhas configuram a escarpa de falha do baixo curso do Rio Cuieiras, o Lineamento do Rio Negro até a margem oeste da cidade de Manaus, que estão relacionados ao Lineamento do Baependi no embasamento cristalino a noroeste.

A região do Porto de Cacau-Pirêra compreende um sistema de falhas normais NW-SE que mergulha para nordeste. Essa estrutura está associada ao lineamento NW-SE do baixo curso do Rio Negro e a escarpa de Falha de Cacau-Pirêra, aproximadamente paralela ao Rio Negro. Esse arranjo de falhas deforma as rochas da Formação Alter do Chão produzindo uma zona de brecha de falha NW-SE que ocorre nesse local. O abatimento tectônico dessa área é onde flui o Rio Negro, e isso propiciou a sedimentação assimétrica dos depósitos quaternários situados nessa região, conforme foi atestado por Campelo (2005), que possui cerca de 20 m de espessura.

A interação das falhas transcorrentes destrais, principalmente ENE-WSW e E-W, define a geometria dos blocos altos e baixos nessa área, formando bacias quaternárias, como a bacia *pull-apart* de Manaus (FERNANDES FILHO, 1996). Estas direções estruturais constituem os limites norte e sul da região da mesopotâmia dos rios Negro e Solimões, nas localidades de Paricatuba e Colônia Bela Vista e também na foz dos igarapés Tarumã-Mirim e Tarumã-Açu, ambos na margem esquerda do Rio Negro.

Na área central de Iranduba, a escarpa de falha que ali ocorre está associada à falha normal que mergulha para sudoeste, cuja feição corresponde a continuidade do lineamento do baixo curso do Rio Cuieiras e o Lineamento do Baependi. O arranjo dessas falhas, com mergulho para sudoeste e aquelas da margem direita do Rio Negro que mergulham para nordeste, configura a geometria de gráben para a zona onde está situado o Rio Negro.

A geometria de falhas normais que domina nesse compartimento, propiciou a formação de uma bacia quaternária moderna, na região do Rio Ariaú. O limite dessa estrutura tectônica é formado por duas falhas normais: a primeira é a Falha de Iranduba, na margem esquerda do Rio Ariaú, à qual está associada a escarpa de falha de mesmo nome, cuja falha possui mergulho para sudoeste; o outro limite corresponde à falha da margem direita do Rio Negro, que se propaga para sudeste na direção do Rio Solimões. A zona alta (muro) das duas falhas corresponde ao substrato da Bacia do Ariaú formada pelos sedimentos da Formação Alter do Chão. As falhas impressas nos sedimentos modernos na região do Ariaú, conforme observado nos locais de extração de argila para olaria, denotam um caráter subsidente desse bloco. Mais ainda, conforme Campelo (2005), esta bacia possui sedimentação maior na porção oeste da bacia. Isso configura uma bacia assimétrica, onde a Falha do Rio Negro (margem direita) é mais atuante do que a margem oposta. Isso levou à consideração da estruturação e denominação de Bacia Assimétrica do Rio Ariaú para essa estrutura, cuja espessura de sedimentos alcança pelo menos 60 m de sedimentos argilosos e arenosos do Quaternário.

O arranjo dessas falhas NW-SE com mergulhos ora para nordeste ora para sudoeste gerou a estrutura do tipo gráben com formato retangular, a qual foi denominado de Gráben do Ariaú por Silva *et al.* (2003a, 2004a). Considerando as características morfoestruturais dessa área (feição alinhada do Rio Negro) e o acúmulo expressivo de sedimentos quaternários, é provável que essa

bacia corresponda ao antigo trecho do Rio Negro que desembocava no Rio Solimões a montante da confluência atual.

A essa compartimentação de falhas normais estão associados, ainda, a elementos morfoestruturais como, por exemplo, a escarpa de falhas do Rio Negro, os divisores das bacias dos rios Negro e Manacapuru, o padrão paralelo da drenagem, capturas de drenagens e as feições em candelabro do Rio Acajatuba. Estes constituem importantes indícios do controle tectônico (morfotectônico) na paisagem da região amazônica.

A ocorrência de estruturas distensivas é concordante com os estudos de Costa *et al.* (1991), Costa & Hasui (1997), Bezerra *et al.* (1999) e Bezerra (2003) que apontam que essa região foi submetida a esforços de natureza transtensional que induziram á formação de várias bacias romboédricas. De acordo com o trabalho de Bezerra (2003), essa região está relacionada a parte do compartimento transtensivo Rio Negro-Solimões.

A oeste de Manacapuru, os sedimentos da planície aluvial do Rio Solimões estão localizados na bacia romboédrica na foz do Rio Purus no Rio Solimões, reconhecida por Bezerra *et al.* (1999) e Bezerra (2003), a qual foi denominada de Bacia romboédrica de Manacapuru por Silva *et al.* (2003a), Silva *et al.* (2004a). Essa feição é uma estrutura muito maior, além da área de estudo. O limite nordeste dessa bacia, na região oeste de Manacapuru, corresponde ao contato tectônico entre as Formações Alter do Chão e Içá/Solimões. Segundo Bezerra (2003), corresponde a falhas do tipo normal, onde o sistema de drenagem do Rio Manacapuru está encaixado. O Lineamento do Rio Manacapuru WNW-ESSE é um importante elemento na paisagem desse domínio e parece constituir uma ombreira tectônica entre as bacias do Rio Negro (Gráben do Rio Negro), a Bacia Assimétrica de Ariaú e a Bacia Romboédrica de Manacapuru.

Esses elementos geomorfológicos e geológicos estão associados a importantes feições magnéticas em subsuperfície. Nesse caso, correspondem, em parte, às escarpas do Rio Negro, à

orientação do Rio Solimões e às anomalias de drenagens notadas no médio curso do Rio Manacapuru e aquela transversal no Rio Negro (Arquipélago de Anavilhanas).

A análise morfoestrutural da margem direita do Rio Solimões foi fundamentada em interpretações geomorfológicas e apoiada em análise visual em modelos digitais de elevação. As interpretações obtidas são coerentes com os estudos de Silva *et al.* (2003a), Silva *et al.* (2004a). Esse compartimento está marcado por lineamentos de relevo e drenagem com direção NW-SE e NE-SW que imprimem um arranjo paralelo retangular no relevo (escarpa de Falha do Lago do Castanho no Rio Castanho e partes do divisor d'água de seus afluentes) e produzindo fortes anomalias de drenagem (retangular). O desenvolvimento do padrão retangular, particular desse rio, e a notável assimetria do relevo marcado pela formação de escarpas mostram a existência de dois blocos desnivelados em cerca de 30 m, similar à depressão do Ariaú. Nesse quadro morfoestrutural desenvolvem-se padrões anômalos de drenagem, rios afogados (lagos do Castanho, Mamori, Araçá e Comprido, dentre outros) e os encurvamentos anômalos e as feições assimétricas nos canais dos rios nesse setor.

De modo similar ao notado na margem esquerda do Rio Solimões, essas morfoestruturas (terraços abatidos, escarpas de falha, assimetria e anomalias de drenagem) estão associadas a depressões ou zonas de blocos abatidos, onde estão situados os sedimentos da planície aluvionar dos rios Solimões e Amazonas. A depressão retangular (NE-SW) foi denominada de Gráben do Rio Castanho-Mamori, cuja falha principal mergulha para noroeste, controlando o Rio Castanho. As anomalias de relevo, as escarpas de Falha do Rio Castanho, o padrão retangular do canal e as anomalias de rios afogados (lagos do Mamori, Castanho e Janauacá) são interpretados como decorrentes dos sistemas de lineamentos NW-SE, NE-SW e N-S. A depressão do Lago Cabaliana-Padre em geometria de romboedro corresponde à Bacia Romboédrica de Manacapuru, limitada a norte e a sul por falhas transcorrentes E-W e, a leste e a oeste, por falhas normais NE-

SW mergulhando para noroeste e sudeste (BEZERRA, 2003; SILVA *et al.* 2003b, 2004a,b). Neste trecho, a mudança brusca do canal do Rio Solimões está associada às falhas principais que configuram a geometria dessa bacia.

O esboço morfotectônico da região de Irlanduba e Manacapuru pode ser observado na Figura 8, elaborado no modelo DEM SRTM. A seção geológica desse setor mostra o desenvolvimento de falhas normais planares NW-SE, que mergulham para nordeste e se arranjam com falhas normais antitéticas NW-SE com mergulho para sudoeste. Embora haja o predomínio de falhas normais, falhas transcorrentes (destrais e sinistrais) e inversas são observadas nesse compartimento e devem estar associadas ao tensor s_1 NW-SE e s_3 NE-SW. Estes eixos geraram as falhas normais NW-SE, as falhas transcorrentes destrais NE-SW, sinistrais NE-SW e NNE-SSW e as falhas inversas NE-SW.

A reconstrução paleogeográfica mostra que a região de Ariaú era um antigo vale do Rio Negro que fluía ao longo da depressão do Ariaú para então desembocar no Rio Solimões. A sedimentação se desenvolveu na área de confluência com o Rio Solimões.

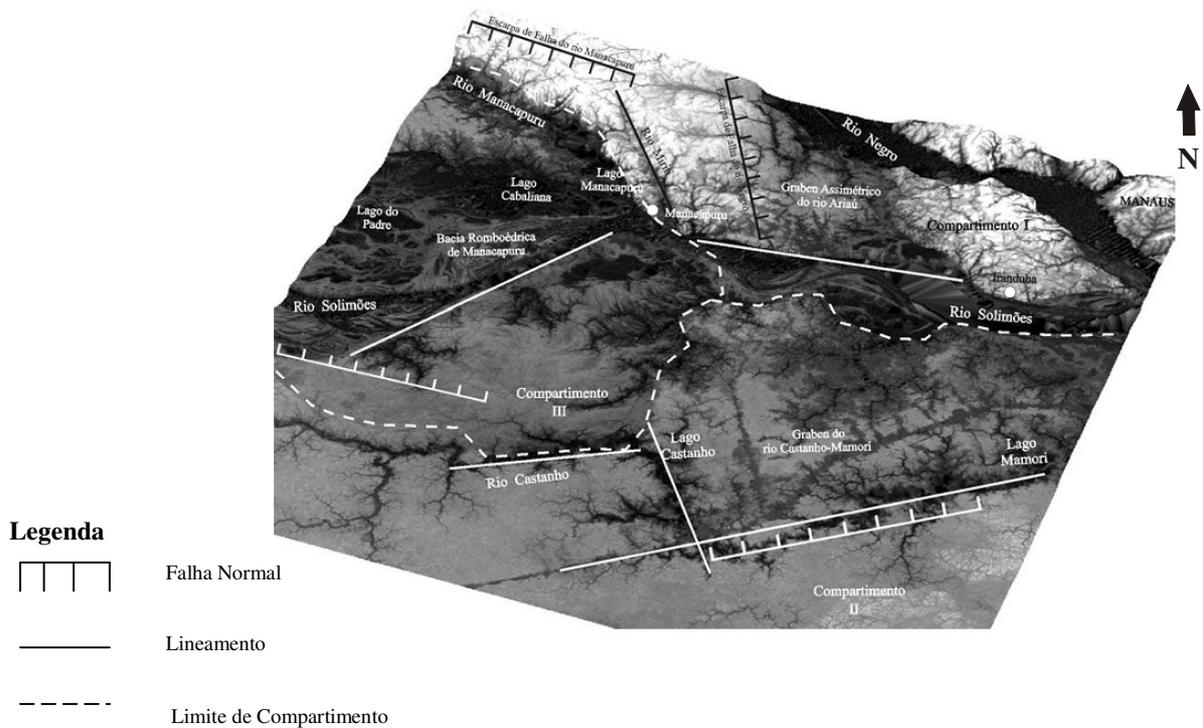


Figura 8 - Esboço Morfotectônico da Região de Iranduba e Manacapuru visualizado no modelo digital de terreno Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM (SILVA, 2005 e SILVA, et al. 2007).

A continuidade dos esforços de ruptura ligados ao binário E-W, gerou as falhas NW-SE da área oeste de Manaus, Cacau-Pirêra e Iranduba que representam as escarpas de falha nesse setor. O abatimento por falhas normais gerou uma abertura, para onde o Rio Negro foi capturado, mudando assim seu fluxo de sul para leste e sudeste, abandonando o canal onde se encontra o Rio Ariaú. Nesse processo de captura o lineamento E-W é uma importante feição na estruturação regional. O sistema de depósitos de barras indica que o Rio Solimões foi meandrante e provavelmente tinha orientação E-W, assim como observado no quadro atual entre o trecho de Manacapuru e Manaus. A migração para sudeste seria assim decorrente da formação e evolução da Bacia Romboédrica de Manacapuru.

Contexto geológico da cidade de Manaus

As unidades geológicas que ocorrem na área de estudo estão inseridas no contexto da Bacia Sedimentar do Amazonas (CAPUTO 1984, CAPUTO *et al.* 1972 e CUNHA *et al.* 1994). Tais unidades englobam os depósitos sedimentares cretáceos da Formação Alter do Chão e miocênicos da Formação Içá além de sedimentos quaternários aluvionares Figura 9.

A geologia da cidade de Manaus está representada pela Formação Alter do Chão, Grupo Javari da Bacia do Amazonas. Esta formação é caracterizada pela presença de arenitos argilosos, argilitos arcósios, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais, marcados por uma típica coloração avermelhada. Na Formação Alter do chão foram identificados por Aguiar (2002) quatro fácies sedimentares: argilosa, areno-argilosa, arenosa e “Arenito Manaus”, estas seções ocorrem como camadas subhorizontais com disposição lenticular, deformadas por falhas lítricas pós-cretáceas.

Esses níveis de intensa silicificação foram designados por Albuquerque (1922) como Arenito Manaus. Os sedimentos foram depositados em ambientes continental aquoso, com significativa contribuição flúvio-lacustrina em processo de imersão não profunda (CAPUTO *et al.*, 1972). Trata-se de depósitos descontínuos, onde apresentam uma brusca variação litológica vertical além de uma distribuição espacial irregular.

O arenito Manaus apresenta diversas exposições na área urbana, sendo mais conspícuas nas proximidades da praia da Ponta Negra e Cachoeira do Tarumã. Neste último local foi intensamente lavrada para produção de brita utilizada como agregado de concreto na construção do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes e em outras obras. O Arenito Manaus apresenta camadas com espessura que chegam até 10 m apresentando fácies locais de natureza silicosa ou argilosa. Apresenta coloração vermelha ou roxa que se torna branca quando submetido a ação das

águas ácidas, perdendo sua coerência. É constituído essencialmente de grãos de quartzo subangulares ou arredondados apresentando extinção ondulante em sua maioria, envoltos por cimento ferruginoso ou silicoso (SOUZA & MEDEIROS, 1972). De acordo com as investigações de Vieira (1997), em afloramentos na Praia da Ponta Negra e na rodovia BR-174, a Formação Alter do Chão se caracteriza por um sistema deposicional fluvial do tipo entrelaçado.

Sobreposto a esse pacote do “Arenito Manaus” são encontradas camadas estratificadas caulínicas e ferruginosas da porção incoesa da unidade Alter do Chão. Estas são as camadas esbranquiçadas e avermelhadas muito comuns nos barrancos observados em toda a cidade de Manaus. Tais materiais são camadas alteradas pelo intemperismo tropical úmido e que compreendem a parte superior da própria Formação Alter do Chão. Acima da linha de pedra o material argilo-arenoso amarelado homogêneo e sem estruturação é o nível de solo mais observado. O solo desta unidade é observado como um pacote espesso, com cerca de 8 a 10 m, este solo é designado de latossolo amarelo. O nível do material orgânico para desenvolvimento da vegetação, pouco espesso, completa o perfil de solo na cidade de Manaus.

Depósitos aluvionares estreitos distribuídos nos inúmeros igarapés estão constituídos basicamente por sedimentos arenosos e argilosos, pouco espessos, cinza à marrom, que são depositados sobre a Formação Alter do Chão. Caracterizam-se pelo material inconsolidado, geralmente composto por um nível abundante em matéria orgânica, de idade holocênica.

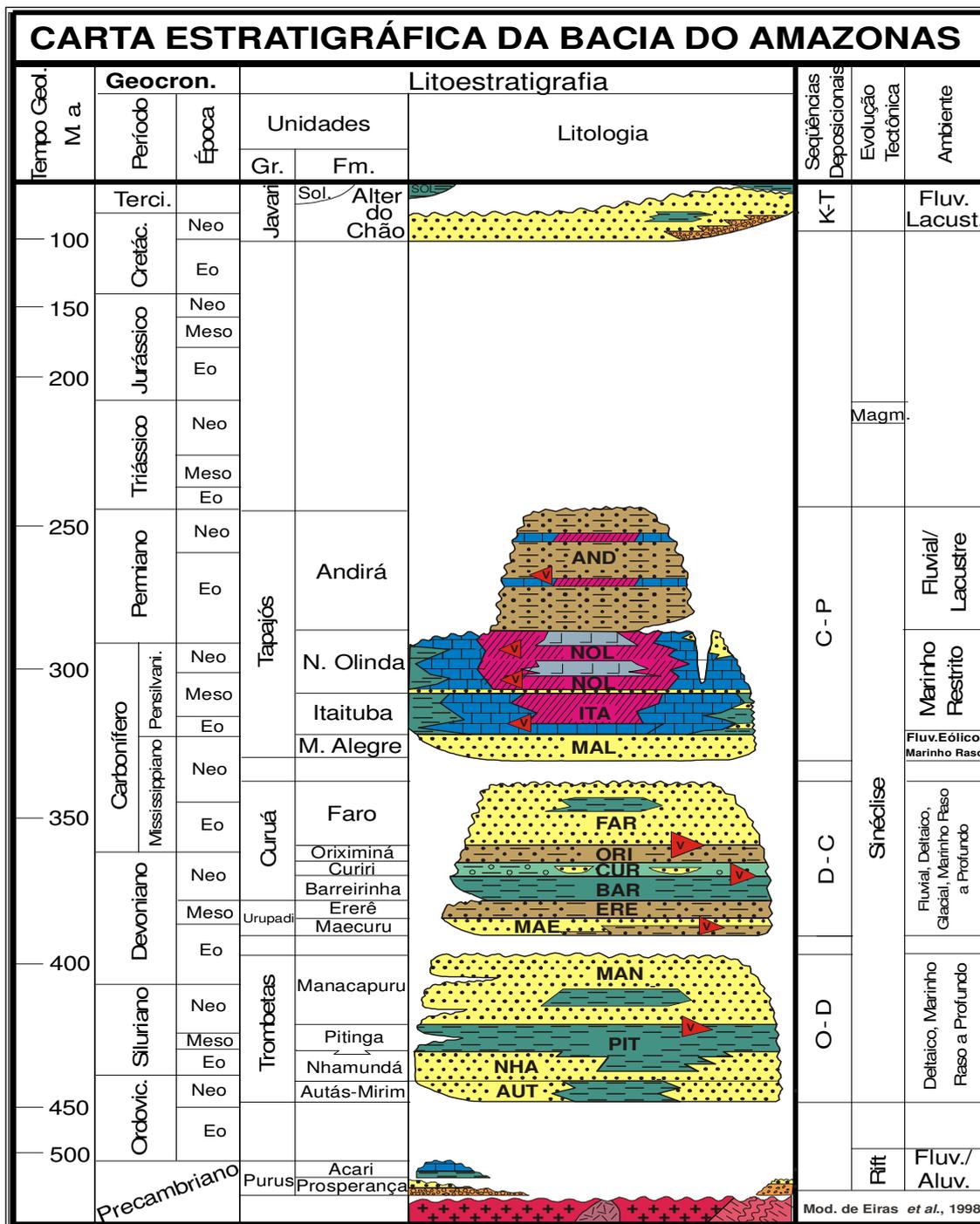


Figura 9 - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, segundo Cunha *et al.* (1994).

Geomorfologia da Cidade de Manaus

A região em estudo envolve o domínio morfoestrutural do Planalto Dissecado Rio Trombetas - Rio Negro e a Planície Amazônica, conforme Radambrasil (1978 e 1978a). O Planalto Dissecado Rio Trombetas - Rio Negro, é composto por interflúvios e colinas tabulares dissecadas e topografia não superior a 100m, corresponde à área de afloramento da Formação Alter do Chão. Esta unidade morfológica compreende o relevo de colinas pequenas e médias dissecadas (em processo de erosão), onde os vales são estreitos e fechados e a drenagem é do tipo subdendrítica (SILVA, 2005). As áreas mais elevadas na cidade de Manaus estão no máximo a 100 m acima do nível do mar.

De acordo com o mapa de unidades de relevo do IBGE (2006), a área de Manaus está inserida na unidade Planalto Rebaixado dos Rios Negro/Uatumã (Figura 11). Essa extensa unidade geomorfológica compreende a mesma morfologia definida no projeto Radambrasil. Compreende ainda uma morfologia sustentada basicamente pelos depósitos da Formação Alter do Chão (Figura 10).

Nas margens dos rios Negro e Amazonas predominam a morfologia de falésias fluviais com cerca de 40 m de cota. No entanto, é de se destacar que as colinas e os interflúvios se apresentam bem dissecados e alongados nas direções NW-SE e NE-SW.

Na Planície Amazônica estão localizados os depósitos quaternários de planície de inundação, situados, no canal dos rios Solimões e afluentes, a uma altura inferior a 30m.

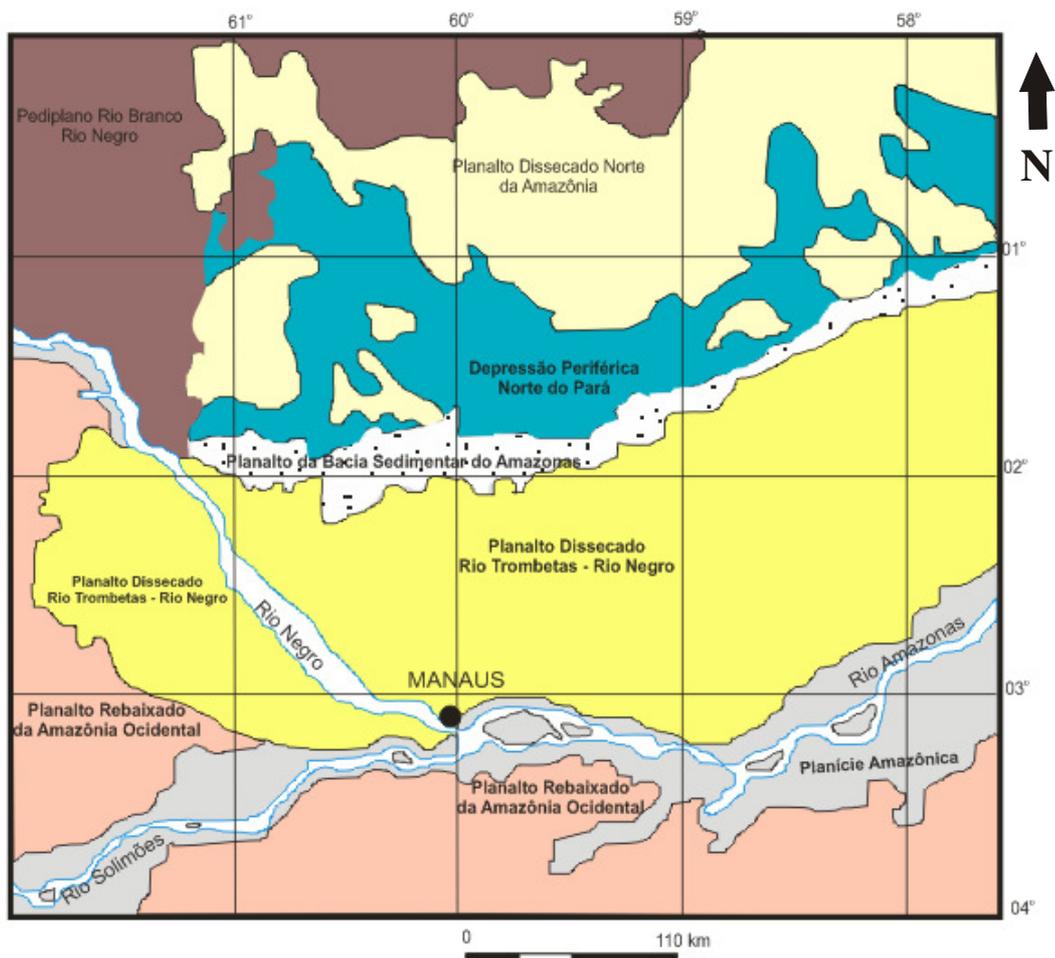


Figura 10 - Mapa de unidades geomorfológicas obtidas no Projeto Radambrasil, conforme Nascimento *et al.* (1976) e Costa *et al.* (1978).

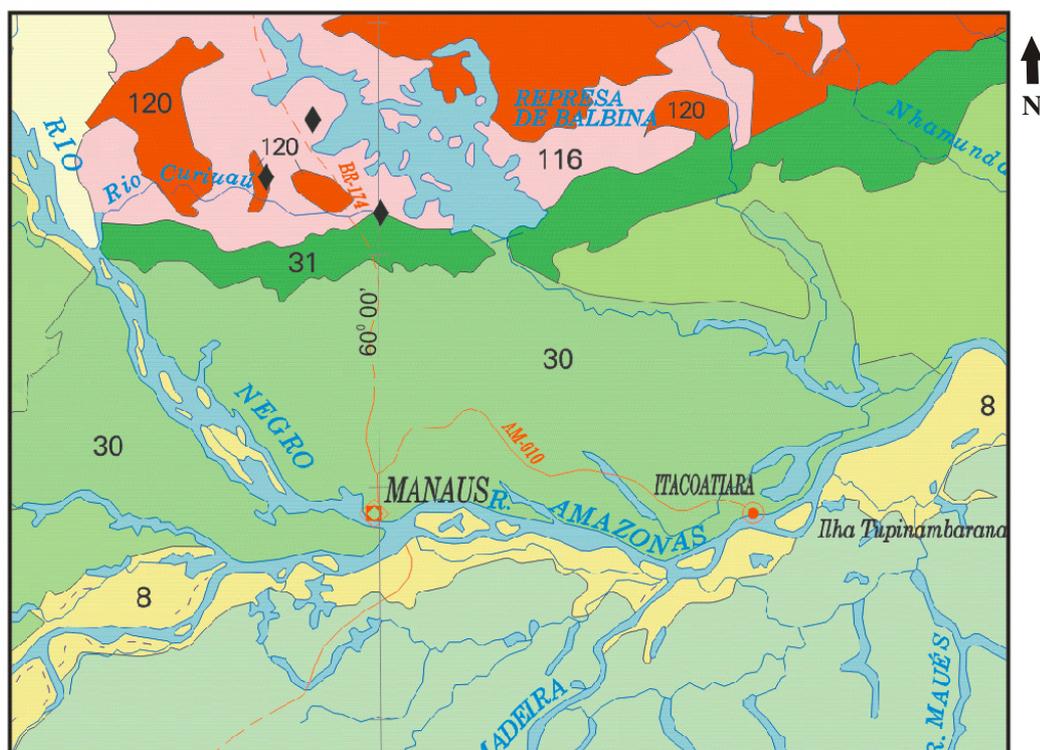


Figura 11 - Unidades de relevo na região da cidade de Manaus, conforme (IBGE 2006): 8 – Planície Amazônica; 30 – Planalto Rebaixado dos rios Negro/Uatumã; 31 – Patamares Setentrionais da Borda Norte da Bacia do Amazonas; 116 – Depressão da Amazônia Setentrional e 120 – Planaltos Residuais do Norte da Amazônia

RESULTADOS

Análise geomorfológica

Análise geomorfológica está galgada sobre a análise do relevo, drenagem, modelo SRTM e cartográfico e na compartimentação das falhas existentes e a formação do relevo. Tais análises foram baseadas na identificação de feições morfológicas na cidade de Manaus que estão associadas à tectônica. Na abordagem do sistema de drenagem são tratadas as formas, padrões e feições anômalas resultantes de soerguimento, subsidência e condicionamento a feições geológico-estruturais. No relevo é observado alinhamento de interflúvio, formação de escarpas de falhas, desnivelamento de blocos também relacionados a falhas. As falhas geológicas mapeada por Silva (2005) estão posicionadas junto com a compartimentação do relevo, onde o intuito foi de relacionar tais falhas encontradas em campo com as formas de relevo. Tal situação comparativa possibilitou o entendimento acerca do controle tectônico em detalhe na paisagem (rios, igarapés e o relevo) da cidade de Manaus.

Análise da Drenagem

A análise da drenagem na região da Cidade de Manaus foi realizada a partir da elaboração do mapa de drenagem da área em estudo, onde, a partir daí, foram extraídos os elementos essenciais para a realização do estudo da drenagem da área (Figura 12). Essa figura compreende uma composição de drenagens na escala 1:10.000 e 1:100.000. Conforme a figura, a área está

representada pelas bacias hidrográficas dos rios Tarumã-Açú, São Raimundo, Educandos, Mindú e Puraquequara (Figura 13).

No geral, essas bacias de drenagem têm orientação geral NE-SW, com fluxo de nordeste para sudeste, com exceção para os Igarapés Tarumã-Açú e Puraquequara que se direcionam de norte para sul. Essa configuração difere substancialmente com relação à direção geral das bacias da margem esquerda do Rio Amazonas (Figura 13). Conforme pode ser notado na figura 13, particularmente nas cercanias de Manaus, há uma anomalia circular dessas bacias que se diferenciam das demais drenagens que fluem para o rio Amazonas.

As bacias dos rios Educandos e São Raimundo fluem para o Rio Negro, enquanto que as bacias próximas ao rio Puraquequara fluem para o Rio Amazonas. Por conseguinte, estas possuem pequena dimensão e maior densidade de drenagem. As bacias de drenagem, de maneira genérica, são todas assimétricas, ou seja, de um lado os rios/igarapés possuem extensões maiores do que os da outra margem. Com exceção da bacia do Igarapé da Bolívia, as outras bacias têm maior extensão na margem direita. Silva 2007 demonstrou que tal situação pode corresponder a basculamento de blocos, onde a bacia de drenagem apresenta-se assimétrica em virtude do controle tectônico em uma das margens.

Seguindo a classificação de Howard (1967), as drenagens dessa região mostram um padrão do tipo dendrítico modificado, o qual pode ser genericamente classificado como subdendrítico. Feições adicionais foram comentadas por Silva (2005) que descreve a geometria de bacias com forma alongadas e paralelas entre si, para as bacias na cidade de Manaus. Conforme aquele autor, os tributários dos canais principais estão igualmente alinhados e são resultantes de significativos lineamentos (zonas de falhas e fraturas) mapeados nessa área. Nessa abordagem inúmeras anomalias e feições estruturais podem ser observadas no sistema de drenagem da área.

Uma Bacia Hidrográfica é uma área fisiográfica drenada por um curso ou cursos de água conectados, que convergem direta ou indiretamente para um leito ou espelho d'água. A Bacia Hidrográfica é separada de outra por uma linha divisória chamada “Divisor de Águas”, onde cada chuva que cai a partir desse ponto se dirige ao curso de água principal.

As Bacias Hidrográficas podem ser classificadas em: Microbacias; Minibacias; Sub-bacias e pequenas bacias.

Com o intuito de descrever as características morfológicas, como por exemplo, as formas e o paralelismo, do sistema de drenagem da área em estudo serão discutidas as principais características de cada bacia hidrográfica da área.

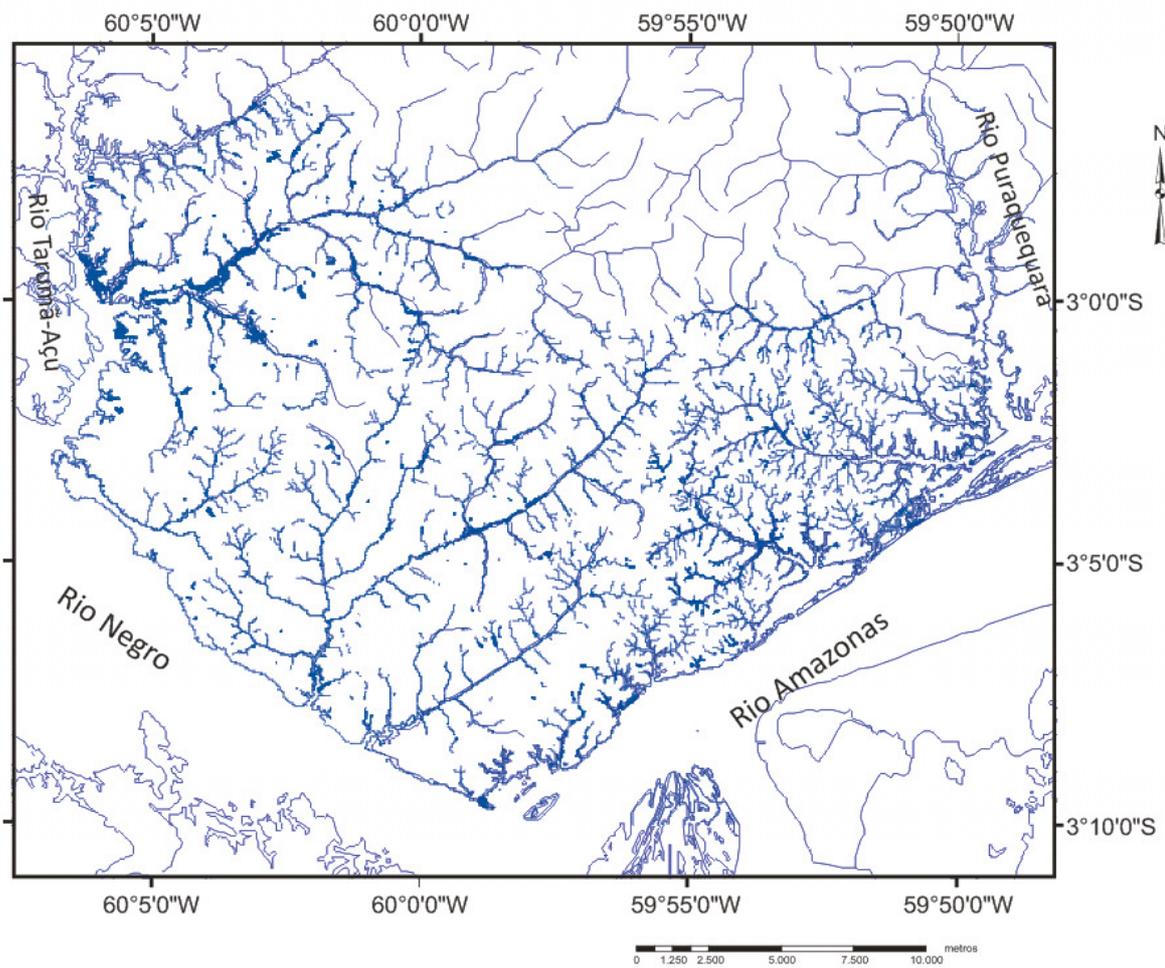


Figura 12 - Mapa de drenagem da área estudada. Nesse mapa foram sobrepostas duas bases cartográficas nas escalas 1:10.000 e 1: 100.000.

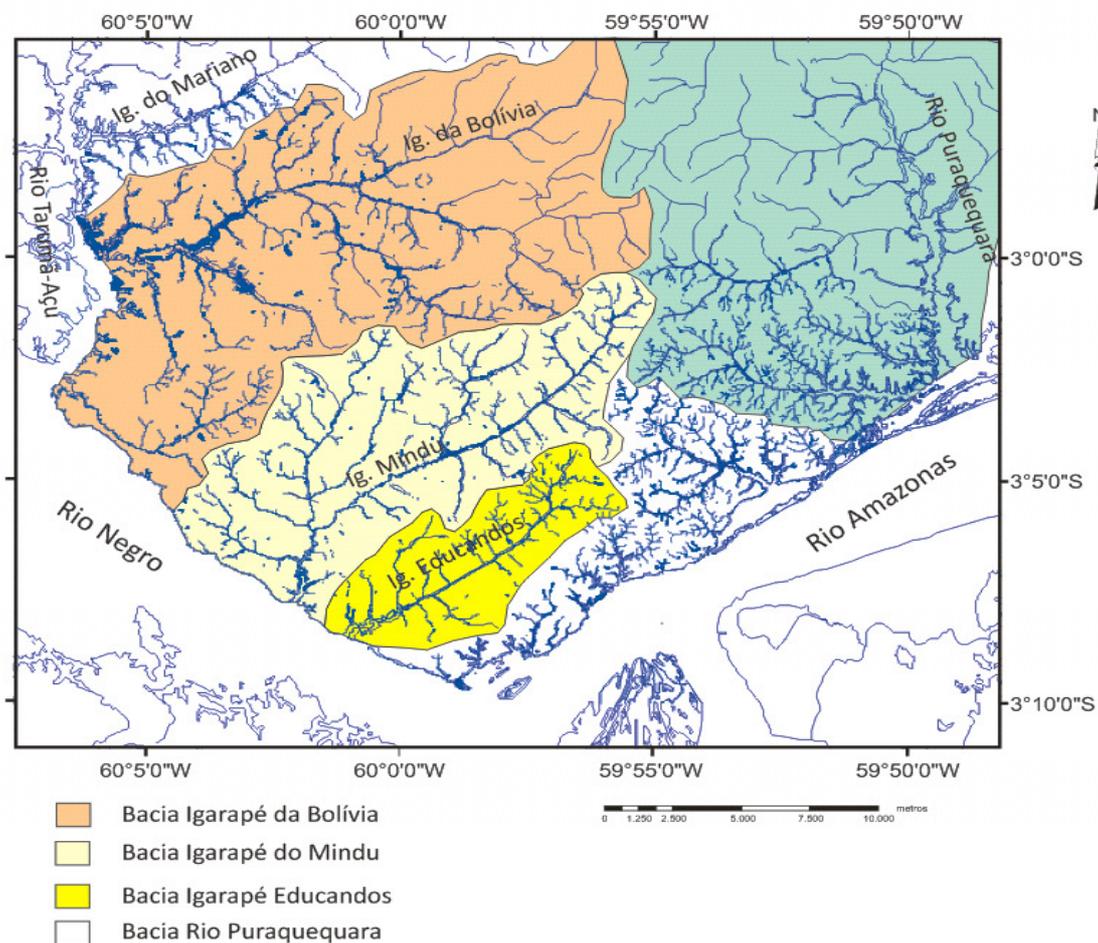


Figura 13 - Mapa das bacias de drenagem região de Manaus.

Bacia de São Raimundo

A Bacia de São Raimundo, localizada na porção sudoeste da cidade de Manaus, é uma das bacias mais significativas da cidade, pois possui uma área de aproximadamente 114,00 km². Essa bacia composta pelos Igarapés Grande, Mindú, Franceses, Franco, Bindá e São Raimundo tem fluxo de nordeste para sudoeste. Particularmente, o Igarapé do São Raimundo possui uma direção preferencial de norte-sul até a confluência com o Rio Negro, passando pelos bairros de São Raimundo e o centro comercial da cidade. Essa bacia possui cerca de 55.00 km². O principal tributário desse canal é o Igarapé do Bindá que segue uma direção paralela ao São Raimundo até a sua confluência com o canal principal.

O Igarapé do Mindú, com aproximadamente 22 km de extensão, possui uma direção preferencial de nordeste-sudoeste até a confluência com o Igarapé do São Raimundo, cujo curso atravessa as zonas central e este da cidade. Essa bacia possui cerca de 59.00 km² pouco mais de 50 % da Bacia do São Raimundo. O principal tributário desse canal é o Igarapé do Goiabinha, principal afluente do Igarapé do Mindú, tem seu curso inicial nos platôs situados no bairro da Cidade Nova, a cerca de 65 m de altitude, e flui aproximadamente de norte para sul. A confluência desse rio com o Mindú ocorre próximo ao bairro Parque Dez de Novembro.

A bacia do São Raimundo é considerada uma bacia completamente assimétrica, onde os rios/igarapés na margem direita possuem maior extensão que os da margem esquerda, em uma das margens o Igarapé do Mindú representa, na configuração da bacia, o canal central. Nessa visão, os igarapés do São Raimundo, Bindá e Goiabinha parecem tributários do Igarapé do Mindú. Seguindo a classificação dos padrões de drenagem quanto à classificação baseada na geometria, observa-se que os canais desta bacia são paralelos, onde os igarapés apresentam

poucas ramificações e mantêm espaçamento regular entre si. Esse tipo de drenagem é originado pelos controles estruturais e ocorre em áreas com declividade acentuada ou em locais onde há presença de falhas paralelas ou ainda lineamentos topográficos paralelos.

Bacia dos Educandos

A Bacia dos Educandos possui uma área de 44,87 km², localizando-se na porção sudeste de Manaus, percorre 17 bairros: Centro, Praça 14 de Janeiro, Cachoeirinha, São Francisco, Petrópolis, Raiz, Japiim, Coroadó, Educandos, Colônia Oliveira Machado, Santa Luzia, Morro da Liberdade, São Lázaro, Bethânia, Crespo, Armando Mendes, Zumbi dos Palmares e 80% da área do Distrito Industrial de Manaus. Essa bacia é composta pelos igarapés de Manaus, Mestre Chico, dos Educandos e Quarenta. Os principais tributários desse canal são o Igarapé do Mestre Chico e o Igarapé de Manaus que seguem uma direção norte-sul até a confluência com o canal principal.

A Bacia dos Educandos também é considerada assimétrica, onde o Igarapé dos Educandos representa o canal principal apresentando um paralelismo com o Igarapé do Mindú. Os canais desta bacia também apresentam o tipo Paralelo, onde os igarapés apresentam poucas ramificações. A característica marcante dessa bacia é seu formato alongado e estreito o que conferi uma peculiaridade, por ser uma bacia anômala no sistema local.

Bacia do Rio Tarumã-Açu

A Bacia do rio Tarumã-Açu possui uma área de 1.337,56 km², localiza-se na porção noroeste de Manaus, percorrendo bairros da zona norte da cidade como: Santa Etelvina, Tarumã, Cidade Nova, Novo Israel e Monte das Oliveiras. Constitui um limite natural de crescimento da cidade para oeste. Na área de estudo apenas a parte correspondente a foz está representada neste estudo. Essa bacia é composta pelos igarapés do Mariano, Tarumã, Tabatinga, Gigante e Passarinho, cujo fluxo desses tributários é de nordeste-sudoeste, muito embora a configuração geral da bacia seja de norte para sul. Essa bacia possui como canal principal o Igarapé do Tarumã ou Rio Tarumã-Açu, cujo principal tributário desse canal é o Igarapé do Passarinho, abrangendo quase todos os bairros da zona norte da cidade (Tarumã, Santa Etelvina, Monte das Oliveiras, parte da Cidade Nova, Novo Israel). O Igarapé do Passarinho segue uma direção preferencial noroeste-sudeste até a confluência com o canal principal. A Bacia do Igarapé Tarumã-Açu é considerado como um sistema assimétrico onde o Igarapé do Tarumã representa o canal central apresentando paralelismo com os Igarapés do Mindú e dos Educandos. Os canais desta bacia apresentam um padrão paralelo com poucas ramificações.

De acordo com Igreja & Franzinelli (1990) e Silva (2005) é possível que tal orientação do Rio Tarumã-Açu seja decorrente do controle de falhas N-S. talvez tal controle tectônico seja o responsável pela expressiva assimetria de drenagem dessa bacia, conforme atestou Silva (2005).

Bacia do Rio Puraquequara

A Bacia do Rio Puraquequara, conforme Silva (2005) possui uma área de 827.000 km², localiza-se na porção leste de Manaus, percorrendo os bairros de Puraquequara, Colônia Antônio Aleixo, Mauazinho, Vila Buriti, Nova República e Distrito Industrial. Essa bacia possui como canal principal o Rio Puraquequara que possui uma direção preferencial norte-sul e fluxo de norte para sul. Constitui, assim como o Rio Tarumã-Açu, um importante limite territorial urbano da cidade de Manaus.

A bacia do Rio Puraquequara é composta por alguns igarapés que cortam a cidade de Manaus, como por exemplo, o Igarapé do Inferno e o Boa Vista que envolve o bairro de Puraquequara, enquanto que o Igarapé da Lenha atravessa os bairros Mauazinho, Distrito Industrial, Puraquequara e Colônia Antônio Aleixo. Esta bacia é considerada um sistema assimétrico, com padrão subdendrítico e ainda com arranjos de segmentos paralelizados, como é observado na Figura 13.

Análise tectônica das drenagens na cidade de Manaus

Conforme foi apresentado anteriormente, a drenagem na cidade de Manaus mostra um padrão fortemente anômalo, ou seja, padrões irregulares. De acordo com a classificação adotada, esta pode ser considerada como do tipo subdendrítico com forte influência de segmentos paralelos e alinhados. Segundo a classificação genética do sistema de drenagem, onde é feita com base na sua disposição em relação a altitude das camadas geológicas, os canais principais das bacias podem ser considerados como do tipo subsequente, que são os rios cujo sentido de fluxo é controlado pela estrutura rochosa, acompanhando sempre zonas de fraqueza, pois estão condicionados em zonas de falhas e fraturas. Estes não podem ser considerados antecedentes e nem superimpostos pelo fato destes não se relacionarem geneticamente a processos tectônicos atuais e nem de acordo com o substrato rochoso que pudesse ser o agente controlador desses canais. Conforme foi atestado em diversos estudos, o controle estrutural, através de falhas e fraturas, é o elemento que direciona tais drenagens, o que portanto nos leva a consideração de rios subsequentes.

Os tipos principais de anomalias na rede de drenagem verificado na área estudada são: o paralelismo de segmentos de primeira ordem, os encurvamentos anômalos e as capturas de drenagens.

O paralelismo de segmentos de primeira ordem de drenagem é facilmente observado na porção leste da cidade, na região de limite entre as bacias do Igarapé da Bolívia e do Mindú. Tal paralelismo coincidentemente é o mesmo dos canais principais dos rios dessa área. São na maioria desses canais de primeira ordem que podem ser notados os encurvamentos anômalos, cuja relação estreita com o processo de captura é notável.

A anomalia mais conspícua na área urbana da cidade é aquela situada no bairro da Cidade Nova que compreende uma estrutura com cerca de 4 km² (Figura 14). De acordo com Silva (2005) e Silva *et al.* (2006). Essa feição se caracteriza por um padrão anelar, envolvendo principalmente a cabeceira dos igarapés do Goiabinha, Franceses e Bindá. Anomalias circulares encontradas na área da região da Bacia do Amazonas têm sido citadas desde nos trabalhos de Cunha (1973), Miranda *et al.*(1984), Miranda *et al.* (1994), Silva (2005), Silva *et al.* (2006), Delano *et al.* (2007). Esses autores consideram a origem com relacionadas ao controle estrutural em subsuperfície e em superfície.

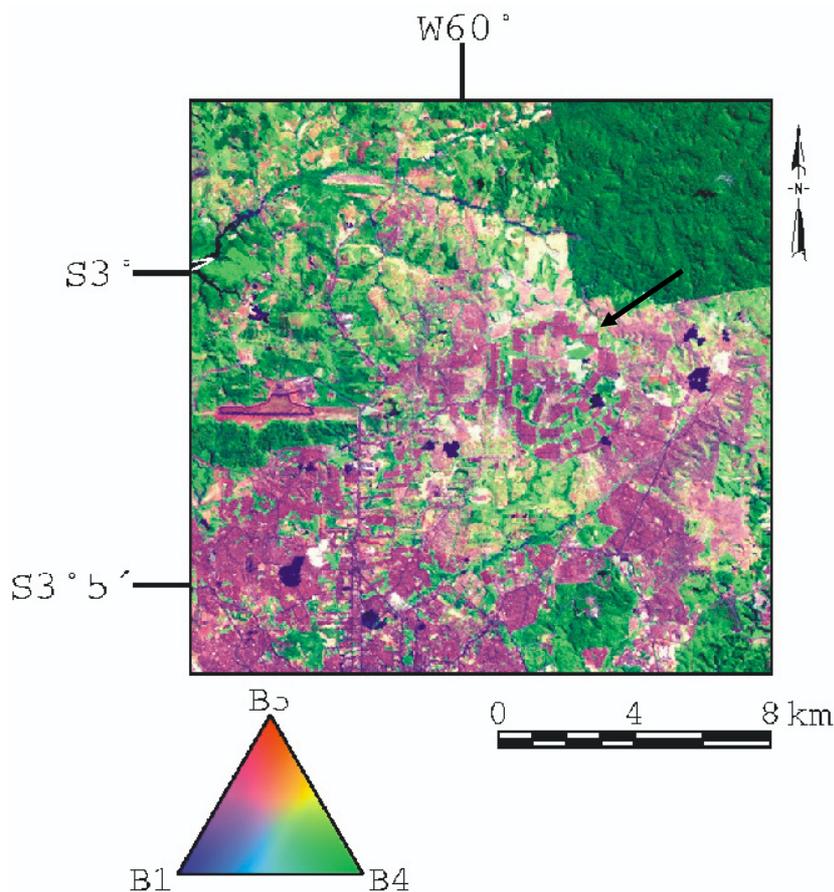
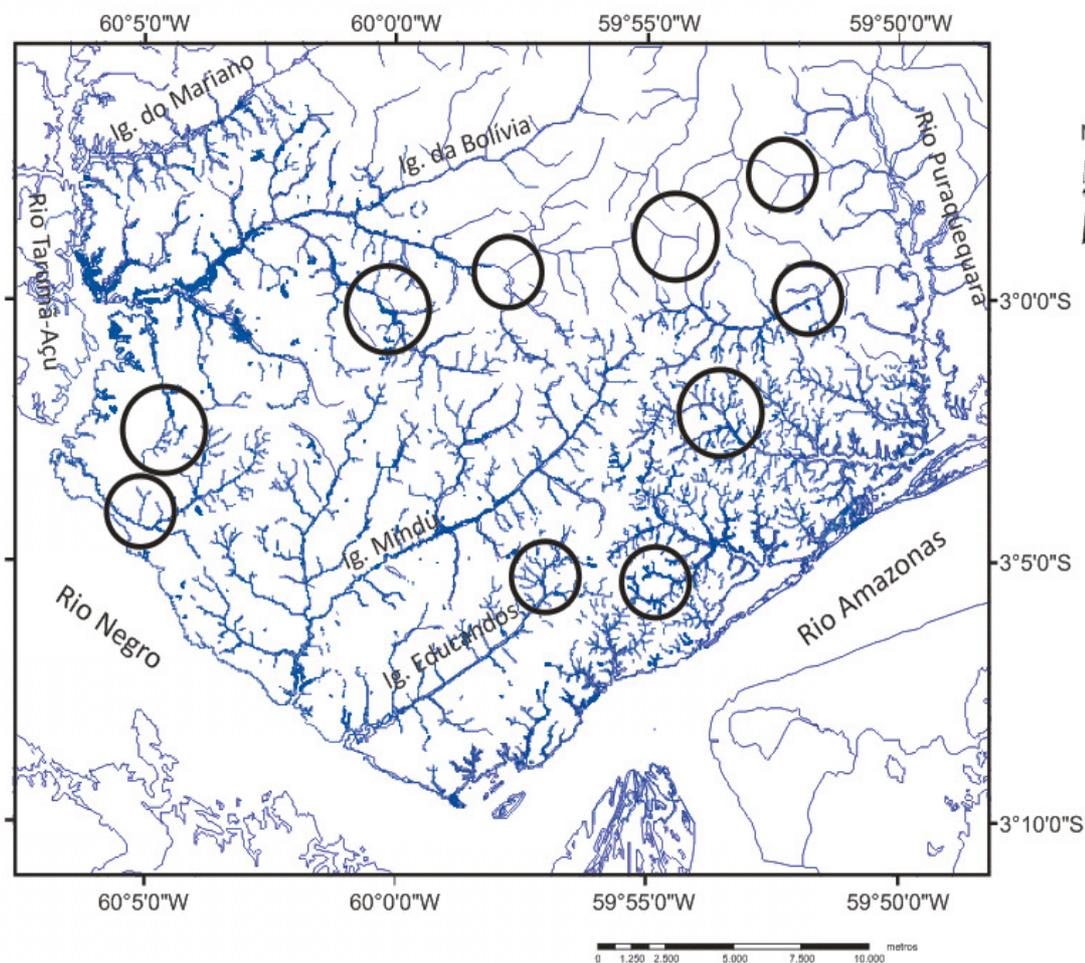


Figura 14 - Imagem de satélite Landsat ,Anomalia circular na área urbana da cidade de Manaus, onde se observa um padrão anelar do sistema de drenagem local.

As capturas de drenagem se caracterizam por encurvamentos de canais e áreas com ramificações anômalas, os quais estão geralmente ligados à drenagem principal. O mapa de capturas de drenagens está indicado na Figura 15, onde os círculos indicam os locais onde segmentos foram capturados pelos canais de maior energia. Nota-se uma estreita relação dessas áreas onde ocorrem as capturas com os interflúvios, mostrando um padrão alinhado de capturas. Essa situação justifica o aumento dos segmentos da bacia e, conseqüentemente, a assimetria apresentada pelas bacias, ou seja, o processo de captura se relaciona ao basculamento de blocos em zonas de falhas, ativação do processo de erosão, a captura de segmentos e a forma assimétrica da bacia.

Na Figura 15 estão cartografados os locais de prováveis zonas de capturas de drenagens na área urbana da cidade de Manaus, os quais são observadas no Igarapé do Mindú com Igarapé do Aleixo, no Igarapé Boa Vista e no Igarapé do Passarinho. Também são observadas na área oeste da Cidade de Manaus, onde se localiza a Bacia do Igarapé Tarumã-Açu, e ainda em alguns afluentes do Rio Puraquequara zona leste da Cidade de Manaus.

Nesses mesmos locais, nota-se a confluência de drenagem que é a junção de dois ou mais rios ou ainda a convergência para um determinado ponto, é a união ou ponto de união de dois ou mais cursos de água. Tais locais de confluência apresentam ramificações anômalas, como, por exemplo, entre os rios Negro e Amazonas, Igarapé do Tarumã, Igarapé do Passarinho, Igarapé Boa Vista, Igarapé do Mindú, Igarapé do Goiabinha, Igarapé Cachoeira Grande e Igarapé do São Raimundo, além de outros afluentes do Rio Puraquequara, Rio Tarumã-Açu e Rio Tarumã-Mirim (Figura 15).



Legenda

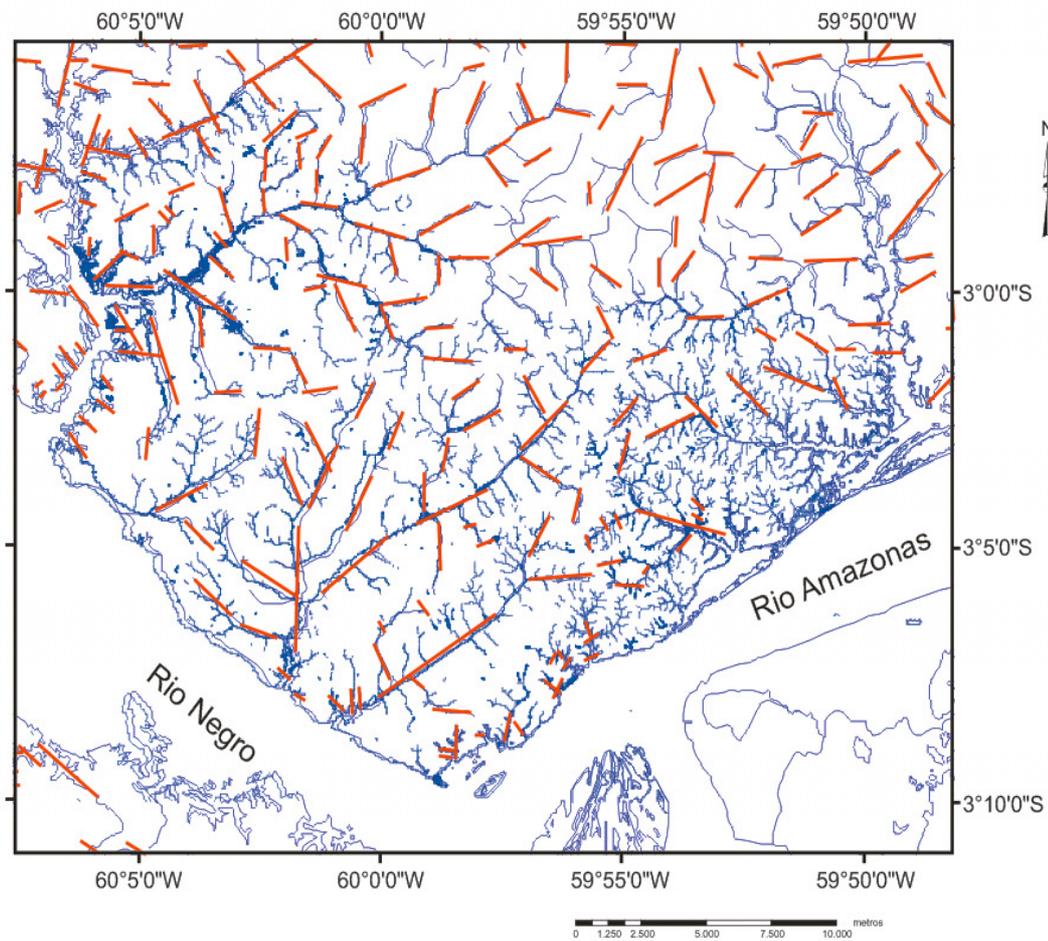
- Capturas de Drenagem e Confluências

Figura 15 - Localização das confluências e capturas de drenagem da área em estudo.

Lineamentos de Drenagem

Conforme mencionado no item materiais e métodos foram individualizados elementos retilíneos na rede de drenagem, a partir da base cartográfica na escala de detalhe (1:10.000) e na escala menor (1:100.000), conforme apresentado na Figura 15. Os principais lineamentos da rede de drenagem, observados na Figura 16, compreendem segmentos com direção NE-SW e NW-SE. Destaca-se que os lineamentos com direção NE-SW correspondem aos igarapés de São Raimundo, Educandos, Mindú e alguns tributários dos rios Tarumã-Açu e Puraquequara. A direção NW-SE está, mormente apresentada por canais tributários ou ainda relacionada aos pequenos cursos próximos ao rio Puraquequara, como, por exemplo, o Igarapé do Aleixo, na zona leste da cidade.

As direções N-S estão principalmente representadas pelos rios Tarumã-Açu e Puraquequara onde estes também representam os limites oeste e leste da cidade respectivamente. Na área urbana da cidade de Manaus, o Igarapé do São Raimundo também possui essa direção preferencial. Já os lineamentos E-W são bem visíveis na parte central e norte da cidade. Estes estão associados a canais de primeira ordem e que constituem segmentos contínuos, mas poucos representativos com relação aos demais lineamentos. Os lineamentos de drenagem com direção N-S são igualmente importantes, como por exemplo, o Rio Tarumã-Açu, e também a direção E-W que representam segmentos representativos com ordem variada na drenagem.

**Legenda**

— Lineamentos

Figura 16 - Lineamentos de drenagem da área estudada.

O diagrama de rosetas confeccionado para esses lineamentos, cerca de 220 segmentos analisados, mostrou o predomínio da direção E-W para o diagrama do número total de lineamentos verificados (Figura 17A). Conforme essa figura, os lineamentos NW-SE são pouco mais predominantes que aqueles orientados a NE-SW. Entretanto, nota-se que aqueles posicionados no *trend* N-S são significativos. Já para o diagrama que representa o número total de segmentos, este é bastante similar ao diagrama anterior (Figura 17B). Nessa figura, destaca-se que as diferenças apontadas na figura 17A são mais realçadas. A média dos lineamentos, observadas na Figura 17C, parece representar a situação mais real, onde os segmentos NE-SW e NW-SE são mais visíveis no sistema de drenagem. Isso se deve ao fato dessas orientações representarem os canais principais e os tributários, respectivamente. Enquanto que os segmentos N-S e E-W representam segmentações menores (trechos) orientados dos canais, seja em canais de primeira ordem ou de ordem variada.

A partir da análise do diagrama de comprimento médio dos valores as principais classes de lineamentos de drenagem respectivamente são: N05-35E, N55-65E, N65-75W, N45-65W, E-W e N-S.

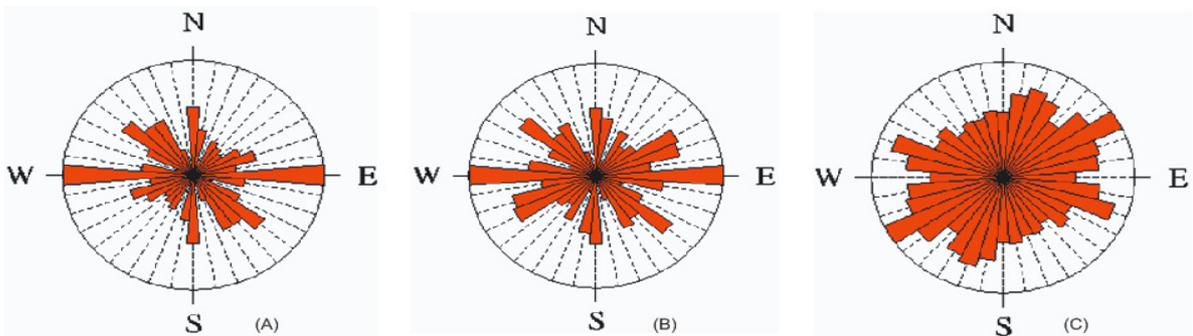


Figura 17 - Diagrama de roseta dos lineamentos de drenagem obtidos através da análise no mapa de curvas de nível e no modelo SRTM, com um total de 217 lineamentos foram obtidos. Os diagramas se referem: A – número total de lineamentos, B – comprimento total, C – Comprimento médio.

Análise do relevo

A cidade de Manaus está inserida em uma única unidade geomorfológica, a qual está sustentada por sedimentos e rochas cretáceas da Formação Alter do Chão. Essa situação geológica é que se pressupõe como principal fator controlador da paisagem local. A principal morfologia da cidade compreende o relevo formado por colinas pequenas com encostas que apresentam perfil convexo, topos aplainados (tabuleiros) separados por vales fechados e estreitos com sedimentação aluvionar restrita (Figura 18).

De acordo com o mapa geomorfológico elaborado no Projeto Radambrasil (BARBOSA *et al.*, 1974, NASCIMENTO *et al.*, 1976 e LOURENÇO *et al.*, 1978), Manaus se enquadra na unidade morfoestrutural denominada de “Planalto Dissecado Rio Trombetas – Rio Negro”. Porém, segundo o mapa de unidades de relevo do Brasil do IBGE (2006), essa unidade geomorfológica é denominada de Planalto Rebaixado dos rios Negro-Uatumã. Em ambas denominações, essa unidade de relevo corresponde essencialmente a distribuição da Formação

Alter do Chão, cujo relevo está constituído por colinas pequenas e médias dissecadas com vales estreitos e fechados, onde a drenagem bem desenvolvida é do tipo subdendrítica (SILVA, 2005).

As margens dos rios Negro e Amazonas são já diagnosticados na literatura como formado por “falésias fluviais” (Figura 18 A até D). Estas configuram desníveis de 20 m ou mais com forte inclinação do talude. Nessa situação e com ação fluvial inerente é comum o processo de desmoronamento das encostas parte pela ação apenas fluvial e parte pela existência de descontinuidades tectônicas nas margens (Figura 18 D).

O relevo de Manaus é bastante peculiar. Os platôs topográficos constituem as áreas mais elevadas e se situam no máximo a 100 m acima do nível do mar, tais como aqueles situados nos bairros Cidade Nova, Parque das Nações, Aleixo, que possuem cotas em torno de 90 m, 83 m e 86 m, respectivamente. Os vales são bem encaixados, fechados e profundos, com desníveis da ordem de 30 m, formam, por vezes, feições escarpadas. O relevo é fundamentalmente composto por colinas pequenas e médias com topos aplainados com encostas íngremes, o que demonstra uma situação de desníveis considerados na área urbana (Figura 18 E), contrastando com colinas pequenas com perfil convexo em outras áreas (Figura 18 F).

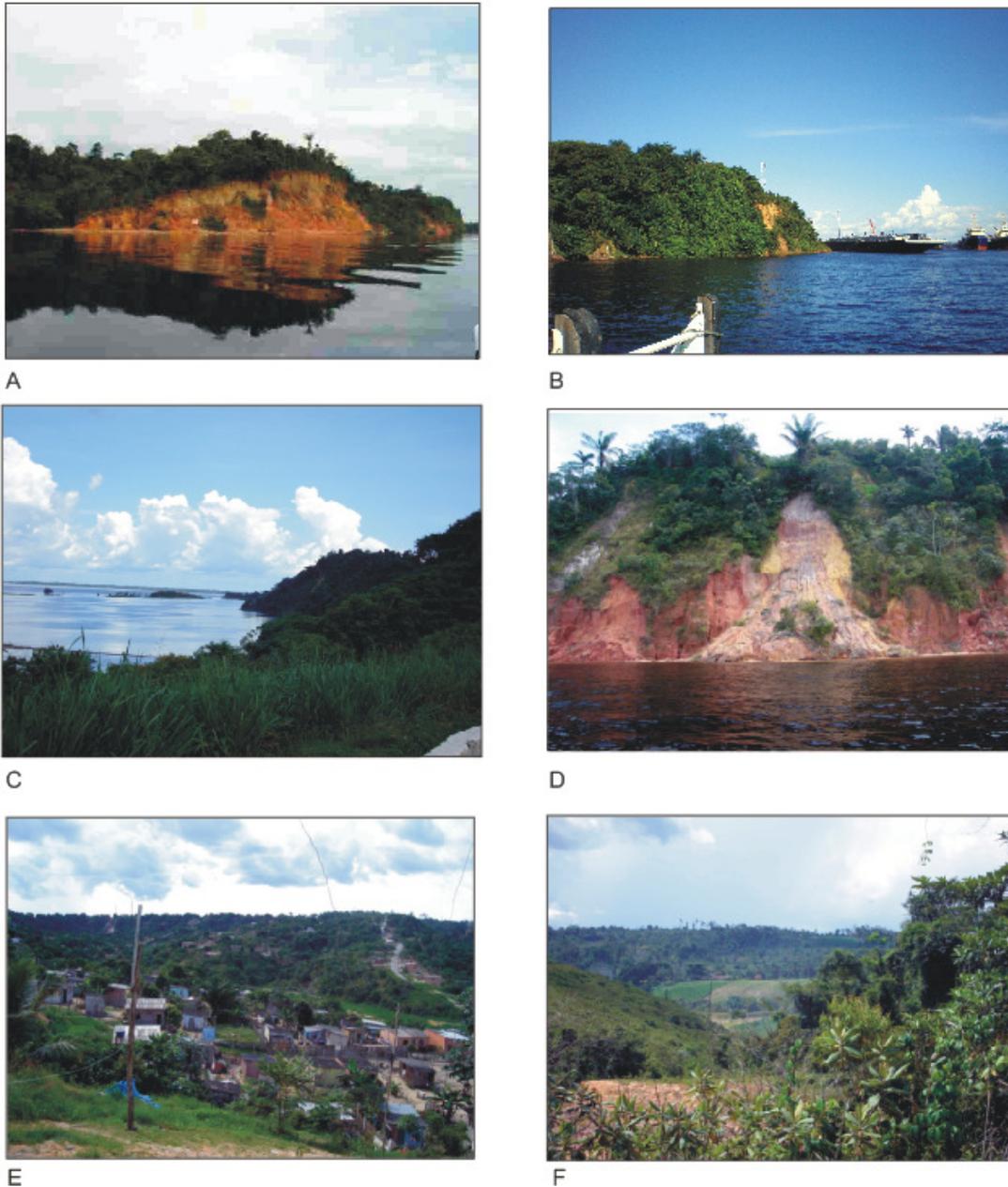


Figura 18 - Formas do relevo na área de estudo. A a D: zonas de escarpas “falésias fluviais” nas margens do rio Negro e Amazonas (A – margem direita do rio Negro; B – Margem esquerda do rio Negro, próximo ao bairro da Compensa; C – Zona leste da cidade, Colônia Antônio Aleixo; D – margem direita, próximo ao encontro das águas). E – Colinas com topo aplainado e vale em “V” na zona leste da cidade. F – Colinas dissecadas, com perfil convexo, e áreas escarpadas ao fundo com vales estreitos e alongadas, zona leste, Distrito Industrial.



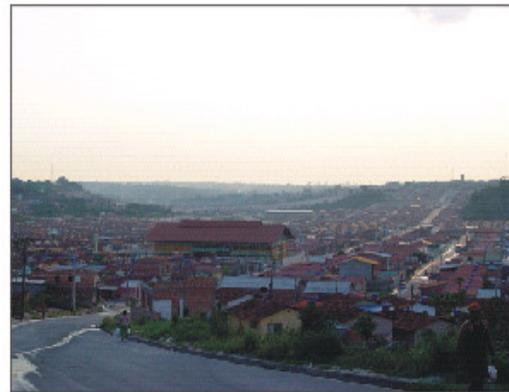
A



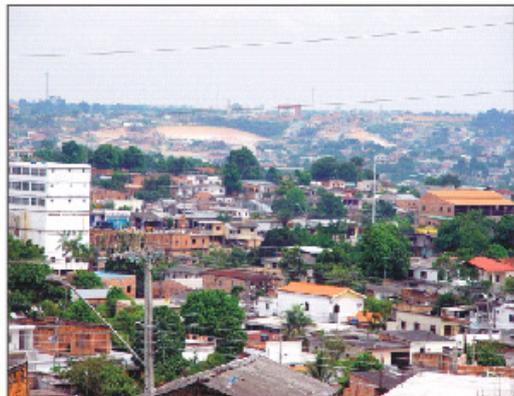
B



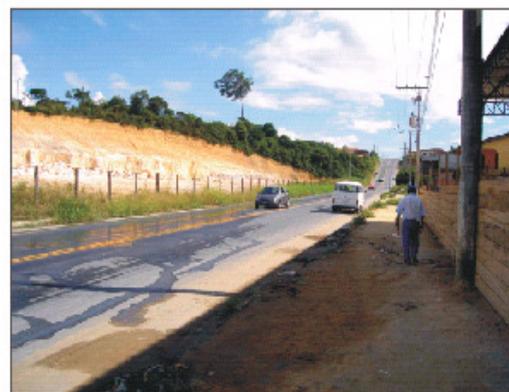
C



D



E



F

Figura 19. Formas do relevo na área de estudo. A a D: zonas de escarpas “falésias fluviais” nas margens do rio Negro e Amazonas (A – margem direita do rio Negro; B – Margem esquerda do rio Negro, próximo ao bairro da Compensa; C – Zona leste da cidade, Colônia Antônio Aleixo; D – margem direita, próximo ao encontro das águas). E – Colinas com topo aplainado e vale em “V” na zona leste da cidade. F – Colinas dissecadas, com perfil convexo, e áreas escarpadas ao fundo com vales estreitos e alongadas, zona leste, Distrito Industrial.

As áreas altas com topos aplainados e fortes declives compreendem, na verdade, aos limites interfluviais das bacias existentes, enquanto que as zonas de colinas predominam nas zonas entre os interflúvios e os vales de drenagens (Figura 19).

A cidade apresenta um relevo fortemente estruturado. O diferencial da morfologia dessa cidade está no efetivo controle tectônico no relevo, o que implica no arranjo orientado de interflúvios e das formas do relevo. As colinas desta superfície possuem cotas que variam de 50m a 100m, destacando-se relevos de colinas e interflúvios orientados nas direções NW-SE e NE-SW e são marcadas por fortes rebordos erosivos com vales estreitos em “V”.

Na figura 19 observa-se uma série de formas de relevo que compõe a superfície geomorfológica da cidade de Manaus. Na figura 19 A é apresentada a forma de colina com encostas suaves entrecortada por igarapés e com forte corte na morfologia notada na margem do rio (falésia fluvial). No detalhe dessa forma de relevo, conforme Figura (19 B), a encosta é suave contrastando com a morfologia em falésia na margem dos rios. A forma colinosa é relevo típico na cidade, como notado na Figura (19 C), cujo relevo é sustentado por sedimentos caulíníticos da Formação Alter do Chão com ou sem crosta laterítica desenvolvida. Esse perfil é clássico de sistema de erosão existente, onde as formas estão dissecadas pelo sistema de drenagem atual.

Nessa figura existe a ocorrência de falhas que aparentemente afetam as camadas cretáceas, a crosta laterítica e, conseqüentemente, o solo. No entanto, dever-se-ia esperar um desnivelamento no relevo motivado pela ação da falha, seja na formação de escarpamentos ou simplesmente uma ondulação no relevo. Poderia ser conjecturada a questão da formação de falhas “cegas”, mas tal feição não é possível de existir em virtude de esta cortar os níveis mais superiores. A explicação mais plausível deve envolver a modelagem do relevo falhado pelo franco processo de erosão predominante na área.

No entanto, algumas anomalias foram diagnosticadas na área de estudo, como no caso no bairro da Nova Cidade (Figura 19 D). A existência de uma anomalia do relevo em forma circular, apontada por Silva *et al.* (2006), justifica o padrão de perfil de encosta curvilíneo, topo tabular e vale aberto, cujo relevo é resultante de uma estrutura intrusiva em subsuperfície. As bordas de feição denominada por aqueles autores de “anomalia circular na cidade de Manaus” apresenta superfícies elevadas, conforme mostrado na Figura (19 E), contrastando com o relevo de colinas pequenas a médias na cidade. A Figura (19 F) mostra claramente essa divisão, onde a parte baixa, formada por colinas com encosta convexa e com declive suave, está desnivelada da área mais elevada da anomalia circular.

A análise das curvas de nível para a área de estudo, obtida a partir dos modelos SRTM, denota características interessantes (Figura 20). No relevo predomina colinas bastante dissecadas, com cotas que alcançam no máximo 100 m de altitude, que ocorrem mais notoriamente na porção norte da área estudada. Um nível topográfico interessante compreende a cota de 50 m, que predomina como uma superfície de dissecação. Os vales, onde estão encaixadas as drenagens estreitas e com restrita sedimentação aluvionar, estão mais diagnosticados na superfície de 25 m. Esse nível topográfico também corresponde às margens leste e oeste da cidade, onde estão encaixados os rios Negro e Amazonas. Nessa figura é possível já a visualização de uma superfície geomorfológica fortemente dissecada pelo sistema de drenagem, a qual estabelece padrões de dissecação diferenciados, mas que avançam para a paleosuperfície residual situada a norte da área.

No modelo 3-D, confeccionado a partir da integração de dados SRTM e cartas topográficas na escala 1:100.000, observa-se um relevo não superior a 100 m que predomina na área da cidade de Manaus (Figura 21). A superfície geomorfológica da área estudada compreende, conforme a figura apresentada, a superfície desse nível topográfico, o qual apresenta

estruturado por lineamentos de relevo é NE-SW e NW-SE, áreas desniveladas e dissecadas e vales com drenagem encaixada. No detalhe, o modelo apresentado na Figura 22 mostra que os interflúvios são estreitos e alinhados e separam vales bem definidos. Em tal situação a ocorrência de capturas de drenagem é um fenômeno justificável por essas questões da erosão *versus* estreitamento dos interflúvios. No entanto, a orientação desses divisores associado aos lineamentos no relevo introduz um novo elemento morfoestrutural na paisagem que certamente interfere no processo de captura de drenagem.

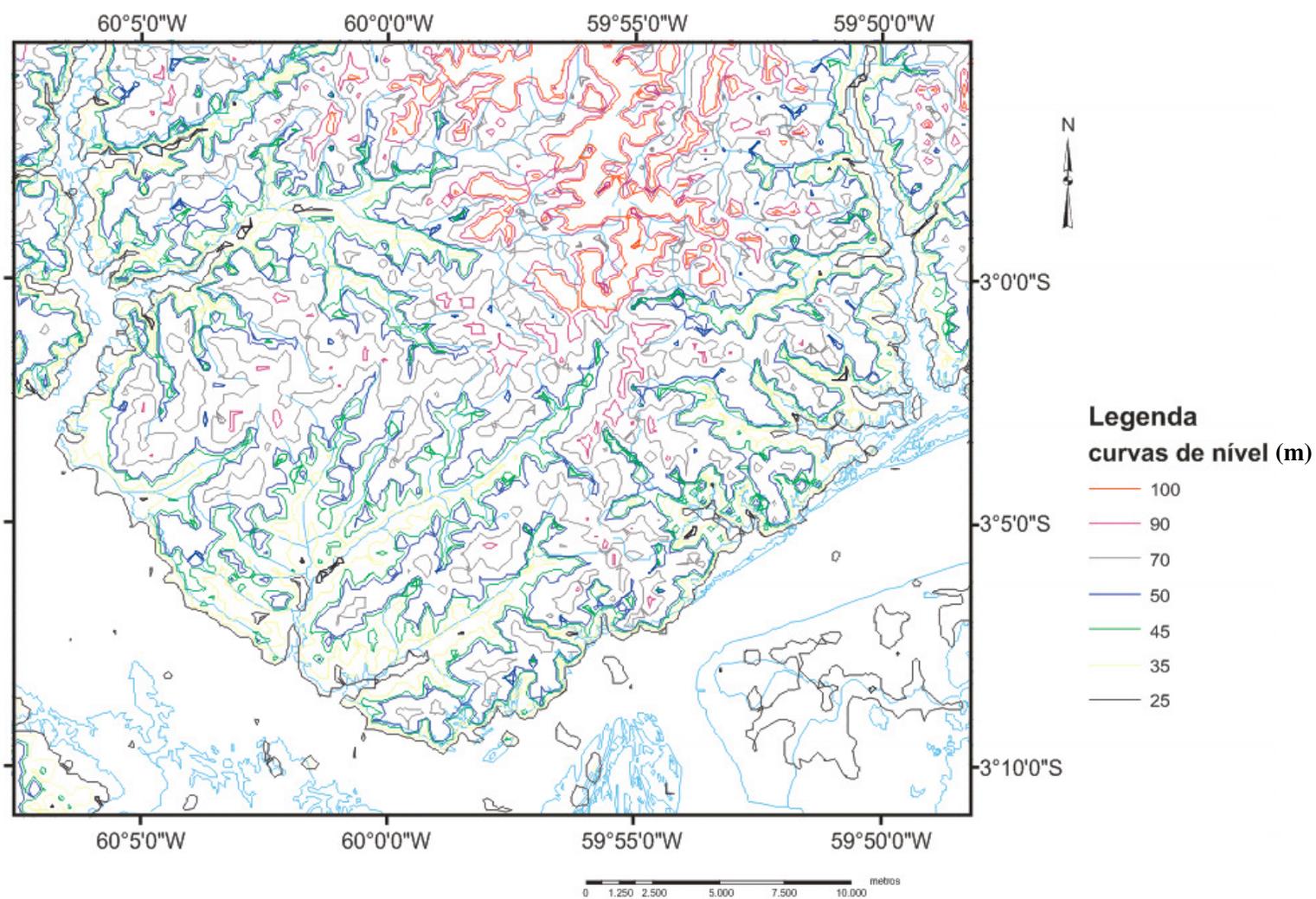


Figura 20 - Mapa de curvas de nível da região estudada.

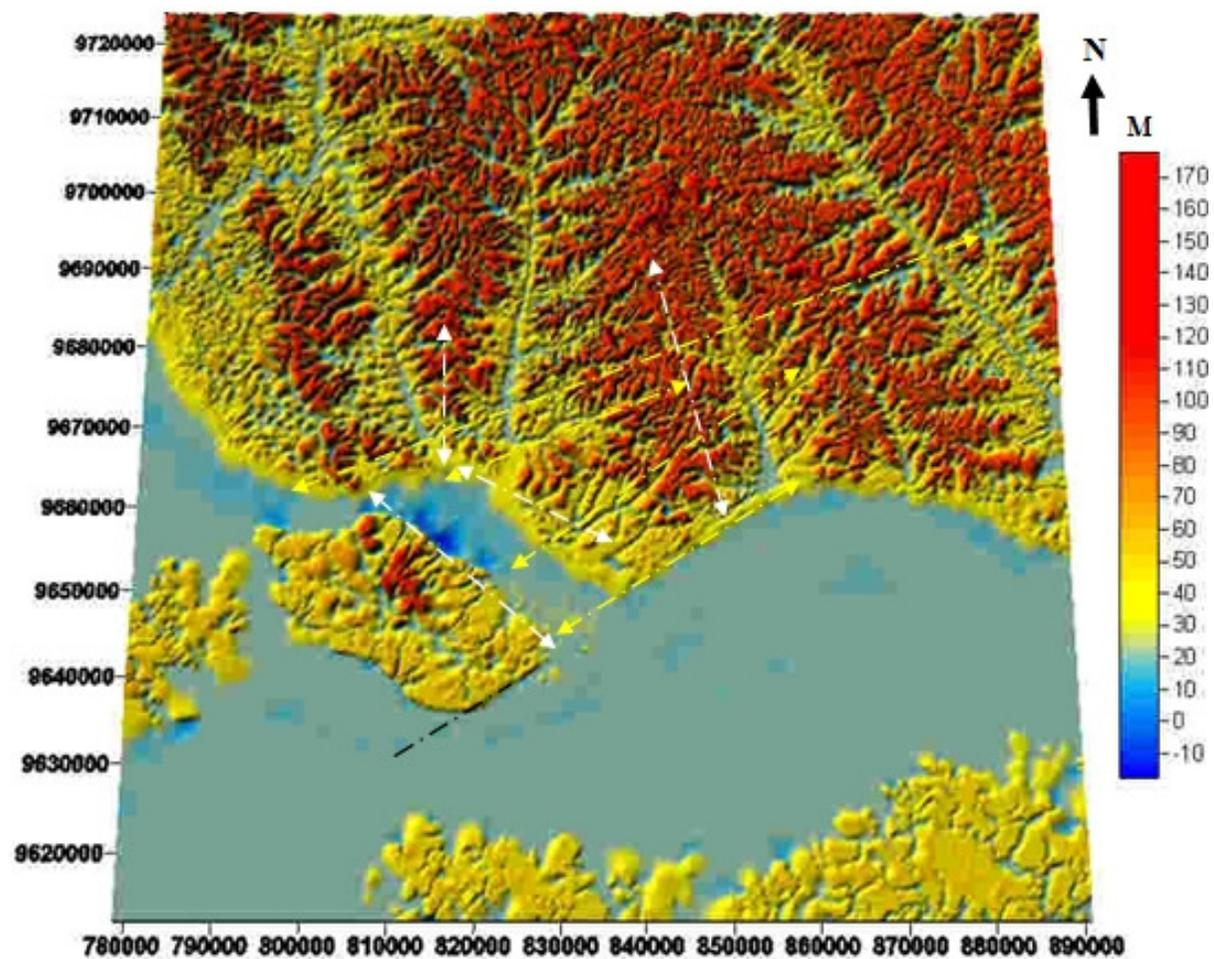


Figura 21- Modelo 3-D obtido a partir da integração de dados SRTM e cartográficos, na escala 1:100.000. Notar o forte padrão de dissecação do relevo e o desnivelamento de superfícies por zonas de escarpas de falhas.

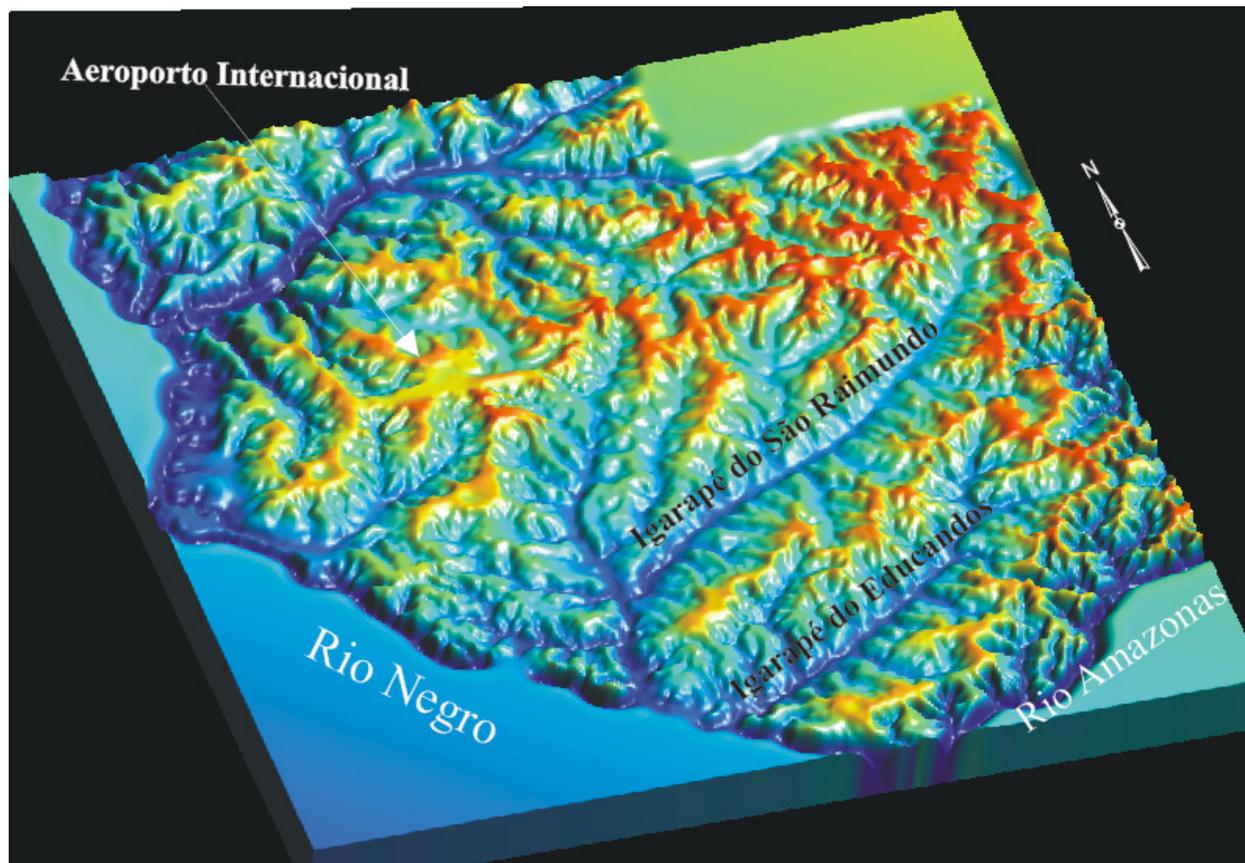


Figura 22 - Modelo 3-D de detalhe da cidade de Manaus, obtido por Silva (2005), que mostra interflúvios estreitos, alongados e orientados e vales de drenagem bem encaixada.

Essa forte dissecação do relevo pode ser notada na Figura 23 que mostra dois perfis topográficos NW-SE (Perfil A-B) e E-W (Perfil C-D). O primeiro foi elaborado perpendicular entre os igarapés do Mindú, afluente do Igarapé do São Raimundo, e Educandos. Nesse perfil, o que pode ser descrito é o forte encaixe dos igarapés com vales bem definidos, os quais se correspondem aos lineamentos de relevo NE-SW, que orientam esses dois canais. No segundo caso, o perfil confeccionado na porção norte da área envolve a superfície mais elevada. Nesse caso fica bem evidente o grau de dissecação da morfologia do relevo em perfil convexo, enquanto que nos vales de drenagem, mais abertos, representam uma superfície bem aprofundada pela drenagem. Tal observação pressupõe uma área mais alta (soerguida?), mas onde o processo de erosão predomina.

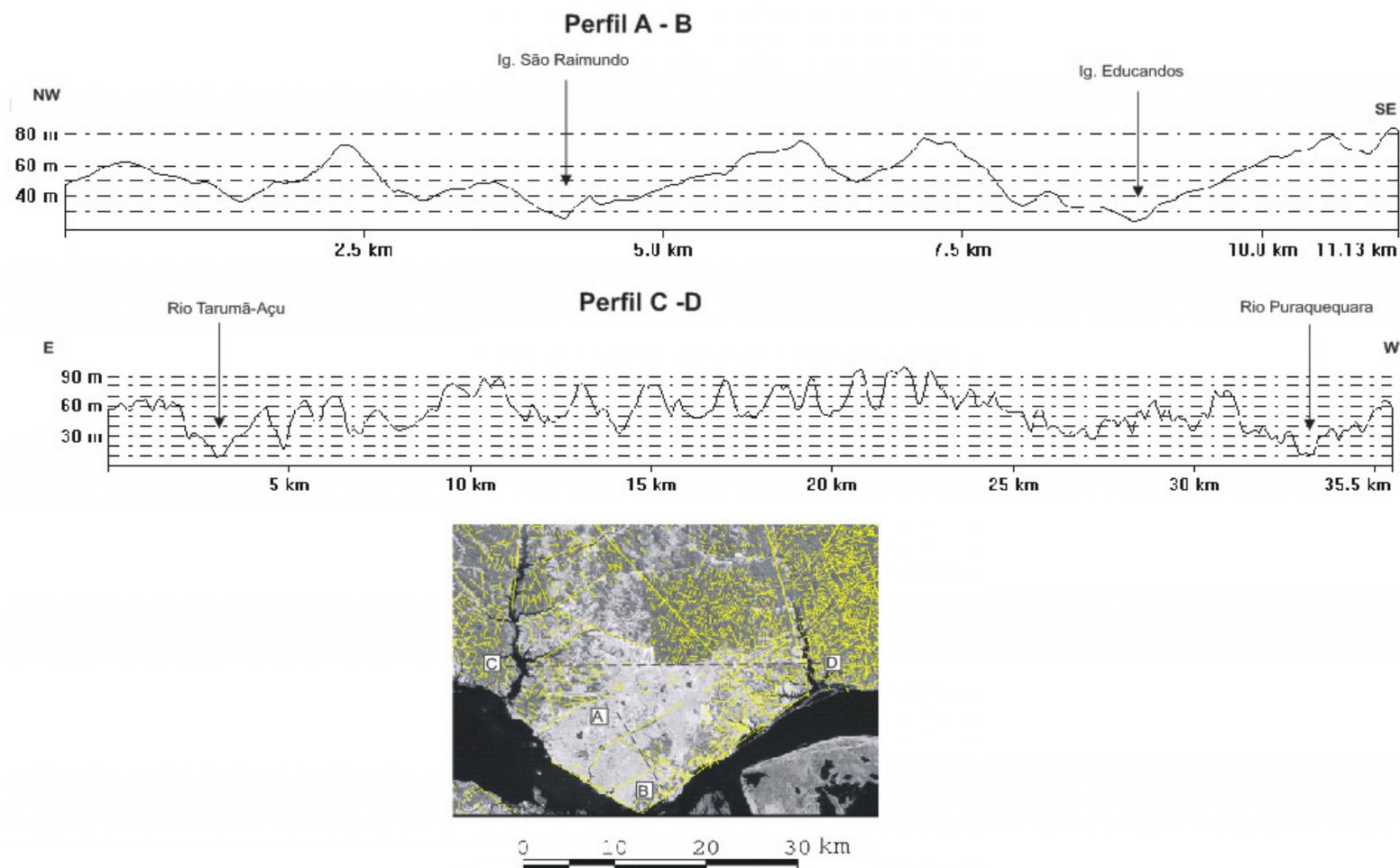


Figura 23 - Perfis topográficos na cidade de Manaus em duas direções NW-SE (perfil A-B) e E-W (perfil C-D).

Lineamentos de Relevo

O mapa de lineamentos de relevo da região estudada, elaborado a partir de elementos lineares em curva de nível (Figura 24) e das feições no modelo 3-D SRTM (Figura 25), mostra importantes alinhamentos de relevo que foram destacados e que compreendem as direções NE-SW, NW-SE, N-S e E-W. Estes constituem significativos elementos morfoestruturais ou *landforms* tectônicos que controlam o sistema de relevo da região, os quais se caracterizam como escarpas de falhas, zonas interfluviais, vales de drenagens de canais principais ou em tributários.

Os lineamentos observados nessas figuras se caracterizam por segmentos maiores e menores, os quais constituem zonas contínuas e descontínuas. A interpretação de lineamentos segue o mesmo conceito de O’Leary (1976), ou seja, que um lineamento representa uma feição estrutural com continuidade em subsuperfície.

O principal lineamento de relevo na direção NW-SE é a “escarpa do rio Negro”, oeste da cidade de Manaus, que constitui a margem esquerda desse rio. No entanto, nota-se alguns segmentos lineares, como, por exemplo, o lineamento transversal o Igarapé do Educandos e a orientação do Igarapé do Aleixo. Os lineamentos na direção NE-SW se caracterizam por segmentos com comprimentos menores, onde estão encaixados os tributários das drenagens principais, destacam-se os seguintes lineamentos: a) escarpa da margem esquerda do rio Amazonas, borda leste de Manaus; b) Igarapé do Educandos; c) Igarapé do Mindú; d) Interflúvio entre os igarapés do Mindú e da Bolívia; e) Igarapé da Bolívia; f) Interflúvio entre os igarapés da Bolívia e Mariano; g) Igarapé do Mariano.

As escarpas com direção N-S são mais restritas e compreendem basicamente a orientação dos rios Tarumã-Açu e Puraquequara, respectivamente a oeste e leste da cidade. Na área central da cidade, é possível notar ainda um segmento N-S de modo bem discreto.

E por fim as escarpas E-W, menos frequentes, estão associadas a porção norte da área urbana da cidade de Manaus, incluindo a foz do Igarapé Tarumã-Mirim e a foz do Rio Puraquequara (igarapés Boa Vista e Mauazinho).

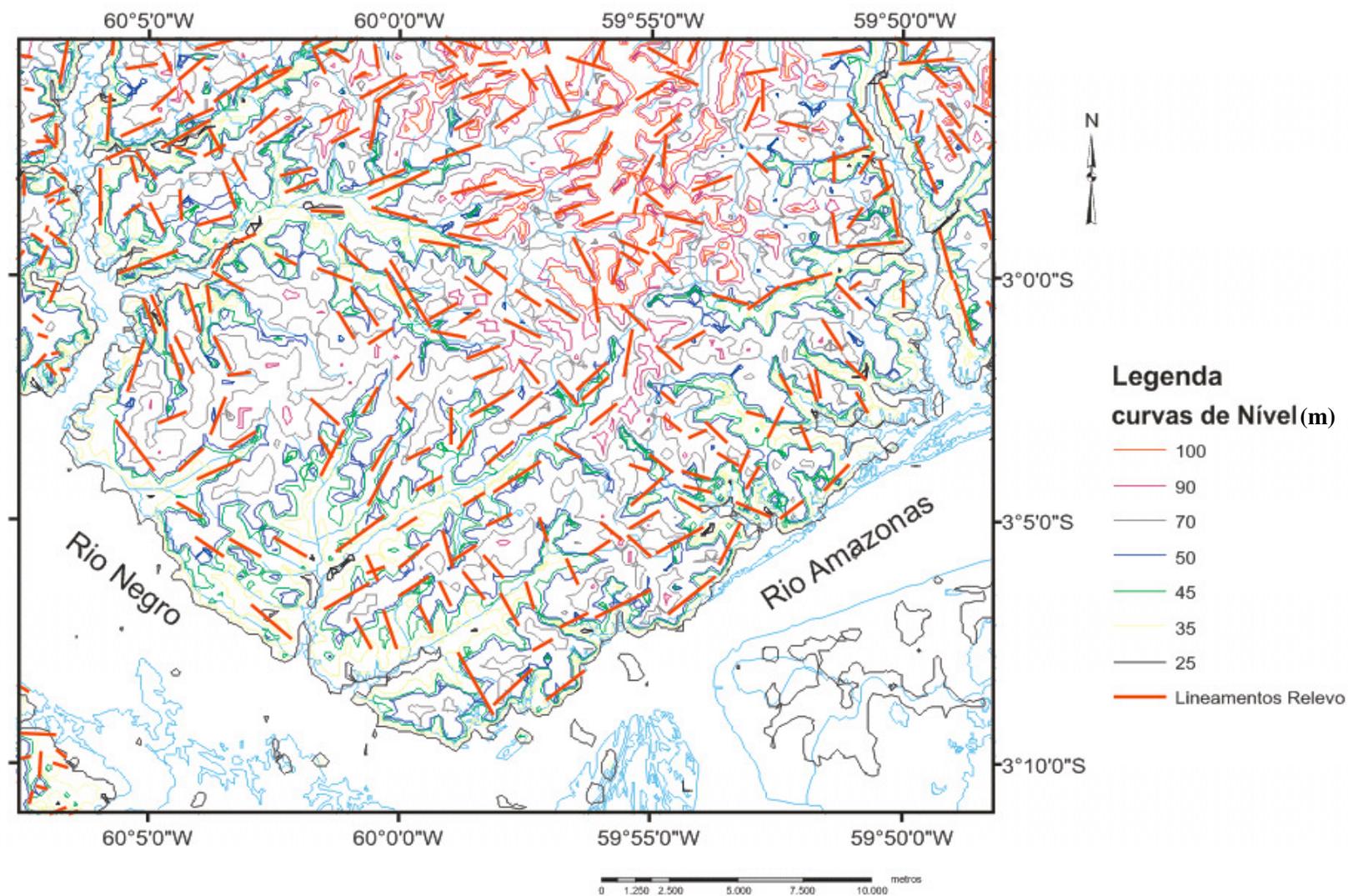


Figura 24 - Mapa de lineamentos do relevo.

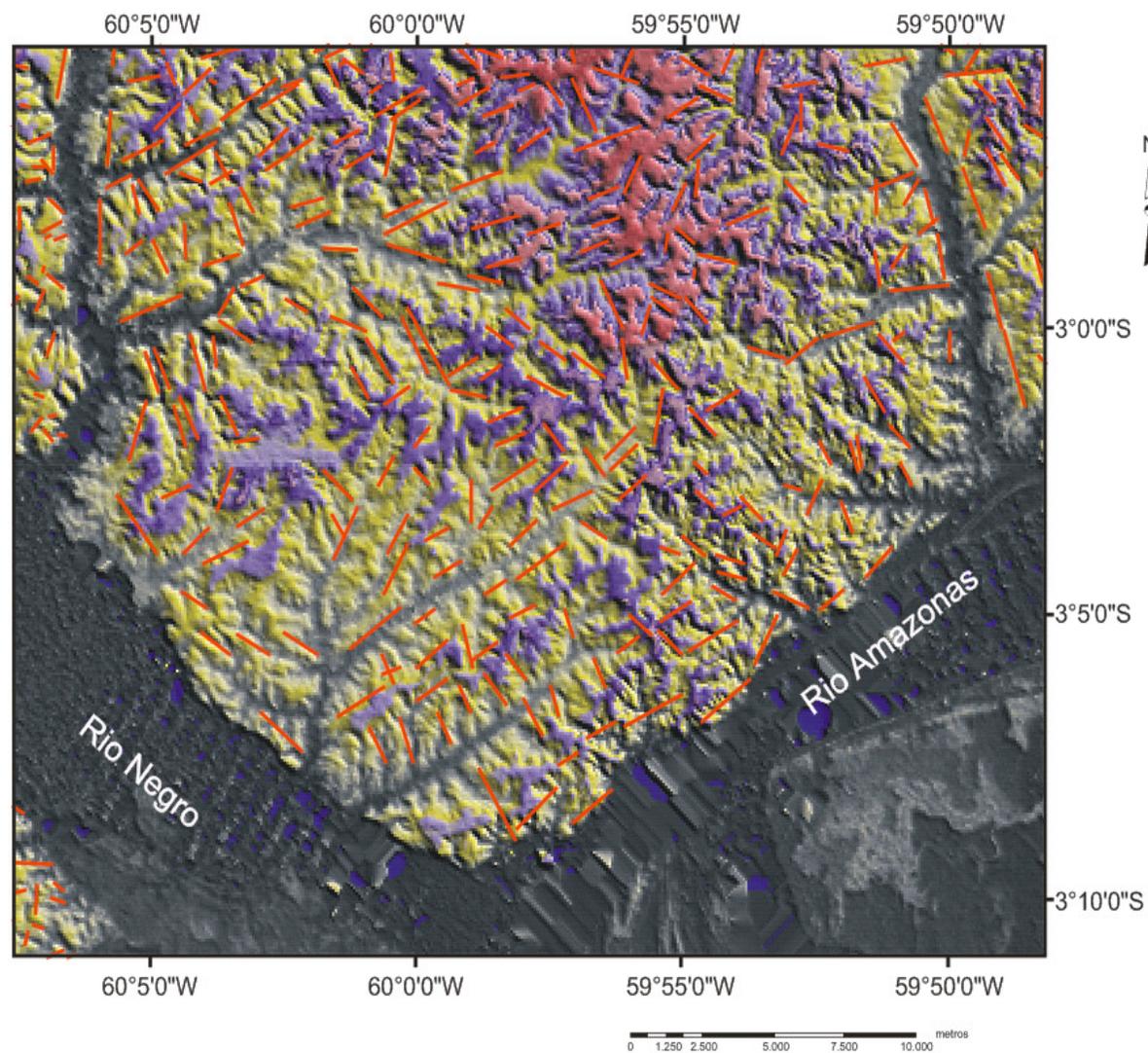


Figura 25 - Modelo SRTM da área urbana da cidade de Manaus com destaque aos lineamentos de relevo (em vermelho).

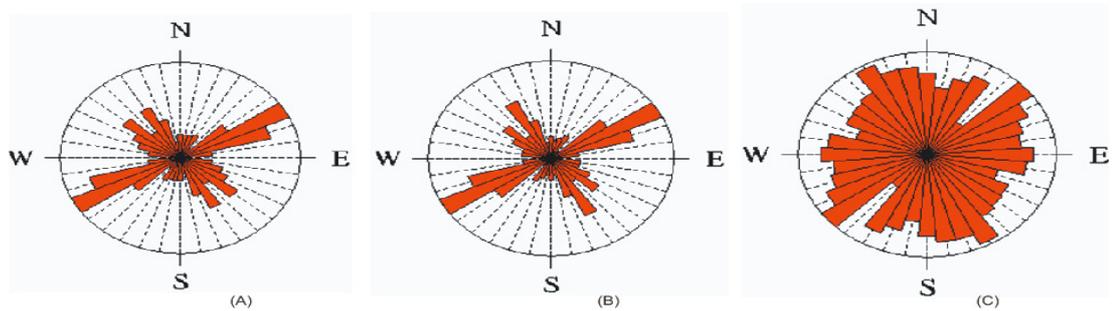


Figura 26. Diagrama de roseta dos lineamentos de relevo obtidos através da análise no mapa de curvas de nível e no modelo SRTM, com um total de 282 lineamentos foram obtidos. Os diagramas se referem: A – número total de lineamentos, B – comprimento total, C – Comprimento médio.

O diagrama de rosetas desses lineamentos, cerca de 282 segmentos analisados, demonstrou claramente o predomínio da direção NE-SW em todos os diagramas elaborados, tanto como número total de segmentos (Figura 26 A), comprimento total (Figura 26 B) e comprimento médio (Figura 26 C). Nessa figura, os lineamentos NW-SE são pouco predominantes que aqueles orientados a NE-SW, o que, de certa maneira define essas duas direções como as principais na área estudada. Tanto os *trend* N-S quanto o E-W são pouco significativos. Isso representa que tais direções não são notadas no relevo, não representam importantes orientações na paisagem ou ainda são muito jovens na estruturação do relevo regional e local. No caso em particular, dos lineamentos N-S, quando comparados aos lineamentos na rede da drenagem, estes são bem visíveis, porém restritos aos vales dos rios Tarumã-Açu e Puraquequara.

Conforme foi discutido anteriormente, os segmentos NE-SW correspondem aos vales e interflúvios dos rios Educandos, Mindú, Igarapés da Bolívia e Mariano e a margem esquerda do rio Amazonas, enquanto que a direção NW-SE compreende a margem esquerda do rio Negro e alguns canais tributários.

As principais classes de lineamentos de relevo mostram a seguinte distribuição: N55-65E, N65-75E, N35-35W, N45-55W, N0-15W, N0-15E e E-W. As duas direções principais N55-65E

e N45-55W compreendem aproximadamente as mesmas orientações para o sistema de drenagem, conforme Figura 17.

Conforme observado na imagem de satélite da Figura 23, são observados os lineamentos estruturais (linhas amarelas) obtidos nas imagens de satélites Landsat ETM+ e TM, os quais foram comparados aos lineamentos de drenagem e relevo da região. Estes se correlacionam com as direções morfoestruturais apresentadas. Cerca de 730 lineamentos estruturais foram obtidos, conforme apresentado no diagrama de rosetas da Figura 27. Boa parte de estruturas lineares na área de Manaus não pode ser extraída, por causa da urbanização. As direções principais presentes no diagrama foram: E-W, NW-SE, NE-SW e N-S.

Essas orientações são bastante similares aos lineamentos de drenagem, os quais também destacam a direção E-W nos diagramas para número total e comprimento total dos lineamentos. Na média dos valores, no entanto, predominam as orientações NE-SW e NW-SE, mas com destaque para as direções E-W e N-S. A análise dos lineamentos obtidos em imagens de satélite na verdade correspondem as feições obtidas principalmente no relevo e na drenagem, sendo mais concordante com a rede de drenagem.

Segundo esse diagrama, as direções que mais se destacam são, conforme os valores médios (Figura 27 C): N65-75E, N65-75W, N35-55E, N35-65W, N75-90E, N85-90W, N0-15W e N0-15E.

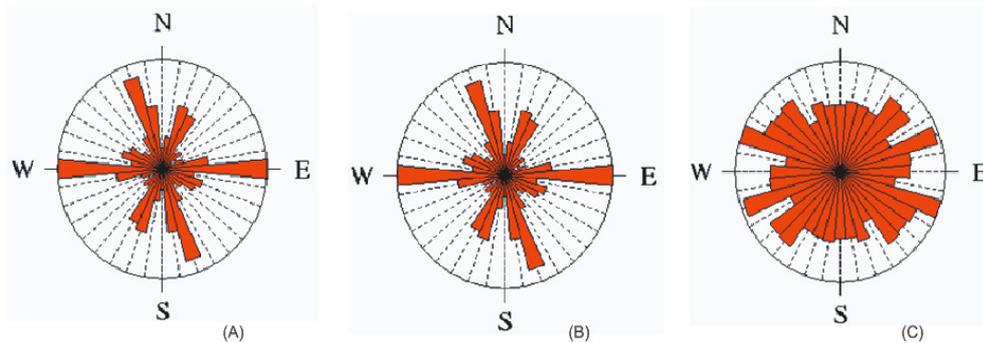


Figura 27. Diagrama de roseta dos lineamentos obtidos através da análise em imagens de satélite. Cerca de 730 lineamentos foram obtidos. Os diagramas se referem: A – número total de lineamentos, B – comprimento total, C – Comprimento médio.

Compartimentação morfoestrutural da cidade de Manaus

A partir do destaque de lineamentos em imagens de satélite, no relevo e na drenagem foi elaborado o mapa das mais marcantes feições lineares na cidade de Manaus, conforme mapa da Figura 26. Nessa figura são nomeados os seguintes lineamentos:

- a) Com direção NE-SW: Lineamento da margem esquerda do Rio Amazonas, Lineamento do Igarapé dos Educandos, Lineamentos do Igarapé do Mindú, Lineamento do Igarapé da Bolívia e Lineamento do Igarapé do Mariano;
- b) Com direção NW-SE: Lineamento da margem esquerda do Rio Negro, Lineamento transversal ao Igarapé dos Educandos e Lineamento do Igarapé do Aleixo;
- c) Com direção E-W: Lineamento da porção norte de Manaus e Lineamento da boca do Puraquequara;
- d) Com direção N-S: Lineamento do Rio Puraquequara, Lineamento do Igarapé do Tarumã-Açu, Lineamento norte de Manaus e Lineamento do Igarapé do São Raimundo.

Para compor a compartimentação morfoestrutural da cidade de Manaus é necessária ainda a relação desses lineamentos com as zonas de falhas mapeadas por Silva (2005), mais

apropriadamente na área urbana. Essa análise permitiu a correlação das falhas obtidas em campo e sua relação com a morfologia, a qual pode ser observada na Figura 29.

De acordo com essa figura observa-se claramente a relação das zonas de falhas com os lineamentos morfoestruturais apresentados na figura anterior. O lineamento da margem esquerda do Rio Negro compreende uma zona de falhas normais (N30E/60SW) com basculamento para sudeste compatível com a orientação da escarpa de falha nessa área e a orientação daquele rio. Nos afloramentos do arenito Manaus, na Praia da Ponta Negra, os dados estruturais de Silva (2005) confirmam o predomínio da direção NW-SE (Figura 27).

Essa deformação se estende para norte, ao longo da Avenida do Turismo, por meio de falhas com a mesma orientação, porém com mergulhos tanto para sudoeste quanto para nordeste. Nesse caso, estas configuram um sistema de falhas lítricas com geometria dos blocos em horstes e grábens.

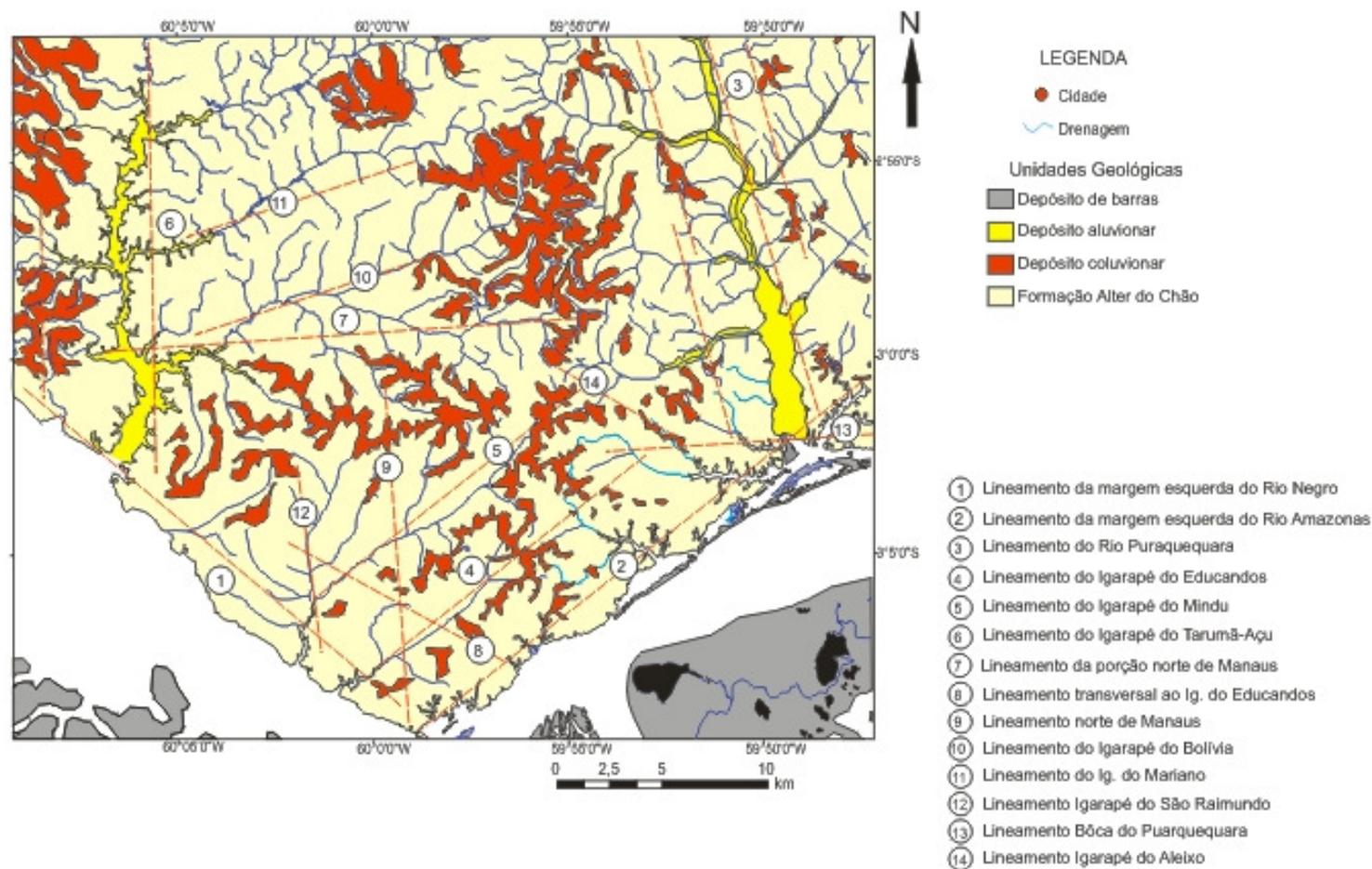


Figura 28 - Mapa de lineamentos morfoestruturais da cidade de Manaus, obtido a partir da análise integrada de lineamentos de relevo, drenagem, modelo SRTM e imagens de satélite Landsat.

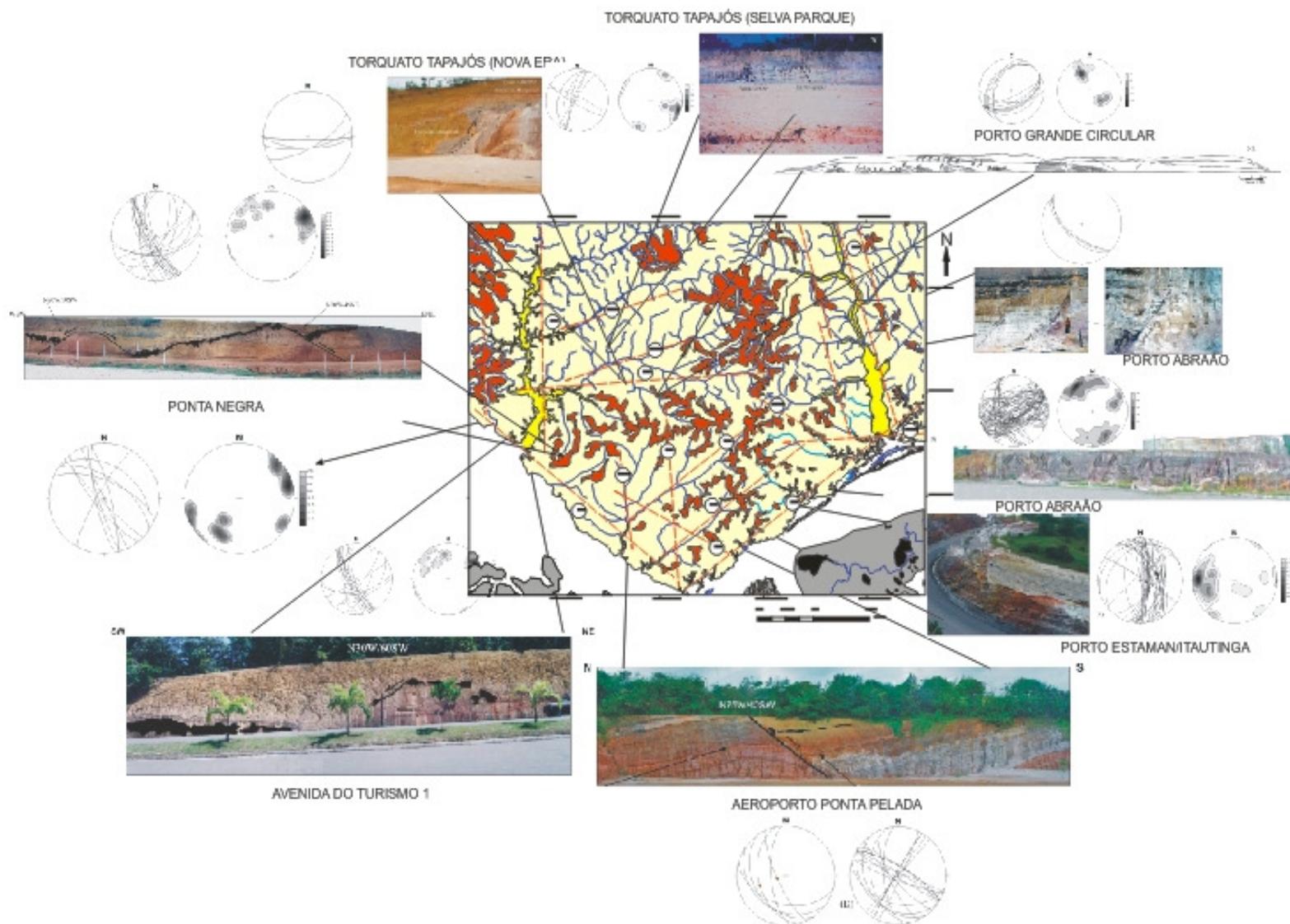


Figura 29 - Mapa de correlação de lineamentos morfoestruturais na cidade de Manaus e as zonas de falhas mapeadas por Silva (2005).

É importante acrescentar que ao longo dessa via urbana também ocorrem falhas N-S, como a localizada ao longo da Avenida do Futuro. Essa estrutura se encaixa com o lineamento norte de Manaus (Lineamento 12 na Figura 29), a qual corresponde provavelmente a uma falha transcorrente dextral.

Na margem leste da cidade, margem esquerda do Rio Amazonas, ocorre uma série de zonas de falhas que são compatíveis com os lineamentos morfoestruturais. Próximo ao Aeroporto de Ponta Pelada ocorre uma zona de falha importante E-W, com significativas rotações de blocos para sul. A orientação dessa feição, segundo Silva (2005) é N75-80W/40SW. Também ocorre nesse afloramento falhas normais N30-40W/40SW, similar às falhas na região da Ponta Negra, falhas N-S e fraturas NE-SW (N20-30E/80SE) que podem corresponder ao Lineamento da Margem Esquerda do Rio Amazonas.

A importância das falhas N-S, pouco observada nos estudos neotectônicos em Manaus, pode ser observada no afloramento do Porto da Estaman. Nesse local a zona de falha é muito significativa com formação de um arranjo anastomosado de falhas N-S (N02E/76SE) que cortam os sedimentos da Formação Alter do Chão e a crosta laterítica. As falhas NE-SW presentes têm orientação N50E/78SE e N45E/30NW, as quais concordam com o lineamento de relevo na área. Pouco adiante desse local, no Porto do Abraão, nota-se essas duas estruturas bem marcadas, com falhas normais N56E/72SE, N61E/66NW e N-S (N18W/57SW). Tais orientações, assim como no afloramento anterior, comprovam o predomínio nessa margem de estruturais NE-SW, mas também N-S, pouco visível no relevo.

Próximo a região do Bairro de Puraquequara foi observado falhas normais N50W/60SE, cuja orientação se correlaciona com o lineamento do Igarapé do Aleixo (Lineamento 14 na Figura 29). Os lineamentos NE-SW relativos às orientações do Igarapé do Mindú e Educandos foram

mapeados na área da Grande Circular por Silva (2005). Isso atesta a ocorrência de lineamentos NE-SW muito importante naquele setor.

Na porção norte da cidade, duas orientações são importantes. Na área da Avenida Torquato Tapajós ocorre uma zona de falha E-W, enquanto que próximo ao Balneário Selva Parque predominam um conjunto de falhas lítricas N-S. Essas duas direções estruturais correspondem aos lineamentos da Porção Norte de Manaus e Sul de Manaus, respectivamente os números 7 e 9 na Figura 28.

Conclui-se, portanto, que é notável a correlação das zonas de falhas existentes na cidade de Manaus com os lineamentos morfoestruturais definidos na Figura 28. Isso permite a constatação que tais zonas de falhas controlam o relevo e a drenagem, seja na orientação de cursos d'água, zonas interfluviais ou divisores de água, zonas de escarpas (escarpas de falhas), mas principalmente no controle das margens dos rios Negro e Amazonas. Dessa forma, pode definir que tais elementos na paisagem constituem elementos morfotectônicos na essência conceitual.

CONCLUSÕES

Com o uso dos modelos tridimensionais foi possível a determinação de elementos estruturais importantes na região da cidade de Manaus, se tratando de uma área urbana. Esses elementos estruturais têm importância no controle das escarpas de falhas, divisores de drenagem ou zonas interfluviais, e no sistema de drenagem. As bacias hidrográficas assimétricas decorrem da atuação de falhas e da rotação dos blocos ao longo dessas falhas. O sistema subdendrítico com modificações para paralela, retangular e treliça são adaptações destas ao controle neotectônico.

As principais direções obtidas dos lineamentos de drenagem e relevo mostram o predomínio das direções NW-SE, NE-SW, E-W e N-S, mas quando comparados aos lineamentos estruturais mostram o predomínio de falhas NE-SW e NW-SE, secundariamente E-W e N-S. As duas primeiras orientações se justificam nitidamente no controle da paisagem (rios e relevo) da área urbana. As duas últimas, pouco visíveis no relevo, são importantes como zonas de falhas discretas.

A análise de lineamentos de relevo e drenagem quando correlacionados às zonas de falhas mapeadas na cidade de Manaus mostram estreita relação. Desse modo, se pode concluir que esses lineamentos morfoestruturais compreendem zonas de falhas as quais possuem as seguintes orientações:

- a) Falhas normais NE-SW: Falha da margem esquerda do Rio Amazonas, Falha do Igarapé dos Educandos, Falha do Igarapé do Mindú, Falha do Igarapé da Bolívia e Falha do Igarapé do Mariano;

- b) Falhas normais NW-SE: Falha da margem esquerda do Rio Negro, Falha transversal ao Igarapé dos Educandos e Falha do Igarapé do Aleixo;
- c) Falha Transcorrente E-W: Falha Trascorrente
- d) Destral da porção norte de Manaus e Falha Transcorrente Destral da boca do Puraquequara;
- e) Falha Transcorrente Sinistral N-S: Falha Transcorrente Sinistral do Rio Puraquequara, Falha Transcorrente Sinistral do Igarapé do Tarumã-Açu, Falha Transcorrente Sinistral norte de Manaus e Falha Transcorrente Sinistral do Igarapé do São Raimundo.

Essa associação de falhas normais e transcorrentes destrais e ou sinistrais devem se enquadrar no modelo neotectônico transcorrente destral (E-W), de Hasui (1997) e demais pesquisadores, uma vez que somente nesse regime é possível coadunar falhas com geometrias diferentes que atuam na deformação da cidade de Manaus.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.J.B., Horbe, M.A., R Filho, S.F., Lopes, E.S., Moura, U.F., Andrade, N.M. & Diógenes, H.S., 2002, Carta hidrogeológica da cidade de Manaus. CPRMAM Manaus, Relatório Interno, 1-4.

ALBUQUERQUE, O.R. Reconhecimentos geológicos no vale do Amazonas. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, nº 3,84p,1922.

ANDRADE, C. A. C., CUNHA, F. M. B. da. Revisão Geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1971, São Paulo. Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3. p. 93-112.

ASSUMPCÃO, M. Terremotos no Brasil. São Paulo. Ver. Ciência Hoje. 1983. 1(6)

ASSUMPCÃO, M., ORTEGA, R., BERROCAL, J., VELOSO, J. A. O sismo de Codajás-AM, de 05.08.1983. Revista Brasileira de Geofísica, v. 2, p. 39-44, 1983.

ASSUMPCÃO, M., SUAREZ, G. Source mechanisms of moderate-size earthquakes in mid-plate South America. 1988. Geophysical Journal. 92:253-267.

BARBOSA FILHO, C. M., TEIXEIRA, L. B., TRAVASSOS, W. A. S. Tectonismo terciário na área do Tapajós. In: Congresso Brasileiro de Geofísica, 1, 1989, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 1989, v. 3, p. 1252-59.

BASENINA, N. V.; ARISTARCHOVA, L. B; LUKASOV, A. A. Methoden zur Analyse der Morphostrukturen auf Grund vorliegender Karten und Luftbildaufnahmen. In. Handbuch der Geomorphologischen Detailkartierung. Dirigido por J. Demek, pl. 131-151. Ferdinand Hirt, Wien, 1976.

BEMERGUY, R. L. Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas. Belém, 1997. 200p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

BEMERGUY, R. L., SENA COSTA, J. B. Controle tectônico na evolução do sistema de drenagem da Amazônia. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 3, 1991, Rio Claro. Anais... Rio Claro: SBG/SE, 1991, v. 1, p. 103-4.

BERROCAL, J., ASSUMPCÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M., ORTEGA, R., FRANÇA, H., VELOSO, J.A.V. Sismicidade no Brasil. IAG/USP CNEN, 1984, 320p.

BEZERRA, P. E. L. Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro. Belém, 2003. 335p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica)-Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

BEZERRA, P. E. L., LIMA, M. I. C., COELHO, F. A. J. F. Estruturação neotectônica da Folha SA.20-Manaus. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, 1999, Manaus. Anais... Manaus: SBG/NO, 1999, v. 1, p. 288-91.

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. 2001. Mapa geológico do Brasil. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistemas de informações geográficas – SIG. Mapas – Escala 1:2.500.000. CPRM, Brasília, registro digital. 4 CD-Rom.

BLOOM, A. L. Structural control of fluvial erosion. In: ____. *Geomorphology-A systematic analysis of Late Cenozoic landforms*. New Jersey: Prentice Hall Inc., cap. 11, 1978. p. 272-95.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.20-Manaus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1977. v.18, 628p.

BULL, W. B., WALLACE, R. E. Tectonic geomorphology. *Geology*, n. 13, 1985, p. 216.

BURKE, K., COOPER, C., DEWEY, J.F., MANN, P., PINDELL, J.L. Caribbean tectonics and relative plate motions. In: BONINI, W.E., HARGRAVES, R.B., SHAGAN, R. *The Caribbean – South America plate boundary and regional tectonics*. The Geological Society of America (Memoir 162), 1984. 31-63p.

CAMPELO, N.S. Fabricação de agregado sintético de argila calcinada no pólo oleiro do município de Iraduba, para emprego em infra-estrutura viária e de construção civil, no Estado do Amazonas. Fase I: Elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial (EVTEC). Projeto PAPPE/FAPEAM, 2005.

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

CAPUTO, M. V.; SILVA, O. B. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. In: *Origem e evolução de bacias sedimentares*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: CENPES, 1990. p. 169-192.

CAPUTO, M.V. Origem do Alinhamento Estrutural do Juruá – Bacia do Solimões. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 2., 1985, Belém. Anais. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, v.1, p. 249-258.

CAPUTO, M.V. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Santa Barbara 1984. 583p. Phd (Thesis) University of Califórnia.

CAPUTO, M.V., RODRIGUES, R., VASCONCELOS, D. N. N. de. Nomenclatura estratigráfica da bacia do Amazonas; histórico e atualização. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1972, Belém. Anais. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, v.3, p. 35-46.

COOKE, R. U. Geomorphology in environmental management: an introduction. New York: Ed. Oxford, Clarendon Press, 1990. 410p.

CORDANI, U.G., BRITO NEVES, B.B. de., FUCK, R. A., PORTO, R., THOMAZ FILHO, A., CUNHA, F. M. B. Estudo Preliminar de Integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/SINTEP (Série Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: exploração e petróleo, Publ. 15) 1984.

COSTA, A. R. A. Tectônica cenozóica e movimentação salífera na bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Belém, 2002. 237p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

COSTA, J. B. S. ; HASUI, Y. ; ARAUJO, O. J. B. . Episódios de Reativação Proterozóica na Região Norte do Brasil. Revista do IESAM, Belém-PA, v. 01, n. 01, p. 129-151, 2003.

COSTA, J. B. S., A neotectônica na Amazônia. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, 1996, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1996, v. 1, p. 35-8.

COSTA, J. B. S., BEMERGUY, R. L., HASUI, Y., BORGES, M. S. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. Journal of South America Earth Sciences, v. 14, 335-47, 2001.

COSTA, J. B. S., HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M.L., ANGÉLICA, R.S. Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém: FINEP/SBG, Núcleo Norte, 1997, v.1, p. 15-90.

COSTA, J. B. S., HASUI, Y. O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 3, 1991, Rio Claro. Anais... Rio Claro: SBG/SE, 1991, v. 1, p. 142-5.

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: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, 1994, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1994, v. 1, p. 47-50.

COSTA, J. B. S., IGREJA, H. L. S., BORGES, M. S., HASUI, Y. Tectônica mesozóica-cenozóica da região norte do Brasil. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 3, 1991, Rio Claro. Anais... Rio Claro: SBG/SE, 1991, v. 1, p. 108-10.

COSTA, R. C. R., NATALI FILHO, T., OLIVEIRA, A. A. B. Geomorfologia da Folha SA.20-Manaus. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.20-Manaus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1978. v. 18, cap. 2, p. p. 165-244.

COTTON, C. A. Block structure. In: _____. Geomorphology. Local de Publicação: Whitcombe and Tombs, 1958. p. 154-87.

CUNHA, F.M.B. Aspectos morfoestruturais do baixo Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, 1982, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1982, v. 1, p. 75-83.

CUNHA, P.R.C., GONZAGA, F.G., COUTINHO, L.F.C., FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8, n^o. 1, p. 47-55, 1994.

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

DOORNKAMP, J. C. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. Journal of the Geological Society, v. 143, p. 335-42, 1986.

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, n^o. 1, p. 17-45, 1994.

EIRAS, J.F., KINOSHITA, E.M. Evidências de movimentos transcorrentes na bacia do Tacutu. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 2, n^o. 2/4, p. 193-208, 1988.

EIRAS, J.F., KINOSHITA, E.M. Geologia e perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu. In: GABAGLIA, G. P. R. e MILANI, E. J., (Coord). Origem e evolução de bacias sedimentares., Rio de Janeiro, 1990, 197-220p.

FAIRBRIDGE, R.W. Morphotectonics. In: FAIRBRIDGE, R.W. (Ed.) Encyclopedia of Geomorphology, New York: Fairbrid, 1968, p. 733-6.

FAIRBRIDGE, R.W. The concept of neotectonics: an introduction. Z. Geomorphology, suppl. Bd. 10, p. VII-XII, 1981.

FERNANDES FILHO, L. A. Geologia, mineralogia, geoquímica dos lateritos de Manaus - Amazonas. Belém, 1996. 96p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

FERNANDES FILHO, L. A., COSTA, M.L., SENA COSTA, J. B. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus - Amazonas. Geociências, v. 16, n. 1, p. 9-34, 1997.

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

FRANZINELLI, E., IGREJA, H.L.S. Utilização do sensoriamento remoto na investigação da área do Baixo Rio Negro e Grande Manaus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, 1990, Manaus. Anais... Manaus: SBG/NO, 1990, v. 3, p. 641-8.

FRANZINELLI, E., PIUCI, J. Evidências de neotectonismo na Bacia Amazônica. In: Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, 1988, Belém. Anais... Belém: SBG.

GERASIMOV, I.P., MESCHERIKOV, J.A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R.W. (Ed.) Encyclopedia of Geomorphology, New York: Fairbrid, 1968, p. 1109-16.

HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, 1996, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1996, v. 1, p. 31-4.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos da tectônica ressurgente no Brasil. In: Work-Shop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica no Sudeste do Brasil, 1, Belo Horizonte, 1990. Anais... Belo Horizonte, SBG/SE, p. 1-31.

HASUI, Y., SENA COSTA, J. B. Neotectônica: fundamentos, métodos e técnicas de análise. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, 1996, Belém. Anais... Belém: SBG, 1996 (notas de curso). v. 1, p. 20.

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

IBGE. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IGREJA, H. L. S., FRANZINELLI, E. Estudos neotectônicos na região do baixo rio Negro – centro-nordeste do Estado do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, 1990, Manaus. Anais... Manaus: SBG/NO, 1990, v. 5, p. 2099-2108.

IGREJA, H.L.S., CATIQUE, J.A. Análise neotectônica dos lineamentos de Itacoatiara centro-leste do estado do Amazonas. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, 1997, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1997, v. 1, p. 131-33

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

JAILLARD, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A., Dumont, J.F., 2000. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds.), "Tectonic evolution of South America", Rio de Janeiro, p. 481-559.

KELLER, E., PINTER, N. Active tectonics: earthquake, uplift and landscape. 1a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 338p.

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

LOURENÇO, R. S., MONTALVÃO, R. M. G., PINHEIRO, S.S., FERNANDES, P.E.C.A., PEREIRA, E.R., FERNANDES, C.A.C., TEIXEIRA, W. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. Geologia das Folhas SA.20 Manaus. Rio de Janeiro, DNPM, 1978. p.19 -173.

MAIA, R. G. N., GODOY, H. O., YAMAGUTI, H. S., MOURA, P. A., COSTA, F. S. F., HOLANDA, M. A., COSTA, J. A. Projeto carvão no alto Solimões. Relatório Final, Manaus, CPRM/DNPM, v.1, 1977, 142p.

MAURO, C. A., NUNES, B. T. A., FRANCO, M. S. M. Geomorfologia da Folha SB.20-Purus. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB.20-Purus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1978. v. 17, 554p.

MESCHERICOV, Y. A. Neotectonics. Encyclopedia of Geomorphology. In: FAIRBRIDGE, R.W. (Ed.) Encyclopedia of Geomorphology, New York: Fairbridge, 1968, p. 768-73.

MIOTO, J. A. Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil. Rio Claro, 1993. v. 1 e 2. Tese (Doutoramento) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.

MIRANDA, F. P. Significado geológico das anomalias morfoestruturais da Bacia do Alto Amazonas. In: Simpósio Amazônico, 2, 1984, Manaus. Anais... Manaus:SBG/NO, DNPM, 1984, v. 1, p. 103-16.

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). PETROBRÁS/ CENPES, 1994, Superintendência de Exploração e Produção (SUPEP), Divisão de Exploração (DIVEX)/ Setor de Tectônica (SETEC).

NASCIMENTO, D.A., MAURO, C.A., GARCIA, M.G.L. Geomorfologia da Folha SA.21-Santarém. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.22-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1976. v. 10, cap. 2, p. 131-98.

NEVES, C. A. O. Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 4, n^o. 1, p. 95-103, 1990.

OBRUSCHEV, V. A. Osnovnyje certy kinetiki i plastiki neotektoniki. In: Meschericov, Y.A. Neotectonics. New York: Fuirbrid Encyclopedia of Geomorphology, 1968. p. 768-773.

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

PANIZZA, M., PIACENTE, S. Rapporti fra geomorfologia e neotettonica: Mesa a punto concettuale. Geogr. Fis. Dinam. Quant., n. 1, p. 138-40, 1978.

PAVLIDES, S. B. Looking for a definition of neotectonics. Terra Nova, v. 1, p. 233-5, 1989.

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

PIUCI, J., FRANZINELLI, E. Neotectonismo na Bacia Amazônica. In: Congresso Brasileiro de Geofísica, 1, 1989, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 1989, v. 1, p. 461-6.

REZENDE, W.M. de. & BRITO, C. G. de. Avaliação Geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, 1973, Aracaju. Anais. Aracaju, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3. p. 227-246.

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

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. USGS - Project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World, 2002, 58p.

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

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

SILVA C. L., MORALES, N., CRÓSTA, A. P., COSTA, S. S., JIMENEZ-RUEDA, J. R. 2007. 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, v.4, 71, 2007.

SILVA, C. L. Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências. Rio Claro, 2005, 282p. Tese (Tese de Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

SILVA, C. L., CROSTA, A. P., NORBERTO, M., COSTA, S. S., RUEDA, J. R. J. Uso de modelo digital de terreno (SRTM) na elaboração de mapas temáticos aplicados a análise morfotectônica: exemplo da região sudoeste de Manaus-AM. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 52, SBG, Araxá (MG). Anais...SBG, 2004a. CD-Rom.

SILVA, C.L., CARVALHO, J.S., COSTA, S.S., ALECRIM, J.D. Considerações sobre neotectonismo na cidade de Manaus (AM) e áreas adjacentes: uma discussão preliminar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, SBG, Balneário Camboriú (SC). Anais... SBG, 1994, v. 2, p. 251-252.

SILVA, C.L., COSTA, S.S., CARVALHO, J.S. Um estudo preliminar neotectônico na Cidade de Manaus/AM. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5, 1995, Gramados. Anais... Gramado: SBG, 1995, p. 438-9.

SILVA, C.L., HORBE, A.M.C., HORBE, M.A., MORALES, N., COSTA, S.S., RUEDA, J.R.J. bacias quaternárias ao longo do Rio Solimões-Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 8, Manaus, 2003.

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. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 51, SBG, João Pessoa (PB). Anais... SBG, 2002, 367p.

SOUZA M.M., MEDEIROS M.F. Contribuição ao estudo sedimentológico da região de Manaus. In: SBG, Cong. Brás. Geol., 26 1972, Belém, *Anais* v.1, p.129-140.

STERNBERG, H. O. R. Vales tectônicos na planície amazônica?. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 12, n^o. 4, p. 3-26, 1950.

STEWART, I. S., HANCOCK, P. L. Neotectonics. In: HANCOCK, P. L. ed. *Continental deformation*. New York: Pergamon Press, 1994. cap.18, p. 370-409.

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

TRAVASSOS, W. A., BARBOSA FILHO, C. M. Tectonismo terciário na área do rio Tapajós, Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, v. 4, n^o. 3, p. 299- 314, 1990.

TRICART, J. L. Tipos de planícies aluviais e de leitos fluviais na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, 1977, 39(2):03-40.

VIEIRA, L. C. ; NOGUEIRA, A. C. R. . Sedimentologia da Formação Alter do Chão no Município de Manaus. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO AMAZONAS, 6, 1997, Manaus. VI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO AMAZONAS, 1997. v. único.

WANDERLEY FILHO, J. R. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. Belém, 1991. 125p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

WANDERLEY FILHO, J. R., COSTA, J. B. S. Contribuição a evolução estrutural da bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, SBG/NO, Belém. Anais... Belém, SBG/NO, 1991, p. 244-59.