

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL RÚPTIL COMO SUBSÍDIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE NATURAL À EROSÃO DA ZONA DE AMORTECIMENTO DA RESERVA BIOLÓGICA DO JARU (RO/MT)

Eloiza Elena Della Justina¹
Juércio Tavares de Mattos²

Resumo: Esse estudo foi realizado na denominada Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jaru (RO), localizada na porção sudoeste da Amazônia e é o resultado de um procedimento metodológico para definir zonas de maior suscetibilidade natural à erosão e vulnerabilidade às ações antrópicas no entorno de Unidades de Conservação. A análise das morfoestruturas rúpteis foram baseadas na sistemática metodológica de Zoneamento Geoambiental, partindo-se da extração da rede de drenagem com dados do Modelo Digital de Elevação da Shuttle Radar Topography Mission - DEMSRTM, onde foram extraídas as feições lineares de drenagem, interpretadas como traços de juntas. A partir destes traços de juntas foram obtidos, estatisticamente, dois máximos de direção de fraturamentos em que estabeleceu-se zonas de variação de máximos 1 e 2. Zonas com sobreposição de variação de máximos 1 e 2 são regiões com maior e elevado grau de propensão a instabilidade de materiais, sendo zonas erosivas e que necessitam de estudos sobre adequabilidades e/ou limitações dos terrenos para uma determinada forma de uso. A delimitação destas zonas de suscetibilidade natural aos processos erosivos constitui importante elemento para o planejamento e gestão de grandes áreas frente a obras de engenharia e uso da terra. Os resultados dos estudos das morfoestruturas rúpteis mostraram-se de grande valia para a decisão e classificação de áreas com capacidade de suporte e limitação de usos, pois os fatores deformacionais da área são determinantes, juntamente com o clima, para a definição das formas de instabilidade dos terrenos.

Palavras-Chave: Suscetibilidade natural à erosão; morfoestruturas rúpteis; SRTM; Zona de Amortecimento.

¹ Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia, Campus BR 364, km 9,5 sentido Acre, Porto Velho - RO. eloiza.della@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia Civil – UNESP – Campus Guaratinguetá – SP. jjtm@hotmail.com
Estudos Geográficos, Rio Claro, 8(1): 5-21, jan./jun., 2010 (ISSN 1678—698X)
<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo>

MORPHOSTRUCTURAL RUPTILE ANALYSIS AS THE BASIS FOR DEFINING AREAS OF NATURAL SUSCEPTIBILITY TO EROSION IN THE BUFFER ZONE OF JARU BIOLOGICAL RESERVE (RO/MT)

Abstract: This study was conducted in the buffer zone of Jarú Biological Reserve (state of Rondônia, southwestern Amazon) and is the result of a methodological procedure to define areas of greatest natural susceptibility to erosion and vulnerability to anthropic activity in the vicinity of conservation areas. The analysis of the rúptile morphostructures was based on the methodological system of Geoenvironmental Zoning, which relied on the mapping of the drainage network using data from the digital elevation model of the Shuttle Radar Topography Mission – DEM/SRTM, from which the linear drainage features (interpreted as lines of joints) were extracted. Based on these lines of joints we obtained, statistically, two maximum levels of fracturing direction, in which we settled level 1 and level 2 maximum variation zones. The areas where overlapping of levels 1 and 2 was found are highly prone to instability of materials, and are therefore erosive zones that need studies on their possibilities and limitations of use. Demarcation of those natural erosion-susceptible zones is an important element for planning and managing large areas facing engineering projects and land use issues. The study of the rúptile morphostructures proved much valuable in classifying and making decisions about areas with bearing capacity and limitation of uses, since the deformation factors of the area are crucial, along with climate conditions, to define the forms of instability of the ground.

Keywords: natural susceptibility to erosion; rúptile morphostructures; SRTM; buffer zone

INTRODUÇÃO

Este estudo objetivou identificar, analisar e cartografar as estruturas geológicas pela interpretação de elementos de drenagem obtidos com dados do Modelo Digital de Elevação da Shuttle Radar Topography Mission - DEMSRTM, (NASA, 2000) para delimitação de Unidades Morfoestruturais Rúpteis (fraturamentos), visando fornecer subsídios ao Plano de Manejo da Reserva e ao planejamento ambiental presentes na Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jarú.

A Reserva Biológica do Jarú é uma Unidade de Conservação de proteção integral, situada no Sudeste do Estado de Rondônia. A Zona de Amortecimento é a área contígua à Reserva Biológica considerada necessária para a manutenção e preservação da integridade dessa Unidade de Conservação. Nesta Zona de Amortecimento, as atividades humanas estão sujeitas às normas e restrições específicas, determinadas no Plano de Manejo da Unidade de Conservação, com o propósito de minimizar os impactos negativos das atividades econômicas circunvizinhas, sobre essa área protegida.

Nesse aspecto, necessário se faz o conhecimento das áreas de fragilidades naturais (susceptibilidade à erosão) e da capacidade de suporte destas, para subsidiar seu gerenciamento.

Nos estudos diagnósticos do meio físico para Planos de Manejos em Unidades de Conservação, conforme critérios estabelecidos em IBAMA (2002), se percebe a necessidade de definição de fatores relativos ao meio físico que sirvam como indicadores para a delimitação de áreas de maior fragilidade ambiental, tanto na Unidade de Conservação quanto na sua região e Zona de Amortecimento: a) no interior da Unidade, para a definição das zonas de baixa intervenção e máxima proteção; b) na região da Unidade de Conservação, para a definição de áreas que devam ser estabelecidas como Zona de Amortecimento da mesma; c) na Zona de Amortecimento, uma vez estabelecida, para indicação de áreas que devam ser protegidas (incorporadas à unidade ou propostas como novas áreas de proteção) e também, para subsidiar o planejamento de usos da terra, adequados com a vocação natural dos terrenos e em consonância com o objetivo de proteção da Unidade a qual circunda.

Nesse contexto, buscou-se responder aos critérios apresentados em IBAMA (2002), pela inserção de estudos baseados em metodologias de análise morfoestrutural já estabelecidas (MATTOS, 1989; JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1993; JIMÉNEZ-RUEDA e MATTOS, 1992) e que proporcionam resultados confiáveis para a definição de áreas para proteção e para usos múltiplos da terra em função da susceptibilidade natural do meio físico.

A análise morfoestrutural, conforme proposta pelos autores citados, parte da extração e interpretação de elementos de drenagem para delimitação das zonas de variação de máximos 1 e 2 de traços de juntas e sua proporciona a classificação de zonas de susceptibilidade ambiental e capacidade de suporte de uma área para usos múltiplos e proteção ambiental.

Este trabalho teve como cunho metodológico, analisando a rede de drenagem e o relevo nas imagens orbitais SRTM, para mostrar as estruturas geológicas (juntas) resultantes de processos de cisalhamento, com o objetivo de uso da área.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

A Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jarú está localizada entre as coordenadas geográficas de 8°40' a 10°50' S e 61°00' a 62°15' W e possui área aproximada de 1.800.000 hectares e perímetro de 357,0 km.

Aspectos climáticos: Segundo a classificação de Köppen e pela posição geográfica da região da Reserva Biológica do Jarú, o tipo climático da região é Am caracterizando-se como megatérmico (temperatura média do mês mais frio superior a 18°C). A área como um todo apresenta uma forte sazonalidade na distribuição da precipitação, com o período chuvoso entre novembro e abril, apresentando totais mensais acima de 200 mm.mês e um total anual de 2500,0 mm. A estação menos chuvosa estende-se de maio a outubro, com um pequeno período de poucas chuvas entre junho-agosto, com total mensal inferior a 20 mm.mês. A temperatura do ar mostra também uma sazonalidade, sendo outubro o mês mais quente, com temperatura média de 26,8°C. O mês mais frio é julho, com temperatura média próxima a 24,7 °C (RONDÔNIA, 2005).

Aspectos da rede hidrográfica: A área se localiza entre as bacias do Rio Ji-paraná e Madeirinha (afluente do rio Roosevelt) que são integrantes da bacia hidrográfica do Madeira. Estes rios atravessam a área paralelamente, no sentido sul para norte, e afluem para o rio Madeira (BRASIL, 2006c),

O principal divisor de águas na região é a Serra da Providência com 525 m de altitude, de característica alongada no sentido norte-sul, fazendo limite entre Rondônia e o Estado de Mato Grosso.

Na porção oeste da área, o curso do rio Ji-paraná está encaixado em falhamentos e apresenta inflexão de NW-SE para N20E a partir do município de Ji-paraná, quando se encaixa no lineamento denominado rio Ji-paraná, e novamente inflecte para NW, em Machadinho do Oeste, até a confluência no Rio Madeira, sob a influência do lineamento denominado Calama – Tabajara (N60W).

Os principais afluentes do rio Ji-paraná na Zona de Amortecimento da Rebio Jarú são os rios Jarú, Anari e Machadinho, todos situados na margem esquerda, a oeste da Reserva Biológica do Jarú. Dentro da Reserva, destaca-se o rio Tarumã. Inúmeros outros rios de pequeno porte (igarapés), que nascem na Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jarú, desaguam diretamente no curso do rio Ji-paraná. Os mais importantes na margem direita são: os Igarapés Monte Cristo, Cajueiro, o Gaivota, o Pascana, Buenos Aires, o Igarapé Lourdes, Prainha e o Igarapé Água Azul.

O rio Madeirinha nasce na encosta leste da Serra da Providência, em território Mato-Grossense. Tem seu curso principal no sentido NS, sob influência da falha da Providência. Seus principais afluentes na são os rios Soledade e das Rosas, e os igarapés do Moquém, Dois Irmãos, Cordão, das Onças, Seis Contos, do Veado, do Furo, São Francisco, da Cobra, Cujubim, Japim, Sucuri, Jatuarana e Taboca, entre outros.

Aspectos geológicos: a área se localiza na porção Sudoeste do cráton Amazônico, subdividido em Província Rondônia-Juruena, composta por terrenos de idade entre 1.850-1.650 Ma, e Província Sunsás, de idade entre 1.450-1.100 Ma (SANTOS *et. al.*, 2006).

A Província Rondônia-Juruena se dispõe segundo o trend regional WNW-ESSE ou E-W e é constituída por terrenos granitóides e vulcano sedimentares que evoluíram num sistema de arcos magmáticos e faixas supracrustais envolvidas em eventos colisionais e de subducção de alta temperatura, seguido de transcorrências (CPRM, 2006). Fazem parte desta Província na área de estudo, o Complexo Jamari em Rondônia, a Suíte Intrusiva São Romão, Grupo meta (vulcano) sedimentar Roosevelt e a suíte Metamófica Quatro Cachoeiras. Também os Granitóides pós-orogênicos e anorogênicos situados no Mesoproterozóico e Neoproterozóico: correlatas ao Mesoproterozóico, fazem parte as Suítes Intrusivas Serra da Providência e Cacoal, presentes na porção centro-sul da área; correlatas ao Neoproterozóico, a Suíte Intrusiva de Rondônia ou granitos Jovens de Rondônia que ocorrem em estruturas circulares (vulcânicas) na parte oeste e leste da área.

A Província Sunsás se formou durante o Ciclo orogênico Sunsás, é a unidade mais jovem do Extremo Sudoeste do Cráton Amazônico. Esta unidade evoluiu através de episódios tectono-magmáticos e de sedimentação concomitantes que se encontram amplamente distribuídos no Sudoeste de Mato Grosso seguindo para Rondônia e parte

oriental da Bolívia. O início do Ciclo Orogênico Sunsás caracterizou-se por uma importante distensão crustal que precedeu a abertura do oceano entre a América e a Europa, seguido por um episódio magmático com assinatura geoquímica compatível com os granitóides intraplaca do Fanerozóico e dos granitos tipo A (1,3 a 1,25Ga). As fases distensivas finais, quase cratônicas, relacionadas a este ciclo são representadas pelas Coberturas Sedimentares Meso a Neoproterozóicas (CPRM, 2006). Esta Província esta representada na área pelo Grupo Palmeiral (englobando o Grupo Beneficente, Formação Palmeiral e a Formação Prosperança), que se encontra amplamente distribuída na região e presente na parte central e norte da área de estudo.

As Coberturas Cenozóicas da região reúnem os depósitos terciários e quaternários continentais, organizados como Coberturas Sedimentares Indiferenciadas, Terraços Fluviais pleistocênicos, Terraços Quaternários Arenosos, e Depósitos de Planície de Inundação/Canal Fluvial ou aluviais, e distribuídos principalmente ao longo do sistema fluvial, cuja morfogênese é controlada por fatores litológicos, climáticos e especialmente tectônicos (QUADROS *et. Al.*, 1996; CPRM, 2000).

Segundo Costa e Hasui (1997), os fatores tectônicos responsáveis pela morfogênese do sistema fluvial e, por extensão, de toda a paisagem cenozóica regional, estão relacionados às movimentações neotectônicas reflexas da Orogenia Andina. Também são relacionados, como resultado da deformação intraplaca imposta pela atuação de um conjugado dextral de direção E-W, com componentes transtensivas e transpressivas orientadas nas direções NE-SW e NW-SE, respectivamente, gerado pela rotação da Placa Sul- Americana para oeste, que promoveram a reativação de linhas estruturais herdadas do Pré-Cambriano e instalação de novas linhas de fraqueza (LIMA, 1988; CAMPOS & TEIXEIRA, 1988).

Na região, são caracterizadas áreas transpressivas e transtensivas causadas por dois eventos de movimentação — o primeiro, do Mioceno/Plioceno, e o segundo, do Pleistoceno Superior/Recente, com o resgate, em determinadas áreas, de linhas de fraquezas, especificamente susceptíveis às reativações, que se apresentam explícitas nas formas de padrões da rede de drenagem e alinhamento de vertentes.

O quadro tectônico da região está representado por um sistema de falhas e de grandes lineamentos estruturais que controlam a rede de drenagem atual, dos quais se destacam o Megalineamento Transtensivo Dextral Madre de Deus-Itacoatiara, de direção SW-NE, no qual se encontra encaixado o rio Madeira; o Lineamento Calama-Tabajara, de direção NW-SE, na região nordeste do estado de Rondônia e que promoveu a inflexão do rio Ji-paraná (de direção NNE para NW) e os Lineamentos Rio Roosevelt, Serra da Providência (o mais extenso lineamento estrutural da área, com mais de 200 km de extensão) e Rio Machado, de direção NS, entre outros sem denominações, mas de extensão significativa, tais como os lineamentos estruturais do rio Machadinho, Serra do Moquéim, Serra do Repartimento, Serra das Onças, Igarapé Lourdes e Prainha.

O mapa de geologia (figura 2) mostra a localização da área no craton amazônico, os lineamentos regionais e a distribuição e contatos litológicos e estruturais.

Análise morfoestrutural rúptil...

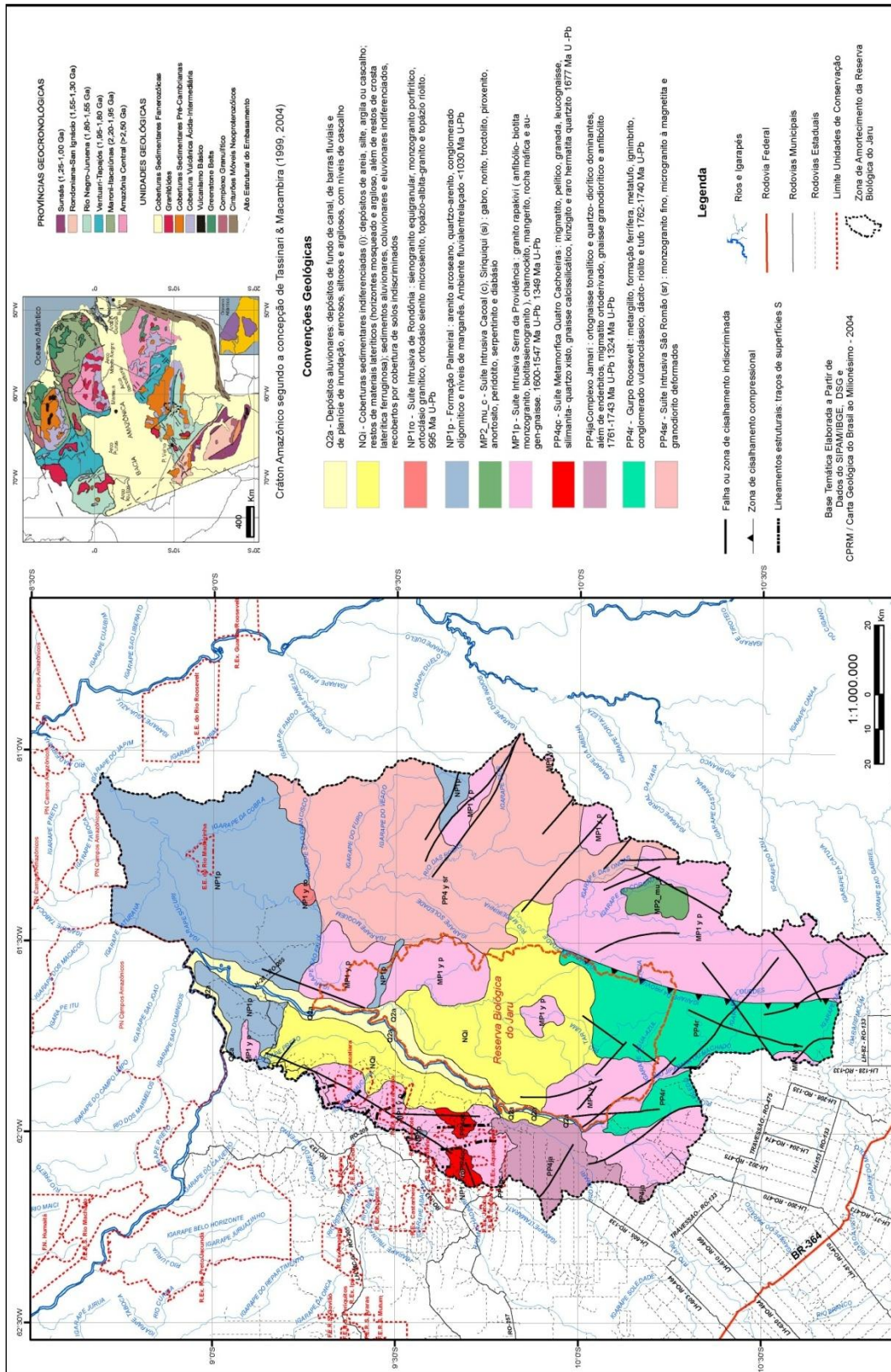


Figura 1 - Mapa de Geologia da Reserva Biológica do Jarú e Zona de Amortecimento

Aspéctos geomorfológicos: a área está situada no Escudo Brasil Central limite com a Bacia Sedimentar Amazônica e inserida nas unidades morfoesculturais do Planalto Dissecado Sul da Amazônia e na Depressão Marginal Sul Amazônica, (BRASIL, 2006a; ROSS, 1999).

Fisiograficamente, a maior parte da área da Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jaru se encontra dentro dos seguintes domínios: 1. Domínio de Superfícies Denudacionais de Aplanamento; 2. Domínio das Unidades Denudacionais/Estruturais, e; 3. Unidades Agradacionais, representadas pelas planícies do rio Ji-paraná, Madeirinha e tributários mais importantes (RONDÔNIA, 1998).

1. O Domínio de Unidades Denudacionais de Aplanamento (D2) estão associadas ao embasamento regional (rochas graníticas dos Complexos Jamari e São Romão) e classificadas como Nível II e III. A Superfície de Aplanamento Nível II, com relevo situado entre 200 e 300 metros, apresenta na área, quatro subdivisões (D22) em função de diferentes índices de dissecção e de densidade de agrupamentos de inselbergs e campos de matações. A Superfície de aplanamento Nível III, com relevo situado abaixo da cota de 200 metros, com dissecção alta e esporádicos inselbergs e tors (D 23). Este domínio corresponde a 50% da área de estudo.

Dispersas pela área, ocorrem Agrupamentos de morros ou colinas (D3), abertos a densos, com relevos alçados até 200 m acima do nível de aplanamento, apresentando inselbergs e com dissecção baixa à média. Nestas áreas predomina a Floresta Ombrófila Aberta.

2. O Domínio das Unidades Denudacionais/Estruturais se encontra dividido em: Superfícies Tabulares (S1): compreendem uma série de relevos elaborados sobre rochas sedimentares, compostos por interflúvios amplos e levemente tabulares, com fundos de vale geralmente abertos e amplos. Estas Superfícies Tabulares estão localizadas na parte centro-norte da ZA, em terrenos sedimentares da Formação Palmeiral. Neste domínio, são comuns lagedos expostos e relevos residuais tipo inselbergs, recobertos por vegetação de Cerrado interdigitada com a vegetação de transição e da Floresta Ombrófila Aberta.

Formas Circulares em Estruturas Plutônicas (S2): compreendem áreas onde a estrutura das rochas intrusivas (Suíte Intrusiva Serra da Providência e Granitos Jovens de Rondônia) modelam a morfologia do conjunto de morros e colinas, refletindo-se também na rede de drenagem, que chega a possuir padrão anelar e radial. Neste agrupamento aparecem as serras Prata, da Maracatiara, do São Francisco, do Compartimento, da Onça e do Monte Cristo e predomina a Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa Submontana.

Agrupamentos de Morros e Colinas com Controle Estrutural (S3): conformam relevos em forma de Morros e Colinas, geralmente agrupados e localmente denominados de serras, pois se encontram alçados a mais de 100 m dos relevos aplanados, que geralmente os circundam. Neste agrupamento destacam-se a Serra do Moquéim e do Repartimento com altitudes próximas dos 300 m, onde predominam a vegetação Rupestre e de transição ou Contato (Cerrado/Floresta).

Cuestas e Hogback (S4): relevos assimétricos, com grande amplitude e correspondendo, nesta área, a relevos de caráter residuais circundados por superfícies de aplanamento. A Serra da Providência com 525 m de altitude, está inserida nas

Unidades estruturais/denudacionais com controle estrutural do tipo Cuesta e Hogback com dissecação baixa a média alta nas áreas de maior altitude, com presença de Foothills de dissecação média. Nesta área predomina a Floresta Ombrófila Densa Submontana.

3. As planícies do rio Ji-paraná, Madeirinha e tributários, com altitudes em torno dos 100 metros, são classificadas como Unidades Agradacionais (A) subdivididas em Planícies inundáveis e vales de rios (A3) Principais e Secundários e Terrços fluviais (A2), mapeáveis (escala 1:250.000) ao longo dos rios principais. Nestas áreas predominam as Coberturas Cenozóicas que reúnem os depósitos terciários e quaternários continentais, organizados como Coberturas Sedimentares Indiferenciadas e Depósitos de Planície de Inundação ou aluviais, cuja morfogênese é controlada por fatores litológicos, climáticos e especialmente tectônicos. A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Aluvial e as Formações Aluviais Pioneiras, tais como os Buritizais.

Aspectos pedológicos: em função da diversidade litológica e do relevo, os solos da área se apresentam assim distribuídos: nas serras e cristas com influência de rochas intermediárias ou básicas são predominantes os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo e manchas de Nitossolo Vermelho, Cambissolos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos; nas áreas das superfícies tabulares, com rochas sedimentares da Formação Palmeiral predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo associados aos Neossolos Quartzarênicos; nas superfícies de aplanamento, em ambientes dissecados com relevo de topos aplainados ou em encostas que drenam para os cursos d'água, ocorrem os Latossolos Amarelos. Pela composição química, 95% dos solos da área são classificados como Distróficos (RONDÔNIA, 1998; BRASIL, 2006b).

Os solos da área apresentam uma suscetibilidade natural à erosão em função das características físico-químicas. A textura, a estrutura, a drenagem e a declividade do terreno são fatores que, em conjunto, respondem sobre a menor ou maior ação dos processos erosivos: as áreas de serras, em função da declividade acentuada e da litologia, que levam a formação de solos de textura arenosa ou areno-argilosa com alta pedregosidade; ao norte, os solos quartzarênicos resultantes da formação Palmeiral, e; as áreas com problemas de drenagem (margens do Rio Ji-paraná, Tarumã e Madeirinha), são constituídas por solos naturalmente suscetíveis à erosão. Nas áreas onde foram abertos caminhos e estradas, verifica-se a ocorrência de sulcos e ravinas, principalmente nos trechos com declividade superior a 8%. Os Latossolos Amarelos Distróficos considerados mais resistentes aos processos erosivos, se encontram mapeados em maior extensão na área.

As áreas de ocorrência destes solos estão utilizadas com pastagens e lavouras de subsistência. Com manejo inadequado, estes solos apresentam elevado grau de degradação em pouco tempo de uso com ocorrência de processos erosivos.

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL: TRAÇOS DE JUNTAS

O estudo da morfoestrutura foi introduzido por Gerasimov e Mescherikov (1968) por meio de análises geomorfológicas. A análise morfoestrutural focaliza o controle estrutural exercido sobre a morfologia pelo arcabouço lito-estrutural, tais como natureza litológica, arranjos das camadas (horizontais, dobradas ou monoclinais) e rupturas crustais (falhas e zonas de cisalhamento).

No procedimento metodológico para aplicação da análise das feições dúcteis e rúpteis parte-se do princípio que a área sofreu um intenso cisalhamento ductil-ruptil, dando origem (como alívio) a feições menores tipo foliação cataclástica, milonítica, até mega feições de falhamentos transcorrentes, de empurrões, e dobramentos flexurais ortogonais entre si, com ou sem formação de juntas. Todas estas feições são eminentemente de um modelo compressional. Para um melhor entendimento do processo de cisalhamento, o leitor deverá basear-se em um sistema de cisalhamento puro, tipo conjugado de Riedel, com encurtamento e redobramentos crustais (DAVIS *et. al.*, 2000).

Na análise das estruturas geológicas buscou-se identificar alinhamentos retilíneos de relevo e drenagem, de grandes e pequenas extensões, interpretados como traços de juntas, falhamentos e lineamentos estruturais resultantes de deformações rúpteis da crosta terrestre e que evidenciam áreas com diferentes graus de estabilidade tectônica.

Essas estruturas geológicas caracterizam áreas suscetíveis à erosão natural e vulnerabilidade acentuada às atividades antrópicas. São consideradas como as principais feições responsáveis pela geometria dos processos desencadeadores de instabilidades em taludes naturais e nos cortes ao longo das rodovias (MATTOS *et. al.*, 2005).

Os traços de juntas são feições fortemente estruturadas, retilíneas ou curvilíneas de drenagem interpretadas em produtos de sensoriamento remoto e que, sob o ponto de vista geológico, representam fraturas (sem movimentos de blocos), também denominadas de juntas.

As juntas representam a intersecção de planos de fraturas verticais, subverticais e/ou inclinadas, com a superfície do terreno e correspondem a linhas de fraqueza crustal, devido a processos (formacionais e deformacionais) distensivos.

Nesse trabalho, os traços de juntas devem ser entendidos como zonas de juntas que representam séries de fraturas, paralelas a sub-paralelas, com espaçamento bem definido (centimétrico a métrico) formando trends estruturais, que se estendem até centenas de quilômetros e podem atingir grandes profundidades.

Deve-se ressaltar que as direções principais dos elementos de drenagem (canais) de primeira e/ou segunda ordem evidenciam as direções dos traços de juntas, uma vez que esses traços condicionam a instalação dos canais.

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

O mapa de traços de junta foi obtido a partir do reconhecimento e extração de lineações retilíneas de drenagem, principalmente de 1ª. ordem a 2ª. ordem, com comprimento entre 500 e 800m. Para elaboração do mapa, trabalhou-se com um overlay sobre um mapa de drenagem adensada no programa ArcGis 9.2, mediante uso do DEMSRTM, para a escala de 1:50.000.

A partir do mapa de traços de juntas, foi realizada uma análise espacial identificando e extraíndo as 2 direções de maior freqüência de traços de junta (máximos 1 e 2), dentro de uma unidade areal de 4 km de raio (figura 3).

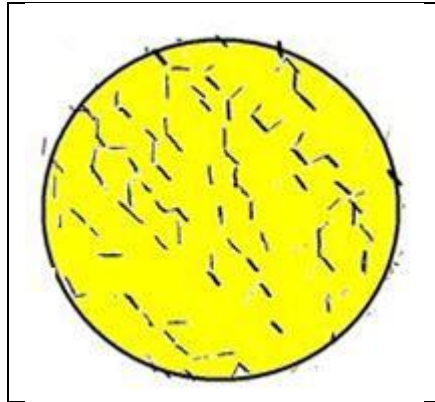


Figura 3 – Amostra de unidade areal utilizada para a extração das 2 direções de maior frequência (máximos 1 e 2) de juntas.

A delimitação da zona de variação dos máximos de traços de juntas foi obtida por interpolação manual, com indicação das direções principais. Cada unidade foi trabalhada isolada das áreas vizinhas, no sentido de evitar a interferência no campo visual.

As duas direções de maior frequência encontradas são denominadas de máximo 1 e máximo 2, e foram filtradas dos traços de juntas e estão representados nas cores vermelha (máximo 1) e verde (máximo 2), conforme consta na figura 4.

As zonas onde ocorreram as mudanças de direções foram delimitadas por polígonos, onde estão indicadas as direções dos traços registradas dentro destes.

Nas zonas de variação de máximos, que apresentavam orientações preferenciais, foram traçados eixos direcionais de máximo 1 e de máximo 2.

A delimitação de cada uma das zonas de variação dos máximos foi feita em mapas distintos (mapa de zonas variação de máximo 1 e mapa de zonas de variação de máximo 2), em modelo analógico. Estes mapas foram rasterizados (scanner) e vetorizados (georreferenciados no *Software Global Mapper 10.1*) e sobrepostos no *ArcView* do *Software ArcGis 9.2*, (ESRI, 2008), para identificação e delimitação das zonas de intersecção da variação de direção. Estas áreas são denominadas de zona de variação de máximos 1 e 2.

Eixos direcionais foram traçados sobre essas zonas, apontando as direções preferenciais dos máximos, conforme representados na figura 5.

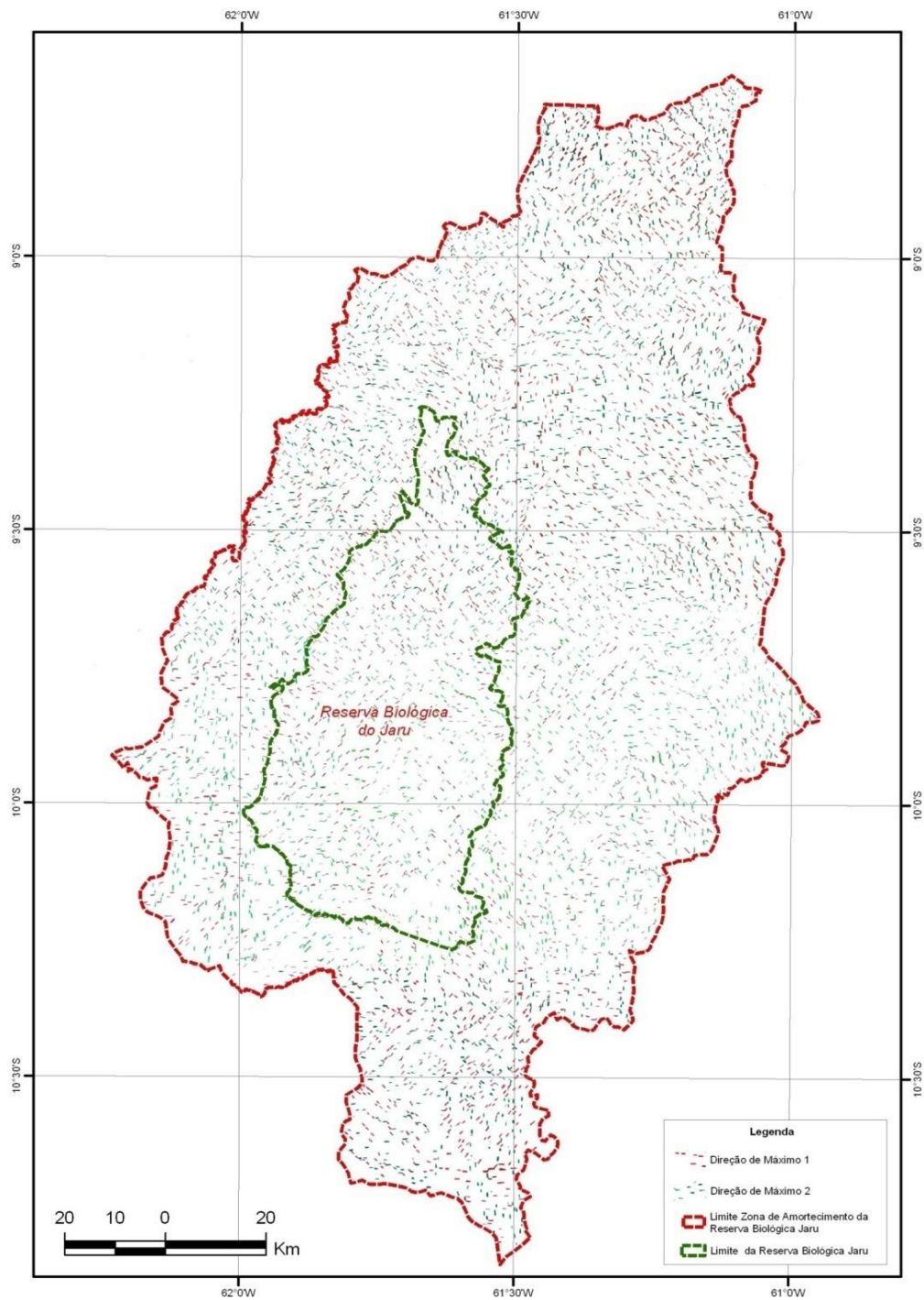


Figura 4 – Mapa com as duas direções de maior frequência de traços de juntas – máximos 1 e 2 - extraídas da rede de drenagem adensada

RESULTADOS E ANÁLISE

A filtragem dos traços de junta em máximos 1 e 2 teve como objetivo estabelecer a visão regional do processo deformacional, principalmente onde estes máximos mudam bruscamente de direção (Zona de Variação de Máximo). Nestas zonas de variação de máximos existe uma mudança no regime do campo de tensão/deformação e, conseqüentemente maior fraturamento do maciço rochoso. Aí surgem as coberturas de alteração profundas, caracterizando áreas de maior susceptibilidade erosiva. No caso de uso inapropriado dessas áreas (coberturas de alteração), há maior probabilidade de desenvolvimento de incisões lineares profundas (ravinas e voçorocas), movimentos de massa (desmoronamentos e deslizamentos), inclusive colapsividade dos materiais.

As zonas de máximo 1 da área de estudo apresentaram direção preferencial NW e o máximo 2 na direção NE. Essas direções são as direções de fraqueza mais freqüentes, podendo ser as mais antigas e/ou reativações destas, na área. As zonas de variação de máximos com direções norte e sul também são as mais representativas da área.

Nas áreas onde ocorre a variação conjugada dos máximos 1 e 2, naturalmente haverá uma maior suscetibilidade a processos erosivos, pois são áreas onde os processos erosivos já se instalaram e se intensificam, agravando a instabilidade dos maciços.

Para análise da suscetibilidade natural, considerou-se que as zonas de variação de máximo 1 diferem das zonas de variação de máximo e 2, por apresentarem maior freqüências de traços de juntas na zona de variação. A classificação destas zonas associadas à erodibilidade tem a seguinte proposição (quadro 1):

Zona de Variação de máximo	Suscetibilidade a erosão
Sobreposição de variação de Máximos 1 e 2	Muito Alta - maior suscetibilidade a processos erosivos, pois são áreas com maior variação de fraturamentos e onde os processos erosivos já se instalaram duplamente (recorrência). São áreas de alto risco potencial de erodibilidade do solo e de movimentos de massas em encostas.
Variação de Máximo 1 (direção 1 de maior freqüência de traços de juntas)	Muito Alta a Alta - áreas com variação de fraturamentos, onde os processos erosivos são mais intensos e podem se instalar devido a catástrofes naturais e/ou ações antrópicas.
Variação de Máximo 2 (direção 2 de maior freqüência de traços de juntas)	Alta – áreas com variação de tensão de fraturamentos que podem potencializar o grau de erodibilidade da área onde existe processo erosivo já instalado, sendo propensas a novas instabilidades.

Quadro 1 - Classificação das Zonas de variação de máximos quanto a Erodibilidade

O mapa de Zonas de Variação de Máximos e Eixos (Figura 5) mostra as zonas de maior intensidade de variação de tensões/deformações e de tendência de fraturamento regional.

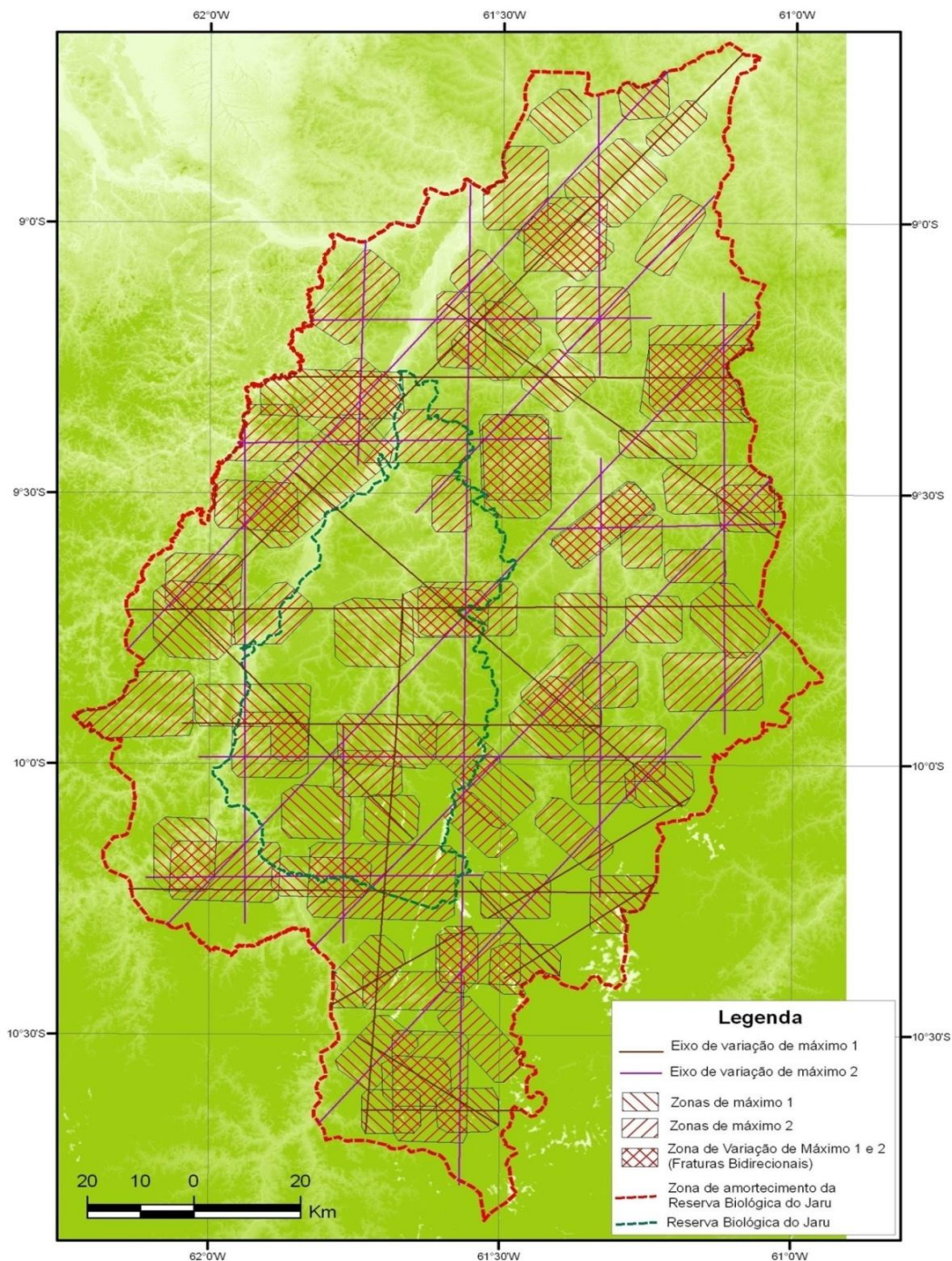


Figura 5 – Mapa de zonas de variação e de sobreposição de máximos 1 e 2 de traços de juntas e eixos direcionais

Com a sobreposição das zonas de variação do máximo 1 ao do máximo 2 pode-se visualizar que estas zonas têm seus eixos orientados nas direções: N30E com espaçamento regular em torno 20 km; EW com espaçamento médio de 10 km; NS com espaçamento de 25 a 30 km e N45W com espaçamento 30 a 35 km.

Isto mostra que as zonas de variação de máximo, embora localizadas, apresentam uma preferência de ocorrerem (repetirem) nas direções citadas (como eixos preferenciais), o que conferem uma tendência regional de recorrência dessas anomalias.

Essas direções foram confirmadas em campo e são encontradas na literatura (SOEIRO *et al.*, 1977; SCANDOLLARA, 1999; VENEZIANI *et al.* 1998).

Os eixos de distribuição das variações de máximos são correlacionáveis às direções de fraquezas crustais anteriores, que em fase posterior serviram como corredores e foram responsáveis pelo controle do desenvolvimento de novos sistemas de fraturamentos.

Os melhores exemplos de sobreposição de zonas de variação de máximos 1 e 2 ocorrem:

a) na bacia do rio Ji-paraná: nas nascentes do Igarapé Lourdes; no Igarapé Água Azul, na sub-bacia do rio Jarú; nas nascentes do rio Anari; no interflúvio dos igarapés Preto e Mucura na sub-bacia do rio Machadinho; no Igarapé do Cajueiro, na sub-bacia do rio Tarumã (entre as confluências dos igarapés Manduquinha e Atoleiro, localizadas no interior da Reserva Biológica do Jarú).

b) na bacia do rio Madeirinha: nas nascentes deste na Serra da Providência; na sub-bacia do igarapé das Onças, na confluência do rio das Rosas; nas nascentes do igarapé dos Veados; na sub-bacia do Igarapé Água Azul; nas nascentes do igarapé São Francisco; na sub-bacia do Igarapé do Moquém; na sub-bacia do Igarapé São Félix, e; no interflúvio dos Igarapés Santo Antônio e Dois Irmãos.

Deve-se ressaltar que as regiões de variação de máximos, quando ocorrem junto de contatos de unidades geológicas, tornam-se ainda muito mais instáveis e merecem cuidados especiais, com implantação de obras civis e monitoramento ambiental permanente. Essas zonas são áreas restritivas às obras lineares (estradas, dutovias) ou de grande porte que demandam sobrecarga, como é o caso de usinas hidrelétricas. Isso é afirmado, pois as zonas de variação de máximos nessas regiões são intensamente rompidas, com forte percolação e circulação de água, com ambiente oxidante, o que origina zonas intensamente lixiviadas e erodidas.

Embora a cobertura florestal ainda esteja bem preservada em boa parte da região e é um fator preponderante para minimizar os efeitos erosivos (desestabilização de formas) dessas áreas, é comum se encontrar processos erosivos diversos à remontante das cabeceiras de canais de 1ª ordem e processos acumulativos nas drenagens de maior ordem. Nestas áreas, a intervenção antrópica deve ser mínima, com recomendações para proteção ambiental.

CONCLUSÃO

A delimitação zonas de máximos de juntas permitiu identificar as áreas de maior fragilidade ambiental e destinadas para a proteção, e também as áreas com potencial de usos múltiplos, para o planejamento da Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jaru.

No processo de integração dos dados, a sobreposição dos mapas no ArcGis permitiu visualizar e individualizar as regiões mais tectonizadas e conseqüentemente mais susceptíveis à alteração e processos erosivos.

Pôde-se notar que, uma grande vantagem apresentada pelo mapa de variação de máximos é a determinação dos Eixos, e que esses eixos indicam as zonas de maior variação de tensão, orientadas regionalmente (direção tectônica mais ativa). Os Eixos de direções N30E, EW, NS e N45W indicam o sentido de zonas de fraquezas instaladas regionalmente e que devem ser levados em conta (cuidados) no planejamento de obras civis.

Para o planejamento de uso destas áreas, os eixos indicadores de um dos máximos sinalizam possíveis anisotropias (uni a bidirecionais) nas direções das zonas de rupturas, e que devem ser evitadas com interceptação de obras de engenharia.

Referente a metodologia empregada nesse estudo, a análise morfoestrutural pode se tornar uma excelente ferramenta para identificação de áreas de fragilidades ambientais para subsidiar o planejamento no entorno de áreas protegidas e como auxiliar nos estudos diagnósticos para Planos de Manejo.

Considera-se que os resultados alcançados estão baseados em critérios técnicos confiáveis e que os produtos derivados dessa análise morfoestrutural se constituem em importantes ferramentas para a tomada de decisões por parte dos gestores ambientais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Mapa de Geomorfologia da Amazônia**. Contrato IBGE/SISCEA (Projeto SIVAM). Brasília. 2006a.

_____. **Mapa de Solos da Amazônia**. Contrato IBGE/SISCEA (Projeto SIVAM). Brasília. 2006b.

_____. **Mapa de Hidrografia da Amazônia**. Contrato IBGE/SISCEA (Projeto SIVAM). Brasília. 2006c.

CAMPOS J.N.P.; TEIXEIRA L.B.. **Estilo tectônico da Bacia do Baixo Amazonas**. In: SBG, Congr. Brás. Geol., 35, Belém, 1988 *Anais*, 5:2161-2172. Belém, 1988.

CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia**. Programa Geologia do Brasil. Porto Velho, 2000.

_____. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006. 125p.

COSTA J.B.S. & HASUI Y. Evolução geológica da Amazônia. In: M. L. Costa & R. S. Angélica (ed.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém, FINEP/SBG-Núcleo Norte, 1997. 15-90.

DAVIS, G.H., BUMP, A.P., GARCIA, P.E., AHLGREN, S.G., 2000. Conjugate Riedel deformation band shear-zones. **Journal of Structural Geology**, 22 (2): 169-190.

ESRI, **Software ArcGis 9.2**, 2008 ®.

GERASIMOV, I.P. e MECHERIKOV, J.A. **Morphostructure**. In: The Encyclopedia of Earth Sciences Series. Vol 3. Ed. Rhodes W. Fairbridge. 1968. p. 731-732.

GLOBAL MAPPER SOFTWARE LLC, **Software Global Mapper 10.1**, 2008®.

JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. **Levantamentos geoambientais e suas aplicações múltiplas: especificações e procedimentos**. Rio Claro-SP: Pós-graduação em Geociências e Ciências Exatas, 1992. (notas de aula)

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. **Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da folha São Jose de Mapibu - RN**. Geociências, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 481-491, 1993.

IBAMA. **Roteiro Metodológico de Planejamento, Parque Nacional, Reserva Biológica E Estação Ecológica**. Brasília Edições IBAMA, 2002, 136p.

LIMA M.I. **Lineamentos estruturais na sequência cenozóica Solimões e suas relações com o Cráton Amazônico e a Bacia do Alto Amazonas**. In: SBG, Cong. Brás. Geol., 35, Belém, 1988. *Anais*, 6:2396-2406. Belém, 1988.

MATTOS, J. T. de . **Evidências fisiográficas e feições paleogeográficas em Imagens Orbitais TM-Landsat na definição de modelos tectoestruturais regionais**. In: IV Simpósio Latioamericano de percepção Remota, Bariloche, 1989.

MATTOS, J. T. de ; OHARA, T. ; SANTANA, M. A.. **Uso de Sensoriamento Remoto Orbital para Avaliação do Comportamento Estrutural na Estabilidade de Taludes**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo - SP, v. 35, n. 2, p. 1-8, São Paulo, 2005.

NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. United States Geological Survey (USGS). **Shuttle radar topography mission data (SRTM)**. Sioux Falls: USGS, 2000. Disponível em: <<http://seamless.usgs.gov/website/seamless/viewer.php>>.

QUADROS, M.L.E.S., SILVA FILHO E.P., REIS M.R., SCANDOLARA J.E. **Considerações preliminares sobre a evolução dos sistemas de drenagens dos rios Guaporé, Mamoré e Madeira, Estado de Rondônia** In: SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, Belém, Anais, 242-245. 1996

RONDÔNIA. **Boletim Climatológico de Rondônia** – 2005. SEDAM/RO, Porto Velho, 2005. 20p.

RONDÔNIA. **Diagnóstico Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia e Assistência Técnica para Formulação da Segunda Aproximação do Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico**. Planaflores Volume 1- 16, SEDAM, Porto Velho, 1998.

ROSS, J. L. S.. **Relevo Brasileiro: Planaltos Planícies e Depressões**. In: Anna Fanny Carlos. (Org.). *Novos caminhos da Geografia*. São Paulo: Contexto, 1999.

SANTOS J.O.S., HARTMANN L.A., FARIA M.S.G. de, RIKER S.R.L., SOUZA M.M.de, ALMEIDA M.E., MCNAUGHTON N.J.. **A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006**. In: SBG-Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 9, Belém, 2006 CD-ROM.

SCANDOLARA J. **A tectônica de Rondônia e adjacências: esboço preliminar e aspectos evolutivos**. SBG Núcleo Norte VI Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus, 1999. Bol. Resumos Expandidos, 255-258, Manaus, 1999.

SOEIRO, R.S; MARTINS, E.G; TORRES, L. C.A. **Projeto Manganês na Serra da Providência. Convênio DNPM/CPRM, 1977**.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E.; OKIDA, R.; BETTENCOURT, J.S.; SANTOS, A.R. **Cronologia dos movimentos tectônicos em Rondônia**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, 1998. Belo Horizonte, Resumos Expandidos. Belo Horizonte, 1998, p.401.

Artigo submetido em: 06/07/2012

Aceito para publicação em: 22/08/2012

Publicado em: 22/08/2012