

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

HENRIQUE BERNINI

**DIAGNÓSTICO DA EROSÃO HÍDRICA PARA PLANEJAMENTO
DE CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MANANCIAIS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO: O CASO DE ESPIGÃO D'OESTE-
RO**

PORTO VELHO – RO

2012

HENRIQUE BERNINI

**DIAGNÓSTICO DA EROSÃO HÍDRICA PARA PLANEJAMENTO
DE CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MANANCIAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO: O CASO DE ESPIGÃO D'OESTE-
RO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia – PPGG, da
Universidade Federal de Rondônia - UNIR. Linha de Pesquisa: Meio Físico e
Desenvolvimento Sustentado

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

PORTO VELHO – RO

2012

Bernini, Henrique.

Diagnóstico da perda de solo por erosão hídrica para planejamento de conservação e manutenção de mananciais de abastecimento público: o caso de Espigão d'Oeste - RO/ Henrique Bernini – Porto Velho, 2012.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG.

Área de Concentração: Meio Físico e Desenvolvimento Sustentado.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho.

1. Manancial de abastecimento público - 2. Erosão hídrica - 3. RUSLE - 4. Rondônia

Henrique Bernini

**DIAGNÓSTICO DA EROÇÃO HÍDRICA PARA PLANEJAMENTO
DE CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MANANCIAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO: O CASO DE ESPIGÃO D'OESTE-
RO**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.

Eliomar Pereira da Silva Filho

Orientador

Profa. Dra.

Eloiza Elena Della Justina

Examinador Interno

Profa. Dra.

Ana Cristina dos Santos Corrêa Strava

Examinadora Externa

Dedico este estudo: Ms. Elizabeth Vencio - In memorian, pela dedicação incansável para com os povos amazônidas e Adam Yauch ("MCA" – Beastie Boys) - In memorian, por manter mais agradável as horas de estudo.

As demandas do mercado global por água, energia, alimentos, biocombustíveis e fármacos, bem como a crescente preocupação mundial com os riscos para a humanidade, decorrentes de práticas ambientais destrutivas, aumentaram a importância geopolítica da Amazônia e de seus recursos naturais.

Academia Brasileira de Ciências - ABC.

AGRADECIMENTOS

A Jah, Nosso Pai, Deus, Rei dos reis, Senhor dos Senhores, Leão Conquistador da Tribo de Judá.

A meus pais, Rogério Bernini e Rosely Pereira dos Santos Bernini e irmãos (Juninho e Camila), no qual constituem a representatividade divina sobre minha vida, meus princípios e força.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho, que nos últimos anos apostou incondicionalmente na minha capacidade e me ensinou a ajudar ao próximo através da pesquisa, digo que tal comportamento é reflexo de grandeza, por isso admirado.

Agradeço também ao que carinhosamente me acostumei chamar de “*As três mosqueteiras do meio ambiente*” Dra. Ana Cristina dos Santos Corrêa Strava (ANA), Prof. Ms. Tatiane Emilio Checchia (UNIR) e bióloga Astréa Alves Jordão (SIPAM), por todo tempo e paciência para ensinar os grandes valores da vida e o quão é importante usar nossa passagem aqui na terra em benefício do próximo.

Agradecer a ajuda indispensável do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Rondônia – UNIR e ao Ministério Público do Estado - MPE em especial ao Promotor Dr. Glaucio Maldonado pela perseverança diante das adversidades na luta pelos direitos e deveres do estado.

Aos professores Dr. Dorisvalder Dias Nunes e Dra. Eloíza Elena Della Justina por toda crítica construtiva na fase de Qualificação. A Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia – SEDAM em especial aos meteorologistas Ms. Marcelo Gama e Fabio. Agradeço também a Ms. Kátia Casula por todo apoio durante o primeiro ano desta árdua fase

A equipe do Ministério Público, comarca de Espigão d'Oeste – RO, em especial

a minha equipe de campo composta pelo Oficial de Diligência Waldek e Vanisa Durand além da Gestora Ambiental Lirvani Favero Storch (FACIMED) e ao Técnico Agrícola Erick (EMATER) por todo apoio nas atividades de campo”.

Ao futuro Doutor Giovanni Bruno Souto Marini, amigo de hardcore e de graduação e ao também futuro Doutor Michel Watanabe pela sua ajuda no período de tratamento das informações.

Aos amigos do SIPAM, em especial os companheiros de cotidiano o biólogo Thiago Bortoleto Rodrigues, Eng. de telecomunicações Apolônio Junior, Prof. Ms. José Carvalho (UFPA). Aos companheiros Assis Silva e Marcio Souza por todo o momento partilhado ao longo dos últimos anos.

Agradeço também aos amigos bolsistas do SIPAM de toda parte deste país e em especial meu querido amigo e futuro Mestre Fabiano Luís Belém e a querida Geógrafa Barbara Karina do Nascimento, ao Prof. Ms. Marcelo Tavares, ao Meteorologista Diego Souza e ao futuro Mestre Janielson Lima.

Aos amigos que são de coração, onde reside toda emoção compartilhada ao longo de todas as fases da vida, Ada Caetano Marini e Cezar Marini, Daniela Nascimento, Raony Gomes Ferreira e a família do Nego Velho, Gracildo Maia Junior, Diego Bentes e família ULTIMATO, Jonhata Relvas, Leonardo Albuquerque, Izabelle Closs, Maiara Vieira, Laura Souza Pinto, Manuel de Souza Santos, Dennis Russelakis, Ana Nedeff de Paula, Tamara Alves, Laís Molitor, Thais Molitor, Luis Paulo e família Coletivo C.A.O.S (Cultura e Arte Organizando o Social), além dos meus eternos parceiros do coletivo *Apenera* Fabio Caiana e Thiago *Mild*.

Por fim, a todos que também fizeram parte dessa caminhada e deram todo apoio na alegria ou na tristeza.

Resumo

As modificações no espaço em prol do desenvolvimento econômico têm motivado certa preocupação com os recursos naturais. Embora a água seja um recurso tipicamente renovável, pode tornar-se exaurível se no processo de sua exploração forem destruídas as condições ecológicas que permitem a sua regeneração natural. O planejamento e gerenciamento passam a ter um reforço maior principalmente em unidades hidrográficas de uso múltiplo servindo para o abastecimento público, geração de energia, irrigação, uso industrial, lazer, recreação, turismo, entre outros. Esta pesquisa tratou do diagnóstico da bacia do rio Palmeira, em Espigão d'Oeste- RO, utilizando modelo RUSLE para mensurar a perda do solo potencial como indicador da situação ambiental desta unidade territorial como contribuição para o planejamento de programas e projetos que visam à manutenção e conservação de mananciais de abastecimento público em Rondônia. Os resultados mostraram que a bacia composta por Latossolos relativamente resistentes a erosão, sob relevos aplainados, com a cobertura modificada para pastagens, sem nenhuma prática conservacionista em área com precipitações médias intensas ao longo de 6 meses. A perda de solo real corresponde a aproximadamente 16% do Potencial Natural de Erosão – PNE, obtendo direta correlação entre perda do solo real com as áreas cuja cobertura vegetal original foi removida para outro tipo de manejo, a exemplo das pastagens que resultou em 85% da produção de sedimentos em toda a bacia. Nas áreas de APP, ficou evidente a fragilidade do ecossistema, onde mesmo com a cobertura florestal de 63% de sua área total, sua perda de solo real foi 6% superior a área total da bacia. Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto a praticidade do método aplicado, mostrando-se este uma ferramenta auxiliar no planejamento de conservação e manutenção em mananciais de abastecimento público.

Palavras-chave: Perda de solo, RUSLE, Mananciais de abastecimento Público, Rondônia.

Abstract

The changes in the environment on behalf of the economic development have aroused concern about the natural resources. Water is typically a renewable resource, however, it might become inadequate if in the exploration process the ecological conditions that make its natural regeneration are destroyed. The planning and management are reinforced mainly in multiple-use hydrographic units serving the public supply, energy generation, irrigation, industrial use, leisure, recreation, tourism, among others. This research pursued the Palmeira River watershed diagnosis (in Espigão d'Oeste, RO) using the RUSLE model to measure the soil potential loss as an indicator of the environmental situation of this territory, subsidizing the planning of program and projects that aim at maintaining and conserving public water supply basins in Rondônia. The results have shown that the watershed composed by relatively resistant to erosion soils, under plane geomorphology, with their vegetation cover modified to have grazing, with no conservational practices in areas with intense rainfall average along 6 months.

The real soil loss corresponds to approximately 16% of the Natural Erosion Potential – NEP having a direct relation from the real soil loss to the areas whose original vegetation cover was removed to another kind of management as the grazing which have resulted in 85% of the total watershed sediments production.

The ecosystem fragility was clear in the APP areas where even with the 63% forest cover from the total area, its real soil loss was 6% superior to the total watershed area. The results obtained were satisfactory when it comes to the practicality of the applied method, being presented as an extra tool in the conservation and maintenance planning in public supply watersheds.

Key words: Soil loss, RUSLE, public watershed supply, Rondônia.

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	18
1.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
2.	OBJETIVO:.....	22
2.1.	OBJETIVO GERAL:.....	22
2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO:.....	22
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1.	MECANISMOS DO PROCESSO HIDROSEDIMENTOLÓGICO.....	23
3.2.	ESTIMANDO PERDA DE SOLO POR EROÇÃO HÍDRICA (MODELOS FÍSICOS AMBIENTAIS) NOS LIMIARES DA GEOGRAFIA.	26
3.3.	MODELO DE EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA (RUSLE).....	29
3.3.1.	RUSLE e seus componentes.....	31
3.4.	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA- SIG.....	38
4.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E FISIOGRAFIA.....	41
4.1.	ÁREA DE ESTUDO	41
5.	FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO	44
5.1.	HIDROGRAFIA.....	44
5.2.	GEOLOGIA.....	45
5.3.	GEOMORFOLOGIA.....	48
5.4.	SOLOS.....	52
5.5.	VEGETAÇÃO	55
5.6.	CLIMA.....	59
6.	MATERIAL E MÉTODO.....	63
6.1.	ORGANIZAÇÃO METODOLÓGICA.....	63
6.1.1.	Levantamento e formação da base cartográfica	64
6.1.2.	Atividades de campo	65
6.1.3.	Tratamento das informações.....	66
6.2.	FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO	81
6.2.1.	Determinação do Potencial Natural a Erosão (PNE).....	81
6.2.2.	Estimativa da Perda de Solo (A)	83
7.	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	84
7.1.	FATORES DA RUSLE	84

7.1.1. Erosividade (fator R)	84
7.1.2. Erodibilidade (fator K)	93
7.1.3. Prática conservacionista (fator P)	98
7.1.4. Uso do Solo (fator C)	98
7.1.5. Cumprimento de rampa e declividade (fator LS)	102
7.2. POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO – PNE	107
7.3. PERDA DE SOLO (A)	111
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	116

Lista de Figuras

Figura 1: Ilustração ciclo hidrológico; (Silveira, 2004).	23
Figura 2: Produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas, Adaptado de Bordas e Semmelmann (2001).	25
Figura 3: Nomograma para determinação do fator de erodibilidade do solo; (WISCHMEIER et al., 1971).	35
Figura 4: Área da bacia do Rio Palmeira no município de Espigão D' oeste, RO.....	43
Figura 5: Bacia de Forma circular e o respectivo comportamento da vazão.....	44
Figura 6: Mapa geológico do manancial do rio Palmeira (CPRM, 2007).....	47
Figura 7: Mapa das Unidades Geomorfológicas do manancial do rio Palmeira (ZEE-RO, 2000).....	51
Figura 8: Mapeamento pedológico do manancial do rio Palmeira (ZEE-RO, 2000).....	54
Figura 9: Mapeamento da cobertura vegetal no manancial do rio palmeira (ZEE- RO, 2000).....	58
Figura 10: Classificação climática para o estado de Rondônia baseado nos dados Normais Climatológicas Provisória e na classificação climática de Thornthwaite (1948).	62
Figura 11: Organização metodológica.....	63
Figura 12: Comparação entre a precipitação acumulada dos pluviômetros e do TRMM	68
Figura 13: Espacialização da rede hidrometeorológica e a grade de pontos do produto 3B42 do satélite TRMM, com destaque para a estação Vista Alegre e o ponto de grade Lat. -11.5 Long. -61.5.....	70
Figura 14: Mapa com a localização dos perfis de amostra de solos de acordo com a metodologia do banco de dados de Solos e Terrenos de Rondônia – SOTERON (PLANAFLORO, 1998).	73
Figura 15: Forma, coleta e identificação das amostras de solo.	74
Figura 16: Direção de fluxo por codificação de células vizinhas pelo menor valor altimétrico. (adaptado de SILVA, 2003)	76
Figura 17: Imagens sintéticas geradas a partir do MLME. As figuras a, b e c representam respectivamente as frações solo, sombra/água e vegetação.....	78
Figura 18: Fluxograma de etapas e variáveis para determinar Potencial Natural a Erosão. (adaptado de CHECCHIA, 2004).....	82

Figura 19: Fluxograma de etapas e variáveis para estimar perda de solo, adaptado de SILVA et. al (2007).	83
Figura 20: Comparação entre a precipitação média a partir da estação de superfície e do TRMM.	85
Figura 21: Precipitação acumulada (mm) por satélite (TRMM) e estação observada (1161000 – Vista Alegre).	85
Figura 22: Variação sazonal da precipitação média anual.	86
Figura 23: Mapas com a distribuição espacial da isoerosividade mensal para o manancial do rio Palmeira – Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho.....	89
Figura 24: Mapas com a distribuição espacial da isoerosividade mensal para o manancial do rio Palmeira – Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho.....	90
Figura 25: Distribuição da erosividade anual no manancial do rio Palmeira.....	92
Figura 26: Solo do tipo LVAd Figura 8: Solo do tipo LVef.....	94
Figura 28: Dados temáticos de uso do solo atual na bacia do rio Palmeira.	99
Figura 29: Mapeamento gerado por processamento digital das imagens SPOT 5 com o uso das técnicas de Modelo Linear e Classificação Supervisionada.	100
Figura 30: Presença de pastagem em Área de Preservação Permanente - APP.	101
Figura 31: Percentual de área para classe de declividade conforme EMBRAPA (1979), na bacia do rio Palmeira e área de Preservação Permanente – APP.....	102
Figura 32: Mapa de declividade da bacia do rio Palmeira conforme EMBRAPA, (1999).	103
Figura 33: Presença de relevo ondulado à fortemente ondulado na unidade geomofológica de Agrupamentos e Morros (D.3) cuja declividade varia de 20 a 45%.	104
Figura 34: Mapa de declividade da bacia do rio Palmeira conforme EMBRAPA, (1979).	106
Figura 35: Variação sazonal do Potencial Natural de Erosão para o manancial do rio Palmeira.....	108
Figura 36: Mapeamento do PNE médio anual na bacia do rio Palmeira.....	110
Figura 37: Mapa da Perda de solo anual (A) na bacia do Rio Palmeira.....	113

Lista de Tabelas

Tabela 1: Modelos Utilizados na Hidrologia. Adaptado de Lopes, 2008.	29
Tabela 2: Diferenças entre a USLE e RUSLE de acordo com Checchia (2005) adaptado de Norton & Laften (1996) e Renardin (1997).....	31
Tabela 3: Equações de erosividade da chuva ajustadas para algumas localidades do território brasileiro, Adaptado de SILVA (2003).	33
Tabela 5: demanda de abastecimento animal em Espigão d'oeste – RO.....	42
Tabela 6:	44
Tabela 7: Formações vegetais e área ocupada no estado de Rondônia.....	55
Tabela 8: Classificação climática de Thornthwaite (1948) com dados da Normal Climatológica Provisória (OMM).....	60
Tabela 8: Valor do fator c para cada tipo de uso e cobertura do solo.	80
Tabela 9: Precipitação média anual na bacia do rio Palmeira.	87
Tabela 10: Erosividade média mensal e desvio padrão na bacia do Rio Palmeira.....	87
Tabela 11: Descrição dos perfis e tipo de solo de acordo com a classificação brasileira localizado na área de estudo.	93
Tabela 12: Relação silte/argila, para horizonte A e B das amostras de solo.	93
Tabela 13: Definição das classes de permeabilidade descritos em cada perfil localizado na área de estudo segundo a classificação da EMBRAPA (1997).	94
Tabela 14: Classes de estrutura em cada perfil localizado na área de estudo.	95
Tabela 15: Quantidade de Matéria Orgânica nos perfis analisados.....	95
Tabela 16: Dados físicos dos horizontes A e B de cada perfil.	96
Tabela 17: Valores de erodibilidade (fator k) nos perfis analisados.	96
Tabela 18: Valores médios de erodibilidade e coeficiente de variação de cada tipo de solo.	97
Tabela 19: Índice geral de Kappa e para cada classe.	98
Tabela 20: Valores mensais e anual do Potencial Natural de Erosão – PNE.....	107
Tabela 21: Distribuição espacial da quantidade de perda de solo potencial na bacia do rio Palmeira.	109

Tabela 22: Valores mensais, anual e coeficiente de variação (cv) de perda de solo (A) na bacia do rio Palmeira	111
Tabela 23: Relação entre classes de perda de solo e área da bacia e de APP.....	112
Tabela 24: Perda de solo real para os diferentes usos na área da bacia do Rio Palmeira.	114
Tabela 25: Perda de solo para os diferentes usos na APP.	115
Tabela 26: Comparação entre Perda de solo (A) real.....	115

Lista de Siglas e Abreviaturas

A - Estimativa de erosão específica

K - Fator de erodibilidade do solo

R - Fator erosividade da precipitação

L - Gradiente de comprimento da vertente

S - Gradiente de declividade da vertente

C - Relação de cobertura vegetal

P - Relação de prática agrícola

I30 - Intensidade máxima de uma chuva de 30 minutos de duração

APP – Área de Preservação Permanente

ANA – Agência Nacional de Águas

MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral

OMM – Organização Mundial de Meteorologia

PLANAFLORO – Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia

PNMH – Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

PNE - Potencial natural de erosão

PRMC – Programa de Recuperação de Mata Ciliar

PROBACIAS – Programa de Recuperação de Bacias Hidrográficas

RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation (Equação Universal de Perda de Solo Revisada)

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIPAM- Sistema de Proteção da Amazônia

SOTRO – Solos e Terrenos de Rondônia

SOTEROM – Banco de Dados dos Terrenos e Solos do estado de Rondônia

USLE – Universal Soil Loss Equation (Equação Universal de Perda de Solo)

ZCIT – Zona de Convergência Inter-Tropical

ZEE-RO – Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Rondônia

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Rondônia sofreu nas últimas décadas um intenso processo de ocupação territorial advindo da concepção geopolítica do estado brasileiro, que pretendia consolidar a nacionalidade para região da Amazônia. Tal geopolítica tinha como finalidade ocupar a região através da abertura de novas fronteiras agrícolas, rompendo o isolamento, acelerando o progresso econômico e diminuindo tensões sociais no sul e centro-sul do país (FERNANDES, 2008).

Sobre este processo de ocupação, Becker (2005) afirma: “Todos sabem como o projeto de integração nacional acarretou perversidades em termos ambientais e sociais”.

Esta mudança estrutural na região é caracterizada pela conversão de grandes áreas de florestas em áreas de pastagens, exploração madeireira e fixação de núcleos urbanos ao longo da BR 364. Fearnside (2005) afirma que a erosão e a compactação do solo e a exaustão dos nutrientes estão entre os impactos mais óbvios deste processo de ocupação.

Para Pereira (2009), transgressões à natureza e à sociedade decorrente dos modelos de desenvolvimento implantada demonstram que não é mais suportável para a sociedade, nem para a natureza, modelos de desenvolvimento que não respeitem seus limites, suas capacidades de absorver impactos de autorregenerar-se.

Diante disto e devido à preocupação com os impactos desse processo geopolítico sobre a demanda hídrica no estado de Rondônia, principalmente em mananciais de abastecimento público, algumas instituições públicas têm

se organizado e alocado esforços para subsidiar tecnicamente os trabalhos de recuperação das bacias mais prejudicadas pelo uso inadequado da terra.

Pautado sob a estimativa de que 1/3 das áreas desmatadas em Rondônia está inserida em Áreas de Preservação Permanente - APP's, o Governo do estado de Rondônia criou, através do decreto 14.133 de 18 de março de 2009, o Programa de Recuperação de Mata Ciliar – PRMC. Concomitante às ações do estado, o Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM/CTO-PV, na perspectiva de preservação, proteção e recuperação destas áreas degradadas, traz propostas para a gestão ambiental da mata ciliar dos mananciais através do Projeto de Manutenção e Restauração Ecológica de Bacias Hidrográficas - PROBACIAS.

Entretanto, tais projetos e programas governamentais necessitam de análises que apontem melhor o nível de degradação e ao mesmo tempo indiquem a capacidade de uso e manejo dos solos destas bacias hidrográficas, com a finalidade de encontrar a melhor maneira de gerenciar os recursos hídricos contemplando a fragilidade do ambiente perante tais usos e manejos, que também são dependentes destes mananciais hídricos, tanto no campo quanto na área urbana.

Para Silva (2007), Carvalho (1994), Christofolletti (1999) e Bertoni & Lombardi Neto (2005) um bom diagnóstico da determinação do grau de instabilidade de uma bacia é a quantificação da perda de solo por erosão hídrica. No Brasil alguns autores como Fujihara (2002) em São Paulo e Checchia (2005) e Pereira (2009) em Santa Catarina já utilizaram esta estratégia para compor o planejamento de atividades voltadas à recuperação e conservação de bacias hidrográficas.

Christofolletti (1999) afirma que a análise da erosão dos solos com base na ação dos processos hidrológicos é mais bem investigada ao usar modelos como método de compreensão do processo. Esta afirmação ganha consistência na opinião de Castro (1992), ao observar que os resultados gerados a partir de análises em Sistemas de Informação Geográfica – SIG

permite quantificar a perda de solo ao longo do espaço e tempo.

Autores como Saiz (1996) e Silva (2003) também afirmam que o mapeamento do processo erosivo de uma bacia é um método otimizado de elaborar critérios para direcionar o planejamento da recuperação e conservação de áreas consideradas críticas de acordo com o grau de perdas de solo.

A fim de diagnosticar a erosão hídrica e seus fatores ambientais controladores para compreender a fragilidade do ambiente, será utilizado na bacia do rio Palmeira em Espigão d'Oeste – RO o modelo de Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). Tal procedimento tem o intuito de incorporar este diagnóstico ao planejamento das atividades de recuperação e conservação dos programas PROBACIAS e PRMC em outros mananciais do estado de Rondônia.

Portanto, com aplicação do modelo RUSLE é possível representar os principais fatores envolvidos no processo de erosão e realizar a integração dos mesmos em Sistemas de Informação Geográfica – SIG, para então equacionar a perda de solo na bacia e compreender como este processo atua na mesma (ARAÚJO JR, 1997).

Os motivos que levaram a escolha da área e do estudo devem-se ao fato de que este manancial, assim denominado por servir de área receptora da água que abastece o município de Espigão d'Oeste - RO, já reúne esforços por parte do Programa de Recuperação de Mata ciliar – PRMC e do Projeto de Manutenção e Restauração Ecológica de Bacias Hidrográficas – PROBACIAS, para a manutenção e conservação desta unidade territorial. Espera-se que os benefícios deste projeto no manancial do rio Palmeiras favoreçam aproximadamente 22.118 (vinte e dois mil cento e dezoito) habitantes, o que corresponde a 76% da população do município.

Dados do Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM (BRASIL, 2010) mostram que programas e projetos desta magnitude têm impacto significativo na população do estado. Estima-se que 112.000 (cento e doze

mil) habitantes são beneficiados com a recuperação destas áreas. Em relação à área de abrangência, a demanda gerada soma um quantitativo de aproximadamente 970.000 Km² (novecentos e setenta mil) em seis municípios do estado de Rondônia.

Torna-se necessário abordar a ênfase proporcionada na recuperação e conservação destas áreas degradadas, como fomento na execução da legislação correspondente a conservação e recuperação das APP's (Área de Preservação Permanente) em cumprimento do que institui o Código Florestal brasileiro (lei N° 4.771/65). Assim, proporciona-se à comunidade envolvida, uma etapa a menos na regularização ambiental de suas propriedades almejando a licença ambiental necessária para o uso da terra, conforme prevê a própria legislação.

Capítulo 2

2. OBJETIVO:

2.1. OBJETIVO GERAL:

Aplicar o modelo de Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), com o intuito de formatar um diagnóstico da perda de solo para compreender a fragilidade ambiental do manancial do rio Palmeira em Espigão d'Oeste – RO.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Avaliar a condição atual da perda de solo real por erosão hídrica, levando em consideração os diferentes usos do solo na bacia e nas Áreas de Preservação Permanente – APP inserido nesta unidade de estudo;
- Determinar a susceptibilidade das áreas através do Potencial Natural de Erosão – PNE para a bacia do Rio Palmeira (Espigão d'Oeste-RO);
- Conhecer o comportamento dos fatores ambientais, calculando os valores numéricos da declividade e comprimento de rampa (LS), erosividade (R), erodibilidade (K), uso e manejo do solo (CP) para sua perda de solo, utilizando o modelo RUSLE em ambiente SIG.

Capítulo 3

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MECANISMOS DO PROCESSO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

A área denominada “Bacia Hidrográfica” é reconhecida legalmente como uma unidade territorial através da LEI N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil. Descrita em seu artigo primeiro como unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos política, a bacia compreende as fases aérea, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico. Destacam-se três processos importantes desse regime, sendo eles: precipitação, ocorrendo em seu fluxo vertical juntamente com o processo de evapotranspiração, e o escoamento que ocorre em sentido longitudinal ao longo do espaço, como demonstrado na figura 1.

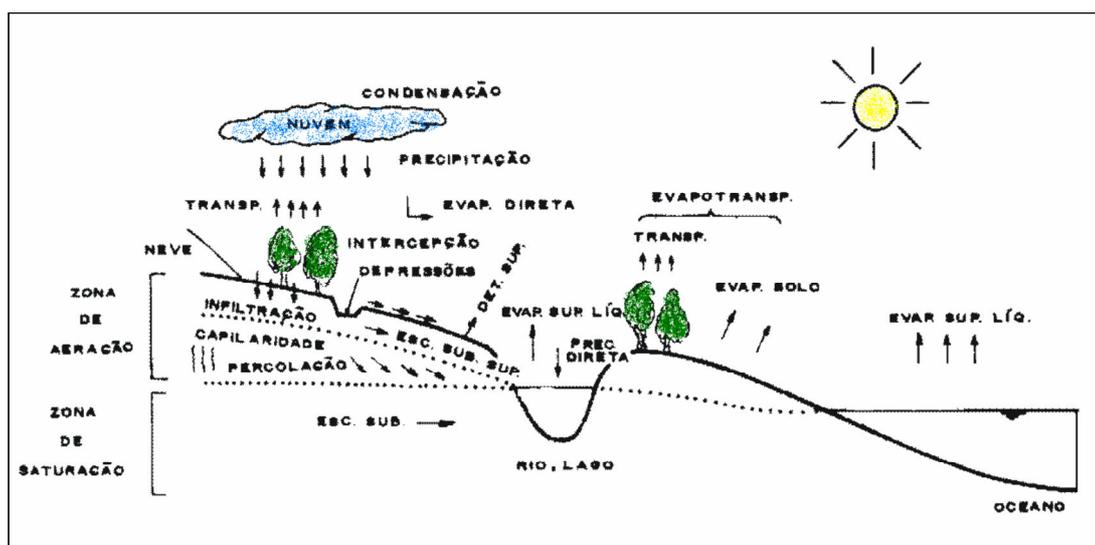


Figura 1: Ilustração ciclo hidrológico; (Silveira, 2004).

Em tese, os processos hidrológicos cumprem suas funções sem

apresentar anormalidades na quantidade (vazão) e na qualidade da água quando a bacia encontra-se com a cobertura original preservada, pois ela contribui para o equilíbrio do processo, a exemplo da Amazônia e sua floresta. No entanto, com a mudança de cobertura do solo, é necessário lidar com o efeito que esta modificação produz. As bacias que funcionam como manancial de abastecimento público se tornam-se mais vulneráveis por estarem próximas dos núcleos urbanos e, ao mesmo tempo, fornecer o serviço de abastecimento da população desses núcleos, Pellizzaro *et. al* (2008).

O fenômeno denominado erosão ocorre quando fatores ambientais ativos na atmosfera provocam o desprendimento das partículas que compõem o solo. Possui caráter natural, quando é apenas parte do processo geomorfológico, ou acelerado, quando alterada as condições naturais do ambiente, provocada principalmente pela intervenção humana (CARVALHO, 1994).

O mecanismo da erosão hídrica se dá com a ação erosiva da água oriunda da precipitação. Em regiões amazônicas é considerada a precipitação apenas sob forma de chuva. A ação erosiva ocorre pelo impacto da gota de chuva que atinge a superfície diretamente ou pelo gotejo das folhas, e este apresenta velocidade e energia variável, segundo o seu diâmetro, ocasionando um maior ou menor impacto. Quando em contato com o solo, este impacto provoca o desprendimento de sedimentos produzindo o potencial natural de erodir o solo (LIMA, 2008).

É necessário destacar que a cobertura vegetal no processo erosivo se torna relevante por ser uma forma de defesa natural de um terreno contra erosão, protegendo diretamente o solo dos impactos causados pelo gotejamento das chuvas. Sob condições naturais, as copas das árvores, a vegetação de sub-bosque e principalmente a serapilheira de uma floresta fazem o papel de “amortecedores” da energia cinética contida na gota d’água da chuva, impedindo o contato direto entre a gota d’água e as partículas de solo, evitando a intensificação do processo erosivo por

conhecido por salpicamento (SILVA *et al*, 2007).

Após a taxa de infiltração do solo atingir a saturação (escoamento superficial) todo o material é transportado por turbulência e se desloca lateralmente sobre o relevo em declive, contribuindo para o deflúvio, até ser depositada em regiões de relevo aplainado, completando suas etapas neste processo por erosão hídrica, conforme figura 2 (LOPES 2008 apud CARVALHO 1994).

A figura 2 é uma ilustração de Bordas e Semmelmann (2001), destacando que a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica pode ser dividida em: **interflúvios ou vertentes**, que constituem a área de captação e produção de sedimentos, sendo assim, considerada a área com maior degradação, onde o rio transporta elevada quantidade de material grosseiro; **leitos ou calhas**, onde se concentra o escoamento e que têm por papel principal a propagação até o exultório; **planícies aluviais ou várzeas**, que circundam as calhas e que funcionam como receptores dos sedimentos produzidos a montante nas áreas fornecedoras de sedimentos.

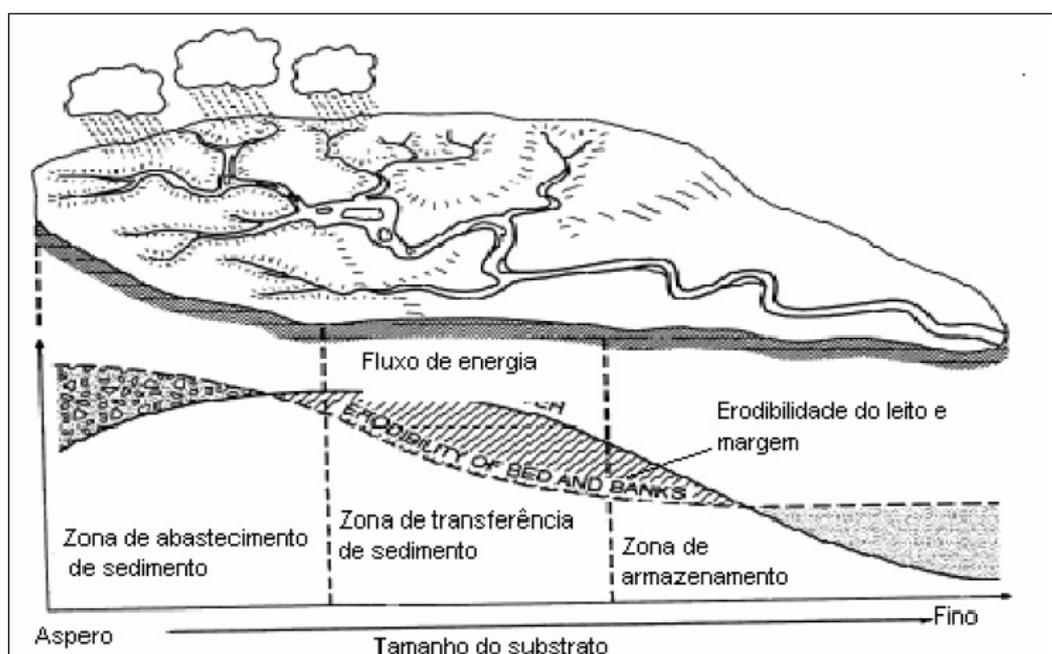


Figura 2: Produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas, Adaptado de Bordas e Semmelmann (2001).

A intensidade deste processo depende da combinação dos fatores físicos, tanto ativos, como a característica da chuva, declividade e comprimento do terreno, capacidade de absorção de água pelo solo (infiltração), quanto passivos, como a resistência do solo a erosão e a densidade da cobertura vegetal, Silva (2003).

3.2. ESTIMANDO PERDA DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA (MODELOS FÍSICOS AMBIENTAIS) NOS LIMIARES DA GEOGRAFIA.

Segundo BRAUNER e LOOSER (1989) o conhecimento das mudanças da produção de sedimentos é relevante para implicação ambiental, econômica e social quando é relacionado com a degradação do solo e a redução da produtividade agrícola, aumentando as taxas de sedimentação de reservatórios e rios, a destruição dos ambientes aquáticos e o manejo dos rios, causando situações adversas na qualidade de vida.

Pereira (2010) complementa tal raciocínio explicando que seu fluxo também é fundamental para a manutenção dos ambientes naturais. Desta forma, conceber uma estratégia de planejamento de caráter técnico-político pode ser um importante instrumento de organização do uso e ocupação da terra, desde que esteja de acordo com as potencialidades e limitações do espaço.

No que se refere à leituras integradas das organizações espaciais no âmbito da geografia, observam-se em seu processo de evolução várias contribuições que auxiliam na sua apreensão, compreensão e na tomada de decisões de caráter espacial (CARVALHO & MATIAS, 2008).

Ao focalizar a questão de definição e objeto da Geografia, Christofletti (1999) comenta que a proposta trabalhada em torno do conceito de organização espacial como sistema funcional e estruturado espacialmente é potencialmente a mais adequada, onde o termo

“organização” nos remete à ideia da existência de ordem e entrosamento entre as partes ou elementos de um conjunto, a exemplo dos processos erosivos.

Esta organização espacial é caracterizada, segundo Lima & Queiroz Neto, (1997) como entidade organizada na superfície terrestre formada pelos subsistemas físico/natural e antrópico, bem como por suas interações. Cada organização espacial engloba em si mesma os componentes e as variáveis dos seus elementos. Ao ponderar tais elementos e suas interações no subsistema em planejamento estamos categoricamente organizando o espaço, aferindo suas potencialidades ou limitações se adequando a forma correta de manejar tal subsistema.

Através desta compreensão conceitual, um dos métodos investigativos utilizado para os estudos de sistemas ambientais é a modelagem, sendo definida por Chorley (1975) como uma estruturação simplificada da realidade, que por ser complexa, necessita de instrumentos que permitam apresentar de forma generalizada suas características e relações. A modelagem é o processo de gerar-se modelos.

Christofoletti (1979), ao realizar uma revisão sobre o assunto, observou que os modelos são considerados instrumentos que atendem aos requisitos envolvidos nas diretrizes metodológicas da pesquisa científica, constituindo uma importante ferramenta para analisar as características e investigar mudanças nos sistemas ambientais. Embora com seu caráter amplo, deve ser usado ponderando as suas limitações, procurando discernir as maneiras mais adequadas para superá-las.

Sob a mesma ótica, Christofoletti (1999) menciona que a estruturação de modelos para analisar a sequência dos fenômenos procura salientar os fluxos e as transformações de determinados elementos, como água ou sedimentos, através de vários subsistemas, funcionando de modo contíguo e integrado, considerando também as modificações geradas pelo uso e ocupação do solo.

Modelo é uma representação do comportamento do sistema (ou objeto), podendo ser apresentado de forma estática ou dinâmica (CHECCHIA, 2004 *apud* KOBIYAMA *et al.*, 1999). Checchia (2004) citando Skilling (1965) concorda que modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma ideia estruturada; pode ser uma função, uma relação ou uma equação; pode ser uma síntese de dados e pode incluir argumentos sobre o mundo real por meio de representações no espaço ou no tempo.

Na maioria das aplicações, a linguagem mais empregada é a das formulações matemáticas em simulações computacionais, propiciando uma maior amplitude das condições a serem simuladas, podendo ser realizadas repetidamente, com crescente facilidade. O custo de executar um programa computacional se torna bem menor do que o correspondente à investigação experimental (Kobyama & Manfroi, 1999).

Checchia, (2004) em concordância com Kobyama & Manfroi (1999), ainda cita que há uma enorme variedade de modelos. Estes modelos diferem-se em termos de complexidade, processos considerados e os dados requeridos para calibração e uso do modelo. O modelo mais apropriado dependerá da intenção de sua aplicação e das características da bacia hidrográfica a ser considerada, não existindo um único modelo que pode categoricamente ser indicado como o mais apropriado para todas as situações.

A modelagem de erosão de solos é um processo de predição e sua forma mais comum de descrição é a da matemática do sistema físico idealizado. Dependendo do modelo, pode-se estimar etapas deste processo desde o desprendimento, transporte até a deposição das partículas de solo da superfície, avaliando a perda de solos, prevendo onde e quando a erosão ocorre, auxiliando, assim, no planejamento de práticas conservacionistas que reduzam a erosão, conforme Christofletti (1999) e Lopes (2007).

3.3. MODELO DE EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA (RUSLE)

Anterior às grandes representações, no final do século XIX e começo do século XX, o desenvolvimento de ferramentas para o estudo de erosão hídrica limitava-se ao entendimento e a descrição qualitativa dos principais fatores que afetam o processo erosivo. O monitoramento e o desenvolvimento desses modelos foram evoluindo e resultando em uma maior série de dados e modelos que acabam por envolver uma maior quantidade de números e variáveis, conforme tabela 1.

Tabela 1: Modelos Utilizados na Hidrologia. Adaptado de Lopes, 2008.

Nome do modelo	Abreviatura	Escala	Referência
<i>Universal Soil Loss Equation</i>	USLE	Lavoura	Wischmeier e Smith(1965); (1978)
<i>Modified Universal Soil Loss Equation</i>	MUSLE	Lavoura	Williams (1975)
<i>Modified Universal Soil Loss Equation II</i>	USLE-M	Lavoura	Kinnell e Risse (1998)
<i>Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems</i>	CREAMS	Bacia Hidrográfica	Knisel (1980)
Areal non-point source watershed environment response simulation	ANSWERS	Bacia Hidrográfica	Beasley, Huggins e Monke (1980)
Erosion-Productivity Impact Calculator	EPIC	Bacia Hidrográfica	Williams et al. (1984)
Simulator for Water Resources in Rural Basins	SWRRB	Bacia Hidrográfica	Williams, Nicks e Arnold (1985); Arnold et al. (1990)
Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems	GLEAMS	Bacia Hidrográfica	Leonard et al. (1987)
Soil and Water assessment Tool	SWAT	Bacia Hidrográfica	Arnold et al. (1998)

Dentre muitos modelos, que buscam exprimir a ação dos principais fatores que influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, o que trata o assunto de modo mais dinâmico, por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter aplicação generalizada, é a chamada Universal Soil Loss Equation – USLE, ou simplesmente a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS.

Desenvolvido por WISCHMEIER e SMITH (1965) deriva de uma reunião e interpretação dos dados de perdas de solo e água coletados em vários locais dos EUA. Tem sido um dos modelos de erosão mais utilizados, permitindo estimar a perda média anual de solo discriminando as significâncias dos diferentes fatores que regem o processo erosivo, incluindo dados de precipitação, características do solo e do terreno e uso e manejo do solo.

No Brasil a equação foi primeiramente usada em trabalhos desenvolvidos por Bertoni *et al.* (1975), no estado de São Paulo. Desde então vem sendo avaliada por vários autores, como Silva & Freire (1978) e Denardin (1990) além de Foster (1985), quanto a sua aplicabilidade em nossas características tropicais.

O aspecto geral da EUPS ou USLE é estimar a erosão do solo com base em séries de coletas de informações sobre a erosividade da chuva e erodibilidade do solo sobre o relevo local (vertentes). Considera ainda o uso do solo e práticas agrícolas no modelo, uma vez que, esses fatores ambientais são agentes que participam do processo erosivo.

O modelo tornou-se uma referência após os autores realizarem ajustes e incorporarem dados ao modelo criando um manual de boas práticas nos EUA com a publicação *“Predicting rainfall erosion losses from cropland”* (Wishmeier & Smith, 1965).

No entanto, Checchia (2005) citando Norton & Laften (1996) e Renard *et al.* (1997) apresenta alguns problemas que levaram a construção de uma Equação Universal de Perdas de Solo Revisada – RUSLE, que conforme

tabela 2 supre as dificuldades encontradas na primeira versão, a USLE.

Tabela 2: Diferenças entre a USLE e RUSLE de acordo com Checchia (2005) adaptado de Norton & Laften (1996) e Renardin (1997)

USLE	RUSLE
- Não exige a entrada de dados sofisticados/numerosos;	- Usa algoritmos para o calculo;
- Foi construído para medir as perdas de solo em longo prazo;	- Mensura perdas de solo ao longo do tempo;
- Foi desenvolvido para comprimentos e inclinação de vertentes relativamente moderadas;	- Utilização de algoritmos para calcular comprimento de vertente e declividade (LS) refletindo a erosão laminar e em sulcos;
- Não foi projetada para solos tropicais.	- Calcular o fator topográfico (LS) para vertentes de variadas formas;
	- Desenvolvimento de um termo de erodibilidade variável sazonalmente;
	- definição de subfatores para calcular o termo uso da terra (C) contemplando o uso anterior da terra, cobertura e rugosidade do solo.

Com estes ajustes, entende-se que o modelo RUSLE preservou a estrutura empírica de regressão múltipla da equação que compõe a USLE. Porém, várias considerações sobre as variáveis que compõem essa estrutura, baseados na descrição do processo físico da erosão, foram incorporados na RUSLE, favorecendo a saída dos resultados obtidos.

3.3.1. RUSLE e seus componentes

A característica essencial da RUSLE é poder considerar os conceitos de base física para determinação de alguns dos seus componentes em

ambiente computacional, favorecendo desta forma, uma reprodução mais real do sistema.

Portanto, a RUSLE é uma equação empírica de regressão múltipla com incorporação de parâmetros, que influencia na erosão sem fazer qualquer tentativa de representar o processo real da erosão. Sua função matemática consiste na seguinte equação (1), em que “A” é a estimativa de erosão específica, tendo como unidade de grandeza [ton/ha.ano]:

$$A = K * R * LS * C * P \quad (1)$$

Fator R, erosividade da chuva – Conceitualmente, a erosividade da chuva é descrita como uma interação entre energia cinética e o momento do escoamento superficial, sendo representada por um índice numérico que expressa a intensidade (mm.h^{-1}) da precipitação. O maior desafio encontrado na erosividade é a escassez de série histórica de precipitação em regiões tomando como exemplo a bacia amazônica.

Wischmeier & Smith (1978) demonstraram que os eventos de chuva podem ser considerados erosivos quando apresentam altura igual ou superior a 10 mm de altura pluviométrica ou quando apresentam, no mínimo, uma precipitação de 6 mm num período máximo de 15 minutos, sendo as demais chuvas consideradas não-erosivas.

A erosividade anual (R) é determinada através da soma do coeficiente EI_{30} , calculado para cada evento de chuva classificado como erosivo ocorrido durante o período de um ano, de acordo com a equação (2).

$$R = \sum_{i=1}^m EI_{30} \quad (2)$$

O índice EI_{30} vem sendo utilizado no Brasil como parâmetro de avaliação da erosividade dos solos, bem como na determinação das linhas isoerosivas, porém alguns estudos não têm demonstrado a correlação da

perda de solo com o índice EI_{30} . Amorim (2004) citando Lal (1976), afirma que o EI_{30} subestima a erosividade das chuvas nas regiões tropicais, o que tem contribuído para o desenvolvimento de índices que considerem as características das chuvas tropicais.

Bertoni & Lombardi Neto (1999) confirmam o argumento de Lal (1976) e complementam o raciocínio afirmando que há uma enorme escassez de dados de chuva para o cálculo da erosividade. Para solucionar tal problema, foi correlacionado dentro da revisão proposta pela RUSLE o índice de erosão com fatores climáticos que são de fácil medição.

Entretanto, Hudson (1995) afirmou que, diante da simplicidade e facilidade de operação, o modelo original da USLE para o fator R ainda continuaria a ser utilizado em alguns países. No Brasil, são raros os estudos que caracterizam os aspectos físicos das chuvas, embora haja estudos de erosividade em todas as regiões brasileiras, conforme descreve a tabela 2.

Tabela 3: Equações de erosividade da chuva ajustadas para algumas localidades do território brasileiro, Adaptado de SILVA (2003).

Local	Equação	Autores
Campinas (SP)	$R = 68,73 * \left(\frac{M_x^2}{A} \right)^{0,841}$	Lombardi Neto & Moldenhauer (1992)
Manaus (AM)	$R = 3,76 * \left(\frac{M_x^2}{A} \right) + 42,77$	Oliveira Jr. & Medina (1990)
Barranquinho (MT)	$R = 56,115 * \left(\frac{M_x^2}{A} \right)^{0,9504}$	Morais et al. (1991)
Flechas (MT)	$R = 36,849 * \left(\frac{M_x^2}{A} \right)^{1,0852}$	Morais et al. (1991)
Lavras (MG)	$R = 12,592 * \left(\frac{M_x^2}{A} \right)^{0,6030}$	Val et al. (1986)

Os valores da erosividade de uma determinada região podem ser plotados em mapas de erosividade ou mapas isoerodentes. Eles são elaborados a partir de métodos de interpolação de dados em ambiente, como os Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

Fator K , erodibilidade da chuva - Representa a susceptibilidade de diferentes solos serem erodidos de acordo com suas características físicas e químicas e suas propriedades morfológicas, sendo mensurado por ton.ha.h/ha.MJ.mm. A erodibilidade representa o efeito integrado dos processos que regulam o comportamento do solo frente aos agentes erosivos (AMORIM, 2004 *apud* LAL, 1976).

Checchia (2004) complementa afirmando que o conceito de K foi criado a partir do conhecimento de que para classes de solos diferentes há valores diferentes de K , e isso é comprovado por Pundek (1994), quando se observou que para iguais condições de chuva, topografia, cobertura vegetal e controle à erosão alguns solos são mais facilmente erodidos que outros.

Portanto, o índice de erodibilidade só pode ser mensurado se dispormos de dados relativos às características do solo, destacando-se a textura, quantidade de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. Outras duas características merecem ser mencionada, a densidade e a porosidade dos materiais particulados.

Para Arraes, *et al.* (2010), há três formas que são mais utilizadas para determinar a erodibilidade do solo. A primeira é a determinação do fator K em condições de campo, sob chuva natural. A segunda baseia-se na quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade sob condições de chuva simulada. A terceira baseia-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo.

Segundo Silva (2003), o método direto empregado para a determinação da erodibilidade, além de seu alto custo, demanda muito tempo até que sejam obtidos dados definitivos sobre unidades específicas

do solo. Apesar dessa limitação, vários pesquisadores vêm se dedicando exclusivamente a essa linha de pesquisa, buscando atribuir valores para os índices de erodibilidade utilizando método indireto (LIMA 1992, AMORIM 2004).

Com base nos estudos de Wischmeier & Smith (1978) a formulação indireta da erodibilidade consiste em uma representação gráfica denominada de nomograma demonstrada pela figura 3 - que é baseada na combinação das propriedades físicas e químicas de cada solo. A mesma está expressa na equação (3). Mitchell & Bubbenzer (1980) também propuseram um método indireto baseado numa tabela que requer classes referentes à textura e teor de matéria orgânica do solo. A combinação dessas informações resulta no valor do fator K para ser aplicado em modelos como USLE/RUSLE.

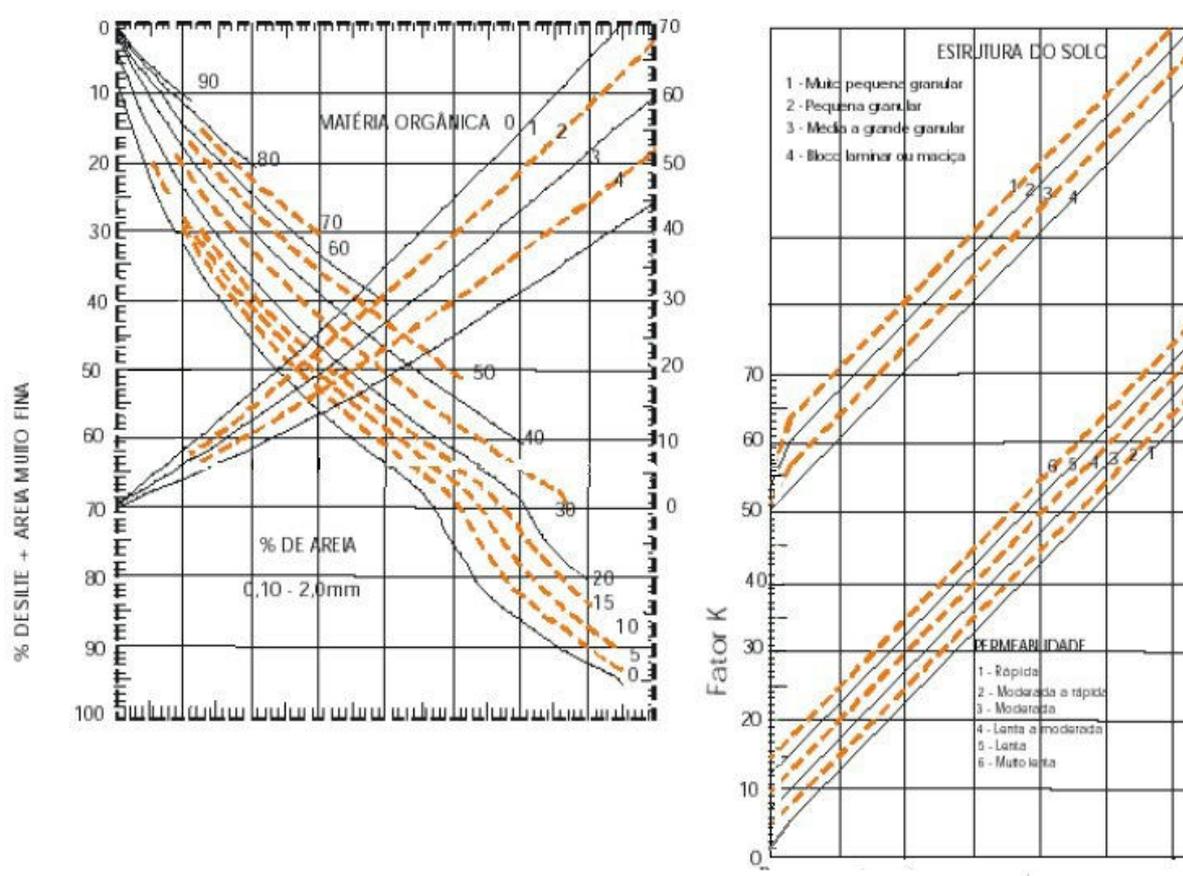


Figura 3: Nomograma para determinação do fator de erodibilidade do solo; (WISCHMEIER et al. 1971).

A adaptação do fator K para a RUSLE envolveu o desenvolvimento de métodos alternativos, de forma que o usuário possa estimar o fator para solos que não estão contemplados no nomograma, por considerar dados revisados de erodibilidade e equações de regressão foram desenvolvidas para estimar K como uma função das características físicas e químicas do solo.

$$K = \frac{2,1M^{1,4}10^{-4}(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)}{100} \quad (3)$$

Onde:

k: erodibilidade do solo (t.ha.h/MJ.mm.ha)

a: matéria orgânica (teor de carbono orgânico total multiplicado por 1.72), expresso em porcentagem;

b: classe de estrutura do solo;

c: classe de permeabilidade do solo;

$M = (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina}) \times (100 - \% \text{ argila})$

Fator LS , topografia - Nesse índice é considerada a influência do relevo no processo de erosão hídrica, ponderando como características fundamentais o comprimento da vertente e o gradiente de declividade. O aumento do comprimento da vertente ao longo do talvegue da bacia (L) intensifica a perda de solo total e na perda de solo por unidade de área devido ao acúmulo progressivo do escoamento superficial na direção da região de menor declividade. Com o aumento do gradiente de declividade da vertente (S), aumenta também a velocidade e a erosividade resultante do escoamento superficial.

Wischmeier & Smith (1970) assumiram que a relação entre as perdas de solo se dá em uma área com um declive e comprimento de rampa quaisquer sobre uma parcela unitária padronizada. Este fator pode ser

determinado ou estimado experimentalmente ou estimado por meio da equação (4).

$$LS = \left(\frac{\sqrt{X}}{S} \right) \cdot (1,36 + 0,97 \cdot S + 0,1385 \cdot S^2) \quad (4)$$

Uma das grandes limitações da USLE é a identificação de áreas onde o processo predominante é a deposição e não a erosão. Isto é fundamental para identificar o início e o final do comprimento de uma longa encosta (λ). Desta forma, Wischmeier & Smith (1970) pressupõem declives essencialmente uniformes, ou seja, não consideram se eles são côncavos ou convexos, constituindo numa das grandes limitações.

Entretanto, com a RUSLE, pode-se seccionar a encosta de modo a possibilitar sua representatividade com declividades irregulares, as quais podem ser côncava, convexa ou complexa. Na maioria das aplicações, isto possibilita uma melhor estimativa do efeito topográfico sobre as perdas de solo do que quando se considera um único plano, tal como é feito no caso da USLE, fornecendo conseqüentemente valores de perdas de solo mais precisos (AMORIM, 2004).

Para minimizar as dificuldades de modelar-se o fator topográfico, pesquisadores contam com instrumentos computacionais, a exemplo dos ambientes do SIG. Galdino (2010) *apud* Hickey (2000) menciona que os trabalhos deste autor resultaram na elaboração de um programa ArcInfo em linguagem AML (Arc Macro Language) para a criação de um arquivo raster do fator *LS* baseado na USLE, tendo como *input* um Modelo Digital do Terreno (MDE). Recentemente, o código foi revisado, adotando algoritmos da RUSLE.

Fator C, uso e manejo do solo - Segundo Chaves (1996), este fator representa o grau de proteção média à erosão fornecida pelo uso (lavoura, pastagem, etc) e manejo do solo (preparo convencional, cultivo mínimo, etc). São consideradas as perdas correspondentes de um terreno mantido

continuamente descoberto, ou seja, nas mesmas condições de avaliação do fator K .

Para Bertoni & Lombardi Neto (2005), as perdas de solo que ocorrem em áreas mantidas continuamente descobertas podem ser estimadas pelo produto R (erosividade), K (erodibilidade) e LS (topografia). Entretanto, se a área estiver cultivada, tais perdas serão reduzidas devido à proteção que a cultura oferece ao solo, desta forma, admite-se que em áreas sem vegetação o fator C tende a um.

Fator P , práticas conservacionista – Representa o efeito de práticas conservacionistas como plantio em nível, terraceamento e plantio em faixas na erosão do solo, expressando a relação entre a perda do solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive, ou seja, morro abaixo.

Sempre que um terreno inclinado for cultivado, ele estará exposto a chuvas erosivas e a proteção fornecida pela vegetação cultivada será insuficiente para conter a perda de solo. Para tanto deverão ser adotadas práticas conservacionistas que reduzirão a velocidade de escoamento da água e, conseqüentemente, a perda de solo. O fator P é aplicado apenas em áreas cuja cobertura seja cultivos, portanto é um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo do solo (CHECCHIA 2004, PEREIRA 2010).

3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA- SIG

Inúmeras estratégias foram estabelecidas na tentativa de integração teórica/conceitual de dados ambientais a partir da década de 60 do século XX. Na década de 70 verificou-se uma série de avanços tecnológicos na coleta, processamento e armazenamento de informações criando novas técnicas de análise ambiental. Sobre esse conjunto de técnicas e

instrumentos que permite a aquisição expressiva de dados ambientais de forma ágil e acurada denomina-se de geoprocessamento (CASTRO, 1992 *apud* MCHARG, 1969).

Segundo Camara & Medeiros (2003), os chamados de Sistemas de Informações Geográficas - SIG tem capacidade de realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados. Como a espacialidade é característica inerente aos sistemas ambientais, consideremos relevante o uso das técnicas de geoprocessamento para os procedimentos da modelagem.

Pereira (2009) ressalta que o geoprocessamento permite utilizar várias possibilidades de representações das diferentes ordens de grandeza da realidade, que podem ser tanto os diversos níveis de análise espacial e raciocínios geográficos durante a fase de tratamento das informações, quanto os critérios de finalidade e conveniência na escolha da escala durante a fase de representação das sínteses.

Checchia (2004), afirma que a USLE e seu modelo revisado, quando espacializado por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitem uma análise da perda de solo por erosão, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação ao longo do espaço.

Segundo Carvalho (1993), que aplicou técnicas de geoprocessamento na identificação da erosão dos solos em bacias hidrográficas, através da integração dos fatores R, K, L e S, pode-se gerar o Potencial Natural de Erosão - PNE, e utilizando Imagens orbitais o fator uso e ocupação foi integrada a equação, gerando as classes de perdas relativas por erosão. O autor concluiu que o uso de técnicas de geoprocessamento era muito adequado à execução deste tipo de trabalho, em função do grande número de dados e da dimensão da área (591 Km²).

SILVA *et al.* 2007 menciona que a aplicação da RUSLE em ambiente SIG tem se mostrado uma ferramenta de grande valia para o estudo do

gerenciamento dos recursos naturais em escala de bacia hidrográfica, pois torna o planejamento mais dinâmico e eficiente, permitindo o monitoramento, a avaliação e, principalmente, ajudando no processo de tomada de decisão.

Capítulo 4

4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E FISIOGRAFIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A unidade de trabalho, determinada aqui como bacia do manancial do rio Palmeiras, abrange cerca de 25.306 ha. Sua área de drenagem está localizada entre os paralelos 11°29'26" e 11°41'55" de latitude sul e os meridianos 60°49'59" e 61°5'55" de longitude oeste, cuja as águas do rio Palmeiras deságuam no Riozinho, um dos principais rios da sub-bacia do Alto Rio Machado que, por sua vez, integra a bacia do Rio Ji-paraná ou Machado, sendo esta a maior bacia contribuinte do rio Madeira.

Os divisores de água estão totalmente inseridos no município de Espigão d'Oeste, que é definida como manancial por servir de abastecimento público para população local. De acordo com o Censo (2010), sua população é de 28.729 habitantes em uma área aproximada de 4.500 km², sendo 4.877,06 km² na zona rural e 22,94 km² de área urbanizada. Seu processo de ocupação foi baseado na conversão da floresta em agricultura e, posteriormente, pastagem.

Estima-se que 76% da população (22.118 hab.) do município se beneficia do manancial de abastecimento do rio Palmeira, cuja demanda média para núcleos urbanos deste porte é de 300 l/hab/dia (RONDÔNIA, 2000). Entretanto, a demanda por água aumenta no município quando considerada a demanda de abastecimento animal, que neste município cabe destacar a pecuária e aviária, além de outras demandas conforme observado na tabela 5.

Tabela 4: demanda de abastecimento animal em Espigão d'Oeste – RO.

	Demanda por cab. (l/cabeça/dia)	Quantidade (cab.)	Demanda por rebanho (l/cabeça/dia)
Suínos	30	8.177	245.310
Aves	5	1.139.983	5.699.915
Equinos	50	3.879	193.950
Muares	50	657	32.850
Caprinos	10	268	2.680
Ovinos	10	2.527	25.270
Bovinos	50	364.625	18.231.250

Fonte: Rondônia (1999).

De acordo com dados da Agência Nacional de Águas – ANA (2011), o manancial de abastecimento público de Espigão d'Oeste apresenta condições de oferta de água satisfatórias para o atendimento das demandas futuras. Entretanto, a preocupação das instituições públicas locais com os aspectos qualitativo e quantitativo da água na bacia do rio Palmeira levou o SIPAM a somar esforços através do Programa de Restauração de Bacias Hidrográficas – PROBACIAS para articular atividades que promovam a restauração e conservação deste manancial.

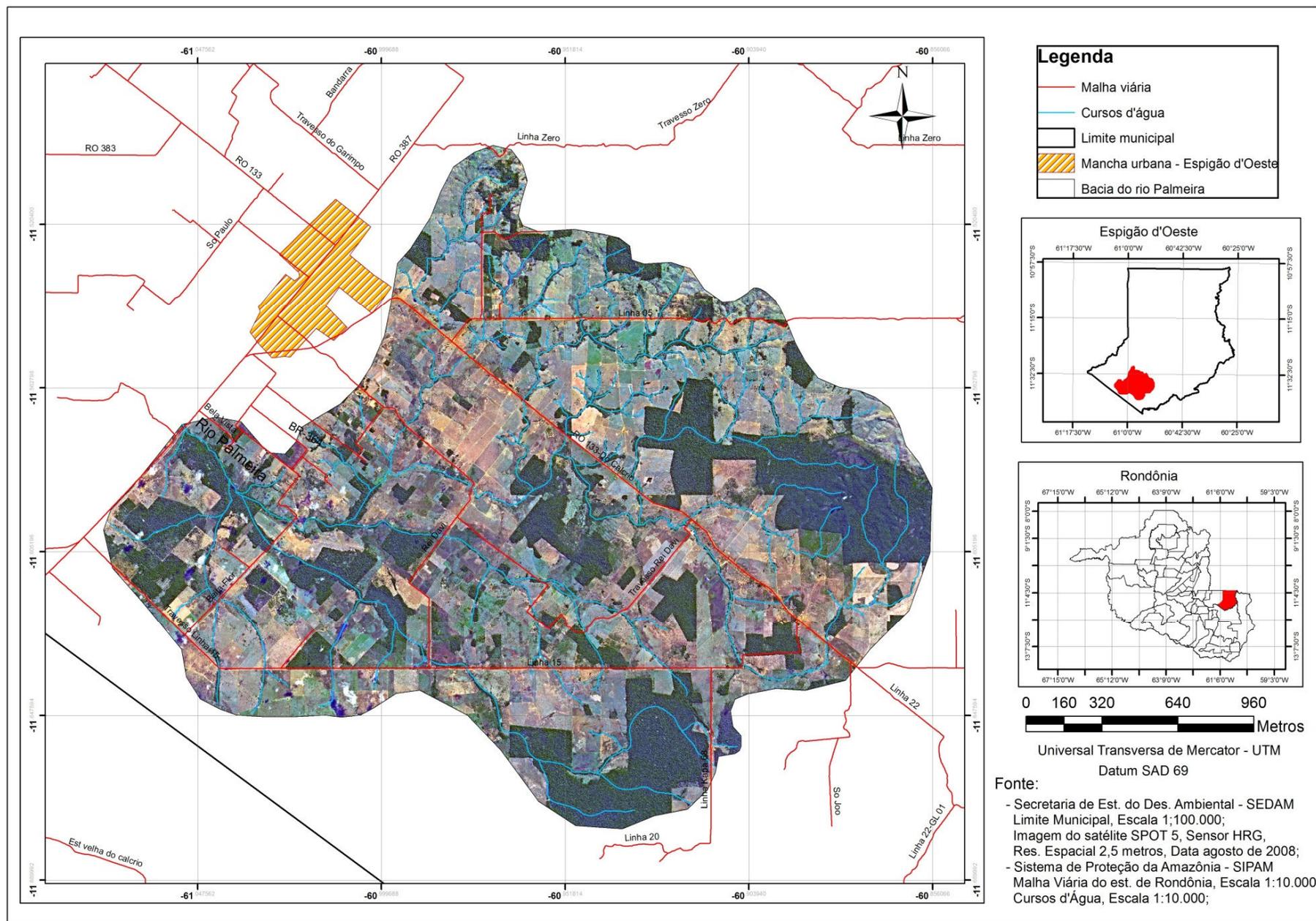


Figura 4: Área da bacia do Rio Palmeira no município de Espigão D'oeste, RO.

Capítulo 5

5. FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. HIDROGRAFIA

As bacias possuem uma variedade de aspectos que refletem o comportamento hidrológico da sua área de drenagem. De acordo com a tabela 5, o manancial do rio Palmeira possui uma área de abrangência calculada em 253 km². Considerando a nascente mais distante até a sessão onde está localizado o ponto de captação de água para o abastecimento da área urbana de Espigão d'Oeste, a extensão da drenagem é de 258 km.

Tabela 5: Característica hidrográficas do manancial do rio Palmeira.

Área da bacia (A)	253 km ²
Perímetro da bacia (P)	72,050 km
Extensão da drenagem (L)	258 km

De acordo com Rondônia (1999) a água subterrânea desta região se encontra a mais de 15 m de profundidade. Os taludes mais baixos dos vales se apresentam-se com umidade, devido ao processo de iluviação desde o canal dos rios. Seu sistema de drenagem é reconhecido como dentritica, devido ao formato parecido ao de uma ramificação arbórea. Todo leito até o exultório do manancial possui uma extensão de 258 km aproximadamente e, em grande parte, seus contribuintes são considerados intermitentes.

A figura 5 mostra a disposição da vazão em bacias circulares, cuja característica principal é notada pelo comportamento da vazão no exultório da sessão onde a tendência da água escoada é alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo, favorecendo as enchentes.

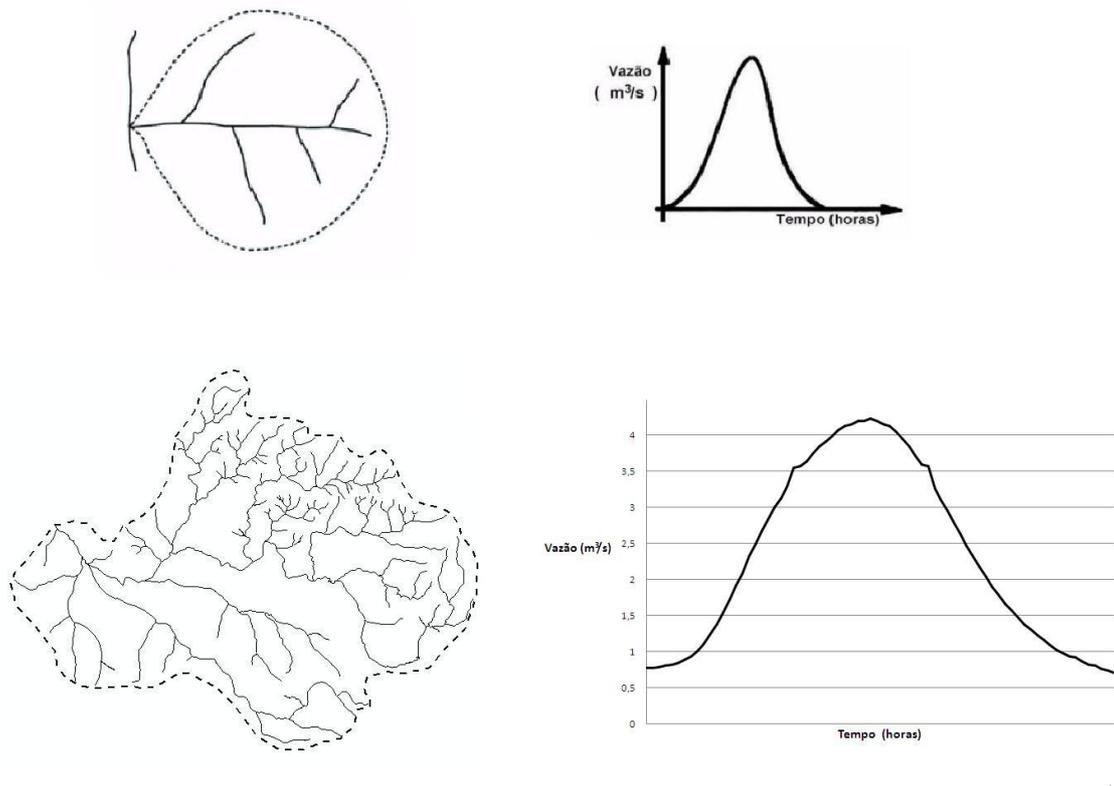


Figura 5: a) Comportamento da vazão em bacias circulares , b) Comportamento da vazão no manancial do rio palmeira.

5.2. GEOLOGIA

O contexto geológico da área em estudo faz parte do ambiente ocidental do Cráton Amazônico, inserido na Província Tapajós, dentro da subprovíncia do Madeira. Trata-se de uma região antiga também conhecida por “cadeia de montanhas”. A região teve sua formação ao longo da Era Proterozóica, hoje já é erodida.

A primeira consideração geológica sobre a região do manancial é representado por litótipos do **Complexo Jamari** de idade Arqueana a Proterozóica inferior, aflorante em algumas corredeiras e em morrotes residuais na porção centro-sul da área (ISOTTA *et al.*, 1978). Este é representado principalmente por rochas ortoderivadas de composição granítica, granodiorítica, tonalítica e diorítica, metamorfizadas.

Deste complexo, destaca-se um expressivo conjunto de corpos granitoides, que ocupa uma importante porção na parte sul-sudoeste do Domínio Roosevelt, a suíte intrusiva Serra da Providência, com granito rapakivi (anfíbólio-biotita monzogranito, biotita sienogranito), charnockito, mangerito e rochas máficas associadas, com trama variando de isotrópica a foliada (foliação de fluxo magmático e milonítica) (QUADROS *et al*, 2007).

A cobertura sedimentar paleozóica/mesozóica de Rondônia, conhecida como Bacia dos Parecis, é uma das principais bacias intracratônicas brasileiras. É constituída por expressiva cobertura sedimentar, que preenche a Fossa Tectônica de Rondônia com as formações Cacoal, Pimenta Bueno e Fazenda da Casa Branca (SIQUEIRA, 1989 *in* QUADROS *et al*, 2007). Pode-se destacar desta bacia a formação Pimenta Bueno, onde está situada parte da bacia do rio Palmeira.

A Formação Pimenta Bueno é constituída essencialmente de folhelhos, arenitos, siltitos e conglomerados suportados pela matriz subordinadamente por carbonatos e lentes de carvão. Os folhelhos são de coloração marrom, micáceos, intercalados, com siltito marrom ou arenitos claros.

Os arenitos são marrons com pintas claras, granulometria média, compostos de quartzo, feldspato e muscovita. Estruturas tipo marcas onduladas, acamadamento plano-paralelo e estratificações cruzadas tabular e acanalada são comuns. Os conglomerados suportados pela matriz são avermelhados, com seixos e *boulders* subarredondados de granitos, gnaisses e rochas básicas, e angulosos de xistos e quartzitos (BAHIA & PEDREIRA, 1996).

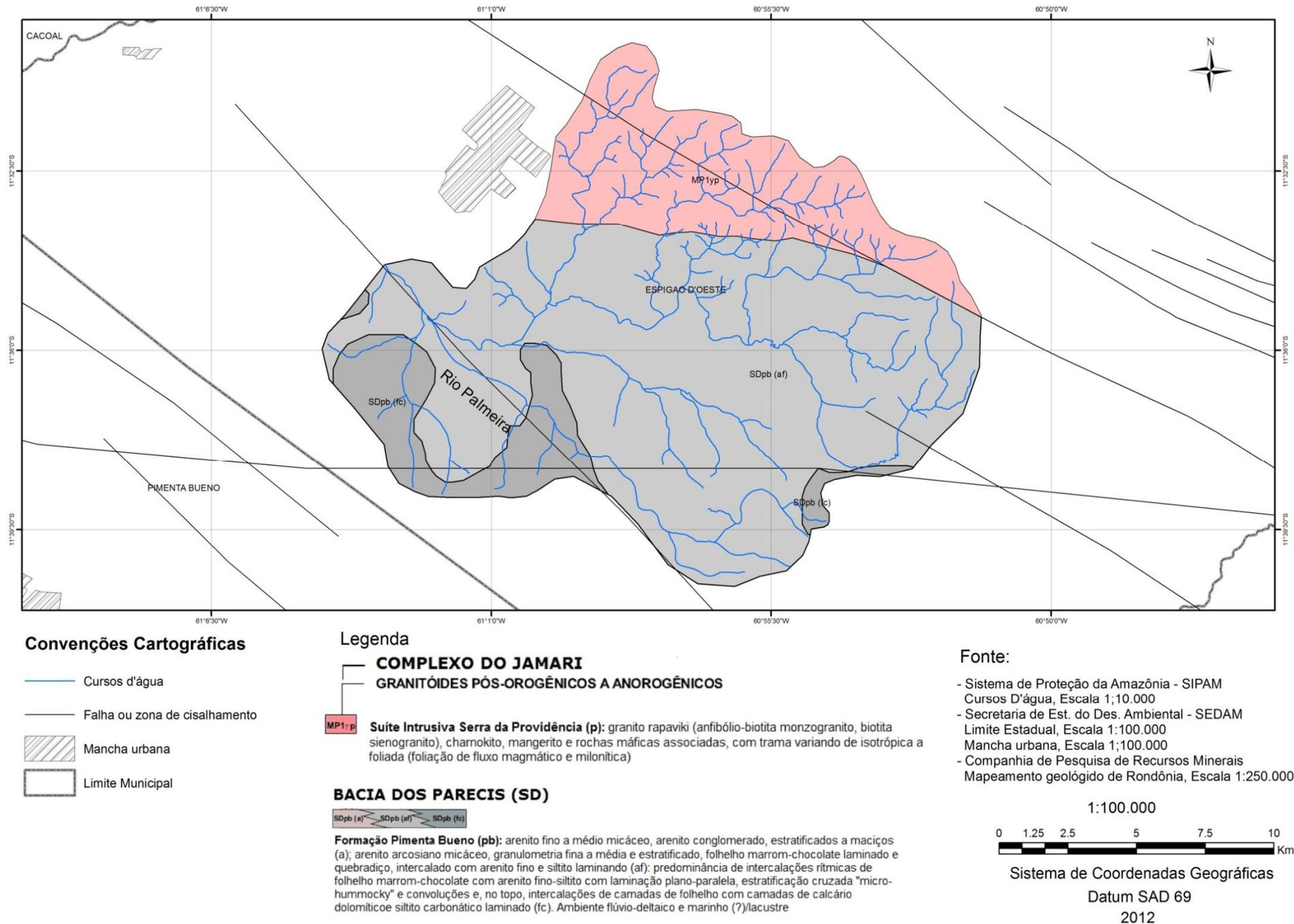


Figura 6: Mapa geológico do manancial do rio Palmeira (CPRM, 2007).

5.3. GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia do sudeste rondoniense está mapeada através do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE-RO, que gerou informações na escala de 1:250.000, sendo a principal compilação de descrição geomorfológica do estado de Rondônia. Desta forma, o relevo na bacia do rio Palmeira encontra-se descrito na folha SC-20-Z-D (Cacoal), compartimentado em um único domínio morfológico, denominado de Superfícies Regionais de Aplainamentos, formando áreas de arrasamento em rochas antigas.

Sobre este domínio morfológico, as formas de relevo identificadas na região compreendem uma divisão maior de unidades denudacionais. Conforme explica Adamy (2000), para a codificação das unidades de relevo, o ZSEE-RO empregou um código de letras e dígitos numéricos visando facilitar a composição de uma legenda aberta, considerando a complexidade de algumas unidades e da extensão da área mapeada. Assim, as letras indicam as categorias superiores, enquanto que os números se relacionam com os parâmetros de qualificação.

D. Unidades Denudacionais

Superfície de Aplainamento (D.2) – As antigas superfícies de aplainamento regional revelam que os agentes erosivos atuaram fortemente na morfogênese, o que resultou na atual superfície e seus residuais (inselberg), cuja rede de drenagem evidencia diferentes densidades. Esta rede de drenagem que corta o sistema está associada às bacias hidrográficas dos rios Jí-Paraná e seus afluentes, possuindo, em geral, padrão dendrítico de média a alta densidade de drenagem.

Na área estudada foram mapeadas duas sub-unidades distintas, diferenciadas entre si pela altimetria e pelo nível de dissecação. A unidade de nível II, com declividade menor que 300 (trezentos) metros com dissecação baixa e nenhum ou esporádicos Inselberg e Tors (**D.2.2.1.1**),

corresponde à superfície aplainada, sendo atualmente esculpida por processos de dissecação fluvial; enquanto o nível II menor que 300 (trezentos) metros com dissecação média e muitos Tors e Hillocks residuais. **(D.2.2.2.2)**.

De acordo com o Rondônia (1999), os desníveis na unidade **2.2.1.1** atingem até 30 metros de amplitude entre topo e fundo do vale. Os padrões de forma predominantes são as colinas amplas a muito amplas, com superfície retilinizada. Os vales são amplos, com perfil de fundo plano, canais lineares e pequena ocorrência de planícies de inundação locais.

As declividades variam conforme a posição topomorfológica, nos topos os valores são inferiores a 2% e nas vertentes ocorrem valores de 2 a 10%, com a ocorrência de materiais superficiais autóctones, com predominância de composições do manto de intemperismo areno-argilas embasadas por rochas da Formação Pimenta Bueno, sendo que esta subunidade é encontrada em 90% da área estudada.

A subunidade **D.2.2.2.2** nível II menor que 300 (trezentos) metros com dissecação média e muitos Tors e Hillocks residuais corresponde a um conjunto de colinas médias com entalhamento dos vales de até 40 m; as declividades médias são inferiores a 8%. Seu material superficial é composto por um manto de alteração eluvial arenoso, superficialmente pedogenizado e o embasamento é composto por rochas do Supergrupo Gnaisse Jamarí.

Agrupamentos de Morros e Colinas (D.3) – Nas porções Leste e Nordeste no manancial do rio Palmeira, está localizada esta unidade, que compreende uma área de colinas e morros dissecados pela ação fluvial e circundados por áreas aplainadas, associados as diferentes rochas constituintes do embasamento regional fragmentado em Aberto com Colinas / Inselberg Baixos e Médios **(D.3.1)** e Área Colinosa com Alto grau de Dissecação **(D.3.3)**

A subunidade Aberto com Colinas / Inselberg baixos e médios **(D.3.1)** representa entalhe dos vales que variam entre 20 e 80 metros,

declividades entre 4 e 15 %, vales medianamente entalhados e predominantemente com perfil em “V” e o substrato rochoso corresponde a Suíte Intrusiva Rapakivi Serra da Providência.

Em áreas colinosas com alto grau de dissecação(**D.3.3**), o entalhe dos vales varia entre 40 e 160 metros. As declividades encontram-se entre 20 e 45% e seu embasamento litológico é composto predominantemente por rochas da Suíte Intrusiva Rapakivi Serra da Providência. A dinâmica superficial tende a um predomínio dos processos naturais como escoamento superficial laminar e infiltração das águas de chuva e o recuo de cabeceiras de drenagem através de processos de ravinamento e deslizamento.

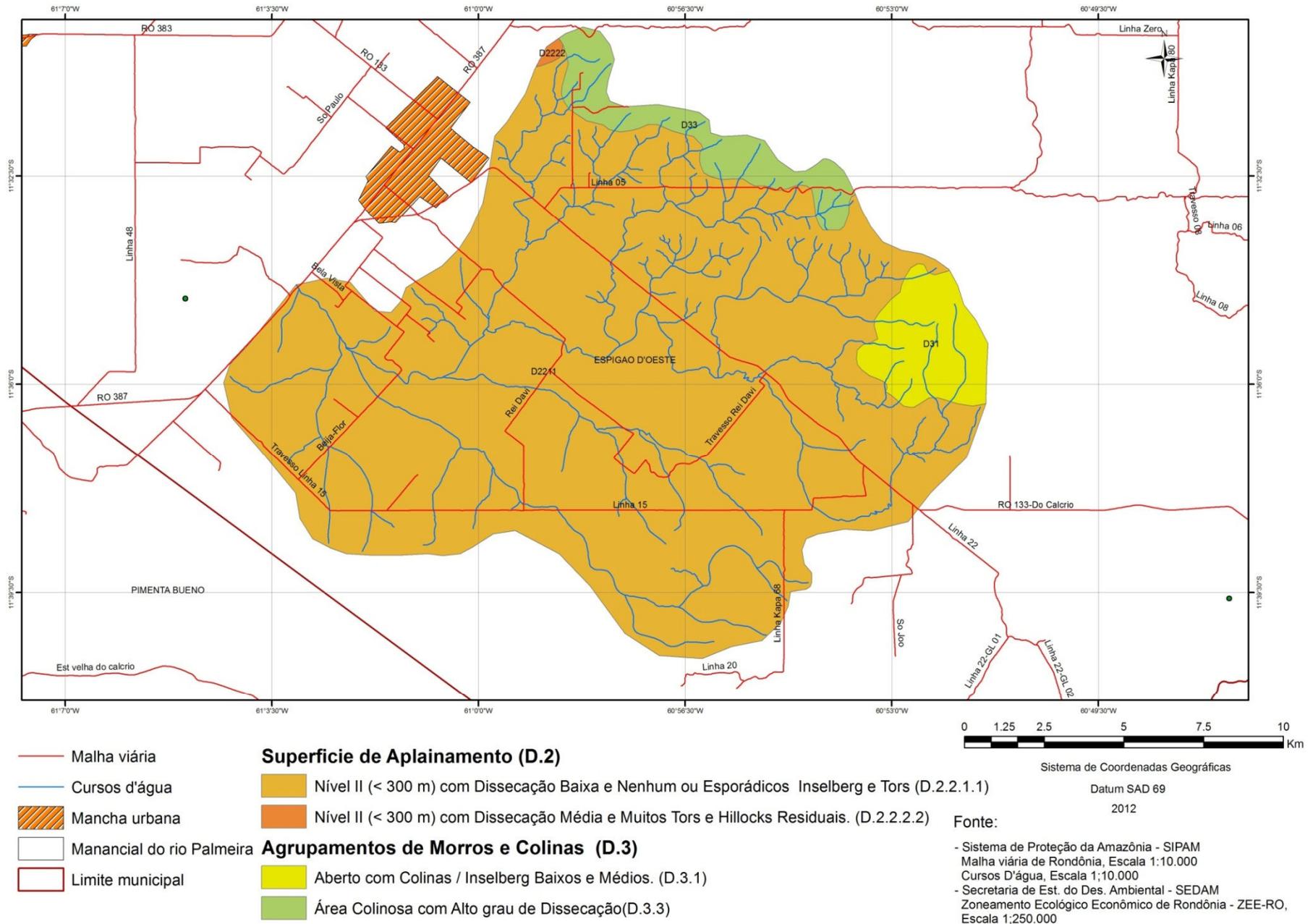


Figura 7: Mapa das Unidades Geomorfológicas do manancial do rio Palmeira (ZEE-RO, 2000).

5.4. SOLOS

As informações pedológicas deste estudo foram extraídas do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE-RO (1999), por ser considerado o levantamento mais atual além de proporcionar a melhor escala (1:250.000) de mapeamento no estado de Rondônia.

De uma maneira geral, o mapeamento de solos apontou para uma grande diversidade em Rondônia, tais como latossolos, argissolos, neossolos, gleissolos e cambissolos (ADAMY, 2005). Entretanto, há um predomínio dos latossolos, que representam cerca de 58% da área do estado. Para o manancial do rio Palmeira os latossolos sobressaem-se em toda área, porém com características diferentes.

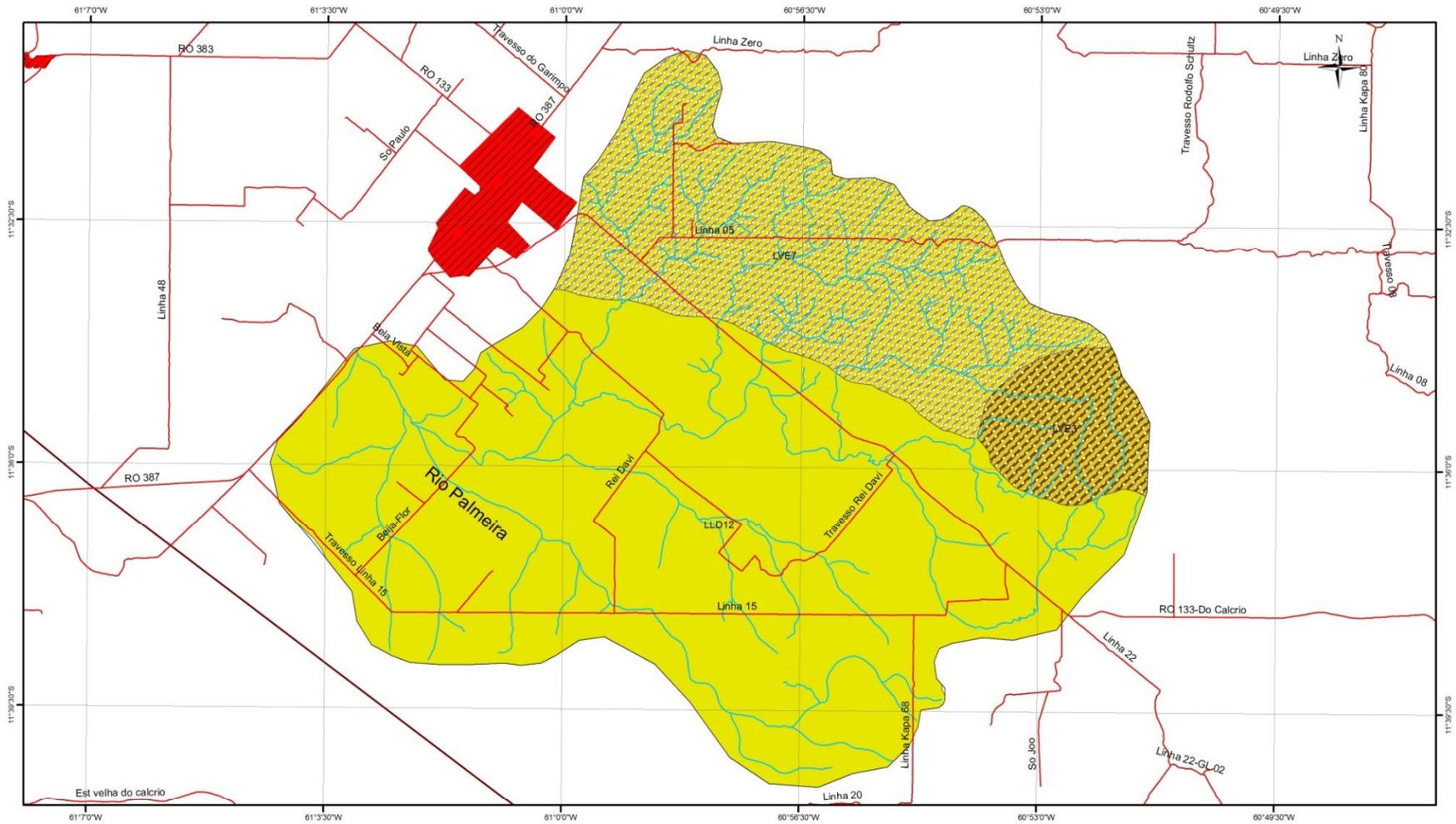
Latossolos - A diversificação das características e propriedades dos solos impõe à região apenas uma classe maior de solos, entretanto, dividido em dois subgrupos, onde se destacam o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LLD) e Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico (LVE). De forma geral, os latossolos são bem desenvolvidos, com intensa intemperização de minerais primários inclusive em horizonte B, como resultado de enérgicas transformações no seu material de origem.

Tem como principais minerais os derivados da argila, caolinita, gipisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio, o que lhe confere uma baixa fertilidade natural. Quanto a sua estrutura granular composta por microagregados estáveis possibilita certa resistência à erosão. Na área estudada foram encontradas as seguintes subdivisões.

Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LLD)- Solos com características intermediárias. São profundos, bem drenados, com textura franco-argilo-arenosos, com cor ligeiramente mais escura, bruno-amarelada. Aparece em áreas com declividade média de 2 a 8%. Quanto a sua

fertilidade, há moderada reserva de nutrientes, mas também alta acidez.

Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico (LVE) – Este subgrupo possui duas manchas diferenciadas: **LVE7** -São bem drenados, tonalidade bruno-avermelhado-escuros, textura argilosa, ligeiramente pedregoso (muitos fragmentos de rochas). Aparece em áreas com declividade média entre 0 a 2%. Quanto a sua fertilidade, este subgrupo possui reserva de nutrientes média, valores moderados de pH (5,7) e alta saturação de bases, pelo menos na superfície; **LVE3** – Também possui boa drenagem, bem profundos, textura argilosa a franco-argiloso-arenoso e pedregoso. A fertilidade varia de moderada a alta reserva de nutrientes e pH de aproximadamente 5.6.

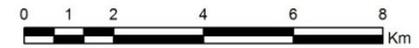


Convenções Cartográficas Legenda

- Malha viária
- Cursos d'água
- Mancha urbana
- Manancial do rio Palmeira
- Limite municipal
- LLD** **LLD Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos**
LLD12 LLD, 0-2%, bem dren., franco
- LVE** **Latossolos Vermelho-Escuros Eutróficos**
LVE3 LVE, 2-8%, bem dren., argiloso, pedregoso
LVE7 LVE, 0-2%, bem dren., argiloso, lig. pedregoso

Fonte:

- Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM
 Malha viária de Rondônia, Escala 1:10.000
 Cursos D'água, Escala 1:10.000
 - Secretaria de Est. do Des. Ambiental - SEDAM
 Zoneamento Ecológico Econômico de Rondônia - ZEE-RO,
 Escala 1:250.000



Sistema de Coordenadas Geográficas

Datum SAD 69
 2012

Figura 8: Mapeamento pedológico do manancial do rio Palmeira (ZEE-RO, 2000).

5.5. VEGETAÇÃO

Segundo Silva Filho (2009), a vegetação rondoniense, além dos diferentes substratos e da grande diversificação nos regimes de chuvas, promove inúmeras fisionomias na floresta amazônica. Contudo, neste cenário, uma série de modificações, devido ao uso da terra, passou a considerar tais áreas como antropizada na classificação da cobertura vegetal. Os dados do mapa fitoecológico do projeto RADAMBRASIL (1978) foram os primeiros mapeamentos, com escala de 1:1.000.000 da cobertura vegetal no estado de Rondônia. Entretanto, o mapeamento mais atual e com escala de 1:250.000 é o ZEE-RO (1999), mapeou com maiores detalhes as áreas já consolidadas no estado.

Este mapeamento fragmentou a cobertura vegetal nas seguintes classes: - **Florestas Ombrófilas (abertas/densas)**; - **Florestas Estacionais Semidecíduais (aluviais/submontana / montana)**; - **Formações Pioneiras (sob influência fluvial/Umirizal)**; - **Savanas/Cerrados**; - **Áreas de Contato**.

De acordo com Rondônia (1999), a cobertura vegetal do estado de Rondônia representa na atualidade 77,6% de sua superfície total e das formações vegetais existentes no estado de Rondônia, a Floresta Ombrófila Aberta é a predominante conforme observado na tabela 7. No entanto, a Floresta Estacional Semidecidual é a que apresenta os menores valores de área, concentrados no sudeste do estado.

Tabela 6: Formações vegetais e área ocupada no estado de Rondônia.

Código	Formações vegetais	Área (km²)
A	Floresta Ombrófila Aberta	127.620,4
D	Floresta Ombrófila Densa	9.348,4
C	Savana (Cerrado)	13.115,2
F	Floresta Estacional Semidecidual	5.024,2
CONTATO	Contato (Zona de Transição)	19.809,2
P	Formação Pioneira sob Influência Fluvial	8.743,0
U	Formação Aluvial de Pequeno Porte (Umirizal)	571,1
00	Outros Usos	53.173,7
Total		237.446,1

Fonte: Rondônia 1999.

Para a distinção das formações vegetais e tipo florestal o código utiliza letras maiúsculas indicando as categorias superiores, enquanto que as letras minúsculas se relacionando-se com os parâmetros de específicos da formação. Este mapeamento (RONDÔNIA, 1999) revela que para a área do manancial do rio Palmeira predominam as seguintes formações e tipos florestais:

Áreas Antropizadas (00) - Segundo Adamy (2005), essas áreas representam no mapa de vegetação a ação antrópica promovida na região com a remoção parcial da cobertura vegetal nativa. O processo de ocupação provocou o desmatamento de forma mais contínua e intensa em áreas cobertas por florestas ombrófilas e por cerrados. Isso favorecia a retirada de madeiras comercializáveis, pois em áreas de transição (ou contato) a interferência humana foi menos intensa, desfavorecido pela sua baixa potencialidade e extrema vulnerabilidade natural, com a vegetação parcialmente preservada. Esta classe representa um total de 67% da área do manancial, distribuídos em todas as partes da bacia.

Floresta Ombrófila Aberta (A) – Constituem Florestas tropicais úmidas, pluviais, sempre verdes. Dossel descontínuo, permitindo ausência de área foliar entre 30 e 40 %. Podem estar associados a palmeiras, cipós, bambus e sororoca. As Florestas Ombrófilas ocorrem sobre latossolos, podzólicos, lateritas de idades variadas, desde o quaternário (aluviais), predominando no terciário até o pré-cambriano.

Floresta Aberta Submontana (As) – No manancial do rio Palmeira há manchas dessa formação florestal em toda parte, porém ela corresponde a 22% da área. Isso leva a crer que as áreas hoje consideradas antropizadas eram Florestas Ombrófila Aberta, pois conforme já citado por Adamy (2005), essa formação florestal favorecia a retirada de madeiras comercializáveis. Estas florestas crescem sobre solos antigos, rasos, fortemente intemperizados, com afloramento de rochas e seixo superficial, rolado do cristalino. A paisagem é dominada por vales e ravinas. Entre as palmeiras, destacam-se o babaçu (*Attaleaphalerata*), o coco-cabeçudo (*A. martiana*) e inajá (*A. maripa*).

Savanas / Cerrados (C) -. As savanas brasileiras, denominadas de

cerrado, podem ser definidas como ambientes onde existe um estrato herbáceo ou graminoso contínuo, exceto em algumas feições florestadas como o cerradão. São formações com feições xeromórficas produzidas por estacionalidade ou estresse edafo-climático de origem hídrica ou de saturação de alumínio e ferro. Dessa fitofisionomia foram observados os seguintes subgrupos florestais na área estudada:

Savana Arborizada/Cerrado Arbóreo-Arbustivo (Ca) - Áreas densamente povoadas por elementos arbóreos formando ilhas ou aglomerados, somando-se então ao estrato arbustivo. Esta categoria corresponde à forma típica de cerrado na classificação de Eiten (1976) e Coutinho (1978) *in* RONDÔNIA (1999). Predominam espécies características, como *Curatella americana*, *Pseudobombax* sp., *Qualea* sp. e *Tabebuia rosea*.

Savana Florestada ou Densa/Cerradão (Cd) - Forma de savana transitória para floresta, crescendo sobre solos ácidos e pobres, mas com certo grau de retenção hídrica, o que permite o aumento de biomassa. Também corresponde a feição cerradão das classificações de Eiten (1976) e Coutinho (1978) *in* RONDÔNIA (1999). No manancial do rio Palmeira esta formação corresponde a 10% da cobertura vegetal ao longo do embasamento litológico composto predominantemente por rochas da Suíte Intrusiva Rapakivi Serra da Providência sob relevos de Agrupamentos de morros e colinas. São comuns espécies como *Bowdichiavirgilioides*, *Coccolobalatifolia*, *Andirasp.*, *Byrsonima crassa* etc.

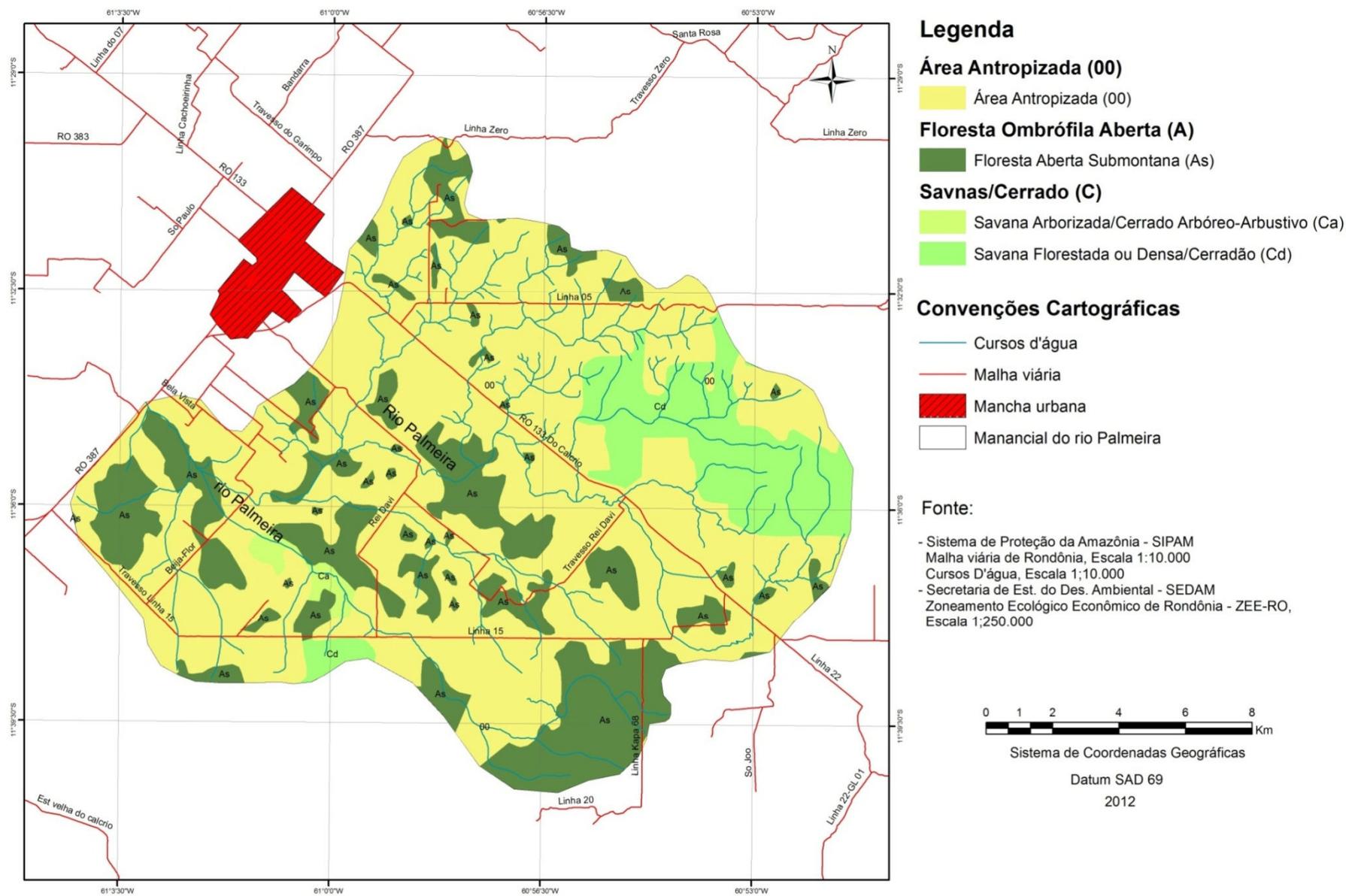


Figura 9: Mapeamento da cobertura vegetal no manancial do rio palmeira (ZEE-RO, 2000).

5.6. CLIMA

A classificação de Köppen indica que o clima da região rondoniense é Tropical chuvoso (Aw), com uma média da temperatura do ar durante o período mais frio sendo maior que 18 C, tendo também um período de seca bem definida durante a estação denominada de inverno. Ocorre nessa estação um déficit hídrico moderado, índice pluviométrico inferior a 50 mm/mês, precipitação pluvial variando entre 2.200 a 2.300 mm/ano.

Sobre os principais sistemas gerais de circulação atmosférica da Amazônia cabe identificar em primeiro lugar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), zona de convergência dos ventos do NE e do E, do anticiclone dos Açores e do anticiclone do Atlântico Sul. As correntes ZCIT, de posição média no hemisfério Norte descem com certa frequência para o hemisfério Sul, principalmente no outono. Causam aguaceiros que atingem com pouca frequência a região de Rondônia, no setor meridional da Amazônia. Em particular, associado à atividade convectiva, desenvolve-se com frequência o anticiclone Alta da Bolívia, localizado no altiplano boliviano, de grande influência no regime pluviométrico do setor SW (RONDÔNIA, 1999).

Por outro lado, durante o verão, a intensa atividade convectiva no interior da massa de ar sobre a Amazônia interage com sistemas frontais procedentes da frente polar semi-estacionada no Sul tornando possível o aprofundamento e, conseqüente, formação de depressões barométricas. Neste período, as chuvas são de pouca duração e acontecem, geralmente, durante as horas da tarde ou início da noite, quando, pelo forte aquecimento diurno, intensifica-se a radiação terrestre e as correntes convectivas, Rondônia (1999).

Levando em conta que, os sistemas gerais citados explicam apenas uma mínima parte dos complexos mecanismos presentes na configuração do clima da Amazônia e a densidade de informações climatológicas disponíveis no conjunto do Estado através do ZEE-RO possui a escala de representação

na escala de 1:1.000.000, optou-se por descrever, em escala regional as informações climatológicas cedidas pela divisão de meteorologia da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM.

Utilizando-se do método das Normais Climatológicas Provisórias para caracterizar a classificação climática de Thornthwaite (1948), foram estudados os principais aspectos do clima baseando-se em estações hidrometeorológica operadas pelo estado.

As Normais Climatológicas Provisória segundo Sugara (1999) *in* Krushe *et. al* (2002), foram estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial – OMM para suprir a ausência de uma definição sobre o clima pelo fato de muitas estações não possuírem uma série de dados contínuos durante 30 anos como estabelece as Normais Climatológicas também constituídas pela OMM. A classificação climática segundo Thornthwaite (1948), é definida pelo uso das informações sobre o balanço hídrico como base para uma classificação climática.

Portanto, de acordo com as Normais Climatológicas Provisória e a classificação climatológica de Thornthwaite, a tabela 8 mostra as principais informações do balanço hídrico e as classes climáticas.

Tabela 7: Classificação climática de Thornthwaite (1948) com dados da Normal Climatológica Provisória (OMM).

	altitude (m)	Temp. (°C)	Prec. (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	cod	Tipo Climático	
Ariquemes	219	25,5	2070	1441,9	202,8	831,4	2	B2A' ra'	Úmido
Cacoal	186	25,2	1787	1400,5	222,5	609,8	1	B1A' ra'	Úmido
Costa Marques	145	25,8	1344	1495	327,5	177,1	6	C1A' da'	Seco Sub-úmido
Guajará-Mirim	150	25,8	1669	1487,4	279,7	461,3	7	C2A' sa'	Úmido Sub-úmido
Ji-Paraná	159	25,6	1853	1458,9	261,5	655,8	5	B1A' sa'	Úmido
Machadinho D'Oeste	198	25,1	2343	1382,3	228,4	1189,2	3	B3A' ra'	Úmido
Porto Velho	95	25,8	2286	1479	147,2	955,1	2	B2A' ra'	Úmido
Vilhena	612	23,3	2089	1155,6	131,3	1065,4	4	B4A' ra'	Úmido
Guayamerin	130	26,5	1635	1605,8	305	334,4	7	C2A' sa'	Úmido Sub-úmido
Ribeiralta	141	26,7	1727	1631,8	305,6	400,8	7	C2A' sa'	Úmido Sub-úmido
Ouro Preto	280	25,1	1853	1372,9	137,8	618,7	1	B1A' ra'	Úmido

Fonte: SEDAM, 2012.

A figura 10 revela que, para a área estudada o clima predominante é **Úmido**, com pequena deficiência hídrica, denominado mesotérmico, com precipitações total de 1.850 - 2.250 mm e temperatura média de 25,2° C. No entanto as regiões possuem uma maior variabilidade quanto à umidade relativa, variando de 45% na porção oeste até 75% para a porção leste do manancial. Sobre a quantidade de dias com chuvas para a região de Cacoal, cujo manancial do rio palmeira se encontra mais próximo nota-se que a quantidade de dias com chuva foi de 140 e a precipitação máxima em 24 horas foi de 37, 6 mm.

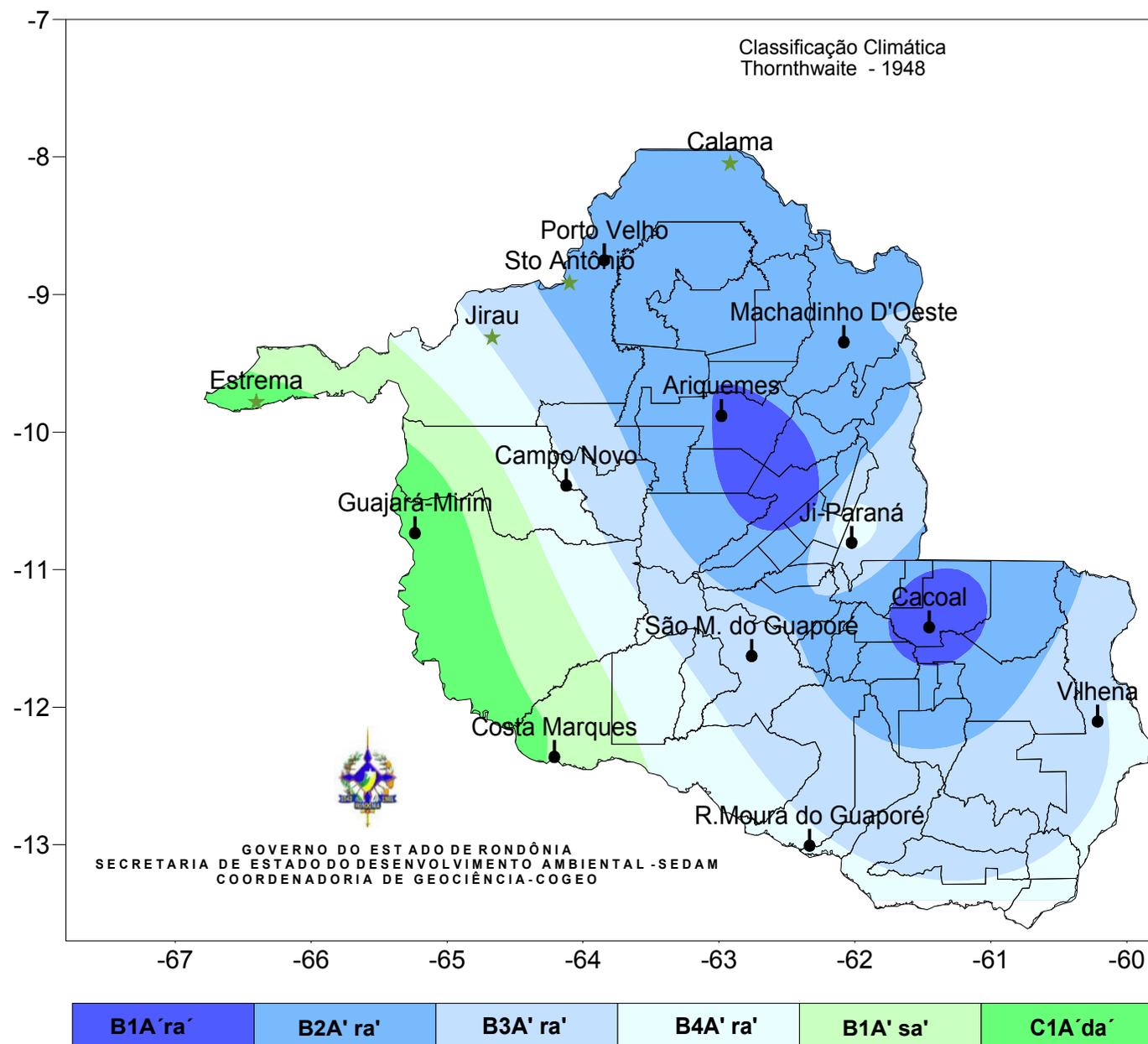


Figura 10: Classificação climática para o estado de Rondônia baseado nos dados Normais Climatológicas Provisória e na classificação climática de Thornthwaite (1948).

Fonte: SEDAM, (2012).

Capítulo 6

6. MATERIAL E MÉTODO

6.1. ORGANIZAÇÃO METODOLÓGICA

Tomando por base que os modelos já são metodologias científicas consagradas por autores como Chorley (1975) e Christofolletti (1979), e com o intuito de aperfeiçoar os materiais e os métodos necessários para gerar aos resultados esperados, a figura 11 mostra como este trabalho sistematizou a metodologia de forma que este procedimento sirva de base para estudos de outros programas e projetos em mananciais situados no estado de Rondônia.

Para tanto, foram categorizados os procedimentos em quatro níveis de trabalho distintos, com atividades específicas para cada nível e tratados um a um ao longo deste capítulo.

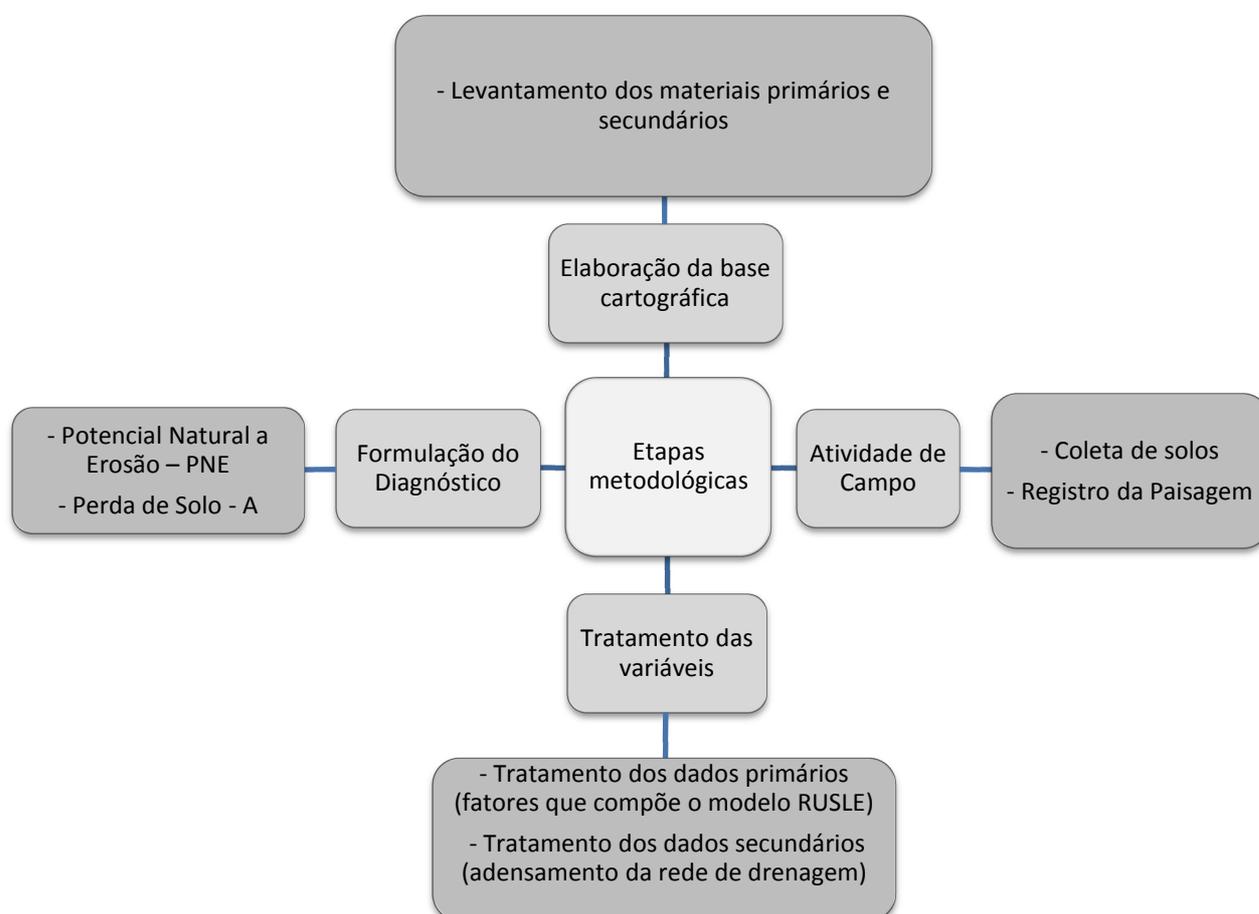


Figura 11: Organização metodológica.

6.1.1. Levantamento e formação da base cartográfica

O primeiro nível consistiu no levantamento e na formação da base de dados inerentes a cada variável do modelo RUSLE. Na execução desta etapa foram coletados materiais classificados em primários e secundários. Os materiais primários formam os produtos relacionados ao modelo RUSLE e os secundários, os dados que complementam os resultados do diagnóstico.

Materiais primários:

- **Imagens orbitais do satélite SPOT 5 sensor HRG em “supermode”** garantindo uma resolução espacial de 2,5 metros, do ano de 2010, cedido pela SEDAM através do acordo de cooperação técnica entre o Ministério Público do Estado de Rondônia, SEDAM e SIPAM. Este produto foi utilizado para coletar as informações sobre o uso e ocupação do solo além de adensar a rede de drenagem e o limite da bacia;

- **Modelo Digital de Elevação (MDE)** extraído do *projeto TOPODATA* com resolução avaliada em 30 metros extraídos da rede mundial de computadores diretamente do site <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Este MDE serviu de base para a construção das informações hipsométricas, de declividade e posteriormente gerar o fator *LS*;

- **Mapeamento pedológico** do ZEE-RO, SEDAM/RONDÔNIA (1998) em escala 1:250.000, para caracterização geral da erodibilidade (fator *K*) na equação do modelo RUSLE;

- **Dados acumulados de precipitação pluviométrica a partir do satélite TRMM**(NASA/JAXA, 1997) também disponível na rede mundial de computadores <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Os dados acumulados foram obtidos com o intuito de caracterizar a intensidade da chuva (fator *R*);

Materiais secundários:

- **Mapeamento das unidades SOTRO** do PLANAFLOORO, (SEDAM/RONDÔNIA, 1998), como base cartográfica para a coleta das amostras de solos.

- **Limite vetorial da bacia do rio Palmeira** elaborado pelo SIPAM na escala de 1:10.000.

- **Mapa da rede hidrográfica** do estado de Rondônia na escala de 1:100.000 disponível no banco de dados interno do SIPAM;

- **Dados de Precipitação** da estação pluviométrica “1161000” Vista Alegre (Cacoal – RO), disponível no banco de dados *Hidroweb* <http://hidroweb.ana.gov.br/>, para validar os dados de precipitação estimado via Sensoriamento Remoto.

6.1.2. Atividades de campo

Em campo, buscou-se levantar as informações com o subsidio de mapas temáticos (geomorfologia e uso e cobertura da terra), com o intuito de aferir o material cartográfico de modo a validá-lo conforme estipulado por Pereira (2010). Os levantamentos de campo tiveram como objetivos principais:

- **Registro fotográfico** para validar a caracterização da cobertura vegetal e o tipo de uso do solo, além de identificar feições erosivas;

- **Coleta de solos** com o intuito de conhecer as determinações físicas inerentes à equação de resistência do solo (fator *K*).

Para esta etapa foram utilizados os seguintes equipamentos:

- **Instrumento de navegação por satélite** - (Global Positioning System – GPS) para a identificação das unidades de paisagem na base cartográfica;

- **Câmera fotográfica** – para o registro *in loco* da paisagem.

A metodologia da atividade de campo se baseou no registro da paisagem e a coleta de coordenadas espaciais com GPS, assimilando as duas informações através de um código único para ambos, de modo que facilitasse a relação das informações contidas na base cartográfica com as fotografias.

6.1.3. Tratamento das informações

Para o Tratamento das variáveis esta pesquisa optou por trabalhar nos seguintes ambientes computacionais:

- **Software Terra View** versão 4 para o pré-processamento das imagens do Sensor HRG (SPOT 5) através da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral;
- **Software ENVI** versão 4.6.1 para processamento digital de dados orbitais do Satélite SPOT 5, para a produção das categorias de uso e cobertura atual do solo;
- **Software ArcMap** versão 9.1 para realização das operações matriciais, gerando os resultados do Potencial Natural a Erosão e da perda de solo através de álgebras de mapa.
- **Software Surfer** versão 8.0 para interpolação e exportação dos dados de erosividade (fator R) dado matricial (raster);
- **Software Microsoft Office (excel)** versão 2010, para a tabulação dos resultados de cada variável.

6.1.3.1. Tratamento dos fatores que compõem a RUSLE

Erosividade (fator R)

Primeiramente cabe esclarecer que, segundo Nobrega (2008), ao obter a precipitação em uma bacia hidrográfica pelos meios tradicionais (pluviômetros e pluviógrafos), as informações são pontuais, refletindo a chuva ocorrida em um dado ponto e, neste caso, é estendida para toda a bacia hidrográfica. Entretanto, para ter um monitoramento detalhado é necessária a existência de densa rede de instrumentos. Em se tratando de Amazônia, também esbarra no difícil acesso em áreas de floresta e isoladas por rios.

De acordo com Gama (2010) *in* INMET (1992), as normas estabelecidas pelo manual WMO n.º 544, vol. 1, da Organização Meteorológica Mundial - OMM preconizam que o espaçamento entre estações meteorológicas de superfície devem obedecer aos seguintes critérios: a) espaçamento máximo de 150 km

entre estações, e em regiões onde seja totalmente impossível de manter esse distanciamento, não deve ultrapassar 500 km; b) a distribuição das estações deve ser representativa dos diferentes climas regionais, assim como das variações de relevo e vegetação. Portanto, Gama (2010) define como área de abrangência de uma estação de superfície um raio de 75 km.

Em Rondônia, a distribuição da rede de estações pluviométricas não é homogênea em sua superfície, sendo considerada em algumas regiões do estado como de baixa densidade, descaracterizando os padrões ideais destacado no parágrafo acima e dificultando os estudos que necessitam relacionar a chuva em seus estudos. Outro problema recorrente das estações de superfície é o chamado “vazio” que é entendido como o período sem dados na série histórica, tendo como consequência deste problema a falta de consistência dos dados.

Apesar de o manancial do rio Palmeira estar situado na faixa de abrangência (75 km) da estação 1161000 – Vista Alegre (Cacoal - RO), neste trabalho optou-se por utilizar dados com melhor uniformidade espacial, e que atendam regiões que porventura tenham uma baixa densidade de estações. Os dados adquiridos para estimar a erosividade foram coletados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM (NASA/JAXA, 1997) e utilizados em modelos hidrológicos por autores como Collishonn (2006) e Nóbrega (2010).

Segundo Nóbrega (2010), a densidade e distribuição homogênea dos dados no tempo e no espaço são perfeitamente aceitáveis e qualificam os dados de precipitação acumulada do TRMM como informação complementar ou alternativa aos dados das estações na superfície terrestre que apresentam densidade e distribuição espacial deficiente, além de muitas falhas na série temporal.

A afirmação de Nóbrega tem por base estudos realizados por Collishonn, (2007) e fundamentados na figura 12, onde se destaca a boa correlação entre os dados de precipitação médios estimados pelo TRMM, com dados de precipitação médios de estações meteorológicas em superfície para a análise da distribuição espacial e temporal das precipitações.

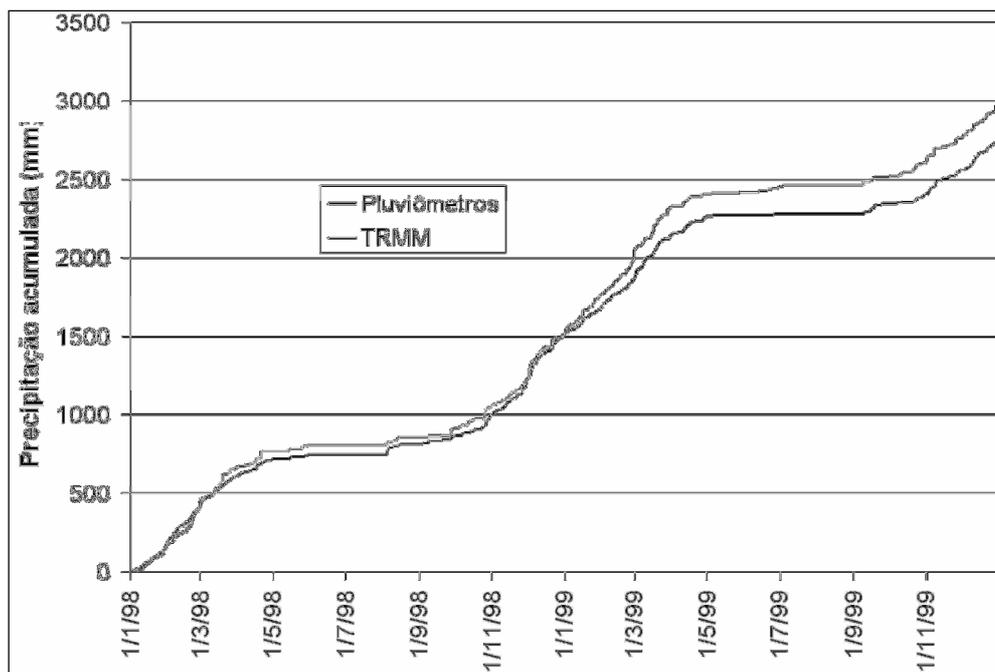


Figura 12: Comparação entre a precipitação acumulada dos pluviômetros e do TRMM; (fonte: Collishonn, 2006).

Por sua vez, Nobrega (2010) utilizou dados de precipitação de uma estação pluviométrica na bacia do rio Jamari – RO operada pela Agência Nacional das Águas (ANA)/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) para validar o uso do TRMM. Tanto Collishonn quanto Nóbrega concluíram que o sensor garante uma boa resposta da variação de chuva, o que leva a crer que também é concebível o uso do TRMM como base para o cálculo de erosividade no modelo RUSLE, uma vez que a variação da precipitação é o parâmetro necessário para compreender o comportamento da intensidade da chuva (fator R) ao longo dos meses.

A grande vantagem deste satélite está na sua concepção de uso para estimativa de precipitação nos trópicos (COLLISHONN 2006, *apud* KUMEROW *et. al* 2000). Utilizando imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), o projeto TRMM gera diversas estimativas de acordo com a combinação de imageadores baseados em algoritmos.

Dentre essas combinações, destaca-se o produto “3B42”, cujas estimativas são obtidas pela combinação dos imageadores microondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens obtidas do radar de

precipitação PR. O produto derivado desta junção possui uma resolução temporal alta e combinado com as estimativas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) refina também sua resolução espacial.

Sua alta resolução temporal estima a precipitação de 3 em 3 horas e sua resolução espacial, de $0,25^\circ$, na faixa entre 50°S e 50°N , aferindo informações pontuais de 27 km em 27 km, portanto mais detalhado e homogêneo espacialmente do que a distribuição das estações pluviométricas em RO pode oferecer.

Todavia, a fim de assegurar a consistência da estimativa proporcionada pelo TRMM, utilizou-se o método de comparação entre dados da estação Vista Alegre (1161000) extraído do banco de dados *Hydroweb* (ANA) e do ponto de grade, do produto “3B42” mais próximo da referida estação, conforme destacado pela figura 13.

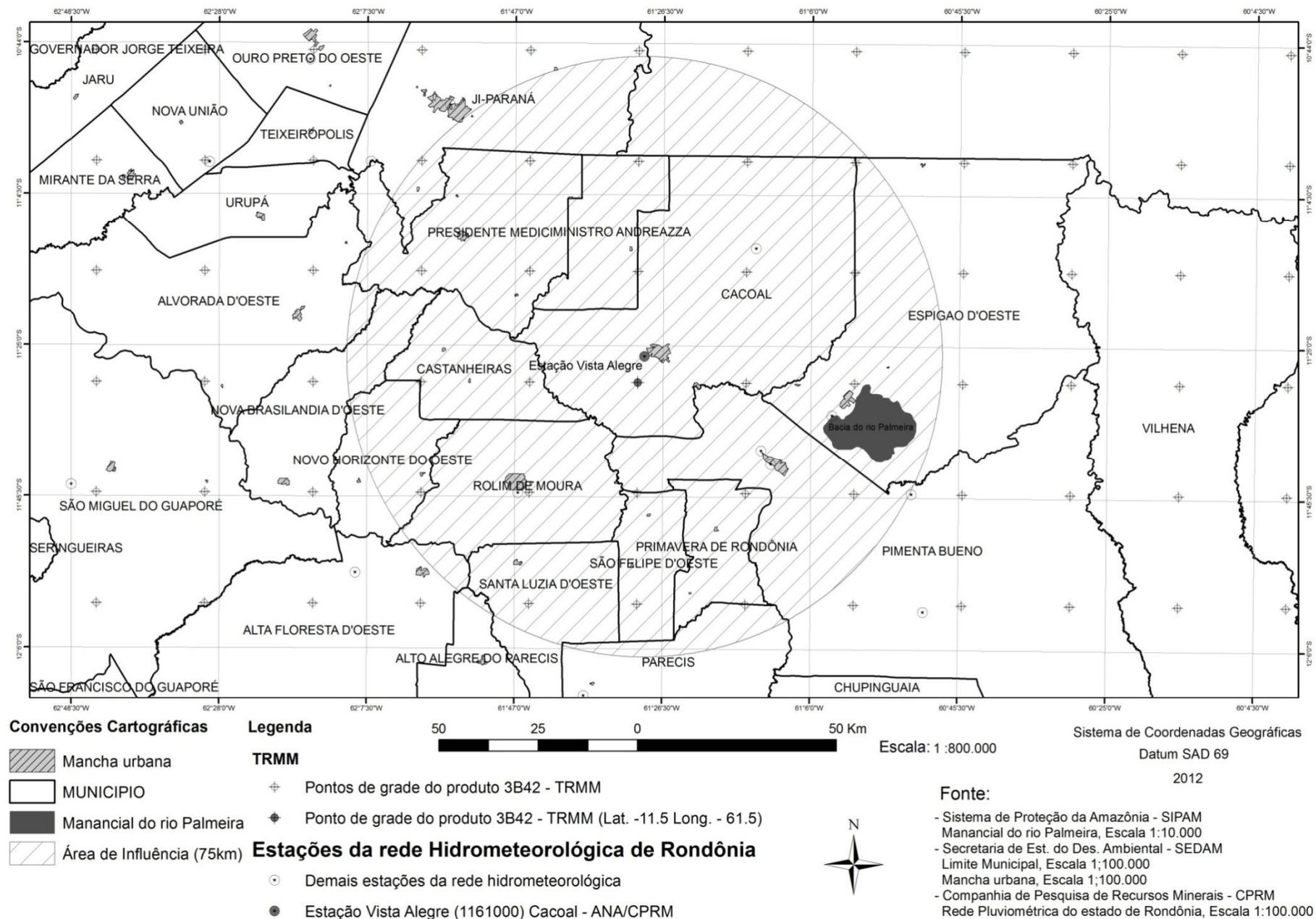


Figura 13: Espacialização da rede hidrometeorológica e a grade de pontos do produto 3B42 do satélite TRMM, com destaque para a estação Vista Alegre e o ponto de grade Lat. -11.5 Long. -61.5.

Padronizou-se período de informações compreendidas entre 2008 a 2011 separados e comparados mensalmente uma vez que, Massagleet. a/(2011) afirma que as melhores correlações entre campo e sensor se dá mensalmente, também foram comparados a precipitação acumulada entre si, e com a média de precipitação para a região climática de acordo com as Normais climáticas para o estado de Rondônia descrito no capítulo x (pagyz)

As análises estatísticas tiveram por base o coeficiente de correlação (Pearson) e o erro relativo descritos na equação 5 e 6.

$$Errv (\%) = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n Ptrmm - Pplu}{\sum_{i=1}^n Pplu} \quad (5)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Ptrmm - \overline{Ptrmm}) \times (Pplu - \overline{Pplu})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Ptrmm - \overline{Ptrmm}) \times \sum_{i=1}^n (Pplu - \overline{Pplu})}} \quad (6)$$

Onde:

Ptrmm = Precipitação estimada pelo produto “3B42” do TRMM, e;

Pplu = Precipitação observada na estação “1161000” Vista Alegre (Cacoal – RO).

A equação da erosividade para a bacia do rio palmeira utilizou a metodologia proposta por OLIVEIRA JR & MEDINA (1990) observado na figura (pag. Yz), que encontraram valor médio anual para a região de Manaus-AM, sendo esta equação a mais confiável e próxima da área de estudo que os demais índices para território brasileiro.

Com intuito de se obter coerência entre os dados, foi padronizado o período das precipitações para cada mês além da soma de cada ano entre 2007 a 2011. O cálculo da erosividade foi realizado em planilha eletrônica (excel) e geocodificado pelas informações espaciais de cada ponto da grade regular dos dados TRMM.

Posteriormente estes dados foram interpolados através do gradeamento geoestatístico de Krigagem com a utilização de programa

Surfer versão 8.0 e foram geradas as linhas de isoerosividade mensal e anual para a bacia hidrográfica e regiões adjacentes para obter o layout final de cada mapa no ArcMap versão 9.1.

Através dos resultados gerados pelo procedimento geostatístico deu-se a discussão do comportamento da distribuição e intensidade em erodir proporcionada pela precipitação analisando o valor da erosividade mensalmente e anual.

Erodibilidade (fator K)

Todavia, para se chegar ao valor de K , foi realizado a partir de dados do PLANAFLORO (1998) um recorte das características ou "atributos", mapeáveis e não mapeáveis do banco de dados de Solos e Terrenos do Estado de Rondônia - SOTERON, uma vez que, este banco permite a descrição dos perfis de solos em uma forma universal e internacionalmente aceita, e numa forma compatível com o sistema do CNPS - EMBRAPA, de classificação e estudo de solos e terrenos (PLANAFLORO, 1998).

Entretanto, devido à falta de consistência dos dados encontrados neste banco de dados, optou-se em utilizar os pontos amostrais de perfis do SOTERON descrito pela figura 14, localizados no manancial do rio Palmeira, como base para um novo levantamento dos atributos físicos do solo que compõe a equação de erodibilidade. Este critério foi adotado tomando por base manter o padrão metodológico do SOTERON e a relação com outras características ou atributos que geraram a classificação do solo descrito nas unidades mapeadas (SOTRO).

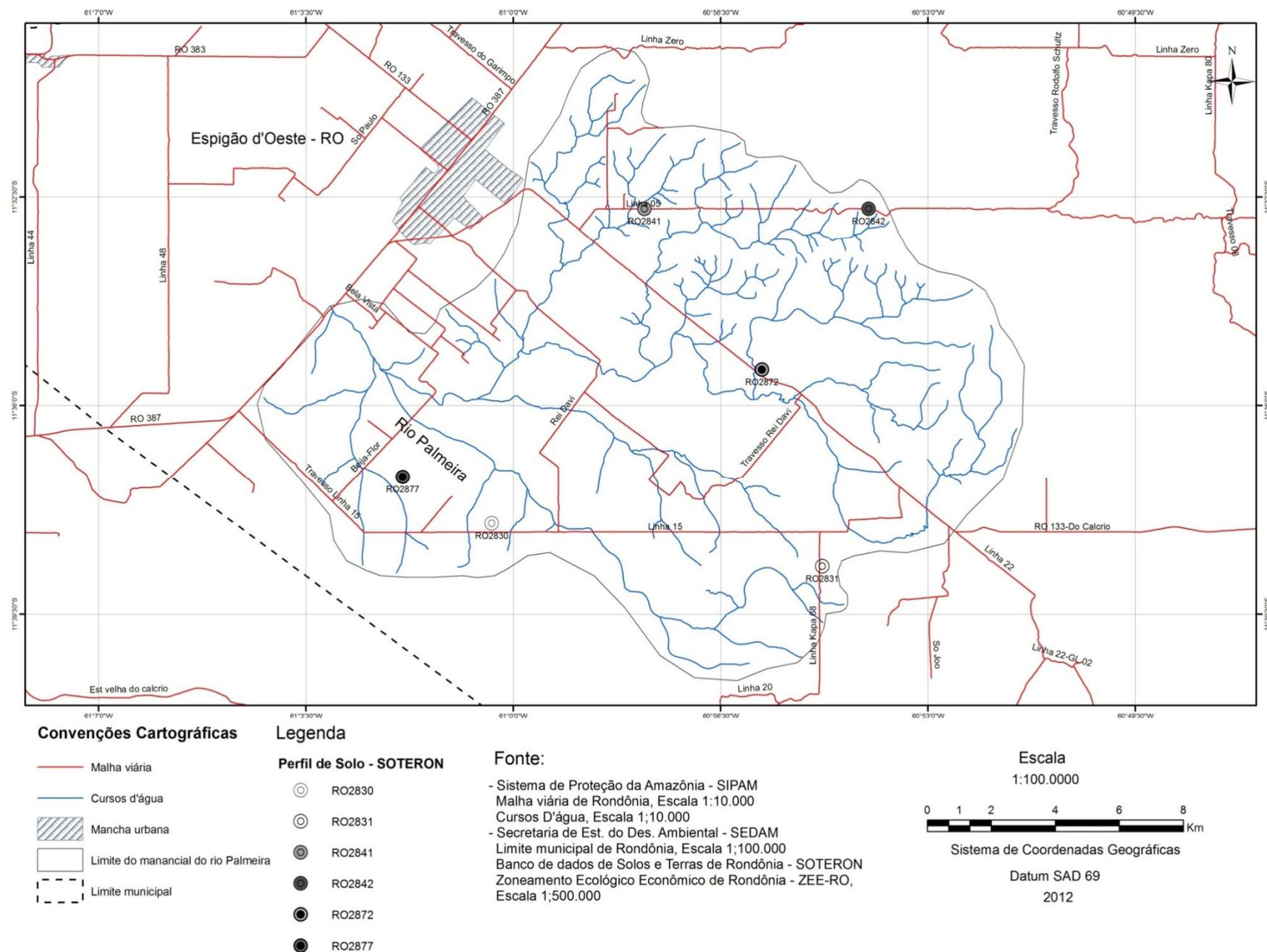


Figura 14: Mapa com a localização dos perfis de amostra de solos de acordo com a metodologia do banco de dados de Solos e Terrenos de Rondônia – SOTERON (PLANAFLORO, 1998).

Conforme demonstra a figura 15, em cada área referente ao perfil SOTERON, foram coletadas amostras com profundidade de 0-20 cm, de acordo com a metodologia de EMBRAPA (1997), sendo esta profundidade delimitada em função de ser a camada de solo onde ocorrem com maior intensidade as intempéries promovidas pelos fatores ativos.



Figura 15: Forma, coleta e identificação das amostras de solo.
Fonte: Henrique Bernini

A aquisição dos dados encontrados em cada perfil na bacia e que incorporam a equação 2 (pag. 32) é descrita abaixo:

textura – A classificação das partículas é derivada dos resultados das análises das porcentagens de partículas estabelecido pelo diagrama triangular ou calculando a porcentagem de silte mais areia muito fina (amf) multiplicado por 100 (cem) menos a porcentagem de argila ($(\% \text{ silte} + \% \text{ amf}) \cdot (100 - \% \text{ argila})$); **estrutura** - Foi definida pelo tamanho das classes dos elementos estruturais de acordo com as classes estabelecido pela FAO (1990); **matéria orgânica** – Determinada pelo método de Walkley-Black, utilizando o fator

1,724 para converter carbono em matéria orgânica e 1,33 é o fator que corrige os valores devido ao ataque apenas parcial da matéria orgânica. Esses fatores, usados internacionalmente, devem ser utilizados para que possa haver concordância de resultados entre laboratórios.

Com a finalidade de averiguar a relação entre as amostras de solo e as classes existentes no mapeamento de solos, realizou-se análise mineralógica qualitativa das amostras de solo, através da relação silte/argila. Esta relação é definida por Van Wambeke (1962) *in* Andrade *et. al* (1997) como indicador do grau de dissociação de solos intemperizados (latossolos) com outras classes de solos (pudzólico, argissolo, etc).

Após organizar os dados seguiu-se para a construção do valor de erodibilidade, referente à equação para cada perfil. Além de expressar o valor na unidade original do fator k , utilizou-se a equação acrescentando a variável 0,1317 para expressar a unidade conforme o sistema métrico internacional, de acordo com Foster (1982). Em seguida foi extraída a média de erodibilidade de cada tipo de solo e incorporado ao arquivo vetorial, transformando-o em arquivo matricial para a determinação da perda de solo, com as demais variáveis.

Após a geração das médias de erodibilidade para cada tipo de solo e a fim de compreender a variação dos resultados obteve-se o coeficiente de variação conforme categorizado por Oliveira Nascimento (1976), onde é considerada a baixa heterogeneidade, quando o coeficiente de variação, determinado pelo desvio padrão sobre a média da variável, apresenta diferenças menores que 100 %, e alta discrepância aquelas que são maiores que 100%.

Topográfico (fator LS)

Inicialmente foram extraídas informações dos produtos gerado pelo projeto TOPODATA (INPE 2008), que oferece livre acesso as variáveis geomorfométricas locais, derivadas de dados do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (NASA, 2000), cujo principal refinamento realizado pelo TOPODATA está na resolução espacial que originalmente é de 3 arco-

segundos (90 metros) e foi transformado para 1 arco-segundo (30metros) por interpolação (krigagem).

O tratamento desta variável, foi realizado no sistema ArcMap 9.1 com um recorte da cena “11S615” utilizando o vetor limite da bacia como máscara. Através da curva de nível, oriundo do Modelo Digital de Elevação – MDE com equidistância paralela ao refinamento do produto base (30 metros), gerou-se o Modelo Numérico do Terreno – MNT, sendo este um subproduto que originou as três informações essenciais para a construção do fator *LS*, a direção de fluxo (flow direction), fluxo acumulado (flow accumulation) - *L* e a declividade - *S*.

A essência destas três informações para o calculo do fator *LS* em ambiente computacional foi proposta por Mitsova *et. al* (2004), que apresentou uma metodologia de algoritmos estabelecidos no sistema ArcMap 9.1. Esta metodologia está baseada na proposta de MOORE & BURCH (1986), cuja equação está fundamentada nos três parâmetros citados acima.

O parâmetro direção do fluxo visa nortear, em oito lados distintos (N, S, E, O e suas diagonais), a direção das vertentes em uma célula a partir das células vizinhas. Observando a figura 16, Pereira (2010) comenta que se a direção do fluxo é para oeste, ela será codificada como 16, para norte, 64, para sudeste, 2, e assim por diante. A direção se dá para a célula de menor altitude, em relação à célula central. Se vários vizinhos têm os mesmos menores valores, o software define a melhor direção.

32	64	128
16	X	1
8	4	2

Figura 16: Direção de fluxo por codificação de células vizinhas pelo menor valor altimétrico. (adaptado de SILVA, 2003)

Uma vez determinada a direção do fluxo, calculou-se o fluxo acumulado que é definido pelo número de células a montante que contribuem para uma determinada célula a jusante, gerando o fluxo acumulado nas vertentes. Na equação 7 a variável “Res” é a determinação do tamanho da célula (resolução do pixel) expresso como o comprimento lateral da célula, e atribuiu-se ao cosseno a declividade da vertente. Ambos os parâmetros foram calculados pelo conjunto de ferramentas denominado “Arc Hydrology” (ArcMap 9.1).

Este novo tema foi incorporado a equação (7) calculado pelo conjunto de ferramentas denominado “Spatial Analyst” (ArcMap 9.1) e seu resultado gerou o valor do fator *LS* no formato matricial.

$$LS = \left(\frac{AF \times Res}{22,1} \right) 0,4 \times \left(\frac{Dec \times 0,01745}{0,09} \right) 1,4 * 0,4 \quad (7)$$

Onde:

AF = fluxo de acumulação;

Res = resolução de cada pixel do raster e;

Dec = declividade.

Uso e cobertura do solo (fator C)

O levantamento das informações sobre a cobertura vegetal foi produzido a partir do Sensor HRG (“High Resolution Geometric”) a bordo do satélite SPOT-5 e dos registros da paisagem obtidas em campo. O sensor HRG possui 4 (quatro) bandas, sendo 3 (três) na região do visível com resolução de 10 metros, uma banda no infravermelho-próximo com resolução de 20 metros e uma banda pancromática com resolução de 2,5 metros.

Modelo Linear de Mistura Espectral - As imagens com o pré-processamento adequado foram primeiramente submetidas ao processo de

seleção de componentes puros e geração das imagens fração. Para tal técnica utilizou-se o Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME, que tem por objetivo realçar os principais alvos de interesse presentes nas imagens, além de reduzir a dimensão dos dados analisados (KAWAKUBO, 2004).

Kawakubo (2004) comenta também que o MLME decompõe estas misturas estimando a proporção de cada tipo de cobertura do terreno em cada pixel. Para isso são selecionados componentes puros de referência na própria imagem para servirem como parâmetro na estimativa (água/sombra, solo exposto e vegetação), conforme observado pela figura 17. Optou-se em gerar este processamento no sistema Terraview versão 4.6 pela fácil aplicabilidade diante dos outros sistemas de informação geográfica – SIG.

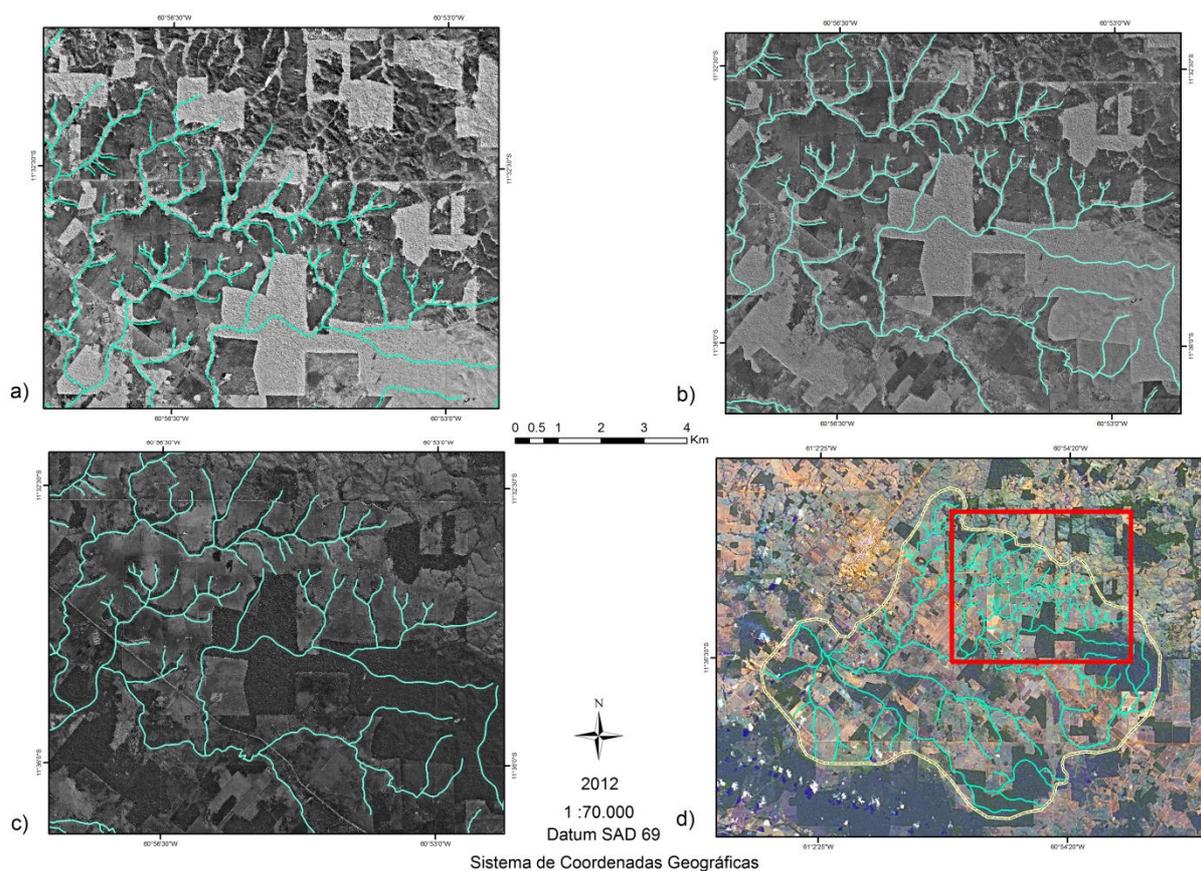


Figura 17: Imagens sintéticas geradas a partir do MLME. As figuras a, b e c representam respectivamente as frações solo, sombra/água e vegetação.

Classificação supervisionada - A próxima etapa do processamento foi a classificação supervisionada (seleção de amostras) com um algoritmo paramétrico de Máxima Probabilidade (*Maximum Likelihood*). Este é um dos métodos mais populares de classificação automatizado, baseado nas

amostras (valores de pixel) de cada alvo mapeado na imagem. O método está baseado na hipótese de que cada pixel tem a máxima probabilidade de ser classificado na sua correspondente classe, cuja a amostra foi coletada.

Foram coletadas amostras simples para cada classe de cobertura vegetal de acordo com as classes já estipulada pelo mapeamento do ZEE-RO e com as particularizações do seu uso observado em campo. As classes foram definidas como: Áreas de Floresta (Ombrófila Aberta (**As**) e Savana Floresta (**Cd**); Áreas de Savana (**Ca**) e/ou Pastagem Abandonada; Área Antropizada (**00**)/Pastagem e Solo Exposto (afloramento rochoso, estradas e solo nú). A fim de validar as classes de cobertura vegetal com as imagens orbitais realizou-se uma análise de convergência de evidência, através dos registros fotográficos identificados na base cartográfica pelos pontos de GPS, realizado nas atividades de campo.

Em seguida realizou-se uma análise dos valores de média e variância de cada amostra composta com o intuito de avaliar o grau de separabilidade entre as classes nas 3 bandas utilizadas e em seguida foi processada a classificação. A classificação deu origem a uma informação temática com legenda pré-estabelecida na classificação.

A próxima etapa consistiu em realizar uma minuciosa leitura espacial orientada pelo classificador, objetivando ajustar possíveis distorções na classificação. As etapas de classificação e supervisão dos dados classificados foram feitas no software ENVI versão 4.6, as demais análises espaciais e pós-processamento das imagens foram realizadas no software Arcgis 9.1.

Índice de Kappa - A fim de avaliar a confiabilidade do resultado deste processamento nas imagens SPOT, foi extraído o índice de *Kappa*, método baseado na matriz de erros que busca evidenciar o grau de consistência da classificação.

Recodificação das classes de cobertura vegetal - Assumindo tal cobertura vegetal na área de estudo, foi atribuído para cada classe que compõe o fator C recodificações através de valores já pré-estabelecidos por

diversos autores, assim como Fujihara (2002), que realizou uma compilação de diversos trabalhos para agregar recodificações referente à mesma cobertura encontrada na bacia do rio Palmeira.

Faz-se necessário destacar que os valores na bibliografia variam de estudo para estudo, e muitos destes valores podem superestimar ou subestimar os resultados. Entretanto este trabalho procurou utilizar os valores que demonstraram coerência com a literatura, cujos valores estão descritos na tabela 8.

Tabela 8: Valor do fator c para cada tipo de uso e cobertura do solo.

USO/COBERTURA	Fator C	Fonte
	Média	
Solo Exposto	1,0	Tomazoni et, al. (2005) citado por Machado et, al. (2009)
Área Antropizada/Pastagem	0,0150	Farinasso et al (2006) citado por Machado et, al. (2009)
Savanas/Pastagem abandonada	0,003	Fernandes (2008)
Floresta	0,0004	Fernandes (2008)

Manejo do solo (fator P)

Sendo o fator P funcionando como um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo do solo a exemplo das técnicas de plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas, os valores que determinam a diferença de suavização do fator P variam de 0 a 1.

Para solos que mantêm sua cobertura original adota-se o valor 0 justamente por não necessitar de tais técnicas, uma vez que não é necessário adotar práticas mitigadoras. Entretanto, para solos com cultivos que não utilizam de manejos o valor se torna uma constante 1. A variação entre 0 e 1 oscila de acordo com a ação mitigadora destas práticas agrícola.

Na área do manancial do rio Palmeira não foi encontrado nenhum uso do solo que se utilize de práticas conservacionistas, portanto adotou-se o valor 1 para o fator *P*.

6.1.3.2. Tratamento dos dados secundários

Adensamento da rede de drenagem: Este procedimento foi realizado por intermédio da Interpretação visual das imagens do satélite SPOT 5 que oferece uma resolução espacial de 2,5 metros e tem por objetivo aumentar a escala de detalhes dos cursos d'água. De acordo com Moreira (2003), o procedimento consiste em extrair informações de alvos da superfície terrestre com base nas suas respostas espectrais. Além disso, a interpretação visual é baseada em alguns dos elementos fotointerpretativos vistos para fotografias aéreas, tais como: textura, forma, tamanho, tonalidade ou cor, etc.

Para esta etapa, realizou-se primeiramente o ajuste na escala sobre os dados de cursos d'água através de edição manual dos vetores, automatizando somente a escala da área a ser trabalhada em 1:10.000, reduzindo a escala original que é de 1:100.000. Ainda sobre a escala de 1:10.000 sobreposta à imagens SPOT 5 criou-se novas linhas representativa de cursos d'água observando as feições e padrões de áreas de várzea na imagem.

6.2. FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

6.2.1. Determinação do Potencial Natural a Erosão (PNE)

Após o conhecimento de cada variável levantada buscou identificar os setores naturalmente mais susceptíveis à erosão, denominado de Potencial Natural de Erosão (PNE).

Para a obtenção do PNE, exposto na figura 18, foram multiplicados os dados matriciais dos fatores *R*, *K*, e *LS* utilizando a ferramenta “*Spatial Analyst*” (ArcMap 9.1). Desta forma foi possível gerar como resultado outra matriz, onde os valores da fragilidade natural da erosão são representados em níveis de cinza.

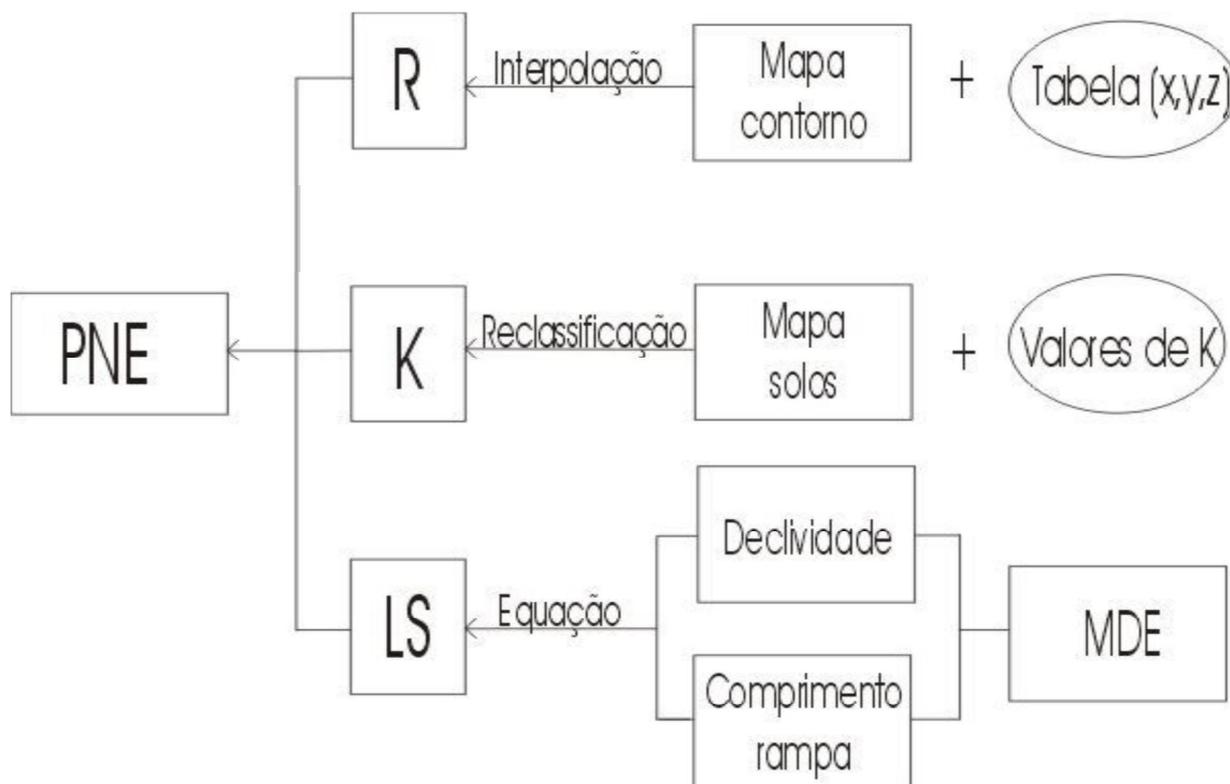


Figura 18: Fluxograma de etapas e variáveis para determinar Potencial Natural a Erosão. (adaptado de CHECCHIA, 2004).

A criação da informação matricial mensal e anual do PNE, possibilitou o fatiamento dos valores para determinar a dimensão espacial das classes de susceptibilidade natural à erosão, sendo definida por meio de tabulação cruzada para ponderar os valores qualitativamente, conforme realizado por Bertoni & Lombardi Neto (1999).

6.2.2. Estimativa da Perda de Solo (A)

Para o cálculo da perda de solo foi multiplicado todas as variáveis inerentes a RUSLE ($A = PNE * C * P$), utilizando o mesmo método explicitado na estimativa do PNE, sendo que os dados referentes aos fatores K , LS , C e P multiplica-se pelos valores mensais do fator R , gerando a perda de solo mensal e o posterior o valor anual conforme ilustrado na figura 19. Todos os cálculos para obter as imagens com as estimativas de perda de solo na bacia também foram gerados em ambiente SIG – ArcMap 9.1.

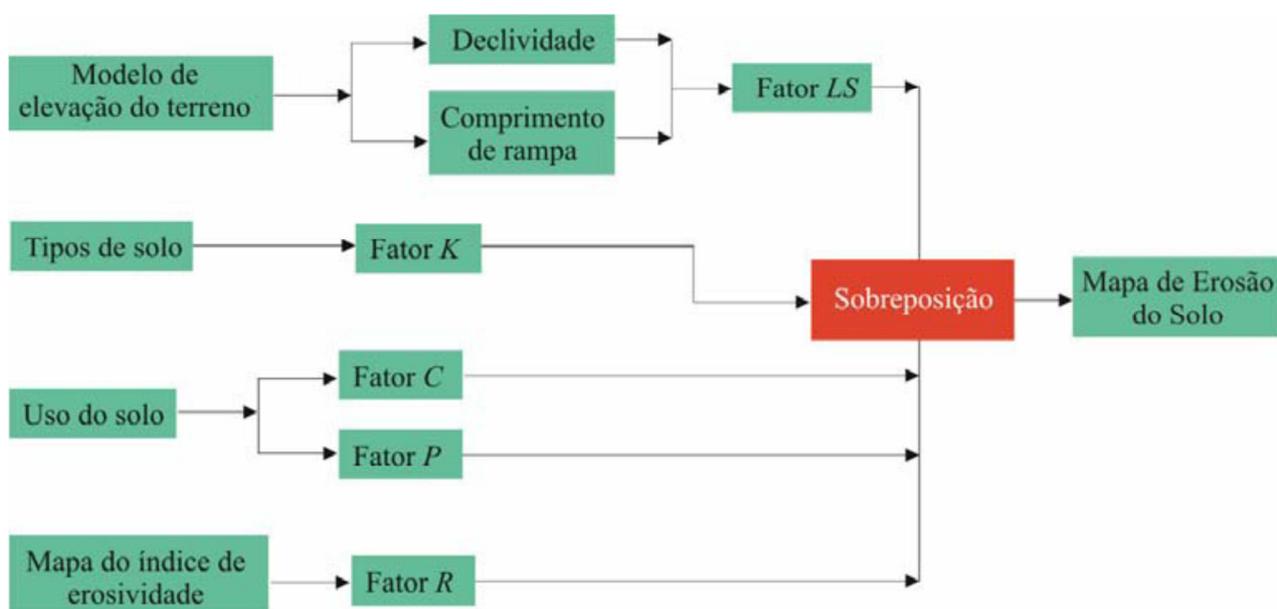


Figura 19: Fluxograma de etapas e variáveis para estimar perda de solo, adaptado de SILVA et. al (2007).

A partir desta etapa, realizou-se uma análise sobre a distribuição qualitativa e espacial da perda de solo e sua relação com os fatores ambientais como a cobertura vegetal, relevo e chuvas, também realizado por Bertoni & Lombardi Neto (1999).

Capítulo 7

7. RESULTADO E DISCUSSÃO

7.1. FATORES DA RUSLE

Descrevendo e calculando os valores numéricos dos fatores ambientais envolvidos para estimar o potencial natural à erosão (PNE) e a estimativa perda de solo por erosão (USLE) obteve-se os seguintes resultados.

7.1.1. Erosividade (fator R)

Comparação e validação entre dados da estação de superfície e dados do TRMM

Ao comparar os dados mensais de precipitação entre a estação observada “1161000” (Vista Alegre) e o ponto de grade Lat/Long. -11.5/-61.5, a correlação de Pearson foi de 0,95. Esta análise estatística indica que há uma boa correlação entre o TRMM e a estação de superfície para a região estudada e o período de comparação. Entretanto podemos observar na figura 20 que em determinados períodos os dados da estação de superfície não corresponde à média de chuva para o período, o que pode comprometer a consistência dos dados das informações observada em superfície.

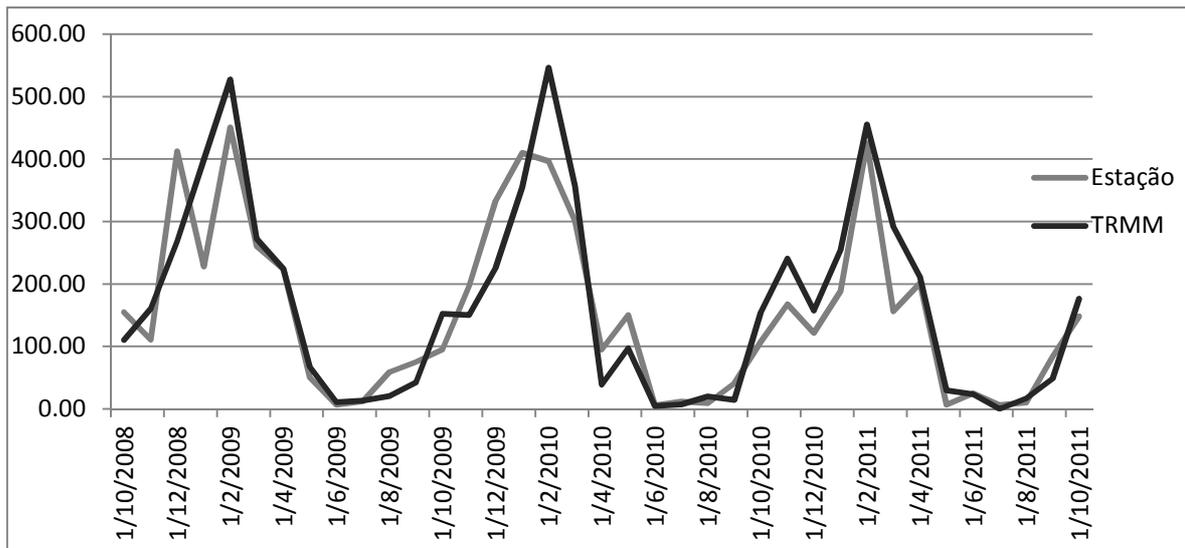
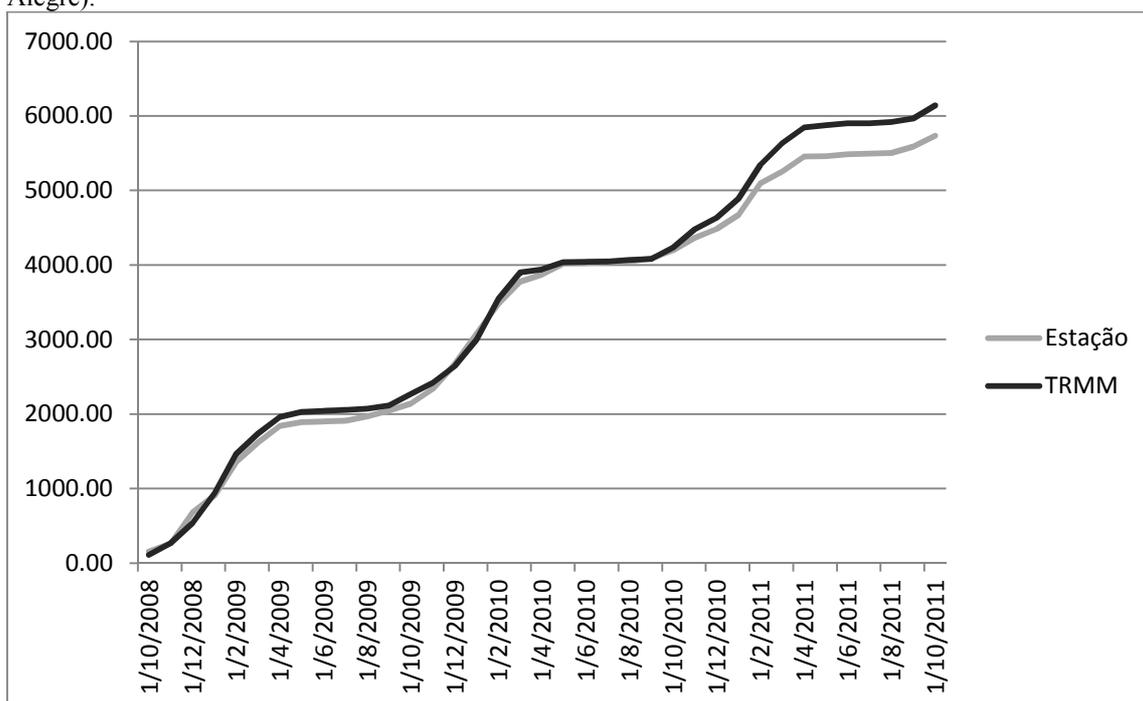


Figura 20: Comparação entre a precipitação média a partir da estação de superfície e do TRMM.

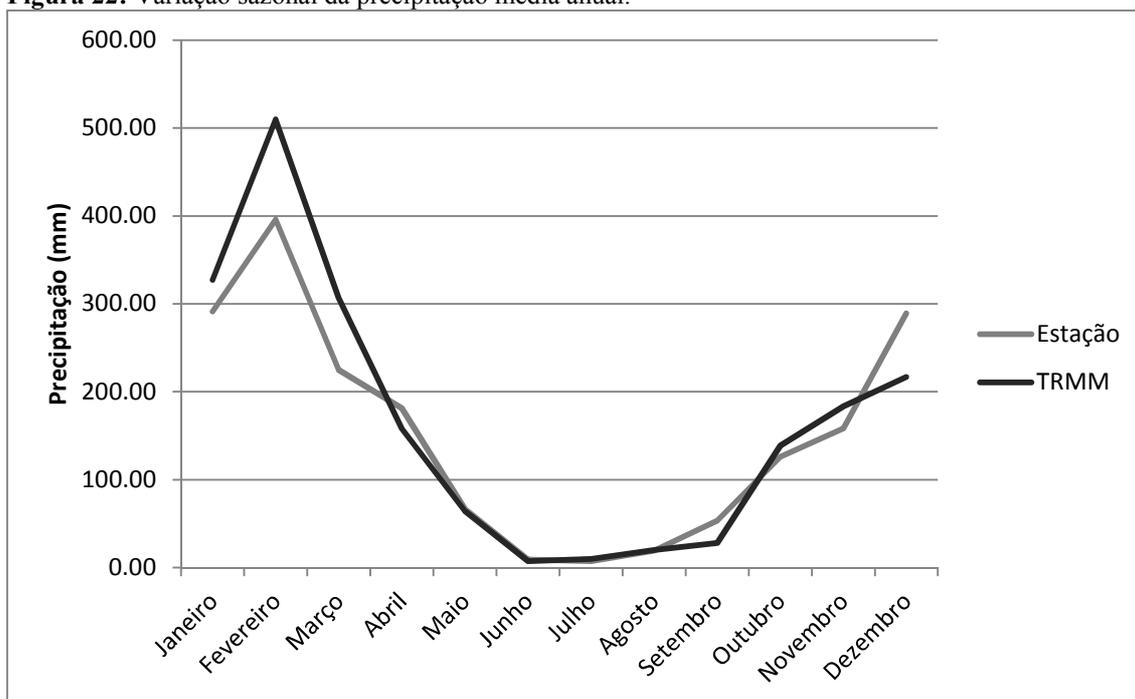
Com relação à precipitação acumulada, durante o período em estudo o TRMM estimou um total de 6.141 mm e a observada 5.734 mm. Apesar deste erro relativo não ser significativo, Massagli *et. al* (2011) esclarece que esta diferença são problemas ocorridos ao agregar os dados originais (de 3 em 3 horas) para diários, ou devido à resolução espacial do sensor TRMM, entretanto este questionamento precisa ser melhor investigado e de maneira específica. A figura 21 apresenta a precipitação acumulada para o período em estudo.

Figura 21: Precipitação acumulada (mm) por satélite (TRMM) e estação observada (1161000 – Vista Alegre).



Sobre a variabilidade da precipitação média mensal das estações e do TRMM, nota-se através da figura 21 que o comportamento da intensidade da precipitação, ao longo do período estudado é semelhante. Todavia, os valores tem maior similaridade durante o período seco. Durante o período chuvoso apresentam superestimava por parte dos dados do TRMM.

Figura 22: Variação sazonal da precipitação média anual.



Esta semelhança entre medições indica que os dados do produto “3B42”-TRMM tem condições de representar o mesmo padrão de comportamento da intensidade da chuva mensurado pelas estações de superfície sendo, portanto perfeitamente aceitável o uso do TRMM para calculo de erosividade. Recomenda-se inclusive o uso das informações geradas pelo TRMM em regiões onde há baixa densidade de estações.

Calculo da erosividade

Conforme tabela 9, os dados de precipitação média anual na bacia do Rio Palmeira obtida pelo TRMM foi de 2062 mm, o que representa consistentemente o padrão de chuva para a região quando correlacionado com o padrão de precipitação da média anual do clima Úmido classificado pela Normal Climatológica do estado de Rondônia (2000-2250 mm).

Tabela 9: Precipitação média anual na bacia do rio Palmeira.

Média precipitação anual pela Normal Climática de Rondônia	2000-2250 mm
Média precipitação anual TRMM	2062 mm

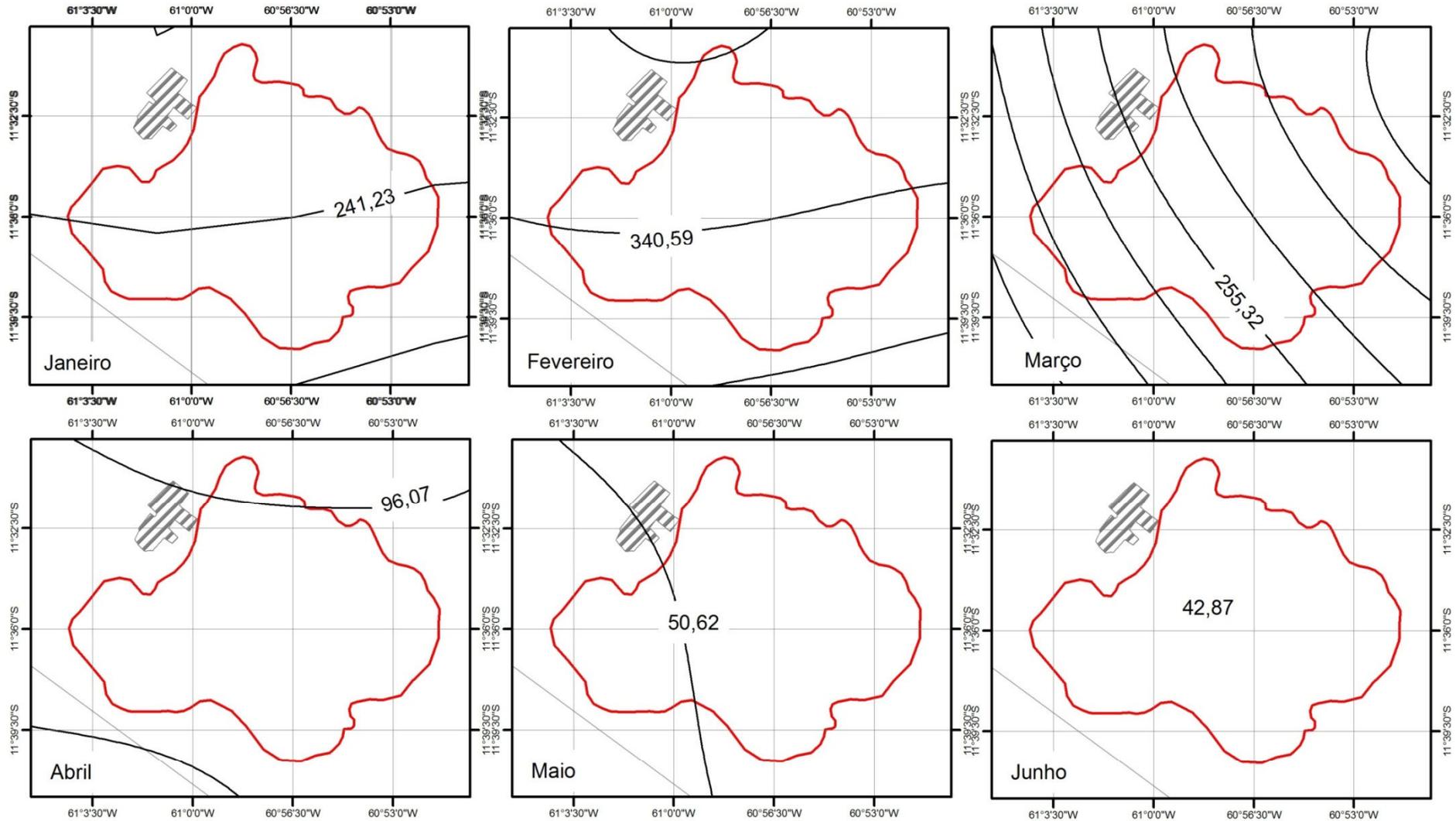
Sobre a dinâmica da intensidade erosiva na região estudada, a tabela 10 apresenta os valores médios de erosividade mensal e anual na bacia do rio Palmeira. Com respeito à distribuição do índice de erosividade ao longo do ano é possível constatar que, em média, os maiores índices estão concentrados entre os meses de novembro a março, sendo que o mês com maior erosividade é fevereiro (340,59 MJ.mm/ha.h.mês), conforme observado na figura 8.

Tabela 10: Erosividade média mensal e desvio padrão na bacia do Rio Palmeira.

Mês	Erosividade média (MJ.mm/ha.h.mês/ano)	Desvio Padrão (MJ.mm/ha.h.mês/ano)
Janeiro	241,23	3,2701
Fevereiro	340,59	18,3824
Março	255,32	2,807
Abril	96,07	2,1044
Maio	50,62	0,3293
Junho	42,87	0,0232
Julho	43,03	0,0183
Agosto	45,16	0,1058
Setembro	46,35	0,2934
Outubro	79,06	1,7228
Novembro	135,65	4,6529
Dezembro	173,37	4,7026
Anual	1563,92	10,6006

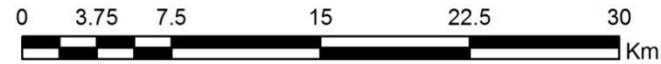
Este período, de novembro a março, é responsável por 73% do total anual de erosividade, que é de 1563,92 (MJ.mm/ha.h.ano). De acordo com Oliveira Jr & Medina (1990) este período é o de maior ocorrência das chuvas erosivas, ou seja, a precipitação e sua intensidade ocorrem de forma mais acentuada em função das características do seu regime pluviométrico, com chuvas convectivas típicas de regiões tropicais, caracterizadas pela sua grande intensidade e sua curta duração.

Conforme destacado pelas linhas isoerosivas nas figuras 23 e 24, este mesmo período tem uma maior variabilidade na distribuição espacial do fator R . Os demais meses (abril a setembro) obtêm os índices mais baixos onde o menor valor mensal de erosividade ocorre entre os meses de junho (42,87) e julho (43,03). A distribuição espacial neste período é homogênea para toda área do manancial, permanecendo o mesmo valor.



Convenção cartográfica

- Manancial do rio Palmeira
- Mancha urbana
- Limite municipal
- Linhas isoerosivas mensais (MJ.mm/ha.h.mês/ano)

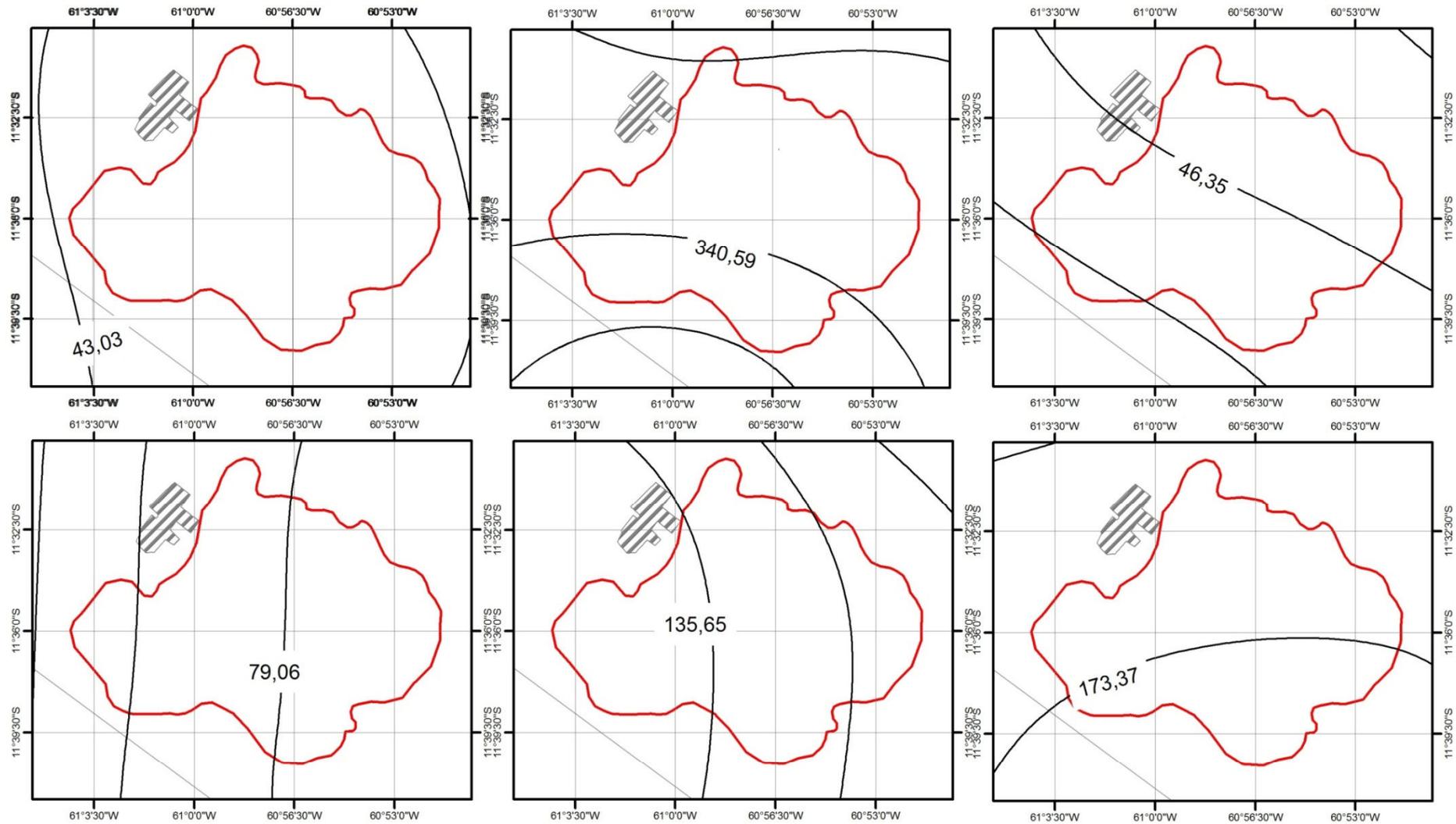


1:100.000
 Sistema de Coordenadas Geográficas
 Datum SAD 69
 2012

Fonte:

- Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM
 Manancial do rio palmeira, Escala 1:10.000
- Secretaria de Est. do Des. Ambiental - SEDAM
 Limite municipal, Escala 1:100.000
 Mancha urbana, Escala 1;100.000

Figura 23: Mapas com a distribuição espacial da isoerosividade mensal para o manancial do rio Palmeira – Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho.



Convenção cartográfica

- Manancial do rio Palmeira
- Mancha urbana
- Limite municipal
- Linhas isoerosivas mensais (MJ.mm/ha.h.mês/ano)



1:100.000
 Sistema de Coordenadas Geográficas
 Datum SAD 69
 2012

Fonte:

- Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM
- Manancial do rio palmeira, Escala 1:10.000
- Secretaria de Est. do Des. Ambiental - SEDAM
- Limite municipal, Escala 1:100.000
- Mancha urbana, Escala 1;100.000

Figura 24: Mapas com a distribuição espacial da isoerosividade mensal para o manancial do rio Palmeira – Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho.

Carvalho (1994) classificou a erosividade (R) quanto à magnitude do índice EI_{30} em: baixa, se $R < 2.452$; média, se $2.452 < R < 4.905$; média a forte, se $4.905 < R < 7.357$; forte, se $7.357 < R < 9.810$; e muito forte para $R > 9.810$. Com base nessa classificação, a erosividade da bacia do rio Palmeira é considerada baixa (1563,92 MJ.mm/ha.h.ano), entretanto, principalmente no período de novembro a março, cuja intensidade é mais significativa, as práticas agrícolas devem ser empregadas com atenção, uma vez que promovem a movimentação do solo alterando as condições de superfície do terreno.

Este resultado é semelhante ao encontrado por Oliveira Jr & Medina (1990) *in* Silva (2003) que estimaram erosividade em Manaus-AM e observaram que a região possui uma oscilação unimodal, onde a época de maior ação das chuvas ocorre entre os meses de novembro a maio, destacando-se o mês de março, cujo valor médio anual da erosividade encontrado naquela região foi de 815 MJ.mm/ha.h.ano. A figura 25 mostra que a distribuição espacial do valor anual encontrado possui um padrão uniforme em toda bacia.

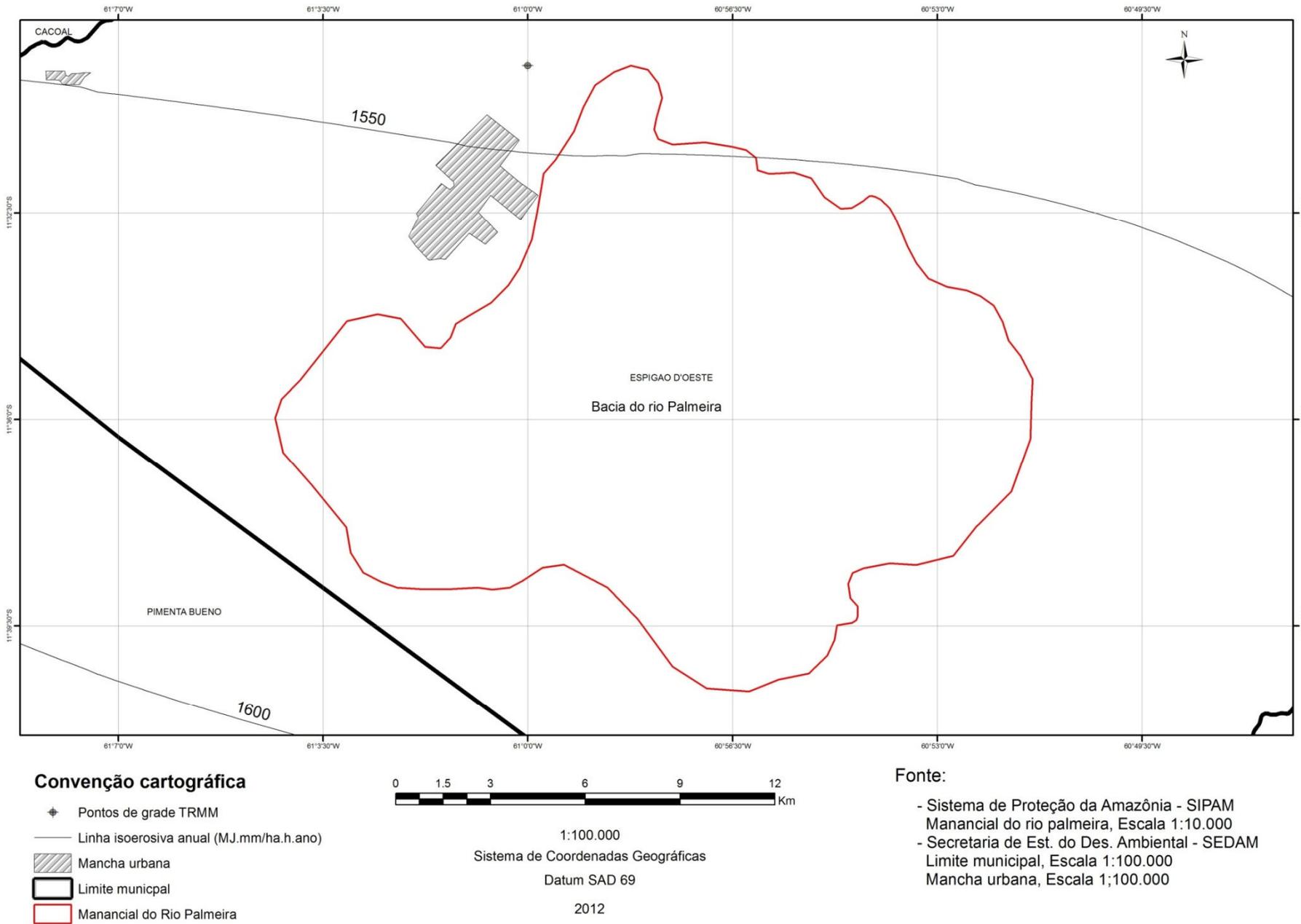


Figura 25: Distribuição da erosividade anual no manancial do rio Palmeira.

7.1.2. Erodibilidade (fator *K*)

De acordo com as observações descritas na tabela 11, foram encontrados no banco de dados SOTERON, 6 perfis de solo ao longo da bacia e destacado na figura 14 (pag.69). A tabela 11 também descreve o tipo de solo caracterizado pelas unidades mapeada do banco de dados de Solo e terreno de Rondônia (ZEE-RO, 2000)

Tabela 11: Descrição dos perfis e tipo de solo de acordo com a classificação brasileira localizado na área de estudo.

PERFIL	TIPO DE SOLO	SIGLA (EMBRAPA)
RO2830	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	LVAd
RO2831	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	LVAd
RO2841	Latossolo vermelho-escuro eutrófico	LVef
RO2842	Latossolo vermelho-escuro eutrófico	LVef
RO2872	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	LVAd
RO2877	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	LVAd

A relação silte/argila segundo Andrade *et. al* (1997), quando apresentam valores baixos ($< 0,7$) os solos são caracterizados como altamente intemperizados. Conforme descrito na tabela 12, esta relação obtida pelas amostras de solo, indicam que o solo no manancial do rio Palmeira possui um alto grau de intemperismo tanto em horizonte B quanto em Horizonte A. Portanto, conforme sugere Jacomine (1979) *in* Silva Filho (2008), tal relação é um indicativo para a identificação da classe de Latossolos.

Tabela 12: Relação silte/argila, para horizonte Ae B das amostras de solo.

Perfil	Horizonte (cm)	Tipo de solo	Relação silte/argila
RO-2830	0-20	LVAd	0,25
RO-2830	20-40	LVAd	0,24
RO-2831	0-20	LVAd	0,27
RO-2831	20-40	LVAd	0,28
RO-2841	0-20	LVef	0,24
RO-2841	20-40	LVef	0,24
RO-2842	0-20	LVef	0,28
RO-2842	20-40	LVef	0,25
RO-2872	0-20	LVAd	0,22
RO-2872	20-40	LVAd	0,22
RO-2877	0-20	LVAd	0,27
RO-2877	20-40	LVAd	0,30

Desses, constatou-se através do SOTERON (ver figura 8 Pag. 50) que a área possui cerca de 70% sob forma de Latossolo Vermelho-Amarelo

distrófico (LVAd), de textura média conforme mostra a figura 26 e figura 27 que representa o registro dos Latossolos Vermelho-escuro eutrófico (LVef) correspondente aos 30% da área.



Figura 26: Solo do tipo LVAd
Coordenada Geográfica:60°57'40"W, 11°32'26"S;
Fonte: Henrique Bernini



Figura 27: Solo do tipo LVef
Coordenada Geográfica:60°54'55"W, 11°38'43"S

A permeabilidade descrita na tabela 13 refere-se a classificação do solo (geocodificado de 1 a 5) quanto ao grau de permeabilidade, que no manancial do rio Palmeira variou de rápida (6 a 12,5 cm/h) a moderada (0,6-6,0 cm/h).

Tabela 13: Definição das classes de permeabilidade descritos em cada perfil localizado na área de estudo segundo a classificação da EMBRAPA (1997).

PERFIL	Tipo de solo	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
RO2830	LVAd	rápida (6-12,5 cm/h)	2
RO2831	LVAd	rápida (6-12,5 cm/h)	2
RO2841	LVef	rápida (6-12,5 cm/h)	2
RO2842	LVef	moderada (0,6-6,0 cm/h)	3
RO2872	LVAd	moderada (0,6-6,0 cm/h)	3
RO2877	LVAd	rápida (6-12,5 cm/h)	2

As classes estruturais variam entre **1** - granular muito fina ou muito pequena (<1 mm), **2** - granular fina (1 – 2 mm) ou pequena, **3** - granular grosseira (>2 mm) ou média a grande e **4** - bloco, massas ou placas. No entanto, para a área analisada foram encontrados apenas blocos sub-angulares, pequena, composta de grãos simples. Foi observado que para os

perfis a estrutura está classificada como pequena variando entre 1 – 2 mm conforme detalha a tabela 14.

Tabela 14: Classes de estrutura em cada perfil localizado na área de estudo.

PERFIL	Tipo de solo	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
RO2830	LVAd	pequena	2
RO2831	LVAd	pequena	2
RO2841	LVef	pequena	2
RO2842	LVef	pequena	2
RO2872	LVAd	pequena	2
RO2877	LVAd	pequena e média	2

O teor de matéria orgânica descrito na tabela 15 mostrou-se variável em uma amplitude de 1,4% a 3,7% perfazendo uma média de 2,5% conforme descrito na tabela 9. Este resultado apresenta similaridade quando comparado aos dados de Ranzani (1980), que ao buscar valores de erodibilidade em algumas regiões do estado do Amazonas observou resultados variando entre 2% a 4,5%.

Tabela 15: Quantidade de Matéria Orgânica nos perfis analisados.

PERFIL	Tipo de solo	MO
RO2830	LVAd	2,36
RO2831	LVAd	1,39
RO2841	LVef	2,8
RO2842	LVef	3,1
RO2872	LVAd	2,31
RO2877	LVAd	3,74

Proveniente de dois materiais de origem diferenciados e sob relevo pouco movimentado, a distribuição das frações granulométricas das amostras de solo, mostrou que não houve variação significativa na classe textural entre as profundidades analisada. De forma geral para as duas unidades de solo possui textura Franco Argiloso Arenoso, conforme especificado na tabela 16.

Entretanto o perfil RO2872 situado em Latossolos Amarelo distrófico – LVAd na porção central do manancial, no encontrou-se textura argilosa em horizonte A e Muito Argiloso em horizonte B. Segundo Ker (1997) e Martínez (2003) a mineralogia dos latossolos varia consideravelmente devido aos

processos de intemperismo envolvidos na gênese. Sombroek (1966) ao realizar um levantamento dos solos amazônicos afirmou que a textura dos Latossolos varia com extremos de argila que vão de 15 a 95% das frações encontradas.

Tabela 16: Dados físicos dos horizontes A e B de cada perfil.

PERFIL	TIPO DE SOLO	HORIZONTE	AREIA %	SILTE %	ARGILA %	AMF *%	TEXTURA
RO2830	LVAd	A-0-20cm	81,20	3,70	15,10	23,68	Areia Franca
RO2830	LVAd	B-20-40cm	79,60	4,00	16,40	23,66	Franco Arenoso
RO2831	LVAd	A-0-20cm	76,20	5,00	18,80	29,04	Franco Arenoso
RO2831	LVAd	B-20-40cm	72,90	6,00	21,10	28,05	Franco Argiloso Arenoso
RO2841	LVef	A-0-20cm	56,20	8,40	35,40	30,64	Franco Argiloso Arenoso
RO2841	LVef	B-20-40cm	49,60	9,60	40,80	29,07	Franco Argiloso Arenoso
RO2842	LVef	A-0-20cm	69,60	6,60	23,80	12,41	Franco Argiloso Arenoso
RO2842	LVef	B-20-40cm	66,20	6,70	27,10	13,71	Franco Argiloso Arenoso
RO2872	LVAd	A-0-20cm	36,20	11,70	52,10	17,76	Argila
RO2872	LVAd	B-20-40cm	32,90	12,00	55,10	20,88	Muito Argiloso
RO2877	LVAd	A-0-20cm	76,20	5,00	18,80	21,60	Argila Franca
RO2877	LVAd	B-20-40cm	72,90	6,30	20,80	21,41	Franco Arenoso

* AMF – Areia Muito Fina ($\%AMF = \frac{\%Areia\ Grossa + \%Areia\ Média + \%Areia\ Fina}{\%Areia}$).

Diante de todas as informações necessárias para obter o valor referente à resistência do solo (fator K), a tabela 17 mostra os valores do fator k para cada perfil e a média de cada classe de solo encontrado na bacia. Os resultados indicam que para as duas classes de Latossolos os valores de erodibilidade se enquadram dentro das classes de baixa a muito baixa erodibilidade, conforme a classificação de Foster (1981).

Tabela 17: Valores de erodibilidade (fator k) nos perfis analisados.

PERFIL	Tipo de solo	Fator K^1 (to.ha/MJ.mm.ha)	Fator K^2	Classe de solos
RO2830	LVAd	0.1102	0.0145	LVAd
RO2831	LVAd	0.1743	0.0229	LVAd
RO2841	LVef	0.1535	0.0202	LVef
RO2842	LVef	0.1138	0.0149	LVef
RO2872	LVAd	0.0650	0.0085	LVAd
RO2877	LVAd	0.0754	0.0099	LVAd

1-Unidade original; 2-Sistema métrico internacional;

O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) obteve média de 0.1062, se aproximando dos valores encontrados por Ranzani (1980) na região sul do Amazonas, onde em 100 análises 34 foram classificados como de baixa erodibilidade sendo os demais classificados como de muito baixa.

O valor obtido para Latossolo Vermelho-escuro eutrófico (LVef) também alcançou resultado coerente com a literatura onde Correchel (2003) *apud* Bertoni et. al, (1975) afirma que o valor de erodibilidade calculado por método direto deste tipo de solo corresponde a 0.012 e o encontrado no manancial foi de 0.013. Não foi observado variação longitudinal no valor de erodibilidade. Entretanto Lafayette *et. al* (2011) encontrou valores de erodibilidade em profundidade 10 vezes superiores aos obtidos na superfície, por conta dos ciclos de umedecimento e secagem que consolidaram a superfície, elevando, assim, a resistência do solo à erosão.

O resultado geral de erodibilidade corrobora com as afirmações de Lafayette *et. al* (2011) que justifica a resistência a erosão dos Latossolos em virtude de ser mais desenvolvido, portanto mais profundo, com menor diferenciação de textura, mais bem drenado e com estrutura mais forte pelo intemperismo mais avançado conforme evidenciado pela relação silte/argila (tabela 12 pag. 92).

Os resultados na tabela 18 apontam que houve de média a alta dispersão entre os valores de erodibilidade e sua distribuição conforme a classificação de Warrick & Nielsen (1980) através do coeficiente de variação. Garcia (1989) destaca que estas diferenças pode ter uma relação significativa com a quantidade de perfis e o tamanho da área de cada tipo de solo.

Tabela 18: Valores médios de erodibilidade e coeficiente de variação de cada tipo de solo.

Classe de solos	MÉDIA Fator (k)	CV (%)	
LVAd	0.0176	40.21	Homogêneo
LVef	0.0139	21.01	Homogêneo

CV%-Coeficiente de Variação conforma a classificação de Oliveira Nascimento (1976).

7.1.3. Prática conservacionista (fator *P*)

Sendo o fator *P* aplicado apenas em áreas cuja cobertura possa demandar algum manejo específico, como os cultivos, e considerado este um ponderador do fator *C*, neste trabalho foi verificado que o único uso do solo relevante é a pastagem sem o uso de práticas de manejo. Portanto o valor foi de $P = 1,0$ (Wischmeier & Smith, 1978). Consequentemente, o desvio-padrão e o coeficiente de variação foram iguais a zero.

7.1.4. Uso do Solo (fator *C*)

A obtenção do fator *C* com informações extraído das imagens HRG-SPOT 5, mostrou-se eficiente na separação das principais classes de uso e cobertura vegetal na região da Bacia do rio Palmeira. O Modelo Linear de Mistura Espectral permitiu destacar os dados de interesse, conforme mostra a tabela 19 que aponta o índice de kappa com excelente nível de acurácia das informações formuladas a partir da classificação, além de reduzir o tempo de processamento das imagens.

Tabela 19: Índice geral de Kappa e para cada classe.

Overall Accuracy = (316963/343697) 92.2216%		
KappaCoefficient = 0.6707		
ClassP	rod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)
floresta	91.55	99.92
Pastagem abandonada	96.93	19.62
pastagem	99.62	99.76
solo	99.56	96.80
sombra/água	96.94	28.19

A figura 28 mostra o quantitativo da distribuição espacial da cobertura vegetal. Foi possível detectar que atualmente cerca de 44% da área estudada possui uma cobertura sob forma de Florestas, ou seja, Florestas Ombrófila Aberta (As) e Savana florestada (Cd), enquanto que este mesmo tipo vegetacional dentro das áreas de APP representaram em torno de 56%.

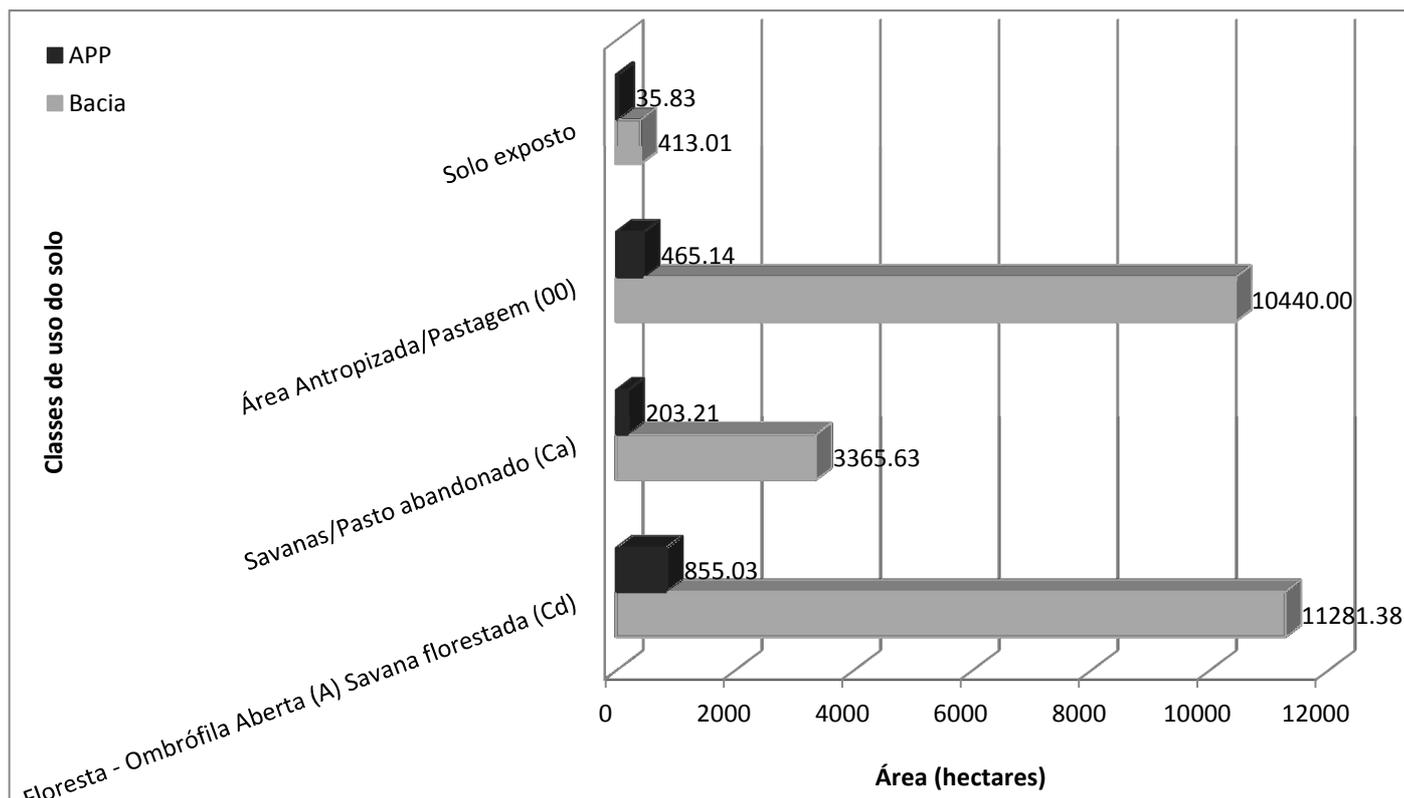
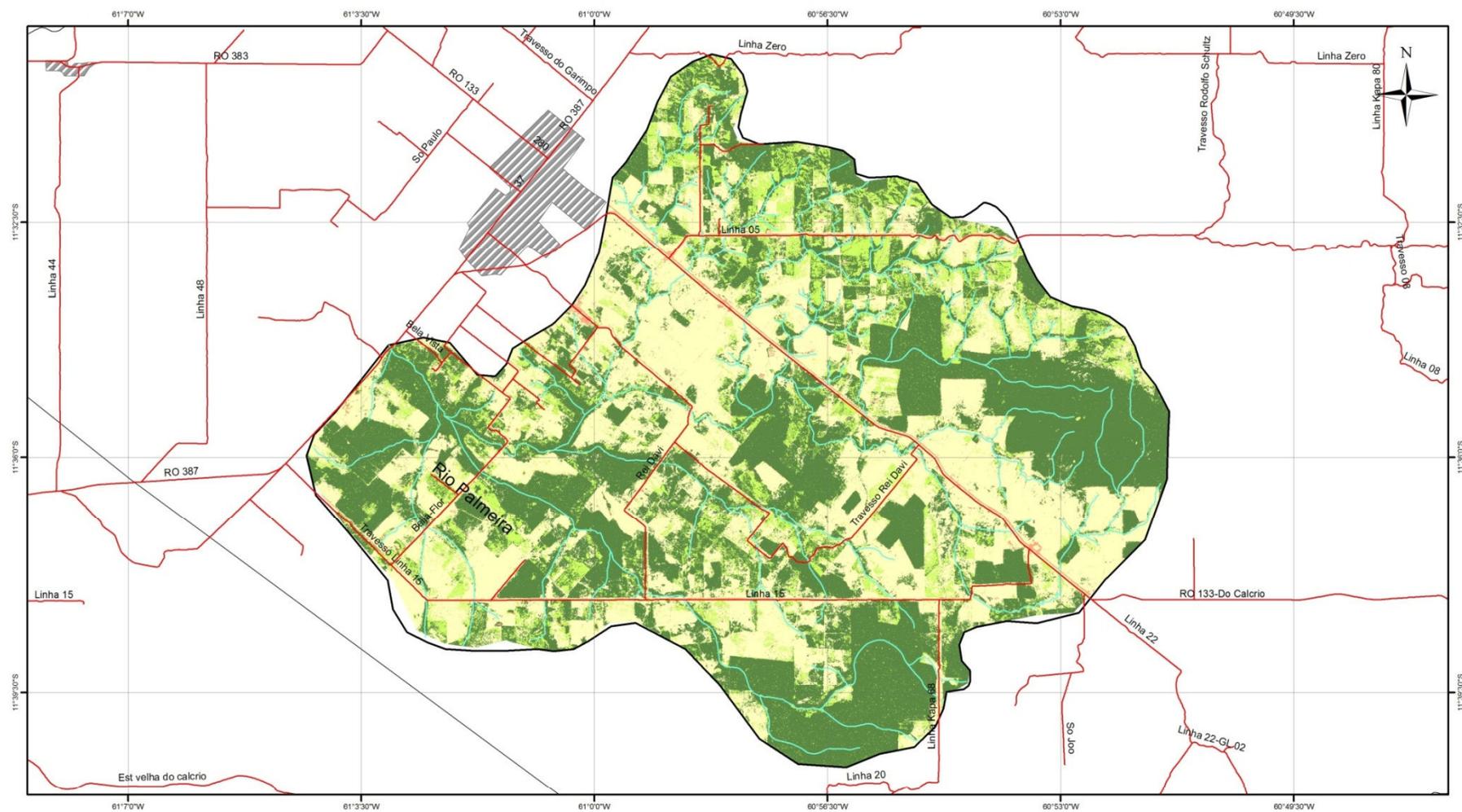


Figura 28: Dados temáticos de uso do solo atual na bacia do rio Palmeira.

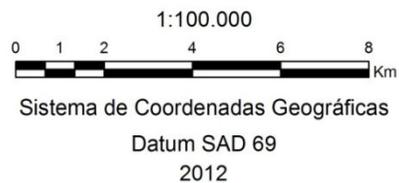
É possível notar também na figura 29 que há dois grandes fragmentos florestais ao sul e de acordo com os dados de vegetação do ZEE-RO (2000) pertence à classe das Florestas Ombrófila Aberta e o outro fragmento localizado a nordeste da bacia possui características de Savanas Florestadas. As demais áreas florestadas por possuírem características de fragmentos florestais reduzido, apontam que as áreas de reserva legal contribuem para o aumento da cobertura vegetal na região.

As áreas de solo exposto correspondem a regiões de estradas não pavimentadas e, fazendo um recorte para as áreas de APP obtêm alvos como areais ou erosões, estimadas em torno de 1,6% e 2,2% respectivamente.



Convenção Cartográfica Legenda

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Malha viária |  Floresta Ombrófila Aberta (As) - Savana Florestada (Cd) |
|  Cursos d'água |  Savana Arbórea (Ca)/Pastagem abandonada |
|  Mancha urbana |  Área Antropizada (00)/Pastagem |
|  Bacia do rio Palmeira |  Solo Exposto |
|  Limite municipal | |



Fonte:

- Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM
Malha viária de Rondônia, Escala 1:10.000
Cursos D'água, Escala 1:10.000
Limite do manancial do Rio Palmeira, Escala 1:10.000
- Secretaria de Est. do Des. Ambiental - SEDAM
Limite municipal, Escala 1:100.000
Mancha urbana, Escala 1:100.000

Figura 29: Mapeamento gerado por processamento digital das imagens SPOT 5 com o uso das técnicas de Modelo Linear e Classificação Supervisionada.

O mapeamento exposto na figura 29 também mostra que para a área estudada o uso do solo é predominantemente composto por Áreas Antropizadas, prevalecendo a cultura agropecuária caracterizada pelo baixo nível de manejo, não sendo identificada nenhuma outra cultura perene ou temporária com grande relevância para o modelo estimar a erosão hídrica no manancial do rio Palmeira. As Áreas Antropizadas representam 54% da área do manancial, e conforme demonstrado na figura 30, 4,4% deste tipo de uso do solo está inserido nos limites das APP's, perfazendo um total de 41% da área total da APP.

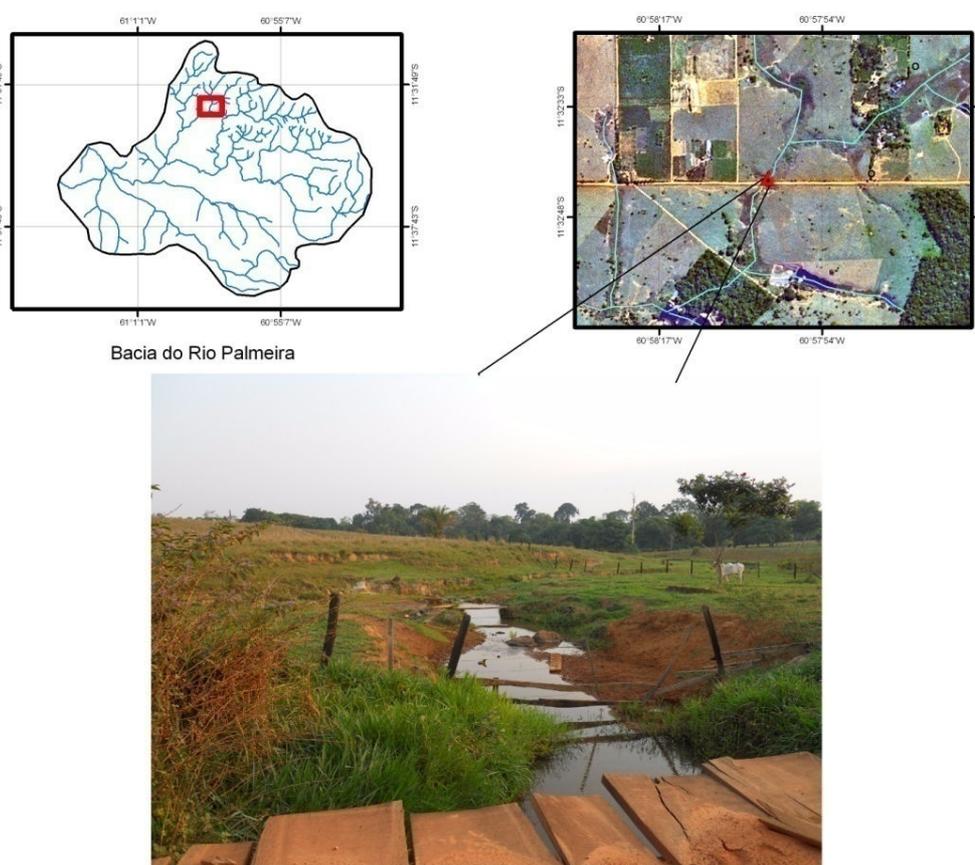


Figura 30: Presença de pastagem com erosão laminar em Área de Preservação Permanente - APP.
Coordenada Geográfica: 60°58'1" W, 11°32'42" S.
Fonte: Henrique Bernini.

Segundo Silva Filho (2010), que estudou a degradação de solos em áreas pastagem e floresta em Porto Velho - RO pode-se afirmar que, considerando as áreas de florestas como parâmetro de comparação com as áreas desmatadas, fica claro a necessidade do maior planejamento do uso da terra, uma vez que, os resultados apontaram uma maior degradação ambiental nos solos cujo seu uso e cobertura está associada à pastagem.

7.1.5. Cumprimento de rampa e declividade (fator *LS*)

A metodologia baseada nos estudos de Mitasova (2004), que determina o fator *LS* através do Modelo Digital de Elevação – MDE utilizando o software ArcMap 9.1 e suas extensões hydrological extension, contou com os seguintes resultados para a formação do fator *LS*.

De acordo com a figura 31, a declividade na área de análise apresentou uma amplitude medida em porcentagem de 0 a 52%, sendo localizadas ao norte da bacia as áreas com maior grau de declividade, representadas por relevos ondulado e fortemente ondulado, conforme a descrição de declividade da EMBRAPA (1979).

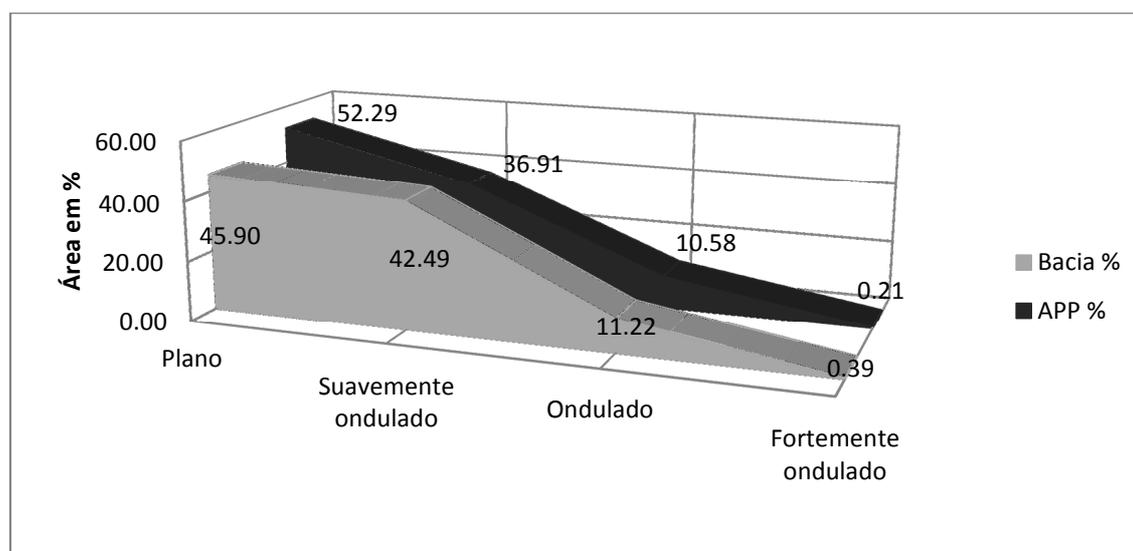


Figura 31: Percentual de área para classe de declividade conforme EMBRAPA (1979), na bacia do rio Palmeira e área de Preservação Permanente – APP.

Correlacionando com os dados encontrados na Folha SC-20-Z-D-Cacoal (PLANAFLORO, 1998) os valores de declividades encontrados nas unidades de aplainamentos, detalhada pela figura 7 (Pag. 50) indicam uma variação inferior a 2% nos topos. A predominância das classes de declive Plano e Suave Ondulado é evidenciado pela figura 32, que ocupam cerca de 88,3%. Para as áreas de APP seguiu a mesma proporção, onde foram encontradas classes de declive que, somam 89,2% de áreas com declividade plana ou suavemente ondulada e cerca de 10,5% com declividade ondulada.

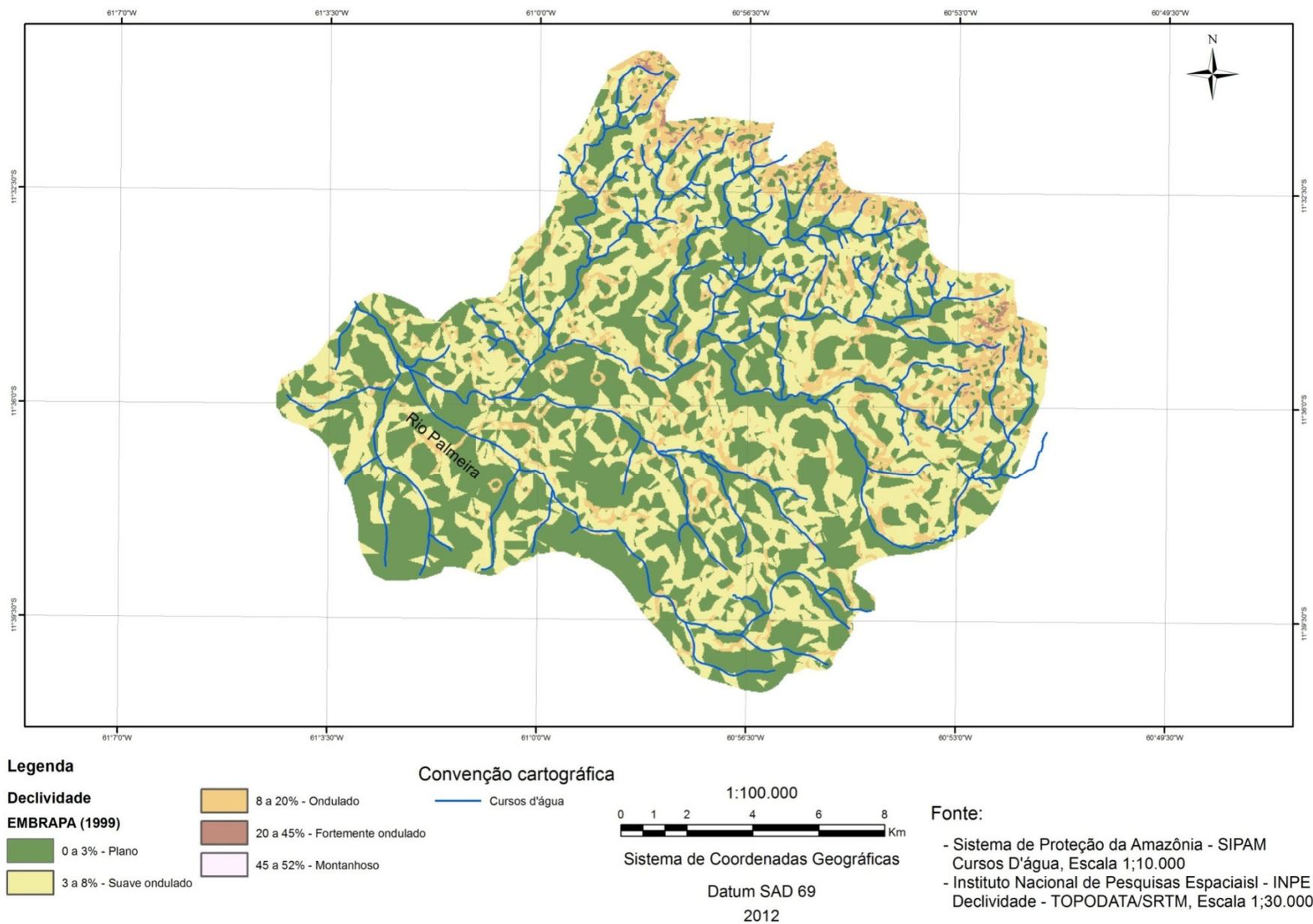


Figura 32: Mapa de declividade da bacia do rio Palmeira conforme EMBRAPA, (1999).

A figura 33, mostra o registro em campo da unidade geomorfológica denominada de Agrupamentos de Morro e Colinas (D.3) situado na porção nordeste do manancial e representado pela subunidade Área Colinosa (D.3.3), cuja a declividade apresenta variações entre 20 e 45%, porém esta variação totalizou 1% da área total do manancial, prevalecendo relevos mais suaves na área do manancial.

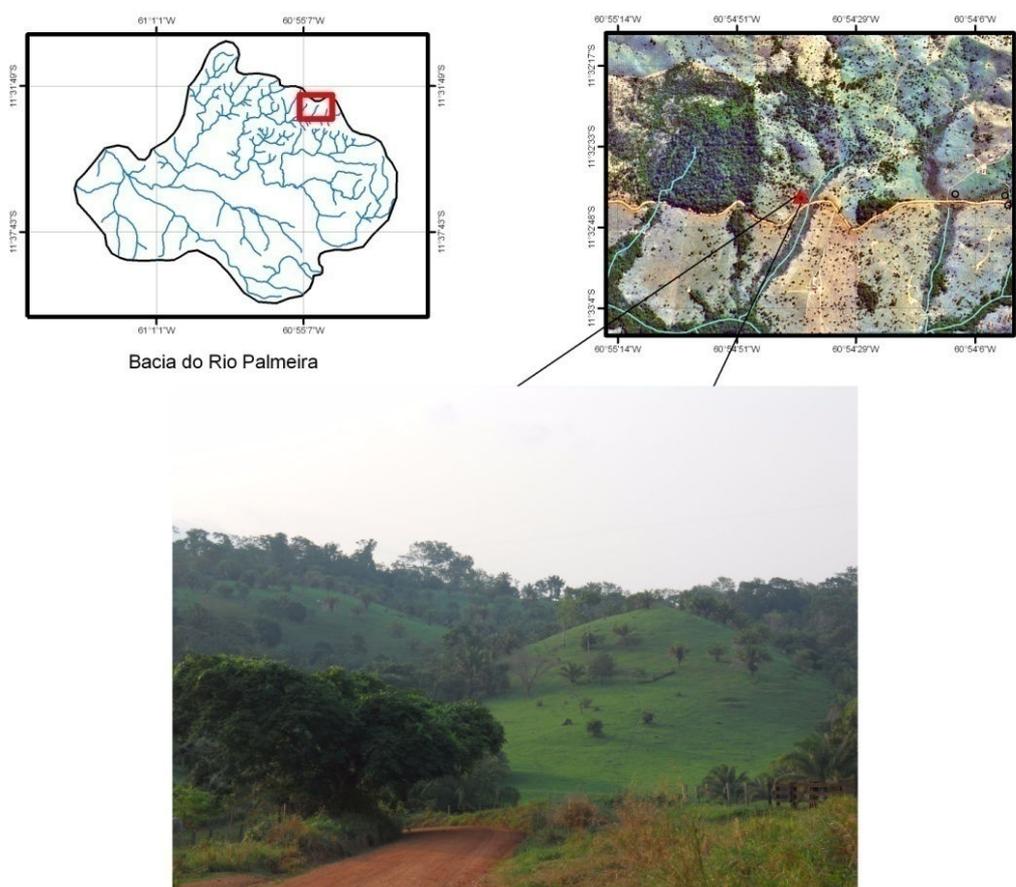


Figura 33: Presença de relevo ondulado à fortemente ondulado na unidade geomorfológica de Agrupamentos e Morros (D.3) cuja declividade varia de 20 a 45%.

Coordenada Geográfica: 60°54'39" W, 11°32'42" S.

Fonte: Henrique Bernini.

As maiores distribuições de declividade nesta unidade geomorfológica representa a classe de declives ondulados que ocupam 11% da área do manancial estudado, e cujo valor varia entre 4 e 15%, característico da subunidade Aberto com colinas (D.3.1) segundo a folha SC-20-Z-D-Cacoal (PLANAFLORO, 1998).

A figura 34 mostra a distribuição dos valores de *LS* por área relativa da bacia. O resultado indica um comportamento semelhante ao de bacias que predominam relevos planos, onde os valores relativamente mais baixos prevalecem. Cerca de 67% das áreas foram encontrados os valores de classe com até 2% do fator *LS*. Outros 25% da bacia foram estimados com até 7% e menos de 1% da área foi verificado *LS* até 40%.

Sob a óptica do processo erosivo nos resultados apurado, o fator (*LS*) atuou conforme a literatura menciona (Galdino 2009, Pereira 2010) com menos intensidade nas causas desse processo, diante de relevos aplainados que não são capazes de estimular energia resultante em velocidade da água sobre o solo, o que aumentaria mais a desagregação desse material particulado.

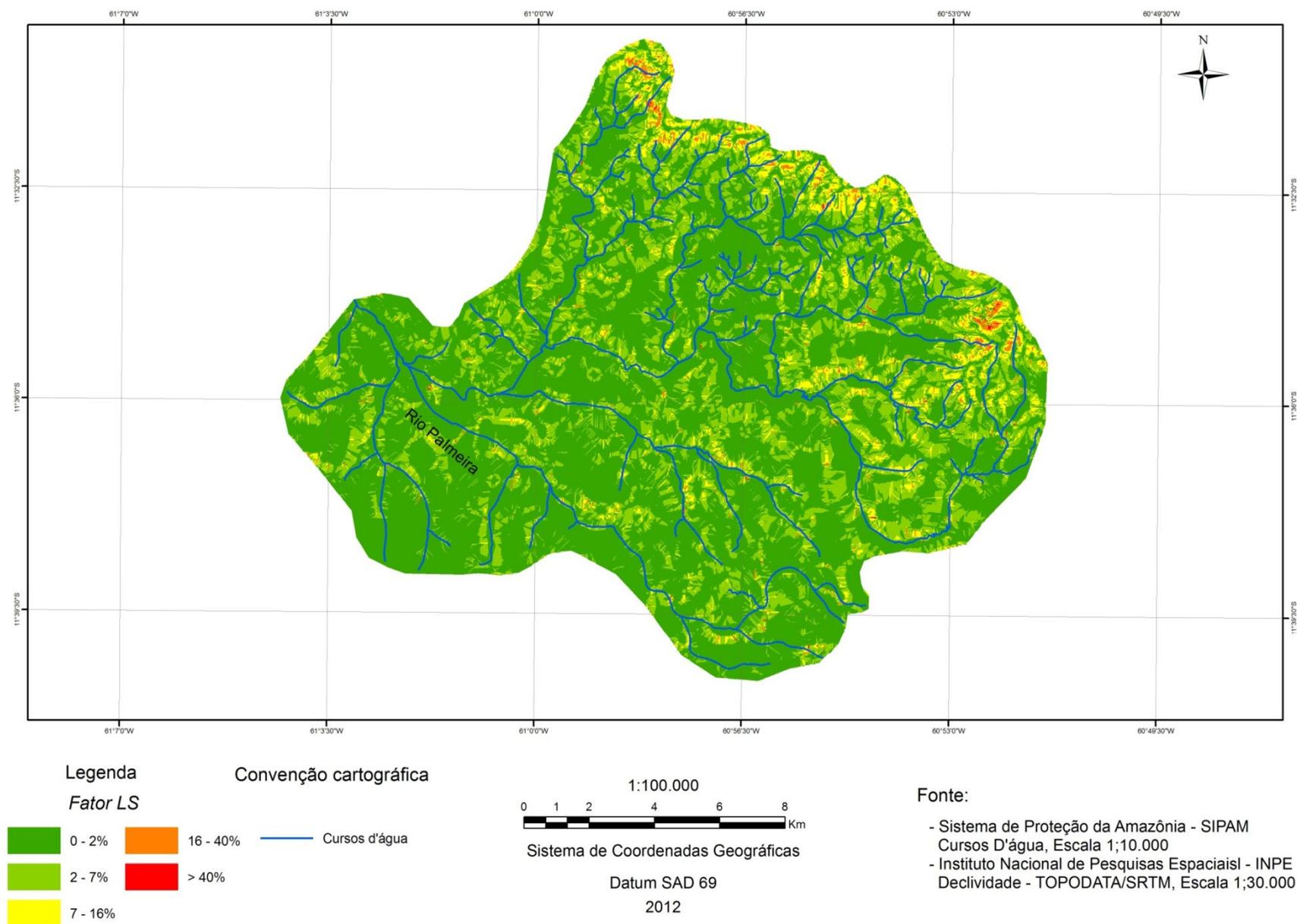


Figura 34: Mapa de declividade da bacia do rio Palmeira conforme EMBRAPA, (1979).

7.2. POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO – PNE

Sabendo que o Potencial Natural à Erosão – PNE é mensurado através dos fatores R , K e LS , e tem a capacidade de estimar a susceptibilidade do solo de se desagregar e aumentar a produção de sedimentos na bacia, foi apurado a disposição natural de produzir sedimentos ao longo da área investigada. Somado os três fatores a tabela 20 mostra o potencial natural de cada mês e a soma anual.

Observa-se que o mês com maior contribuição natural por erosão hídrica é fevereiro, sendo capaz de produzir 357,85 (to/ha.ano) em algumas áreas do manancial. O coeficiente de variação descrito na tabela 20 confirma que o comportamento do PNE ao longo dos meses varia em função da intensidade do fator R .

Tabela 20: Valores mensais e anual do Potencial Natural de Erosão – PNE.

MÊS	PNE (to/ha.ano)
Janeiro	265,711
Fevereiro	357,85
Março	283,191
Abril	106,02
Maio	55,809
Junho	47,047
Julho	47,22
Agosto	49,499
Setembro	50,783
Outubro	85,287
Novembro	153,098
Dezembro	195,668
Total Anual	1186,60
CV %	100

Em sua amplitude detalhado pela figura 35, o PNE apresenta os valores mais baixos nos meses de junho e julho onde foram estimados 47, (to/ha). Entretanto, ao considerar o valor médio anual do potencial observou que em algumas áreas do manancial possui um potencial erosivo de até

1186 (to/ha.ano), sendo este valor considerado extremamente alto.

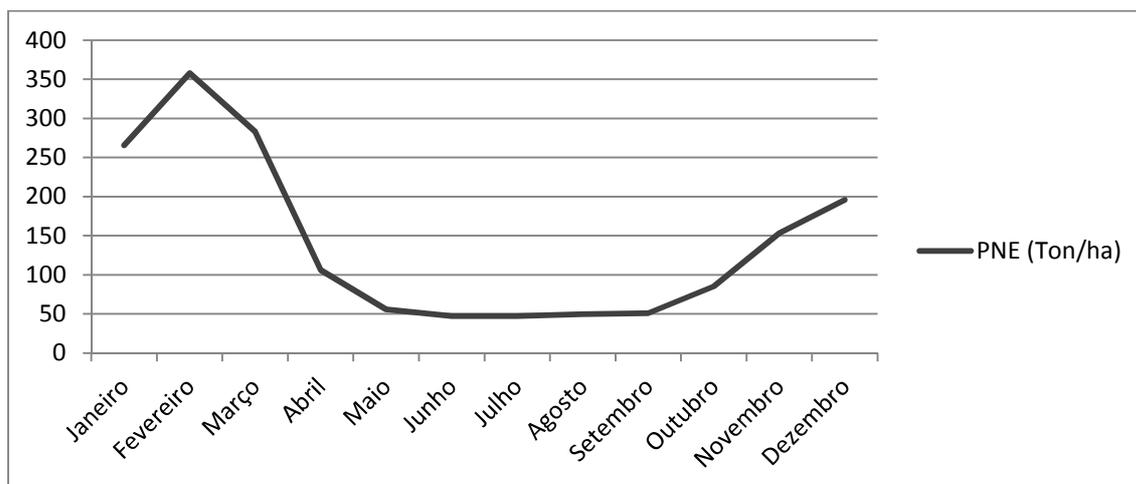


Figura 35: Variação sazonal do Potencial Natural de Erosão para o manancial do rio Palmeira.

De acordo com a afirmação de Stein et al., (1987) e Scopel (1988), estes valores não podem ser tomados como dados quantitativos de perdas de solo por erosão, servindo assim, apenas para categorizar qualitativamente as áreas quanto à sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar e em sulcos. Este raciocínio auxilia a compreensão de que quanto maior for à alteração nos fatores ambientais, maior será sua disposição de produzir sedimentos, chegando a valores extremamente altos para caracterizar a fragilidade do ambiente.

Considerando cinco níveis com intervalos apropriados que refletem qualitativamente o PNE conforme SILVA (2008), observa-se na tabela 21 que apenas 7% da área da bacia pertencem às classes potencialmente altas a extremamente alta. Assim sendo, os resultados observados indicam que o manancial do rio Palmeira proporciona um potencial erosivo espacialmente homogêneo, predominando o baixo potencial natural de erosão em grande parte do manancial. Cerca de 80% da área potencialmente erosiva produz até 100 (to/ha.ano) e 10% da área possui um potencial de até 200 (to/ha.ano), correspondendo às classes de baixo e médio potencial.

Tabela 21: Distribuição espacial da quantidade de perda de solo potencial na bacia do rio Palmeira.

Classes	Área	Bacia	Área APP	APP	PNE
	Bacia (ha)	(%)	(ha)	(%)	(Ton.ha.ano)
Potencial Baixo	21226,68	80	1309,27	85,40	0 – 100
Potencial Médio	3312,73	12,41	135,57	8,84	100 - 200
Potencial Alto	1659,22	6,21	84,08	5,48	200 – 600
Muito Alto	424,66	1,6	2,70	0,17	600 - 1000
Extremamente Alto	61,37	0,22	1,4	0,09	>1000

Concernente à análise do PNE em APP, menos de 6% são capazes de produzir perdas anuais consideradas potencialmente alto. Em 1309,27há (85%) representam áreas de baixo potencial natural à erosão e 135,57 ha (8%) somam áreas de média susceptibilidade.

Este resultado comprova que a combinação de solos com alta resistência à erosão, sob relevos aplainados e períodos de precipitações não uniformes acarreta um baixo índice de Potencial Natural a Erosão – PNE. A baixa variação entre os valores da declividade (L), cumprimento de rampa(S) e nas propriedades físicas do solo, que compõe a erodibilidade (K) ao longo da área, são altamente influentes na produção de sedimentos, e para este caso proporciona um baixo potencial de perda de solo.

Assim como SOUZA *et. al*, (2003), podemos também associar a maior variabilidade de perda de solo potencial a locais com maiores variabilidades na paisagem. Estas características inerentes à bacia formam uma condição propícia a um PNE baixo entre as variáveis ambientais que integram este modelo.

As áreas inseridas no manancial que apresentaram índices anuais com alta susceptibilidade de perda de solo requerem mais atenção ao planejamento do manancial. A seguir (figura 30) observa-se que a maior ocorrência de susceptibilidade está associada tanto em relevos Aplainados característicos da formação Pimenta Bueno como em regiões onde predominam os Agrupamentos de Morros e Colinas sobre o complexo Jamari.

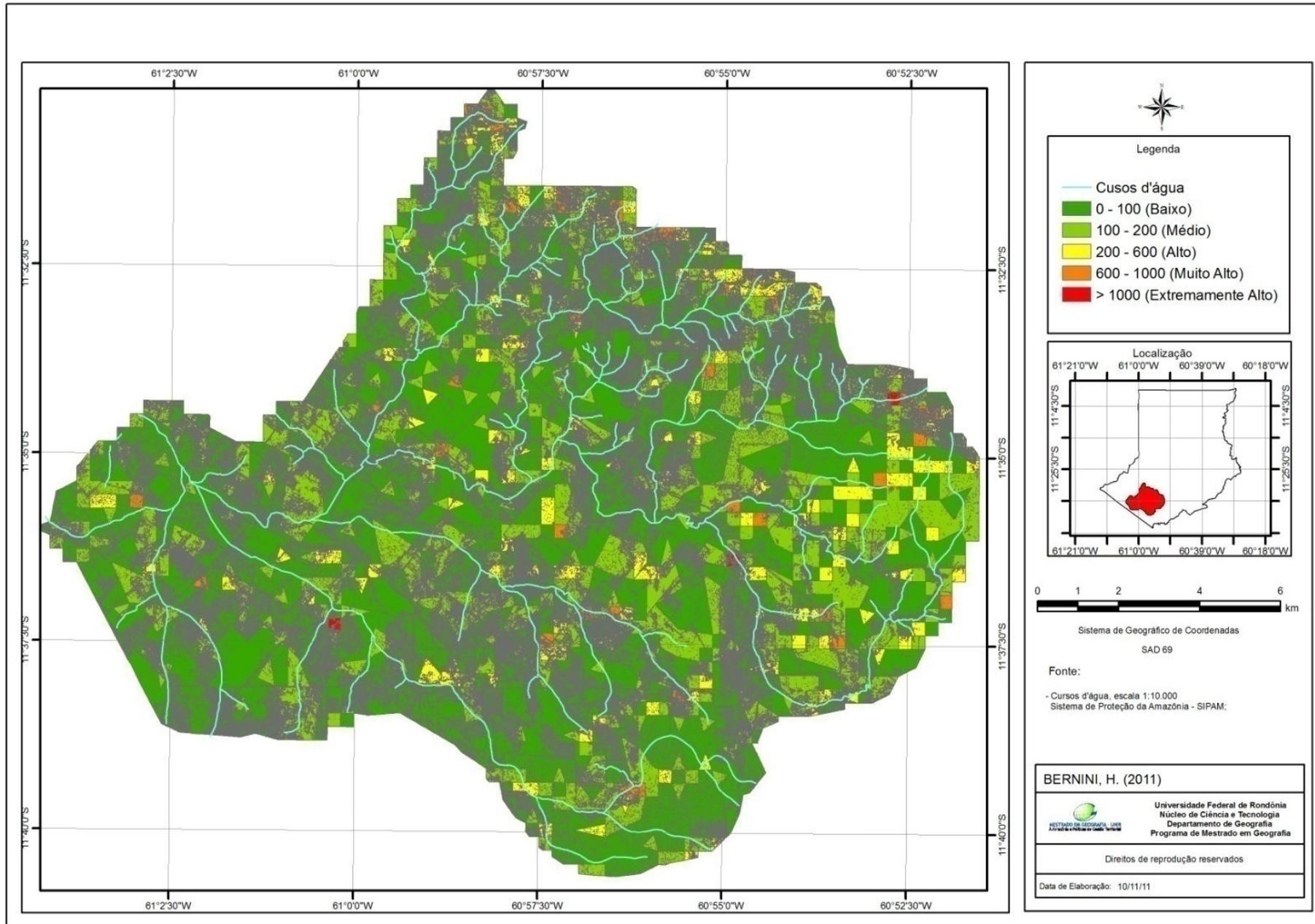


Figura 36: Mapeamento do PNE médio anual na bacia do rio Palmeira.

7.3. PERDA DE SOLO (A)

Para organizar qualitativamente a área da bacia, adota-se conforme o critério utilizado por SILVA *et al.* (2003), que classifica as perdas de solo como sendo: (1) < 10 t ha.ano, pequena; (2) 10 a 15, moderada; (3) 15-50, média; (4) 50 a 120, forte; (5) 120 a 200, muito forte. A tabela 17 mostra a variação do comportamento da perda de solo mensal e anual.

Tabela 22: Valores mensais, anual e coeficiente de variação (cv) de perda de solo (A) na bacia do rio Palmeira.

MÊS	PERDA DE SOLO - A (Ton/ha.ano)
Janeiro	31.604
Fevereiro	39.763
Março	33.220
Abril	12.539
Maio	6.585
Junho	5.518
Julho	5.536
Agosto	5.806
Setembro	5.925
Outubro	9.854
Novembro	18.485
Dezembro	23.083
Total Anual	197.918
CV %	75

Assim como o PNE a perda de solo efetiva (A) no manancial do rio Palmeira ocorre com maior magnitude nos meses correspondente ao período chuvoso amazônico (outubro a março) onde foi registrada a maior ocorrência no mês de fevereiro, sendo capaz de produzir até 39,76 (To/ha) em algumas áreas. O coeficiente de variação descrito na tabela 22 aponta que o comportamento ao longo dos meses possui uma variação menos heterogênea quando comparado com o PNE e seus valores mensais.

Em sua amplitude, a perda de solo (A) apresenta os valores mais baixos nos meses de junho, julho e agosto onde foram estimados 5, (to/ha). Entretanto, ao considerar o valor médio anual do potencial observou que em algumas áreas da bacia é capaz de gerar 197 (to/ha.ano), sendo este valor considerado muito forte pela classificação de Silva (2003). Ponderando a perda de solo média anual, que é de 197,91 (ton/ha.ano) quando relacionado com o PNE médio anual 1186,60 (ton/ha.ano), conclui-se que a perda de solo real corresponde a aproximadamente 16%.

A tabela 23 tem por finalidade a discussão da relação entre as classes de perda de solo proposta por Silva (2003) e o quantitativo de área em que cada classe ocupa ao longo do manancial, com recorte na APP da mesma área. Esta tabela evidencia a ocorrência predominante da classe com pequenas perdas de solo, que ocupam 99% da área.

Tabela 23: Relação entre classes de perda de solo e área da bacia e de APP.

Classes (A) (Ton.ha.ano)	Área da Bacia (ha)	Bacia %	Área da APP (ha)	APP%
< 10 (Pequena)	24239,88	99,28	1518,10	99,05
10 – 15 (Moderada)	52,05	0,21	3,98	0,26
15 – 50 (Médio)	89,79	0,36	4,61	0,30
50 – 120 (Forte)	22,31	0,091	1,26	0,08
120 – 200 (Muito Forte)	10,86	0,04	-	-

As classes moderada, média, forte e muito forte somaram quantidades de área inferior a 1%. Por sua vez, as perdas quantificadas na APP seguem o mesmo padrão de perdas de solo encontradas para toda o manancial, somando 99% de sua área com perdas de solo de até 10 (Ton.ha.ano).

Conforme também demonstrado na tabela 23, não foram encontradas perdas de solo muito forte, ou seja, superior a 120 (to.ha.ano). Portanto, a distribuição espacial da perda de solo no manancial do rio Palmeira, conforme mostrado na figura 37, segue sua tendência de distribuição ao longo do espaço de forma homogênea com pouca capacidade de produzir maiores quantidades de perda de solo na maior parte de sua área.

A tabela 24 apresenta a perda de solo real em função do uso do solo encontrado na bacia. Pode-se destacar que em área de Floresta Ombrófila Aberta e Savana Florestada, que ocupam 44,3% da área total do manancial, são responsáveis por apenas 7,55% da perda de solo total. Com a vegetação baixa, neste trabalho associada às áreas de pastagem abandonada ou Savana Arbórea, ocorre algo similar, são responsáveis por 6,20% da perda de solo total. Porém estão presente em apenas 13,19% de toda área total do manancial.

Tabela 24: Perda de solo real para os diferentes usos na área da bacia do Rio Palmeira.

Classes de uso do solo	A			
	Área (ha)	Área Total %	A Total (Ton.ano)	Perda na bacia %
Floresta (As – Cd)	11281,38	44,3	44421,43	7,55
Savana Arbórea/ Pasto Abandonado (Ca)	3365,63	13,19	36494,73	6,20
Área Antropizada/ Pastagem (00)	10442,31	40,94	501306,71	85,21
Solo nu	413,01	1,61	6139,46	1,04
Total			588362,34	100

Entretanto a maior perda de solo observada na tabela 24 está relacionada às pastagens, que ocupa uma área de 40,94%, e é responsável por cerca de 85% da real perda de solo. Um dos fatores preponderante para potencializar este valor é que estão localizadas neste tipo de uso do solo, as classes com maior produção de perda de solo por hectare (Classes Médio, Forte e Muito Forte). As áreas cujo solo já se encontra exposto resultaram em apenas 1% da perda produzida na bacia, em uma área de apenas 1,61% do total.

Portanto, somando o percentual de perda de solo das classes Área Antropizada, Savana Arbórea e Solo Exposto, encontramos um total de 92,45% de toda perda de solo na área investigada.

No entanto, o comportamento da APP inserida nos limites da bacia mostrou-se diferente comparado à área total da bacia. A classe de Florestas

apresentou 54,77% da perda de solo total em uma área de 838 ha, representando 56% da APP. As demais classes cuja cobertura vegetal é representada por Vegetação secundária (Savana Arborea ou pastagem abandonada), Área Antropizada (pasto) e solo exposto, apresentaram 46,33% da perda de solo representando 46,89% da área total da APP.

Tabela 25: Perda de solo para os diferentes usos na APP.

Classes de uso do solo	A			
	Área APP (ha)	Área Total %	A Total (Ton.ano)	Perda na APP %
Floresta (As – Cd)	838,13	56,11	8513,24	54,77
Savana Arbórea/ Pasto Abandonado (Ca)	149,37	10,13	1981,51	12,74
Área Antropizada/ Pastagem (00)	465,13	31,51	4675,96	30,08
Solo nu	38,20	2,25	371,78	2,39
Total			15542,51	100

A uniformidade das classes de perda de solo é a melhor forma de explicar tal resultado, já que 99% da área obteve perda considerada pequena de até 10 (to.ha.ano). Outro destaque é que, enquanto o PNE na APP chegou a 408 (to.ha.ano) conforme descrito na tabela 26, a perda média anual alcançou 92 (to.ha.ano) chegando a uma perda de solo real de 22%. Portanto, a perda de solo real na APP apresentou um acréscimo de 6% se comparado com a área total da bacia, demonstrando uma maior fragilidade neste ambiente.

Tabela 26: Comparação entre Perda de solo (A) real.

	PNE (Ton.ha.ano)	A (Ton.ha.ano)	A Real %
Bacia	1186,60	197,91	16
APP	408,02	92,16	22

Capítulo 8

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o manancial do rio Palmeira como área de investigação do presente trabalho, foram levantadas as informações inerentes aos fatores ambientais intrínsecos ao processo de erosão hídrica com o intuito de mensurar a distribuição do Potencial Natural de Erosão (PNE) e as condições atuais de Perda de Solo (*A*). Desta mesma forma para este manancial encontrou-se os seguintes resultados:

1. A combinação dos fatores identificou relevos (fator *LS*) aplainados em 88% da área estudada, conjugado a solos (fator *K*) resistentes a erosão conforme indicou a erodibilidade para os Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico (LV Af) e Latossolos Vermelho-escuro eutrófico (LV ef), 0.017 e 0.013 respectivamente. Agregando a erosividade (fator *R*) estimada nesse trabalho pelo produto 3B42 do satélite TRMM, que constatou uma intensidade significativa para os meses de novembro a março, além do uso do solo (fator *C*) apontando 54% da cobertura vegetal predominantemente formada por pastagem sem relações com práticas conservacionistas (fator *P*), encontramos a seguinte relação;
2. O Potencial Natural de Erosão médio anual foi de 1186,60 to/ha.ano e a perda de solo média anual na bacia, 197,91(to/ha.ano), concluindo que a perda de solo real corresponde a aproximadamente 16% de seu potencial(PNE) e, portanto, pode-se afirmar que esta região possui um baixo potencial de erosão hídrica. Entretanto, o tipo de uso do solo predominante acentua a perda de solo por erosão hídrica e conseqüentemente aumenta a fragilidade do ambiente.
3. A forte correlação entre a perda do solo real (*A*) com as áreas cuja cobertura vegetal de Área Antropizadas (pastagem), resultou em 85% da significativa produção de sedimentos em toda a bacia, reduzindo as qualidades físico-químicas do solo.

4. Ao longo dos meses a intensidade do PNE e da perda de solo (A) mostrou-se variável, evidenciando que a amplitude da erosão hídrica está ligada diretamente ao fator R , onde ambos são mais intensos no período chuvoso amazônico (Novembro a Março) tendo como pico o mês de Fevereiro e menos intenso no período seco amazônico, onde registrou as menores intensidades nos meses de Junho e julho.
5. Nas áreas de APP, ficou evidente a fragilidade deste ambiente, onde mesmo com a cobertura vegetal de 63% da área total da APP, sua perda de solo real foi responsável por 22% do total encontrado, sendo 6% maior se comparado a área total do manancial.
6. Quanto à confiabilidade da RUSLE, apesar de não considerar processo de deposição de sedimentos, quando não se tem condições de obter os valores reais das perdas de solo numa determinada área, este método de modelar pode ser reconhecido como a melhor maneira disponível para quantificar e qualificar essas bacias quanto à perda de solo por erosão hídrica, principalmente pela simplicidade de cálculo, com ampla possibilidade de equacionar suas variáveis.
7. Assim sendo, concluímos que a associação de técnicas de geoprocessamento e o modelo RUSLE, se mostraram adequados, pois possibilitam aferir e constatar erosões em diferentes situações, confirmando a hipótese levantada neste trabalho que consistiu em determinar a fragilidade e o atual diagnóstico da perda de solos como estratégia para mitigar os impactos erosivos acentuados pelo manejo.
8. É recomendável as instituições que fomentam a conservação em bacias buscarem medidas que contemplem tais indicativos, reduzindo os impactos associados à erosão nos mananciais de abastecimento público em Rondônia. Assim deve-se conciliar a análise proposta nestes resultados com a construção normativa e o desenvolvimento sustentado no uso dos recursos naturais.

Referência Bibliográfica

ADAMY, A. **Zoneamento Geoambiental de Pimenta Bueno – RO.** (Dissertação) Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia - UNIR. Porto Velho - RO, 2005

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras.** R. S. S AMORIM, Viçosa. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, UFV. 2004. 120p.

ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E.G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. **Pedogeomorfologia e micropedologia de uma sequência Latossolo - areia quartzosa hidromórfica sobre rochas cristalinas do estado do Amazonas.** Revista GEONOMOS, 5(1), 1997: pag. 55-66.

ARAUJO JR. G. J. L. D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento / G. J. L. D. Araujo Jr. – São José dos Campos: INPE, 1997. 122p. – (INPE-10095-TDI/892).**

BAHIA R.B.C. & PEDREIRA, A.J. **Depósitos glaciogênicos da Formação Pimenta Bueno (Carbonífero) na região de Rolim de Moura, sudeste de Rondônia.** A Terra em Revista, 1:24-29. 1996.

BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia.** Estudos Avançados n° 19 (53), 2005, Pag. 71 – 86.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 5ª edição, São Paulo: Ícone, 2005.

BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3ªedição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 177-241.

BORDAS, M. P. & SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C. E.. (Org.). **Hidrologia Ciencia e Aplicacao.** Porto Alegre, 1993, p. 915-943.

BOSCH, J. M. & HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology.** Amsterdam, volume 55, 1982, p. 3 a 23.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Centro Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM-CR-PV. **Projeto de manutenção e restauração de bacias hidrográficas.** Porto Velho – RO, 2010. 30 p.

BRASIL. **Lei 4.771/1965. Código Florestal.**

BRASIL. **Lei 9.433/1997. Política Nacional de Recursos Hídricos.**

BRUIJNZEEL, L. A. (1996). Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: **The need for integrated research.** **Capítulo 2 de “Amazonian Deforestation and Climate”** Eds: Gash J H C, Nobre, C. A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. **Princípios Básicos em Geoprocessamento.** In ASSD, E. D., SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. 2. Ed. Brasília, Embrapa- SP; Embrapa - CPAC, 2003.

CARVALHO, M. M. **Recuperação de pastagens degradadas.** Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1993. 51p. (EMBRAPA-CNPGL. DOCUMENTOS, 55).

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia Prática.** CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro, 1994, Brasil, 372 p;

CARVALHO, J. C. B. & MATIAS, L. F. **Concepções teóricas e metodológicas do Modelo Digital do Ambiente aplicadas ao Zoneamento Ambiental.** In: Simpósio de Pós Graduação em Geografia do Estado de São Paulo – SIMPGEO-SP, 2008, Rio Claro – SP.

CASTRO, A.G. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas Geográficos de Informações no estudo integrado de bacias hidrográficas.** A. G. de Castro. São José dos Campos: INPE, 1992. 145p. (INPE-5494-TDI-511).

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: Alvarez V. H.; Fontes, L. E.; Fontes, M. P. F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750.

CHECCHIA, T. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo de emergência na bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner-Santa Catarina.** (Dissertação) Mestrado em Engenharia Ambiental – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia.** São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Modelos Físicos e de Informação em Geografia.** Rio de Janeiro: Edusp, 1975.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica,** Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 –22, 1971.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLISCHON, W.; TUCCI, C. E. M. **Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 59 n.1., p. 93-99, 2007.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica de análise da redistribuição do “fallout” de ¹³⁷Cs/** Vladaia Correchel. – Piracicaba - SP, 2003. Tese (doutorado) – Centro de Energia Nuclear da Agricultura.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, 1990. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo.

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (CNPS). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro . 2ª edição. 211p. 1997.

EMBRAPA (CNPS). **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 2ª edição. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 314p. 2006.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus : INPA, 2003. 134 p.

FERNANDES, L. C. **Estudo multi-temporal do uso, ocupação e perda de solos em projetos de assentamento em Rondônia/** Luiz Claudio Fernandes. – Rio Claro - SP, 2008. Tese (doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista - UNESP.

Foster, G.R. et. al. Process of soil erosion by water. In: FOLLET, R.F.'STEWART, B.A. (eds). Soil erosion and crop productivity. Wiscosin: American Society of Agronomy. **Crop Science Society of America. Soil Science Society of America**.P.137-162. 1985.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, 2002.

Galdino, S.; Weill, M. A. M. **Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari – MS/MT**. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., 2010, Cáceres. Anais. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 260-269. CD ROM.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. 2ª edição, Georgia:

University of Georgia Press Athens, 1982.

Hudson, N.W. **The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to northern Rhodesia**. CapeTown: University of Cape Town, 1965. M.Sc. Thesis.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) – **Cidades@Brasil município por município**. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em novembro de 2010.

ISOTTA, C. A. L. et ali. **Projeto província estanífera de Rondônia**. Relatório Final. Porto Velho, DNPM-CPRM, 1978. 16 v.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO R. G.; LCHIARI, A. **Processamento das imagens HRG-SPOT 5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na região de Teodoro Sampaio – pontal do Paranapanema**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp. 127 - 136, 2004

KER, J.C.; **Latossolos do Brasil: Uma revisão**. Geonomos, 5:17-40, 1997.

KOBYAMA, M. **Manejo de bacias hidrográficas**. In: Curso de Extensão: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. Curitiba: Curso de Eng. Florestal – UFPR, 1999. p.111-118. (Apostila do curso). Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/monitoramento.pdf>> . Acesso em: 21 de março de 2011.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas**. In: Curso de Extensão: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. Curitiba: Curso de Eng. Florestal – UFPR, 1999. p.111-118. (Apostila do curso). Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/monitoramento.pdf>> . Acesso em: 21 de março de 2011.

KRUSCHE, N.; SARAIVA, J. M. B.; REBOITA, M. S. **Normais climatológicas provisórias de 1991 a 200 para Rio Grande – RS**. Nisia Krusche, Jaci Maria Saraiva, Michelle Simões Reboita. – Rio Grande: 2002.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE J. R. B.; COUTINHO R. Q. **Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 35:2167-2174, 2011.

LAL, R. Soil Degradation by erosion. **Land Degradation and Development**. 12: 519-539, 2001.

LIMA, Samuel do C.; QUEIROZ NETO, José P. de. Contribuição metodológica para estudos ambientais integrados nos cerrados. In SHIKI, Shigeo; GRAZIANO DA SILVA, José; ORTEGA, Antônio César (org.). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: Gráfica da UFU, 1997.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba; ESALQ/USP, 1986, 242p.

LIMA, E. R. V.; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 257–264, 1992.

LIMA, S. C.; Queiroz Neto, J. P. Contribuição metodológica para estudos ambientais integrados nos cerrados. In SHIKI, Shigeo; GRAZIANO DA SILVA, José; ORTEGA, Antônio César (org.). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: Gráfica da UFU, 1997;

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, USP, Departamento de Ciências Florestais, 1996. 318p. (Apostila).

LIMA, S. O. **Erosão do Solo**. Gurupi - TO: Universidade Federal do Tocantins - UFT, Manejo e Conservação da água e do solo, 2008. 22p. (Apostila).

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para alguns solos de São Paulo. **Boletim Técnico n. 28**. Campinas, Instituto Agrônomo, SP. 1975. 12p.

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Piracicaba, 2002. Tese (Doutor em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

NETELER, M & MITASOVA, H. **Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Second Edition**. The Kluwer international series in Engineering and Computer Science (SECS): Volume 773. Kluwer Academic Publishers/Springer, Boston ISBN: 1-4020-8064-6. 2 Edição, 2004, 420 pag.

MASSAGLI, G. O.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, R. G. **Comparação entre precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM**. In: 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2011 9 a 11 de agosto de 2011 – Campinas, SP. Anais.... 8 pag.

MCCULLOCH, J.S.G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology**, 150, p. 189-216, 1993.

MENCK, P.C.M. **Avaliação econômica do controle da erosão na microbacia do ribeirão Iperó, em Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1993. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MITCHEL, J. K. & BUBENZER, G.D. Soil loss estimation. In: KIRBY, M.J.;

MORGAN, R.P.C. (Ed.). **Soil erosion**. Chichester: John Wiley & Sons, 1980. P.17-62.

MOORE, I.; BURCH, G. **Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation**. Soil Science Society of America Journal. v. 29, n. 6, 1986b. p. 1624-1630.

MOULTON, T. P. ; SOUZA, M. L. **Conservação com base em bacias hidrográficas**. In: Carlos Frederico Duarte Rocha; Helena Godoy Bergallo; Monique Van Sluys; Maria Alice Santos Alves. (Org.). *Biologia da conservação*. São Carlos: Rima Editora, 2006, v. , p. 157-182.

NÓBREGA, R.N. 2008. **Modelagem de Impactos do Desmatamento nos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jamari (RO) utilizando dados de Superfície e do TRMM**. Campina Grande, PB: UFCG. 2008. 238 pág. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.

OLIVEIRA Jr., R.C. & MEDINA, B.F. **A erosividade das chuvas em Manaus (AM)**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 14: 235-239, 1990.

OLIVEIRA NASCIMENTO, M. G. **Noções de estatística**. Boletim carioca de geografia, Ano XXV. RJ, 1976.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal/ Carlos Roberto Padovani**. Piracicaba SP, 2010. 174p: Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2010.

PISSARRA, T. C. T. POLITANO, W. **Avaliação da erosão acelerada do solo por fotointerpretação: contribuição ao planejamento ambiental de bacias hidrográficas no município de Taquaritinga, SP..** In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia : Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental., 2001.

PELLIZZARO, P. C.; Hardt, L. P. A.; Bollmann, H. A.; Hardt, C. **Urbanização em áreas de mananciais hídricos: estudo de caso em Piraquara, Paraná**. Cadernos Metrópole 19 1º sem. 2008, pag. 221-243;

PEREIRA, K. N. **Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do Ribeirão de Imaruí/SC: uma análise comparativa entre o modelo de fragilidade empírica dos ambientes e o método da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)/K. N. Pereira**. Florianópolis, SC, 2009, Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-graduação em Geografia 132 f.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Paraíba, 1991, 149 p.

PLANAFLOORO. **Diagnóstico Sócio Econômico – Ecológico do estado de**

Rondônia, Zoneamento Sócio-Econômico- Ecológico de Rondônia – ZSEE-RO, volumes 1 a 32. Governo de Estado De Rondônia, Porto Velho, 1998.

PUNDEK, M. Utilização prática da equação universal de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas**. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 384p.

QUADROS, M.L.E.S. & RIZZOTO, G. J. **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondonia: Sistema de Informacoes Geograficas – SIG. Texto Explicativo do Mapa Geologico do Estado de Rondonia**. Organizado por Marcos luiz do Espirito Santo Quadros e Gilmar Jose Rizzoto. CPRM. 116p, 2007.

RANZANI, G. **Erodibilidade de alguns solos do estado do Amazonas**. Acta Amazonica, 1980 10(2): 263-269.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. T.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. Revised Universal Soil Loss Equation. **Journal of Soil and Water Conservation**. Jan./Fev. 1991. p. 30-33;

RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., McCOOL, D. K., YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. **Department of Agriculture Handbook** No. 703, 1997, 404p.

RISSO, A. **Obtenção e manipulação dos parâmetros da equação universal de perda de solo através de técnicas de Geoprocessamento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Dissertação, 1993, 166 p.

RONDÔNIA. Governo do Estado de Rondônia. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. **Segunda Aproximação do Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia**. Porto Velho, Rondônia, 1999.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1996. 104p.

RONDÔNIA. **Normais climatológicas para o estado de Rondônia**. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Porto Velho, 2012.

SAIZ, C. C. **Aplicação do modelo da Equação Universal de Perdas de Solo através de dados TM-Landsat e geoprocessamento como suporte ao planejamento conservacionista**/C. C. Saiz. – São José dos Campos: INPE, Dissertação de Mestrado 1996. 157 p.

SCOPEL, I: **Avaliação do risco de erosão através de técnicas de**

sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR). Curitiba, 1988. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. **Erodibilidade no Estado de Goiás.** Uniciência, Anápolis, v.8, n.1 e 2, p. 123-132, 2001.

SEDAM, Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia. **Normais climatológicas provisória de 1999 – 2010 para o estado de Rondônia.** Governo de Estado De Rondônia, Porto Velho, 2012.

Silva, A.M.; Schulz, H.E. e Camargo, P.B. (2007). **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**, 2ª edição – revista e ampliada. Editora Rima, São Carlos – SP, Brasil, 153 p.

Silva, A. M. (2004). “**Rainfall erosivity map for Brazil**”, Catena, Vol. 57, p. 251-259.

SILVA, A. M. **Estudo do Potencial Natural a Erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil.** Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 8(1) 5

SILVA FILHO, E.P. **Estudo da degradação de solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO)** / Eliomar Pereira da Silva. – Rio Claro : [s.n.], 2009. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Disponível em: http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137036P9/2009/silvafilho_ep_dr_rcla.pdf

SILVA J.R.C. & FREIRE, O. Fator chuva para a aplicação na equação universal de perdas de solo, em Piracicaba. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, São Paulo, 1978.

SILVA, A.M.; Schulz, H.E. e Camargo, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**, 2ª edição – revista e ampliada. Editora Rima,(2007) São Carlos – SP, Brasil, 153 p.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M. S. D.; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre dois métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, 1994. p. 1751-1761.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, L. P.; SILVA, . F. C. B. C.Avaliação espacial e temporal de perdas de solo usando o Sistema de Informações Geográficas (sig).Revista OKARA: **Geografiaem debate**, v.1, n.2, p. 1-128, 2007. ISSN 1982-3878.

SOMBROEK, W.G. **Amazon soil: a reconnaissance of the soil of the Brazilian Amazon region.** Wageningen, Center of agriculture Publication and Documentation, 292 p. 1966.

SOUZA, C.K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2001. 186p. (Dissertação de Mestrado)

SPOT IMAGE The SPOT Family. France: Spot Image, 2003. Disponível em: <www.spotimage.com.au/>. Acesso em: 17jul. 2010.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ; F. A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do peixe Paranapanema**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 4., 1987, Marília (SP). Anais... ABGE/DAEE, 1987. p. 105-135.

SUGAHARA, S., **Normais climatológicas das estações de superfície do Brasil, para o período de 1961-1990**. Instituto de Pesquisas Meteorológicas – UNESP, Campus Bauru, São Paulo – SP, 1999.

SURFER, **version 8.0 Goldem Software**, 2000. conjunto de programas. 1CD-Rom e manuais. (informações em: <http://www.goldemsoftware.com>).

TECNOSOLO. **2º Aproximação do Zoneamento Sócio – Econômico – Ecológico do Estado de Rondônia**. Relatório Final – 1998.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. **Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and water balance**. 1957. In MATHER, J.R. *Climatology: Fundamentals and applications*. Nova Iorque. Mcgraw-Hill, 1974.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, 1997, p.135-152.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1998.

TUCCI, C.E.M. Interceptação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 243-252.

TUCCI, C.E.M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 243-252.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: FERREIRA, M. E. & CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. FCAV-UNESP. Jaboticabal. Soc. Bras. de Ciência do Solo. 1994. p. 223-242.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE (INPE-0000 - TDI/00), 2008.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.) Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980.

Williams, J. R. Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: USDA-ARS (ed). **Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources**, Washington, handbook S-40, 1975.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.39, n.2, p.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains**. Agricultural Research Service Washington: USDA Handbook, 1965.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. Washington, DC., USA, 1978, 58p.

<http://daac.gsfc.nasa.gov/data/> **Banco de dados da NASA**. Acessado em 28 de agosto de 2011.

<http://hidroweb.ana.gov.br/> **Banco de dados da Agência Nacional de Águas**. Acessado em 22 de janeiro de 2011.