

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

UTILIZAÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS,
GEOMORFOLÓGICOS E GAMAESPECTROMÉTRICOS PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE CROSTAS LATERÍTICAS EM UMA ÁREA
DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

Porto Velho

2016

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

UTILIZAÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS,
GEOMORFOLÓGICOS E GAMAESPECTROMÉTRICOS PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE CROSTAS LATERÍTICAS EM UMA ÁREA
DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Geografia PPGG- da
Universidade Federal de Rondônia
– UNIR, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre.
Área de concentração: Amazônia e
Políticas de Gestão Territorial.

Linha de Pesquisa: Paisagem,
Natureza e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

Porto velho

2016

FICHA CATALOGRÁFICA
BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES

H565u

Herrera, Isabel Leonor Iza Echeverria

Utilização de dados altimétricos, geomorfológicos e gamaespectrométricos para a identificação de crostas lateríticas em uma área da porção norte do Estado de Rondônia / Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera. Porto Velho, Rondônia, 2016.

93f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) Fundação Universidade Federal de Rondônia / UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

1. Lateritos 2. Geomorfologia 3. Método booleano 4. Método index overlay
I. Silva Filho, Eliomar Pereira da II. Título.

CDU: 91:551.4

Bibliotecária Responsável: Ozelina Saldanha CRB11/486

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

UTILIZAÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS, GEOMORFOLÓGICOS E
GAMAESPECTROMÉTRICOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE CROSTAS
LATERÍTIICAS EM UMA ÁREA DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DE
RONDÔNIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia PPGG- da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Amazônia e Políticas de Gestão Territorial.

Linha de Pesquisa: Paisagem, Natureza e Sustentabilidade.

Prof. Dr Eliomar Pereira da Silva Filho Orientador

Prof.^a Dra. Eloíza Elena Della Justina

Prof.^a Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães

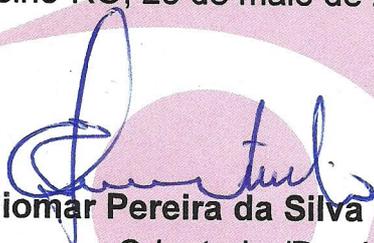
Porto Velho, 25 de Maio de 2016.

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera

A Banca de Defesa de Mestrado presidida pelo orientador Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho e constituída pelas examinadoras: Profa. Dra. Eloíza Elena Della Justina e Profa. Dra. Siane Cristhina Guimarães Silva reuniram-se no dia 25 de maio de 2016, às 9 horas no auditório Milton Santos/CEGEA/UNIR/Bloco 1T, para avaliar a dissertação de mestrado intitulada ***“Utilização de Dados Altimétricos, Geomorfológicos e Gamaespectrométricos, para a identificação de crostas lateríticas em uma de área da porção norte do Estado de Rondônia”***, da mestranda Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera, matrícula 201510020. Após a explanação da mestranda e arguição pela Banca Examinadora, a referida DISSERTAÇÃO foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada APROVADA e/ou com a candidata terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação, sob pena de invalidação, pelo colegiado, do processo de defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 52 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Dissertação revisada.

Porto Velho-RO, 25 de maio de 2016.



Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho
Orientador/Presidente



Profa. Dra. Eloíza Elena Della Justina
Examinadora Interna/PPGG/UNIR



Profa. Dra. Siane Cristhina Guimarães Silva
Examinadora Interna/DGEO/UNIR

Dedico esse trabalho aos meus filhos, Ana Júlia Iza Herrera e Matheus Iza Herrera, e em especial, a Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza, meu amado esposo, que sempre me apoiou e garantiu o máximo para que eu não abandonasse o caminho que resultou na conquista dessa nova etapa em minha vida.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo caminho andado e pelas pessoas especiais que Ele colocou na minha jornada.

A minha família pelo apoio e pela paciência durante esta etapa, em especial aos meus filhos Ana Júlia e Matheus.

A Romeo, meu esposo e companheiro, por ser minha força quando estava fraca, por ser minha voz quando não podia falar e meus olhos quando não podia ver.

Ao Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho, meu orientador, pela confiança dispensada e por me guiar nesse último ano, e ser base fundamental para a continuação do meu caminho.

A Professora Dra Eloiza Elena Della Justina por dar o impulso inicial para a minha dissertação.

A Professora Dra Siane Cristhina Pedroso Guimarães pelas correções, deixaram meu trabalho mais robusto.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos de mestrado.

A CPRM, departamento DIGEOF, por disponibilizar parte dos dados utilizados nesta pesquisa.

IZA ECHEVERRIA HERRERA, I. L. Utilização de dados altimétricos, geomorfológicos e gamaespectrométricos para a identificação de crostas lateríticas em uma área da porção norte do estado de Rondônia. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Porto Velho, 2016.

Resumo

A cartografia geológica e geomorfológica na Amazônia é pouco detalhada, comumente apresenta descrições superficiais e subestimam significativamente as áreas lateríticas. Nesse sentido, no intuito de contribuir com o detalhamento da cartografia na porção norte de Rondônia, recorreu-se a estudos para estabelecer a relação entre a ocorrência de lateritos e os aspectos geomorfológicos. Na primeira etapa deste trabalho, a imagem de relevo, mapas geomorfológicos e geológicos foram integrados e correlacionados para identificar áreas de crostas lateríticas e suas feições geomorfológicas associadas. Na área de estudo, as crostas lateríticas ocorrem associadas a platôs com altitudes entre 120 e 150 m e entre 180 e 204 m, todas com declividades inferiores a 2% e densidade de drenagem muito baixa, que foram ratificados com dados de campo. Na margem direita do rio Madeira, as áreas lateríticas ocupam aproximadamente 256 km² representando 6,12% da área de estudo e geram desníveis locais de até 30 m de altura. As crostas lateríticas têm espessuras de até 6 m, são ferruginosas, constituídas principalmente por hematita, goethita, quartzo, raramente caulinita e gibbsita, e apresentam estrutura colunar e textura pisolítica/nodular. A avaliação e posterior integração das imagens de radar e de suas principais feições geomorfológicas, assim como as avaliações geológicas, proporcionaram a identificação de novas áreas de ocorrência de crostas lateríticas. Na segunda etapa, com o intuito de incrementar a cartografia das crostas e compreender o padrão de resposta gamaespectrométrica optou-se pela integração da gamaespectrometria com a altimetria. Os resultados destacaram dois padrões de respostas. O primeiro constituído por valores altos de eTh e baixos de K e eU associados a crostas derivadas de granitoides, localizado na porção noroeste da área de estudo. O segundo representado por baixos valores de eTh, K e eU e relacionados a crostas derivadas de rochas máficas-ultramáficas e/ou supracrustais, localizado na porção sudeste da área de estudo. Os resultados propiciaram a identificação de novas áreas localizadas na margem esquerda do rio Madeira permitindo a ampliação da atual cartografia geomorfológica. Na terceira etapa foi aplicado o método booleano, mais especificamente o método *index overlay*, usando dados altimétricos e gamaespectrométricos com o intuito de ter uma visão quantitativa das áreas de favorabilidade de ocorrência de crostas lateríticas. As áreas identificadas coincidem com as áreas mapeadas por trabalhos anteriores, e incluem áreas novas que mostraram-se consistentes com as bases geomorfológicas, geológica, de solos e de aptidão agrícola. A ferramenta mostrou-se útil na identificação e delimitação das áreas de ocorrência de crostas lateríticas, especialmente as áreas na margem esquerda do rio, onde as crostas não ocorrem associadas a platôs. Nesta região, as áreas consideradas favoráveis para a ocorrência de lateritos ocupam aproximadamente 22,4 km² representando 0,54% da área de estudo. As áreas de favorabilidade obtidas nesta etapa do trabalho permitiram sugerir incrementos cartográficos nos mapas geológico, geomorfológicos e de aptidão agrícola em escalas entre 1:250.000 e 1:100.000.

Palavras chave: gamaespectrometria, altimetria, lateritos, geomorfologia, método booleano, método *index overlay*.

Abstract

The geological and geomorphological mapping in the Amazon is little detailed, it commonly presents superficial descriptions and underestimates significantly the lateritic areas. In this sense, aiming to contribute with the increase of the mapping in the north portion of Rondônia, it was developed studies to establish the relationship between the lateritic crust occurrence and the geomorphological aspects. On the first stage of this work, the DEM image, the geological and geomorphological maps were integrated and correlated to identify areas of lateritic crusts and their geomorphological features associated. In the area under study, lateritic crusts occur associated to plateaus with altitudes between 120 and 150 m and between 180 and 204 m, all with slopes lower than 2% and very low drainage density. These data were ratified during field works. On the right margin of the Madeira river, the lateritic areas cover about 256 km², representing 6.12% of the total area, and present local differences of altitude of up to 30 m. The crusts are up to 6 m thick, ferruginous, consisting mainly of hematite, goethite, quartz, rare kaolinite and gibbsite, and show columnar structures, and pisolithic/nodular texture. The posterior evaluation and integration of radar images and the main geomorphological features, as well as geological assessment, provided the identification of new areas of occurrence of lateritic crusts. On the second stage of the work, in order to increase the mapping of the crusts and to understand the gammaspectrometric response pattern, it was integrated the gammaspectrometric and altimetric data. The results highlighted two response patterns. The first one presenting high values of eTh and low values of K and eU associated to crusts derived from granitoids, located on the northwestern portion of the study area. The second pattern, represented by low values of eTh, K and eU and related to crusts derived from mafic-ultramafic and/or supracrustal rocks, located on the southeastern portion of the area. The results allowed the identification of new areas located on the left margin of the Madeira river, and consequently the increase of the current geomorphological mapping. On the third stage, the Boolean method, more specifically the *index overlay* method, was applied, using altimetric and gammaspectrometric data, in order to have a quantitative vision of the areas of favorability of occurrence of lateritic crusts. The areas identified coincide totally with the areas identified by previous works and include new areas that showed to be consistent with the geomorphological and geological bases, as well as soils and agriculture aptitude map. The tool showed to be useful for the identification and delimitation of areas of lateritic crusts occurrence, especially on the left margin of the river where the crusts do not occur associated to plateaus. In this region, the areas considered at least favorable for the occurrence of lateritic crusts cover about 22.4 km² of the area, representing 0.54%. The areas of favorability obtained in this stage allowed suggesting increments on the current geological, geomorphological and agriculture maps in scales between 1:250.000 and 1:100.000.

Keywords: gammaspectrometry, altimetry, laterites, geomorphology, Boolean method, *index overlay* method.

LISTA DE SIGLAS

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDT – Modelo Digital do Terreno

MIO – Método *Index Overlay*

Planafloro – Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia

RGB – *Red, Green Blue*

SEDAM – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UNIR – Universidade Federal de Rondônia

WII – *weathering intensity index* (Índice de intensidade de intemperismo)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Localização da área de estudo. | 26 |
| Figura 2 – Mapa de pluviosidade da região, modificado de Rondônia (2002). | 27 |
| Figura 3 – Mapa hidrográfico da área de estudo. Modificado de Rondônia (2002)..... | 29 |
| Figura 4 - Ortognaisse quartzo-diorítico, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007)..... | 30 |
| Figura 5 – Piterlito com textura rapakivi, Suíte Intrusiva Serra da Providência, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007)..... | 30 |
| Figura 6 – Feição textural do monzogranito da Suíte Intrusiva Santo Antônio, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007)..... | 30 |
| Figura 7 – Dique sin-plutônico de composição quartzo-sienítica (Cachoeira do Teotônio no Rio Madeira), retirado de Quadros e Rizzotto (2007)..... | 30 |
| Figura 8 – A) Aspecto do relevo em forma de platôs constituídos por crostas lateríticas. As setas indicam platôs com diferenças de altitudes com a planície de até 30 m. B) Estrutura colunar. C) Horizonte desmantelado sotoposto por horizonte rico em matéria orgânica..... | 31 |
| Figura 9 – Argilas siltosas e silte no nível inferior e areia ferruginosa na parte superior, Formação Rio Madeira, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007). | 32 |
| Figura 10 – Mapa geológico da área, modificado de Quadros e Rizzotto, (2007)..... | 33 |
| Figura 11 – Mapa geomorfológico da área, modificado de Rondônia (2002). | 36 |
| Figura 12 – Mapa geomorfológico da área de estudo, modificado de IBGE (2013). | 39 |
| Figura 13 – Mapa de solos da área de estudo, modificado de Rondônia (2002)..... | 42 |
| Figura 14 – Mapa de cobertura vegetal da área de estudo, modificado de Rondônia, (2002). | 45 |
| Figura 15 – Mapa de uso e ocupação das terras da área de estudo. Modificado de Rondônia, (2002). | 46 |
| Figura 16 – Mapa de aptidão agrícola da área de estudo, modificado de Rondônia, (2002). | 48 |
| Figura 17 – Fluxograma de procedimentos realizados e principais produtos gerados (polígonos vermelhos)..... | 55 |
| Figura 18 – Áreas com topo plano associadas a ocorrência de crostas lateríticas imaturas com cotas predominantemente entre 120 e 150 m. | 57 |
| Figura 19 – Afloramento 9, localizado na porção central da área. Perfis tipo “corte de estrada” destacando a ocorrência de crostas lateríticas ferruginosas, 01/05/2015. A) Aspecto geral do perfil evidenciando o horizonte colunar e desmantelado sobrepostos por Latossolo pouco espesso. B) Detalhe da crosta colunar. C) Desmantelamento da crosta colunar. | 59 |
| Figura 20 – Afloramento 10, localizado na porção norte da área, aproximadamente 8 km a leste da cidade de Candeias do Jamari. 11/05/2015. A) Aspecto geral do afloramento. B) Detalhe da crosta colunar, C) Magnetita milimétrica a centimétrica. D) Nódulos/Pisólitos principalmente hematíticos e goethíticos. | 60 |
| Figura 21 –Afloramento 5, localizado na porção centro-oeste da área. 01/05/2015. A) Crosta laterítica pisolítica/nodular e latossolo com fragmentos da crosta. B) Detalhe da crosta pisolítica/nodular. C) Detalhe dos nódulos e pisólitos. D) Detalhe dos nódulos/pisólitos de hematita com córtex de goethita. | 61 |
| Figura 22 – Afloramento 17, localizado na porção oeste da área de estudo, 26/06/2015. A) Aspecto geral da área com ocorrência de nódulos e pisólitos inconsolidados e fragmentos centimétricos de crosta. B) Detalhe da superfície com nódulos e pisólitos. C) Detalhe dos nódulos ferruginosos. | 62 |
| Figura 23 – Afloramento 14, localizado na região sudeste da área, 23/06/2015. A) Aspecto geral do afloramento com topo (4 m) constituído de crosta colunar. B) Detalhe das estruturas megacolunares. C) Pisólitos preenchendo estrutura colunar. D) Detalhe da estrutura colunar. | 64 |
| Figura 24 – A e B) Nódulos hematíticos de cor vermelha escura com córtex goethítico amarelado (Afloramentos 3 e 8 respectivamente). C e D) Nódulos hemáticos marrom avermelhado escuro com córtex goethítico (Afloramentos 5 e 12 respectivamente) E) Nódulos amarelados (goethita) | |

| | |
|---|----|
| evidenciados na parte externa do bloco de crosta laterítica (Afloramento 4). F) Nódulos goethíticos amarelados, (porção interna) circundados por matriz hematítica avermelhada e porções com caulinita e quartzo (Afloramento 4)..... | 65 |
| Figura 25 – Mapa ternário da integração das imagens %K, eTh, eU, respectivamente nos canais RGB. | 67 |
| Figura 26 - Mapa ternário da integração das imagens multifonte eTh/K, MDT e eTh (RGB). | 69 |
| Figura 27 – Mapa de áreas de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento por meio do método index overlay..... | 72 |
| Figura 28 – Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método Index Overlay) sobreposto ao mapa de solos de Rondônia (2002). | 74 |
| Figura 29 – Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método Index Overlay) sobreposto ao mapa geomorfológico de Rondônia (2002)..... | 75 |
| Figura 30 - Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método Index Overlay) sobreposto ao mapa geológico de Quadros e Rizzotto (2007). | 76 |
| Figura 31 – Mapa de cobertura vegetal da área de estudo sobreposto pelas áreas previsionais da análise booleana, modificado de Rondônia, (2002). | 77 |
| Figura 32 - Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método Index Overlay) sobreposto ao mapa de aptidão agrícola de Rondônia (2002)..... | 80 |
| Figura 33 – Proposta de mapa geomorfológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Rondônia (2002). | 82 |
| Figura 34 – Proposta de mapa geomorfológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de IBGE (2013). | 84 |
| Figura 35 – Proposta de mapa geológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Quadros e Rizzotto (2007)..... | 86 |
| Figura 36 – Proposta de mapa de aptidão agrícola incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Rondônia (2002). | 87 |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1. Objetivos | 18 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 18 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos..... | 18 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 25 |
| 3.1. Localização..... | 25 |
| 3.2. Clima | 25 |
| 3.2.1 Paleoclima | 27 |
| 3.3. Hidrografia | 28 |
| 3.4. Geologia..... | 29 |
| 3.5. Geomorfologia | 34 |
| 3.6. Solo | 40 |
| 3.7. Vegetação e uso da terra | 43 |
| 3.8. Aptidão Agrícola | 47 |
| 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 49 |
| 4.1 Materiais | 49 |
| 4.2 Procedimentos Metodológicos..... | 50 |
| 4.2.1. Correlação crostas vs altimetria..... | 51 |
| 4.2.2. Aerogamaespectrometria..... | 51 |
| 4.2.3. Método de análise Lógica Booleana..... | 53 |
| 4.2.3.1. Método Index Overlay (MIO) | 53 |
| 5. RESULTADOS..... | 56 |
| 5.1. Crostas lateríticas e aspectos altimétricos..... | 56 |
| 5.2. Resultados da análise da gamaespectrometria | 66 |
| 5.3. Resultados da análise do Modelo booleano (<i>index overlay</i>) | 70 |
| 5.4. Verificação dos dados..... | 73 |
| 5.5. Aspectos sócio-econômicos | 78 |
| 5.6. Refinamento cartográfico a partir da análise dos dados multi-fonte | 79 |
| 6. CONCLUSÕES | 88 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 90 |

1. INTRODUÇÃO

A geografia é o estudo do espaço, mas espaço como lugar físico ou espaço onde o homem vive? Milton Santos (2006) coloca a possibilidade de trabalhar com um par de categorias: a configuração territorial e as relações sociais.

A configuração territorial é dada pelo conjunto formado pelos sistemas naturais existentes em um dado país ou numa dada área e pelos acréscimos que os homens superpuseram a esses sistemas naturais. A configuração territorial não é o espaço, já que sua realidade vem de sua materialidade, enquanto o espaço reúne a materialidade e a vida que a anima. A configuração territorial, ou configuração geográfica, tem, pois, uma existência material própria, mas sua existência social, isto é, sua existência real, somente lhe é dada pelo fato das relações sociais. Esta é uma outra forma de apreender o objeto da geografia. (SANTOS, 2006, p. 38).

O final da década de 60 marcou as primeiras referências quanto ao quantitativismo, dentro do seu próprio campo. A procura de uma linguagem matemática em geografia era o resultado de uma procura de cientificismo que a geografia já havia tentado sob outras perspectivas e em outras ocasiões. Tudo isso seria obtido por uma combinação onde as análises de sistema e os modelos e o uso de estatística seriam uma peça fundamental.

A chamada “Nova Geografia” se manifestou, sobretudo através da quantificação. Por outro lado a expressão “geografia quantitativa” utilizada para exprimir a existência de uma geografia nova, introduziu certo mal-estar e confusão (MILTON SANTOS, 2004). A expressão “geografia matemática” ou “quantitativa” pode na realidade aplicar-se a qualquer dos paradigmas da geografia, novos ou antigos, mesmos aos que hoje não são mais válidos para nenhuma escola. O autor considera que a quantificação representa um instrumento e afirma que a aplicação corrente das matemáticas à geografia permite trabalhar com estágios sucessivos da evolução espacial, mas é incapaz de dizer alguma coisa sobre o que se encontra entre um estágio e outro. Em outras palavras, trabalha-se com resultados, mas os processos são omitidos. Milton Santos (2004) também afirma que os modelos matemáticos, sobretudo quando se referem ao espaço, sofrem da fraqueza fundamental que vem da incapacidade de apreender o tempo no seu movimento. Ora, quando se fala de processo, também se está falando de tempo.

Os modelos seriam definidos de duas maneiras, segundo Milton Santos (2004). De um lado ele é considerado como o conjunto de sistemas locais tomado em um mesmo momento e em lugares diferentes no interior de um mesmo espaço. Do outro lado, o modelo pode ser construído a partir da simulação da evolução no tempo dos sistemas locais, cada um dando como resultado, outro sistema local. O primeiro seria o modelo descritivo, o segundo o modelo evolutivo, enquanto que os modelos com caráter de previsão levarão em conta os modelos

evolutivo e descritivo a fim de permitir a compreensão dos dinamismos verticais e horizontais, isto é, a totalidade dos mecanismos e das tendências sem os quais nenhum modelo de previsão é possível. Os resultados apresentados neste adequa-se perfeitamente a este último modelo na medida em que considera a previsão de ocorrência de crostas lateríticas baseada em dados multi-fonte.

Segundo Ullman (1973) “os métodos quantitativos, podem ser utilizados na maior parte das abordagens em geografia, mas eles mesmos não constituem a geografia, eles seriam uma condição desejável, mas não suficiente. Para evitar que a geografia matemática reproduza uma fotografia de alguns momentos e sim o espaço das sociedades em movimento, devemos fazer um estudo regional, que se interesse pelas diferenciações espaciais por intermédio das inter-relações entre os dados da natureza e as sociedades humanas. Neste sentido, há a necessidade de integrar os resultados do espaço físico com aspectos sócio econômicos para assim completar o estudo geográfico, que constitui-se na integração entre o espaço humano e a relação com os aspectos físicos, biológicos e humanos.

A geografia trata tanto de fenômenos físicos quanto humanos ocupando o campo intermediário entre as ciências sociais e físicas (PENTEADO, 1981). A autora afirma ainda que essa interpenetração de campos permite que a geografia utilize dados e materiais de disciplinas afins, com o objetivo de ampliar as informações propiciando o estudo e a combinação das relações que conformam várias regiões da terra.

No desenvolvimento do modelo apresentado neste trabalho foi de fundamental importância o estudo das crostas lateríticas, o entendimento do modo de ocorrência, localização, altimetria e padrões aerogamaespectrométricos. As crostas lateríticas recobrem a maior parte da Amazônia legal e são o resultado do processo intempérico e, por serem resistentes à erosão, sustentam o relevo. Nesse sentido, as crostas são de relevante interesse e podem contribuir significativamente com o entendimento geomorfológico da área e no planejamento urbano. Em Rondônia, mais especificamente nas regiões urbanas, as crostas lateríticas são significativamente utilizadas no desenvolvimento da cidade. É utilizada principalmente como base em rodovias de baixo volume de tráfego devido a sua boa capacidade de suporte, e como material de aterro. Também podem ser usados como agregados de misturas asfálticas (OLIVEIRA e FILHO, 2013).

Na região de Porto Velho e adjacências a utilização de insumos para construção civil é notável, especialmente aqueles relacionados a areia, argila, brita e cascalho laterítico. No que

diz respeito a este último, há diversas frentes de lavra ativas e inativas, assim como áreas com potencial para extração, entretanto, há áreas de cascalho laterítico ainda não exploradas.

Por um lado os resultados podem ser úteis no que diz respeito ao uso das crostas na construção civil (áreas para cascalho laterítico-insumos para a construção civil), e por outro na definição do uso da terra relacionado as áreas de baixa fertilidade, e portanto com limitações agrícolas, devido à necessidade do uso extensivo de corretivos de solo e fertilizantes. A identificação e estudo das áreas de ocorrência de crostas podem ser feitos diretamente com trabalhos de campo, porém existem áreas de difícil acesso na Amazônia, assim como áreas de terras indígenas, onde a identificação direta de crostas é impossibilitada. Assim, a integração de dados obtidos de forma remota, tais como imagens MDT e gamaespectrométricas, podem contribuir com as etapas pré, sin e pós campo.

O presente trabalho foi estruturado buscando o concatenamento dos capítulos de forma a destacar a pequena quantidade de publicações relacionadas ao tema na área de estudo, a integração de dados multi-fonte e aplicação de técnicas matemáticas, além das sugestões de melhoramento e detalhamento em diversos produtos cartográficos.

Neste sentido o trabalho está constituído por 6 capítulos. O capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre a necessidade e importância do trabalho, além de destacar os objetivos gerais e específicos. O segundo capítulo trata sobre o referencial teórico em relação às crostas lateríticas e os trabalhos desenvolvidos, especialmente no estado de Rondônia. O capítulo 3 descreve as características fisiográficas da área incluindo as feições climáticas, hidrográficas, geológicas, geomorfológicas, e de solo, assim como descrições referentes à cobertura vegetal, uso e ocupação da terra e aptidão agrícola. O capítulo 4 trata sobre os materiais utilizados e os métodos aplicados, incluindo as análises do relevo, dos dados de gamaespectrometria e a aplicação da técnica matemática booleana usando o método *index overlay*. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e integra discussões relacionadas às crostas lateríticas e cartografia. Neste capítulo são apresentadas as sugestões de refinamento cartográfico de diferentes mapas, considerando a importância e a influência das crostas lateríticas na área, para complementar o estudo geográfico das crostas lateríticas. O capítulo 5 também integra os resultados com discussões relacionadas às crostas lateríticas e cartografia, como o refinamento cartográfico de diferentes mapas, considerando a importância e a influência das crostas lateríticas na área, assim como as implicações sócio-econômicas da ocorrência de crostas. Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos posteriores.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho busca integrar dados multifonte (aerogamaespectrometria, geomorfologia, altimetria e solos) com o objetivo de destacar a ocorrência de crostas lateríticas e sua associação com aspectos geomorfológicos, contribuindo com o refinamento cartográfico da área.

1.1.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos destacam-se:

- Descrever os principais perfis lateríticos correlacionando-os com os aspectos geomorfológicos, geológicos, geofísicos e topográficos;
- Definir as áreas mais prováveis para a ocorrência de crostas lateríticas, por meio do uso de bases altimétricas e dados de campo;
- Analisar os dados de gamaespectrometria, e sua representação cartográfica (por meio da construção de mapas ternários), para a identificação prévia de áreas com presença de crostas lateríticas;
- Aplicar a técnica matemática booleana, por meio do método do *Index Overlay* (integração de dados multi-fonte) para definir áreas com alta probabilidade de ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento;
- Delimitar áreas potenciais para a ocorrência de cascalho laterítico considerando seu uso na construção civil, assim como, áreas com restrições relacionadas à agricultura;
- Sugerir incrementos na cartografia geológica, geomorfológica e de aptidão agrícola da área

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de intemperismo tem um papel significativo na modificação da paisagem, formação de solos e depósitos minerais, além de ter um forte impacto no controle do relevo. Em climas tropicais úmidos, as crostas lateríticas são o produto final do intemperismo (BARDOSSY e ALEVA, 1989; TARDY e ROQUIN, 1998). As crostas lateríticas ou também chamados lateritos, são principalmente rochas ferruginosas e/ou aluminosas que expressam diferentes estágios do processo conhecido como lateritização em solos situados em regiões de clima predominantemente tropical, subtropical e equatorial (BOTELHO, 1979).

Os lateritos são materiais compactos ou incoesos, resultantes da ação de intenso intemperismo químico em condições tropicais e considera-se que os fenômenos de lateritização são de interesse da geomorfologia, especialmente no conhecimento da evolução do relevo, da geologia quando interessada em recursos minerais e da pedologia no estudo do aproveitamento agrícola dos solos (BIGARELLA *et al*, 1996).

Os principais fatores que afetam o processo de intemperismo e erosão são o clima, relevo, rocha mãe, tempo e tectônica, e portanto estão fortemente relacionados aos aspectos geomorfológicos (SCOTT e PAIN, 2008). O clima regula o intemperismo e as variáveis relacionadas a temperatura e precipitação, que por sua vez determinam a natureza e rapidez das reações químicas da superfície terrestre (THOMAS, 1974).

Penteado (1978) discute a importância das crostas lateríticas e sua afinidade com os processos modeladores da paisagem, sua influência na conservação das antigas superfícies de erosão, no desenvolvimento das superfícies aplanadas e afirma que as crostas permitem a conservação de velhas superfícies de erosão desenvolvidas em ambientes tropicais de savana. Entre outros aspectos, as crostas favorecem o escoamento superficial impedindo a infiltração, reduzem a erosão mecânica e criam uma paisagem de superfícies aplanadas seguidas de vertentes côncavas (PENTEADO, 1978). Para Büdel (1982), as crostas apresentam alta resistência à erosão e favorecem a inversão topográfica e a formação de um relevo antigo.

Taylor e Eggleton (2001) discutem, entre outros temas, a relação do regolito com a paisagem e destacam os aspectos do clima e da topografia na sua construção, ratificando o papel decisivo no modelamento do relevo. O estudo das crostas lateríticas, segundo os autores, permite compreender a evolução geomorfológica, paleoclimática e pedogenética da paisagem.

A análise das formas e dos processos geomorfológicos fornece informações sobre a dinâmica da topografia em diversas condições climáticas, possibilitando compreender as

formas esculpidas pelos processos geológicos (CHRISTOFOLETTI, 1980). Para Pomerol *et al.* (2013), os estudos geomorfológicos procuram descrever as formas da paisagem, o relevo e sua relação com a geologia, procurando explicar sua evolução.

A paisagem constituída por relevo topograficamente mais elevado, ligeiramente ondulado, tectonicamente semi-estável, em soerguimento, mas com velocidade em equilíbrio com a taxa de intemperismo tropical, são as condições mais adequadas, consideradas por Costa (2007), para o desenvolvimento de formações lateríticas. O autor afirma ainda que durante o processo de lateritização há uma tendência à peneplanização, ou seja, a lateritização está intimamente relacionada com as superfícies de aplanamento. Os lateritos são dessa forma testemunhos paleo-ambientais incontestáveis e de forma geral constituem registros geológicos importantes, inclusive para estudos paleoclimáticos (COSTA, 2007).

Ao longo do cinturão intertropical, em especial na Amazônia, as crostas lateríticas estão relacionadas ao Cenozoico (LUCAS *et al.*, 1989; NAHON *et al.*, 1989; BOULANGÉ e CARVALHO, 1997; COSTA 1997; HORBE e COSTA 1999a; KOTSCHOUBEY *et al.* 2005; HORBE e COSTA 2005). Atualmente, não há dados geocronológicos em crostas lateríticas no estado de Rondônia, contudo, Costa (1991), Vasconcelos *et al.* (1996); Ruffet *et al.* (1996) e Tardy e Roquin, (1998), entre outros, afirmam que as crostas lateríticas na Amazônia formaram-se a partir do Cretáceo superior e no Paleoceno, tendo seu máximo no Oligoceno. Horbe (2014) realizando estudos paleomagnéticos em crostas lateríticas na Amazônia, obteve idades entre 10 e 80 Ma. A autora afirma que tais idades são compatíveis com os eventos de lateritização da Amazônia e que os resultados contribuem para a delimitação de superfícies de exposição e a correlação com a evolução durante o Cenozoico.

A região amazônica constitui uma significativa área de ocorrência de crostas lateríticas em grande parte pouco ou nada conhecidas. Para Costa (1991) os lateritos da região amazônica ocorrem como platôs ou morros cujos topos representam superfícies lateríticas reliquiares com dimensões de até 40 km², ou podem fazer parte do relevo recente. Costa (2007) propõe que extensas crostas lateríticas ferruginosas espalhadas pela Amazônia evidenciam que o clima semi-árido e cobertura de savana em várias áreas foi dominante, enquanto em outras, com formações lateríticas encimadas por espessos pacotes de Latossolo, dominou longo período de clima tropical quente e úmido, com densa cobertura florestal.

Na Amazônia Ocidental, mais especificamente, no estado de Rondônia destacam-se os trabalhos de Guerra (1952 e 1953), que enfatizaram, entre outros aspectos, diversas ocorrências de lateritos nas imediações da cidade de Porto Velho e Guajará-Mirim.

McNeil (1972), estudando os solos lateríticos no Sudão e em diversas partes do Brasil, descreveu alguns aspectos relacionados à lateritização na região norte de Guajará-Mirim/RO, mais especificamente, na região da colônia do Iata. A autora discute a ocorrência de platôs e o avançado estágio de lateritização da área, destacando os aspectos de pouca fertilidade desses tipos de solos e a falta de planejamento no período da colonização. Costa (1991) avaliou os aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia e no estado de Rondônia evidenciou três alvos de interesse mineral associados ao estanho, manganês e terras raras. Apesar das discussões relacionadas aos aspectos mineralógicos, o autor não relaciona os lateritos com parâmetros geomorfológicos ou topográficos.

Della Justina (1994), abordou a exploração de recursos minerais no município de Porto Velho, considerando o caso dos lateritos e os aspectos sócio-econômicos-ambientais envolvidos, e concluiu que uma grande parte da demanda dos lateritos estava relacionada a construção civil, especificamente para pavimentação de estradas, havendo baixo índice de registros de lavra e severos problemas ambientais. A autora registrou as principais frentes de lavra e cartografou as principais ocorrências de crostas na cidade de Porto Velho e adjacências.

Por outro lado, os mapeamentos geológicos regionais ou locais priorizaram apenas a cartografia das unidades geológicas e não consideraram descrições geomorfológicas, pedológicas ou sua integração, ou mesmo dos aspectos evolutivos das crostas, como são os casos dos trabalhos de Quadros e Rizzotto (2007), Nascimento *et al.* (2012) e Oliveira e Filho (2013).

Quadros e Rizzotto (2007) realizaram mapeamento geológico do estado de Rondônia e cartografaram na escala 1:1.000.000, entre outras unidades, as coberturas detrito-lateríticas. Os referidos autores descrevem a ocorrência de crostas lateríticas ferruginosas em praticamente todo o Estado, assim como depósitos resultantes do seu desmantelamento. Nascimento *et al.* (2012) abordaram os aspectos da natureza e aplicação dos materiais lateríticos na área urbana e entorno de Porto Velho. Os autores destacam o caráter ferruginoso dos materiais lateríticos e afirmam se tratarem de perfis imaturos incompletos que ocorrem normalmente associados a relevos jovens, colinosos e platôs.

Oliveira e Filho (2013) realizaram o mapeamento geológico da folha Porto Velho (1:100.000) e registraram entre outras unidades, diversas áreas com crostas lateríticas. O trabalho reuniu informações de interesse para o setor mineral com ênfase aos aspectos geológicos, potencial mineral, uso e ocupação da terra, entre outros, tendo como alvo o aproveitamento do cascalho laterítico, brita, areia e argila para construção civil.

Por sua vez, Castro (2015) estudou perfis lateríticos em Roraima e na porção norte e noroeste do estado de Rondônia. Em Rondônia o autor descreve perfis com ausência de crosta bauxítica indicando estrutura típica de perfis pouco evoluídos desenvolvidos a partir do plio-pleistoceno e coerentes com a segunda fase de lateritização na Amazônia.

Em termos geomorfológicos, os três principais mapeamentos foram executados por Melo *et al.* (1978), Rondônia (2002), no projeto Planaflo, e IBGE (2013). Em todos os casos, as escalas cartográficas dos mapas finais foram de 1:1.000.000, apesar dos trabalhos de campo terem sido executados na escala de 1:250.000.

Os trabalhos cartográficos supracitados deixam clara a deficiência e a consequente necessidade do estudo integrado entre as crostas lateríticas e o contexto geomorfológico. Adicionalmente, nota-se que há poucos trabalhos abordando a cartografia em escalas de detalhe e semi-detalhe (maiores que 1:250.000) no extremo oeste do cráton amazônico.

Por outro lado há na literatura diversos trabalhos que abordam a integração de dados multifonte (gamaespectrometria, geomorfologia, altimetria, solos) com o objetivo de identificar crostas lateríticas ou mesmo destacar a intensidade do intemperismo por meio de modelos. O uso integrado de aerogamaespectrometria e dados de altimetria para estudos de regolitos é, portanto, uma ferramenta útil, especialmente quando apoiada por técnicas matemáticas e álgebra de imagens *raster* (DARNLEY e GRASY, 1971; TUCKER *et al.*, 1984; DUVAL, 1990; BURROUGH *et al.*, 1992; GRAHAM e BONHAM-CARTER, 1993; WILFORD *et al.*, 1997; DICKSON e SCOTT, 1997; MCKENZIE e RYAN, 1999; ZHU *et al.* 2010; CARRINO *et al.*, 2011; WILFORD, 2012; DENT *et al.*, 2013; IZA *et al.*, 2016). Neste sentido, a integração dos dados multifonte assim como a aplicação dos modelos supracitados contribuem no refinamento cartográfico especialmente dos mapas geomorfológicos e geológicos.

A aerogamaespectrometria é uma técnica de sensoriamento remoto passiva que mede a concentração de potássio (K) e séries de radioisótopos de urânio (eU) e tório (eTh) em rochas e solos com profundidades de até 45 cm (GREGORY e HORWOOD, 1961; DICKSON e SCOTT, 1997). A intensidade dos raios gama emitidos pela superfície depende da composição

mineral da rocha ou regolito, natureza e tipo de intemperismo, heterogeneidade geológica, distribuição de solos alóctones ou autóctones, assim como da cobertura vegetal, umidade, etc. (WILFORD, *et al.* 1997; MINTY 1997; DICKSON e SCOTT 1997). Em termos gerais, eU, eTh e K são os únicos elementos que ocorrem naturalmente e produzem raios gama com suficiente energia e intensidade para serem medidos por aerogamaespectrometria (MINTY, 1997).

Segundo Wilford (1997), os raios gama são uma forma de radiação eletromagnética de alta energia e comprimento de onda curto que não possuem massa ou carga eletrônica e são emitidos em diferentes níveis de energia ou picos que correspondem ao decaimento radioativo de radioisótopos particulares (K, series do Th e U). O potássio é o radioisótopo mais abundante da crosta terrestre, ocorre em concentrações de 2,4%, o urânio tem concentrações médias de 3 ppm e o Th, 12 ppm. Em geral, estão presentes em grandes quantidades em rochas félsicas, em baixa quantidade em rochas máficas, e quantidades variáveis nas rochas metamórficas e sedimentares (DICKSON e SCOTT, 1997 e MINTY, 1997). No processo de intemperismo, o comportamento dos minerais determina o padrão de resposta gammaespectrométrico da rocha e do solo associado. Durante o intemperismo, os radioelementos são redistribuídos devido à reorganização geoquímica e podem se acumular residualmente, se combinados com minerais estáveis ao intemperismo, ou simplesmente serem lixiviados. Dickson e Scott (1997) sugerem que áreas com crostas lateríticas tendem a ter baixo conteúdo de K e alto Th e U, contudo o U tem comumente menores valores quando comparado ao Th.

Wilford *et al.* (1997) afirma ainda que a aerogamaespectrometria é relativamente bem entendida quando relacionada a rochas, porém a resposta e a distribuição de radioelementos em regolitos é menos conhecida. O autor destaca que as crostas lateríticas ferruginosas, particularmente aquelas desenvolvidas sobre *greenstones* são radiométricamente escurecidas em um diagrama ternário RGB (KThU).

Carrino *et al.* (2011), por meio da aplicação de técnicas de estatística multivariada em dados gamaespectrométricos, discriminou regolitos na porção leste do estado do Amazonas. Os autores identificaram baixos valores de K e K/eU e altos valores de eTh, e eTh/K associados a platôs lateríticos e enfatizaram a importância da técnica para prospecção mineral. Wilford (2012) utilizou dados gamaespectrométricos e altimétricos para desenvolver o índice de intensidade do intemperismo (*WII – weathering intensity index*) do continente australiano. O autor afirma que os resultados permitem o entendimento mais amplo do regolito e podem servir como ferramenta para o mapeamento do regolito.

Iza *et al.* (2016) integraram dados altimétricos e gamaespectrométricos para identificar regolitos lateríticos em uma área no sul do estado de Rondônia e obteve excelentes resultados na delimitação de áreas de ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos de desmantelamento. Os autores mostram pelo menos dois domínios lateríticos em intervalos altimétricos diferentes: abaixo de 300 m e acima de 500 m, associados a rochas-fonte distintas. Os aspectos metodológicos e resultados apresentados pelos autores são pioneiros na porção sudoeste do cráton amazônico (sudoeste da Amazônia brasileira) e foi utilizado como principal base metodológica para o desenvolvimento deste trabalho.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A área de estudo está localizada na porção norte do estado de Rondônia, entre as coordenadas geográficas $-9,150^{\circ}$ e $-8,748^{\circ}$ de latitude sul, e $-64,118^{\circ}$ e $-63,300^{\circ}$ de longitude oeste, e tem aproximadamente 4.000 km^2 , e envolve os municípios de Porto Velho (1.720 km^2) cerca de 42% da área, Candeias (1.952 km^2) aproximadamente 48%, e Jamari (368 km^2) cerca de 10% da área (Figura 1).

3.2. Clima

O clima de Rondônia está particularmente associado ao da macrorregião amazônica. É predominantemente tropical úmido e quente, com insignificante amplitude térmica anual mas com notável amplitude térmica diurna, especialmente no inverno (RONDÔNIA, 2010). De acordo com o Boletim Climatológico da Secretaria de Desenvolvimento Ambiental (RONDÔNIA, 2010), o clima predominante é do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso segundo a classificação de Köppen. O Estado de Rondônia se caracteriza pelo predomínio de altas temperaturas que podem variar entre $25,5^{\circ}$ e 35°C . Existem duas estações bem definidas, a estação de chuva que acontece entre os meses de novembro e março, onde é registrado cerca de 70% das chuvas anuais, e o regime seco, ou inverno, entre os meses de abril e outubro (RONDÔNIA, 2002). Segundo Rondônia (2010), a média do verão varia entre 1400 e 2600 mm/ano e é de aproximadamente 20 mm/ano no inverno. Em média, a área de estudo apresenta uma pluviosidade de 2300 mm/ano, Figura 2.

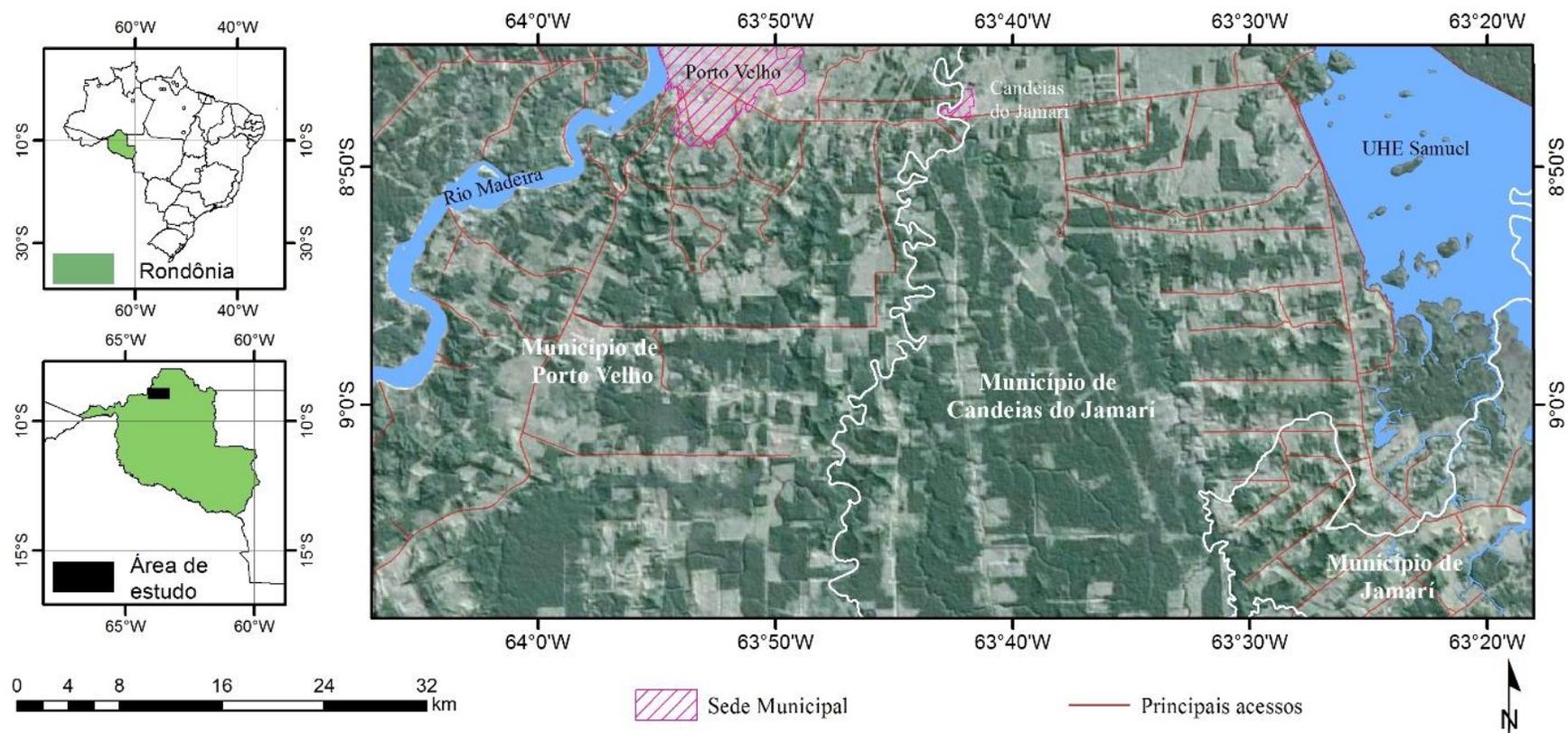
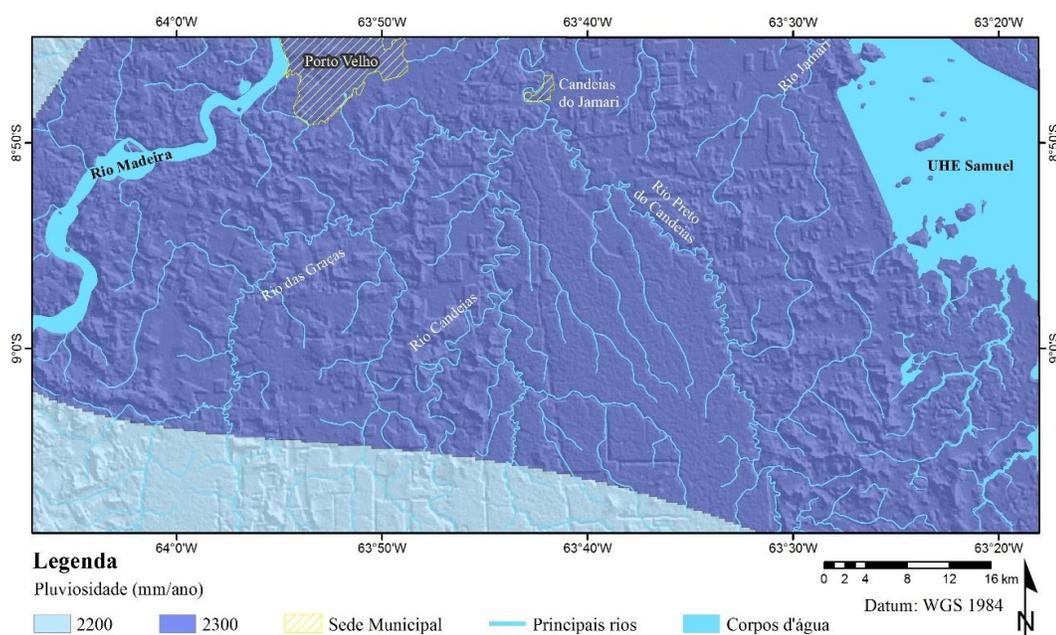


Figura 1 – Localização da área de estudo.

3.2.1 Paleoclima

O clima hoje na Amazônia é quente e úmido, embora este comportamento não tenha sido uma constância durante os últimos 15.000 anos. Segundo Fisch *et al.* (1998) houve alternância de climas com conseqüente troca de vegetação de floresta para savanas, durante os períodos de clima mais frio e seco. Observações de pólen (Absy, 1985) encontradas em sedimentos indicam que, durante parte do Holoceno (entre 5.000 e 3.000 anos passados), grandes áreas de savanas existiam na Amazônia, aonde atualmente existe floresta. O autor sugere que ocorreram grandes variações de precipitação na região, causando o abaixamento (e em alguns casos seca) de rios amazônicos, com mudanças significativas na fauna e flora.

Em relação aos climas do Cenozoico, as crostas lateríticas são testemunhos importantes da alternância de climas secos e úmidos (Costa 1991, 2007; Bardossy e Aleva 1990 e Tardy *et al.*, 1991; Truckenbrodt *et al.*, 1982). Para Costa (2007), as extensas crostas lateríticas ferruginosas da Amazônia mostram que em várias de suas áreas instalou-se por longo tempo clima semi-árido e cobertura de savana, enquanto em outras, com formações lateríticas encimadas por espessos pacotes de latossolos, dominou longo período de clima tropical quente e úmido, com densa cobertura florestal. Costa (2007) destaca que os perfis lateríticos da Amazônia, se desenvolveram basicamente a partir do limiar Mesozóico-Cenozóico, mas principalmente do Paleoceno ao Eoceno, com retomadas no Mioceno e no Pleistoceno evidenciando a alternância de períodos úmidos (alteração da rocha por processos intempéricos) e secos (endurecimento do perfil alterado).



3.3. Hidrografia

O principal rio da área é rio Madeira, considerado atualmente o 4º maior rio do mundo, se destaca da área de estudo. É o receptor de todos os rios que nascem no Estado de Rondônia. No trecho estudado, o rio Madeira encontra-se encaixado em terrenos rochosos e apresenta várias corredeiras ou cachoeiras que atualmente se encontram dentro do lago da hidrelétrica de Santo Antônio, localizado no perímetro urbano da cidade de Porto Velho. A citada hidrelétrica gera atualmente 2.861,3 megawatts de energia que beneficia consumidores locais e abastece também o sistema Acre-Rondônia, atendendo cerca de 70% do consumo total dos dois estados (SANTO ANTONIO ENERGIA, 2016).

Outros rios importantes presentes na área de estudo são o rio Jamari que recebe o rio Candeias, que por sua vez recebe o rio Preto em sua margem direita e rio das Graças em sua margem esquerda, todos desaguando na margem direita do Madeira (DA SILVA, 2014). O rio Jamari está localizado no nordeste da área de estudo e é o rio de maior influência na área. Seu principal destaque é que seu fluxo é interrompido pela Barragem de Samuel, formando um lago artificial, na porção nordeste da área de estudo.

O rio Candeias, afluente do rio Jamari, nasce na direção sul da área de estudo, na Serra dos Pacaás, percorrendo, entre outros, os municípios de Candeias do Jamari e Porto Velho. O rio das Graças nasce na direção sudoeste da área e tem um comprimento médio de 90 km (DA SILVA, 2014), Figura 3. O Complexo Hidrelétrico de Samuel tem um dique de 45 m e potência instalada de 216,0 megawatts, fornece eletricidade a 90% do estado de Rondônia. É uma importante feição da área e representa um marco histórico para o estado de Rondônia, pois propiciou a criação do município Candeias do Jamari (Eletrobras Eletronorte).

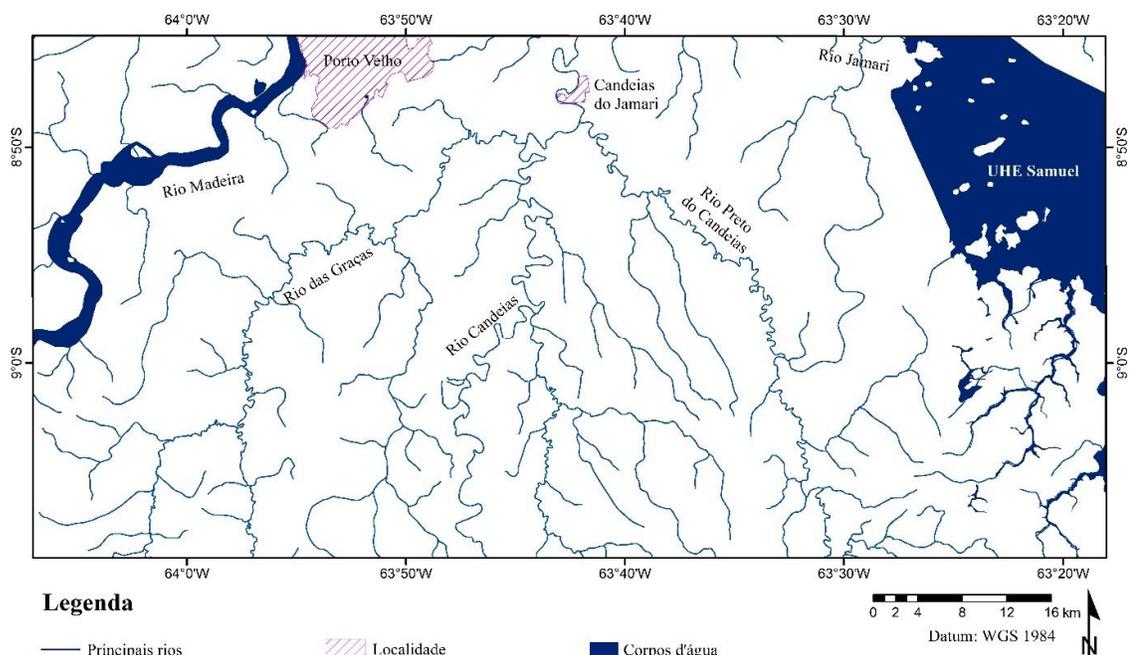


Figura 3 – Mapa hidrográfico da área de estudo. Modificado de Rondônia (2002).

3.4. Geologia

A região norte do estado de Rondônia está localizada na porção sudoeste do cráton amazônico, mais especificamente na província Rondônia-Juruena que se estende desde o extremo oeste de Rondônia e vai até o alto curso do rio Teles Pires a leste e é constituída pelos domínios Roosevelt-Juruena e Jamari (QUADROS e RIZZOTTO, 2007). A área em estudo está inserida no Domínio Jamari que ocorre na porção centro-ocidental de Rondônia. Segundo Quadros e Rizzotto (2007), o domínio é composto por tonalitos, quartzo-dioritos, granitos, anfíbolitos e rochas supracrustais subordinadas, com rochas ortoderivadas com idades entre 1,76 e 1,73 Ga, ocorrendo como núcleos antigos (*inliers*) parcialmente preservados do retrabalhamento crustal resultante de orogenias mais novas. Na área em estudo a unidade mais antiga é o Complexo Jamari que é constituído por ortognaisses tonalíticos e quartzo-dioríticos com intercalações subordinadas de lentes de enderbitos, gnaisses calcissilicáticos e raros anfíbolitos, Figura 4 (QUADROS e RIZZOTTO, 2007). A Suíte Intrusiva Serra da Providência é constituída por granito rapakivi (biotita sienogranito, anfibólio-biotita monzogranito), mangerito, charnockito, e rochas máficas associadas, com trama isotrópica a foliada, Figura 5. A mais antiga idade registrada foi de 1606 ± 24 Ma (U-Pb), e a mais recente foi de 1532 ± 5 Ma (BETTENCOURT *et al.* 1999).

Por sua vez, a Suíte Intrusiva Santo Antônio tem três variedades de rochas graníticas com evidências de interação com magmas máficos (PAYOLLA, 1994). A suíte é constituída por

biotita monzogranito grosso, equigranular a porfirítico e sienogranito com esparsas texturas rapakivi e anti-rapakivi; biotita monzogranito e quartzo monzonito, Figura 6. Outros litotipos associados à suíte são diques pegmatíticos e aplíticos, rochas híbridas e diques de diabásio sin-plutônicos. Segundo Quadros e Rizzotto (2007) a suíte ocorre na forma de batólito descontínuo que aflora de forma restrita na antiga cachoeira de Santo Antônio e na margem direita do rio Madeira, atualmente submersa pelas águas da barragem homônima. A idade de cristalização interpretada por Rizzotto e Quadros (2005) foi de 1358 ± 2 Ma.

A Suíte Intrusiva Teotônio inclui três tipos de rochas que compreendem microclínio granitos de granulação grossa; microclínio granitos bandados de granulação média e microclínio-quartzo sienitos e sienogranitos médios a grossos, Figura 7 (PAYOLLA, 1994). Segundo Tosdal *et al.* (1995), a idade de cristalização é de 1387 ± 16 Ma.



Figura 4 - Ortognaisse quartzo-diorítico, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007).

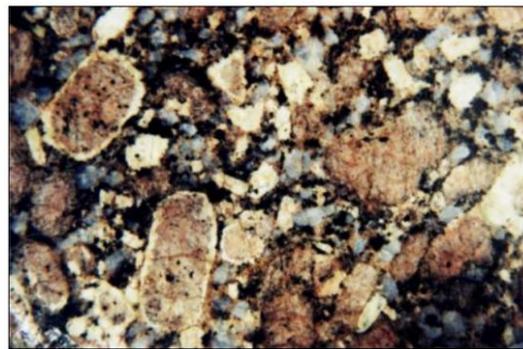


Figura 5 - Piterlito com textura rapakivi, Suíte Intrusiva Serra da Providência, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007).



Figura 6 - Feição textural do monzogranito da Suíte Intrusiva Santo Antônio, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007).



Figura 7 - Dique sin-plutônico de composição quartzo-sienítica (Cachoeira do Teotônio no Rio Madeira), retirado de Quadros e Rizzotto (2007)

A unidade denominada coberturas detrito-lateríticas compreendem crostas lateríticas ferruginosas, com ou sem perfis completos, e depósitos resultantes de seu dismantelamento. Quando em perfis completos e preservados, sustentam grande parte do relevo e, em áreas onde

a porção superior do perfil é mais espessa, endurecida e com maior incisão da drenagem, formam platôs. A porção superior dos perfis é, em geral, colunar/concrecionário. Nas encostas aflora a parte intermediária dos perfis, caracterizada por horizonte mosqueado parcialmente coberto por colúvios/alúvios areno-argilosos. Além de perfis ferruginosos, incluem-se na unidade colúvios compostos por clastos angulosos de quartzo leitoso além de nódulos e pisólitos por vezes cobertos por Latossolos (Figura 8).



Figura 8 – A) Aspecto do relevo em forma de platôs constituídos por crostas lateríticas. As setas indicam platôs com diferenças de altitudes com a planície de até 30 m. B) Estrutura colunar. C) Horizonte desmantelado sotoposto por horizonte rico em matéria orgânica.

A unidade denominada “Terraços Fluviais” é constituída por sedimentos mal selecionados representados por cascalho, areia, argila e níveis de turfa, posicionados acima do nível médio das águas dos rios atuais. Representam antigas planícies de inundação e canais fluviais semelhantes aos atuais, ativos durante períodos quentes do Pleistoceno e tem alto potencial para ouro, em particular nos níveis de cascalho (QUADROS e RIZZOTTO, 2007).

Sob a denominação de Formação Rio Madeira, Rizzotto e Quadros (2005) reúnem os depósitos sedimentares resultantes da formação e evolução do leito ativo e planície de inundação do rio Madeira, com a formação de sucessivos depósitos de barra de canal

longitudinal e transversal, em pontal, de diques marginais e planícies de inundação, que ocorrem nas margens do rio Madeira e na Bacia de Abunã. A Formação Rio Madeira é representada por sedimentos por vezes semi-consolidados, constituídos por cascalhos e areias grossas, mal selecionadas, estratificadas e ferruginizadas, bem como argilas maciças a laminadas com restos vegetais, Figura 9 (RIZZOTTO e QUADROS, 2005; QUADROS *et al.*, 2006; RIZZOTTO *et al.*, 2006).



Figura 9 – Argilas siltosas e silte no nível inferior e areia ferruginosa na parte superior, Formação Rio Madeira, retirado de Quadros e Rizzotto, (2007).

As coberturas sedimentares indiferenciadas são de idade pliopleistocênica e interpretadas como de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lacustres, constituídas de uma variedade de materiais que vão desde cascalhos até argilas, (SCANDOLARA, 1999), A distribuição geológica da área encontra-se na Figura 10.

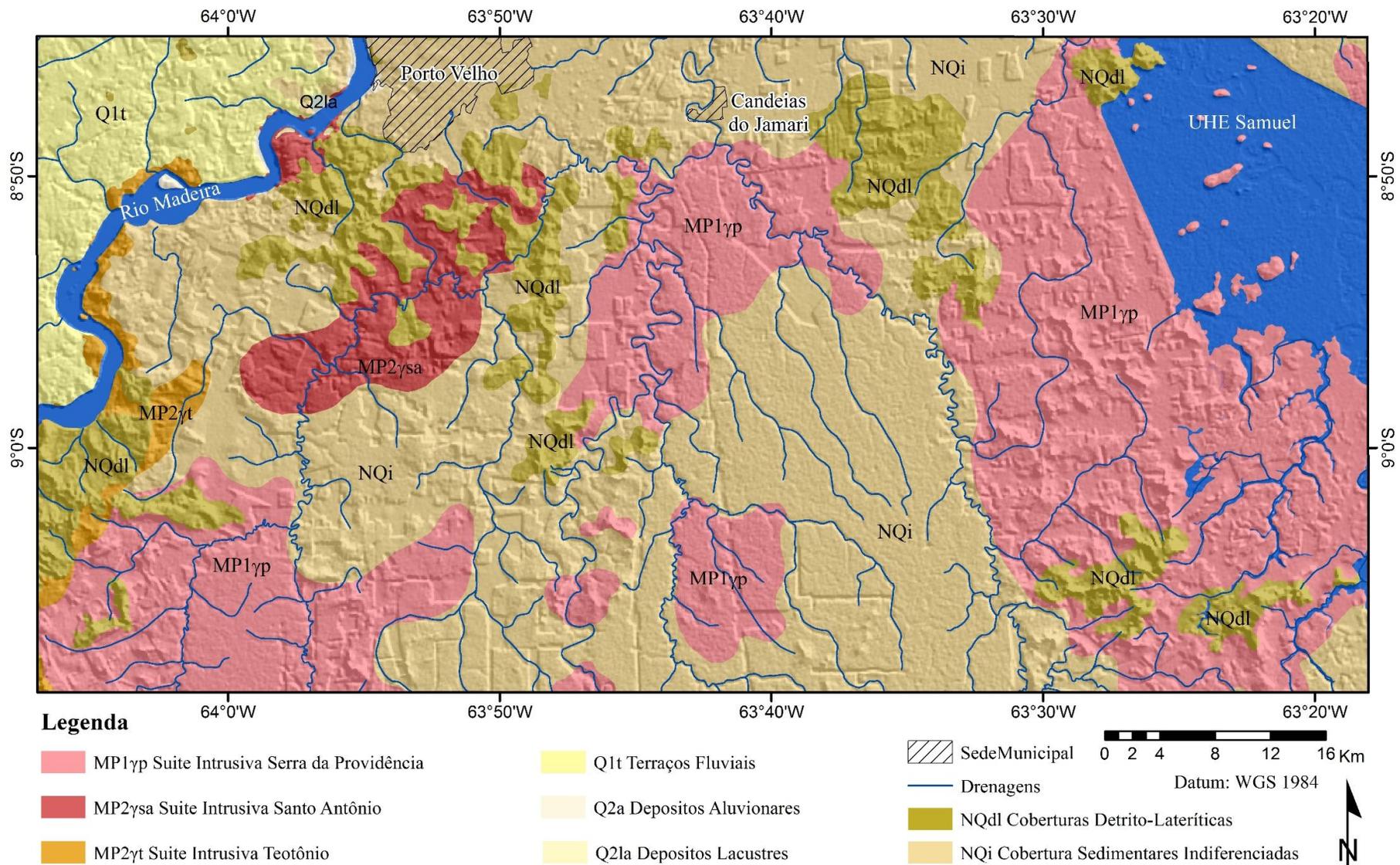


Figura 10 – Mapa geológico da área, modificado de Quadros e Rizzotto, (2007).

3.5. Geomorfologia

A área de estudo é representada por várias unidades geomorfológicas, dentre das quais destacam-se as de origem denudacional e agradacional e está inserida no Planalto Rebaixado de Rondônia, contendo depósitos terciários e quaternários (ADAMY e ROMANINI, 1990). As descrições a seguir foram modificadas de Rondônia (2002). Os intervalos altimétricos foram definidos de acordo com os dados MDT e confirmados com os dados de campo, Figura 11.

Unidades Agradacionais – A

- Depressões, Lagos, Deltas/Cones e Pântanos – A1

A12 – Lagos: localizadas no sudeste da área e correspondem a pequenos corpos de água naturais com formatos irregulares.

A121 – Lagos artificiais: localizado na porção nordeste da área, formado pela Usina Hidrelétrica de Samuel.

A14 – Áreas alagadas: correspondem a áreas alagadas, descontínuas presentes na extensa área delimitada como terraço da margem direita do rio Madeira.

- Terraços Fluviais – A2

A211 – Terraços Altos não dissecados: representados por depósitos antigos de origem fluvial, que atualmente se encontram acima do nível da planície fluvial. Estão localizadas em altitudes de até 120 m sobre o nível do mar, na porção oeste e noroeste da área de estudo.

A222 – Terraços baixos com presença de leitos abandonados e pântanos: presentes ao longo da margem esquerda do rio Madeira próximos às planícies de inundação, no noroeste da área de estudo.

- Planícies inundáveis e Vales – A3

A31 – Rios Principais: ocorre ao longo de rio mais importante, o Madeira, que se apresenta com sinuosidade e numerosos trechos retilíneos. As áreas são poucos expressivas, localizando-se dentro do canal formando ilhas. São formadas por sedimentos aluviais, constituindo-se em aluviões atuais.

A32 – Rios Secundários: ocorrem ao longo dos rios Candeias e rio Preto do Candeias na porção central da área e ao longo do rio Jamari na porção nordeste, próximo à Usina de Samuel.

Unidades Denudacionais – D

- Superfícies de aplanamento – D2

D2210 – Nível II (Altitudes entre 80 e 120 m) com Relevo plano e evidências de superfícies com couraças ferruginosas. Ocorre no limite noroeste da área, à margem esquerda do rio Madeira.

D2211 – Nível II (altitudes entre 80 m e 120 m) com dissecação baixa e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors*. Ocorrem na porção central da área e ao sul da Usina de Samuel. Estas superfícies de aplanamento estão formadas sobre diferentes litologias em função da sua variabilidade espacial.

D2212 – Nível II (altitudes entre 80 m e 204 m) com dissecação baixa e muitos *tors* e *hillocks* residuais. Ocorre na maior parte da área, na região sul da cidade de Porto Velho, na margem direita do rio Madeira, e ao oeste da Usina de Samuel. Correspondem a superfícies planas com muitos *inselbergs*, e com drenagem de padrão subdendrítico e baixa densidade.

D2221 – Nível II (altitudes entre 60 e 100 m) com dissecação média e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors*. Ocorre na porção norte da área, incluindo a cidade de Porto Velho e a porção o nordeste da Usina de Samuel. Correspondem a superfícies planas com esporádicos ou nenhum *inselberg*, sendo dissecada pelo sistema fluvial.

A área está representada por um significativo domínio plano com altitudes variando entre 60 e 120 m, contudo alguns setores apresentam relevo com topo plano, extensões variadas e altitudes entre 120 e 204 m que representam predominantemente platôs ou mais raramente agrupamentos de colinas e morros dissecados, representados por *hillocks* e *tors* graníticos. As crostas lateríticas associadas a morros com topo plano, ocorrem predominantemente entre as altitudes 120 e 150 m, mas podem ocorrer nos intervalos entre 180 e 204 m, todas com declividades inferiores a 2% e densidade de drenagem muito baixa. Os afloramentos mais expressivos ocorrem em cortes de estradas e têm até 6 m de altura, preferencialmente associados a platôs (HERRERA, *et al.*, 2016).

As regiões com altitudes abaixo de 110 m, especialmente aquelas localizadas na margem esquerda do rio Madeira nos limites da cidade de Porto Velho, são caracterizadas por superfícies planas e levemente onduladas com eventuais áreas alagadas. Nestas áreas há registros de ocorrência de crostas lateríticas (domínios A211, D2210, D2221), entretanto não formam relevo regionalmente expressivo (platôs), Figura 11.

Por outro lado, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística disponibiliza outro mapa geomorfológico de Rondônia (Figura 12), no qual destacam-se cinco unidades geomorfológicas com seus respectivos domínios, parcialmente modificadas de IBGE (2013):

- Planície Amazônica:

151Atf – Acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior. Ocorre de forma restrita ao longo da margem esquerda do rio Madeira na porção centro-oeste da área de estudo.

151Dir – Afloramento de rochas no leito do rio, constituindo ilhas. Na área de estudo ocorrem de forma restrita ao longo do rio Madeira.

- Depressão do Ituxi – Jari

246Dc21 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos convexos, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural, com densidade de drenagem baixa. Ocorre em uma extensa área na margem esquerda do rio Madeira no noroeste da área em altitudes entre 60 e 120 m.

246Dc32 – Tem a mesma descrição que a unidade anterior mas com densidade de drenagem média. Ocorrem ao longo do rio Madeira na sua margem esquerda no noroeste da área, em altitudes entre 60 e 110 m.

246Dt21 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e pequenas elevações esculpidas em coberturas residuais, com densidade de drenagem baixa. Ocorre na porção centro-oeste da área, na margem esquerda do rio Madeira, em altitudes entre 70 e 110 m.

- Depressão de Porto Velho

262Dc32 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos convexos, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural, com densidade de drenagem média. Ocorre ao longo da margem direita do rio Madeira, ao sul da cidade de Porto Velho, em altitudes entre 60 e 150 m.

262Dt11 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e pequenas elevações esculpidas em coberturas residuais, denotando eventual controle estrutural, com densidade de drenagem muito baixa.

Ocorre numa vasta região no centro e no leste da área, incluindo a área da cidade de Candeias do Jamari, em altitudes entre 70 e 150 m.

262Dt21 – Dissecação tabular com densidade de drenagem baixa. Ocorre numa porção ao oeste da área, cobrindo a área da cidade de Porto Velho se estendendo para o sudoeste da região estudada, em altitudes entre 70 e 150 m..

262Dt33 – Dissecação tabular com densidade de drenagem média. Ocorrem em áreas restritas dentro da unidade geomorfológica 262Dt11, se destacando pelas altitudes apresentadas por essas áreas, em altitudes entre 100 e 204 m.

- Depressão do Madeira – Ji-Paraná

263Dc11 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural, com densidade de drenagem muito baixa. Ocorre ao longo da margem direita do rio Madeira na porção sudoeste da área de estudo, em altitudes entre 70 e 150 m.

263Dt11 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e pequenas elevações esculpidas em coberturas sedimentares, denotando eventual controle estrutural, com densidade de drenagem muito baixa. Ocorrem na porção sudoeste da área, em altitudes entre 80 e 150 m.

- Planaltos Residuais do Madeira – Ji-Paraná

257Da33 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos aguçados e alongados, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, denotando controle estrutural, definidas por vales encaixados, com densidade de drenagem média. Ocorre numa área muito restrita no limite sudoeste da área, em altitudes entre 110 e 170 m.

257Dt33 – Dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e pequenas elevações esculpidas em coberturas sedimentares, denotando eventual controle estrutural, com densidade de drenagem média. Ocorre numa área restrita no sudoeste da área, em altitudes entre 90 e 160 m.

257Pgu – Superfície de aplanamento degradada em função da mudança do sistema morfoгенético, apresentando topos conservados, separados por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplanamento, de dissecação e/ou de dissolução. Ocorre restritamente na porção sudoeste da área limitado a leste pela unidade 262Dt21 e a oeste pela unidade 263dc11, em altitudes entre 80 e 160m.

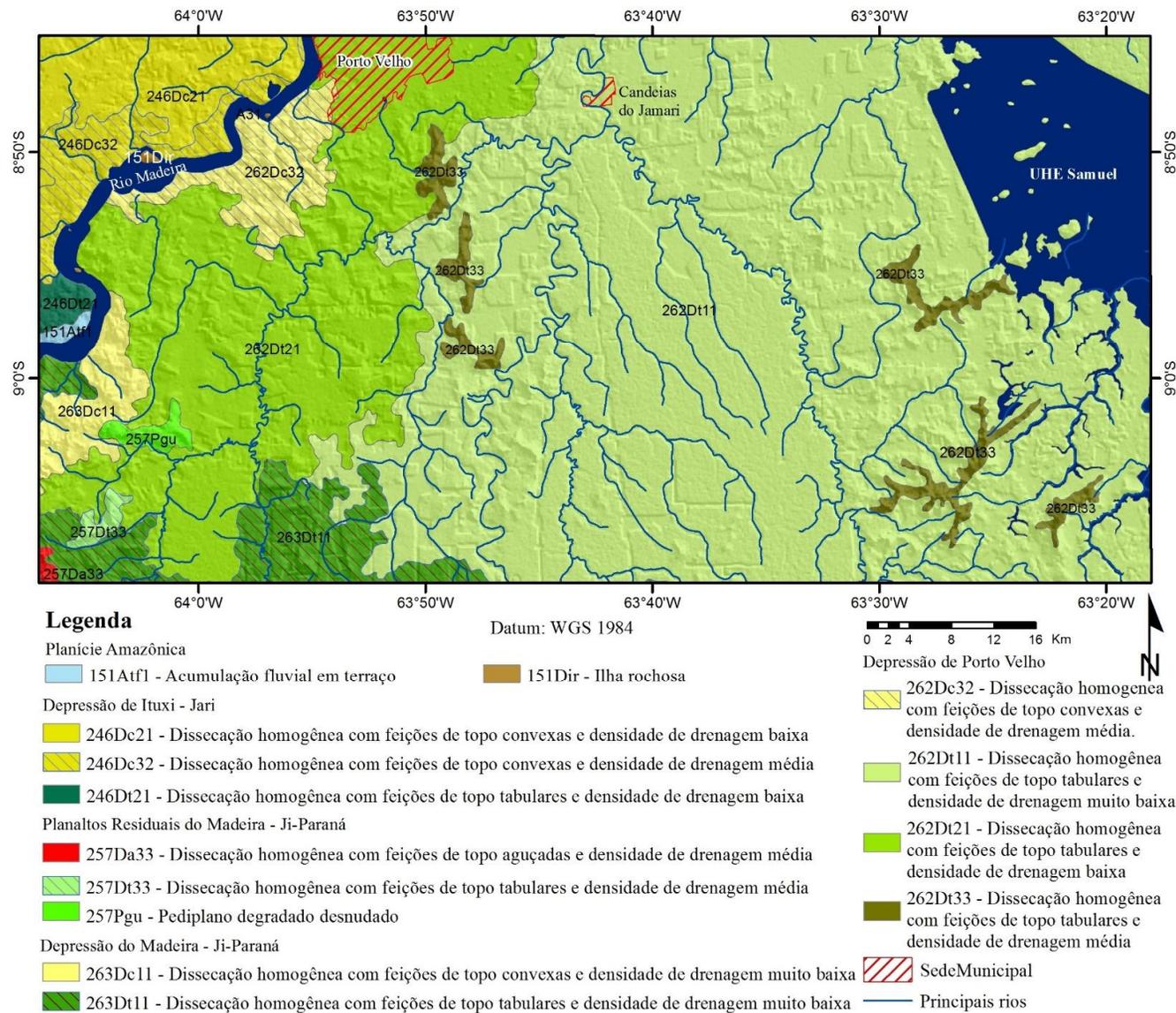


Figura 12 – Mapa geomorfológico da área de estudo, modificado de IBGE (2013).

3.6. Solo

A área é constituída por Cambissolos, Gleissolos e Latossolos. A Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM (PLANAFLORO, 2002) classificou os solos da área de acordo com itens a seguir, Figura 13.

- Cambissolos

Apresentam o horizonte “câmbico”, que contém boa proporção de minerais intemperizáveis e são pouco a moderadamente profundos. Desenvolveram-se a partir de rochas ácidas com baixa fertilidade. Seu relevo e suas características físicas fazem deles solos suscetíveis à erosão.

CD5 - Cambissolos distróficos, 0-2%, bem drenados e argilosos. Ocorrem na margem esquerda ao longo do rio Madeira e em extensas regiões ao sudoeste da área.

- Gleissolos

São solos que ocorrem em regiões com excesso de água. A drenagem é precária com déficit de oxigênio restringindo o crescimento vegetal, apesar de existirem espécies adaptadas tais como arroz, juta, algumas palmeiras, pastagem e forrageiras. Devido ao permanente estado de redução, há excesso de hidróxido de ferro, e, como consequência, dificulta o crescimento de espécies tolerantes à inundação.

Em Rondônia, muitos desses solos se desenvolveram a partir de depósitos aluviais ao longo dos rios. Além da restrição decorrente do excesso de umidade, apresentam baixa fertilidade, pH baixo e altos níveis de saturação de alumínio.

GD2 – Gleissolos Distróficos: 0-2%, mal drenados e argilosos. Ocorrem no limite noroeste da área de estudo de forma restrita, na margem direita do rio Madeira.

GD6 – Gleissolos Distróficos: 0-2%, mal drenados e argilosos. Ocorrem de forma restrita no sul da área, associado ao rio Candeias.

GE1 – Gleissolos Eutróficos: 0-2%, mal drenados e argilosos. Ocorre de forma muito restrita no rio Madeira associado a afloramentos rochosos.

- Latossolos

Os Latossolos predominam no Estado e apresentam um horizonte B ôxico e/ou kândico. Geralmente, são solos bastante intemperizados, apresentando, como principais minerais os derivados da argila, caulinita e gibbissita, 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 adsorvidos.

Três grupos de Latossolos são reconhecidos na área de estudo: Amarelo, Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, Figura 13.

Os Latossolos Amarelos são frequentes. Caracterizam-se pelos altos conteúdos de caulinita e hidróxidos de alumínio. A sua drenagem é, em geral, menos eficiente do que aquela que caracteriza os Latossolos Vermelhos, apresentando condições de oxigenação deficientes. Do ponto de vista da fertilidade, são pobres, ácidos e geralmente distróficos e álicos.

LAD1 – Latossolos Amarelos Distróficos: 0-2%, bem drenados e argilosos. Ocorrem na região leste da área, nos arredores da hidrelétrica de Samuel, de forma extensa no sul e na margem direita da hidrelétrica e de forma restrita dentro da área da barragem.

LAD3 – Latossolos Amarelos Distróficos: 0-2%, mal drenados e argilosos. Ocorrem na região leste da área, ao sul da hidrelétrica de Samuel em conjunto com o LAD1.

LAD5 – Latossolos Amarelos Distróficos: 2-8%, bem drenados e argilosos. Ocorrem na região oeste da área, na margem esquerda do rio Madeira.

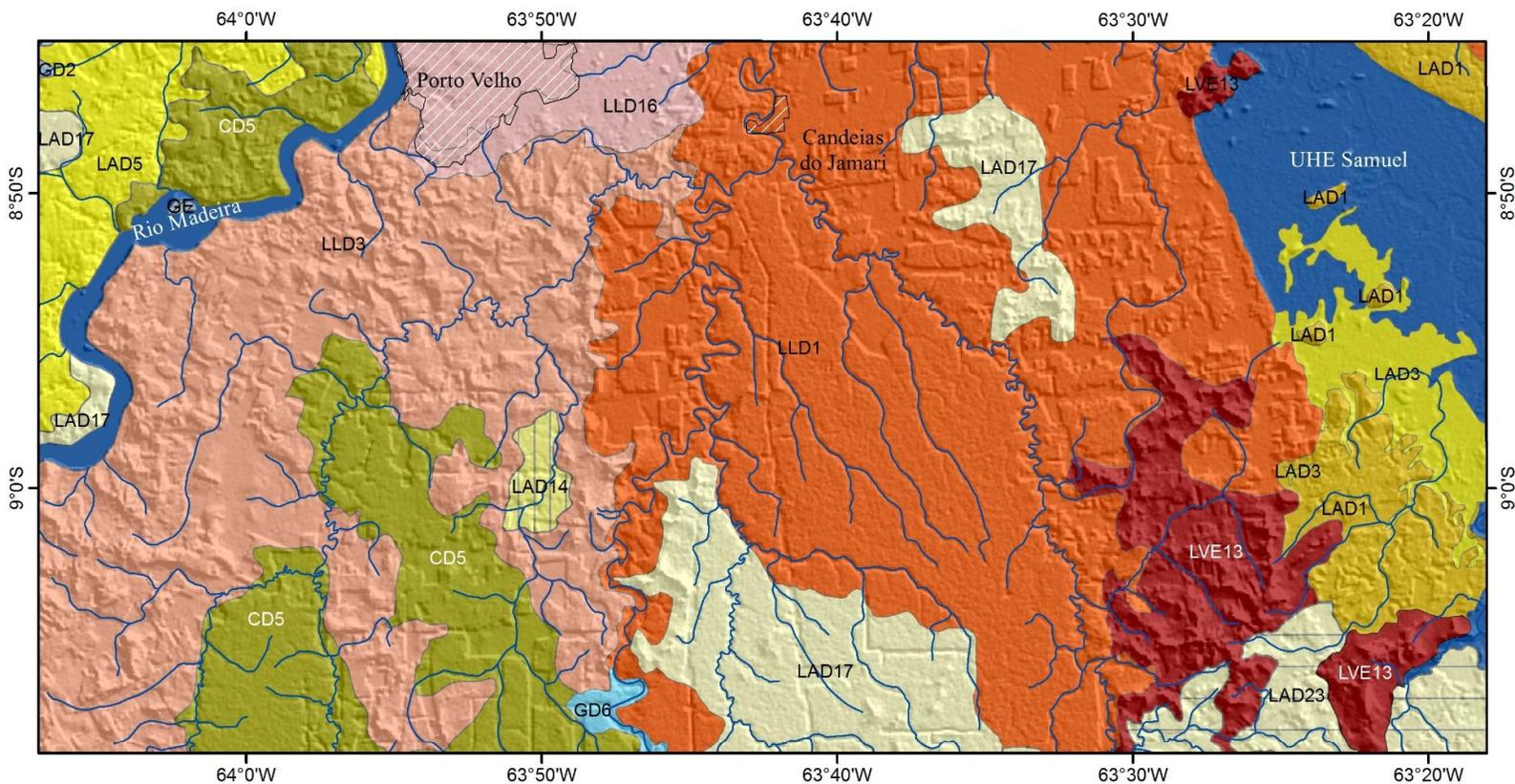
LAD14 – Latossolos Amarelos Distróficos: 2-8%, bem drenados e argilosos. Ocorrem numa área restrita no centro da área, envolvido por Latossolos Amarelo-Vermelhos.

LAD17 – Latossolos Amarelos Distróficos: 2-8%, bem drenados e francos. Ocorrem numa área extensa no sul, de forma restrita na margem esquerda do rio Madeira e numa área no centro envolvida por Latossolos amarelos-vermelhos, nas proximidades da cidade de Candeias do Jamari.

LAD23 – Latossolos Amarelos Distróficos: 0-2%, bem drenados e argilosos. Ocorrem no limite sudeste da área envolvido por Latossolos vermelhos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos e os Vermelho-Escuros ocupam uma extensão territorial menor no Estado. Esses dois grupos de solos são, geralmente, pobres, ácidos, álicos e distróficos, embora seja possível encontrar áreas com solos de melhores características.

LLD1 – Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem drenados e argilosos. Ocorrem em uma extensa área na porção central envolvendo a cidade de Candeias do Jamari.



LEGENDA

- CD5 Cambissolo Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso
- GD2 Gleissolo Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso
- GD6 Gleissolo Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso
- GE1 Gleissolo Eutrófico: 0-2%, mal dren., argiloso
- LAD1 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso
- LAD3 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso
- LAD5 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., argiloso
- LAD14 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., argiloso

- SedeMunicipal
- Drenagens
- LAD17 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., franco
- LAD23 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso
- LLD1 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem dren., argiloso
- LLD3 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 2-8%, bem dren., franco
- LLD16 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem dren., argiloso
- LVE13 Latossolos Vermelho-Escuros Eutróficos: 2-8%, bem dren., argiloso, lig. pedregoso

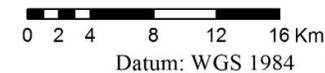


Figura 13 – Mapa de solos da área de estudo, modificado de Rondônia (2002).

LLD3 – Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 2-8%, bem drenados e francos. Ocorrem em uma vasta área na porção oeste, estendendo-se desde o sul de Porto Velho bordeando a margem direita do rio Madeira.

LLD16 – Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem drenados e argilosos. Ocorrem em uma pequena área no leste da cidade de Porto Velho.

LVE13 – Latossolos Vermelho-Escuros Eutróficos: 2-8%, bem drenados, argilosos e ligeiramente pedregosos. Ocorrem ao sudeste da área e no limite norte do complexo de Samuel.

3.7. Vegetação e uso da terra

Em relação à cobertura vegetal na área de estudo, existem regiões de floresta, porém, há vastas regiões de desmatamento para o aproveitamento das terras. A seguir apresentam-se os mapas de vegetação e uso e ocupação das terras, Figura 14 e Figura 15. As unidades observadas no mapa são descritas a seguir, segundo Rondônia (2002).

Áreas Desmatadas: São áreas urbanas, cidades de Porto Velho e Candeias do Jamari, e ocorrem em cerca de 50% da área de estudo, na região norte, sudeste e sudoeste. Coincidem também com áreas de pastagem, áreas agropastoris, área de extrativismo e áreas de ocupação ribeirinha.

Ab – Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas: ocorrem em áreas restritas na porção centro-oeste e no leste.

As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana: ocorrem na região sul da área de estudo.

Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana: ocorrem em áreas restritas no sul da área.

Pb – Formação Pioneira sob influência Fluvial Arbustiva: ocorrem no sudoeste da área.

SO – Contato Savana/Floresta Ombrófila: ocorrem na margem esquerda do rio Madeira.

Em relação ao uso e ocupação da terra, segundo Rondônia (2002), a área é classificada da seguinte forma, Figura 15:

AS – Áreas de Silvicultura: localizadas de forma restrita na região central e sul da área.

AU – Área Urbana: representando a região de Porto Velho e Candeias do Jamari.

E – Extrativismo: ocorre em uma área localizada entre Porto Velho e Candeias do Jamari.

F – Floresta: Compõe grande parte da área. Ocorre predominantemente no centro sul da área, adjacências da Hidrelétrica de Samuel e parte significativa da margem esquerda do rio Madeira.

GP – Área Agropastoril: Localizada principalmente sobre a Br-364 e alguns acessos secundários, e em grande parte coincidentes com áreas desmatadas.

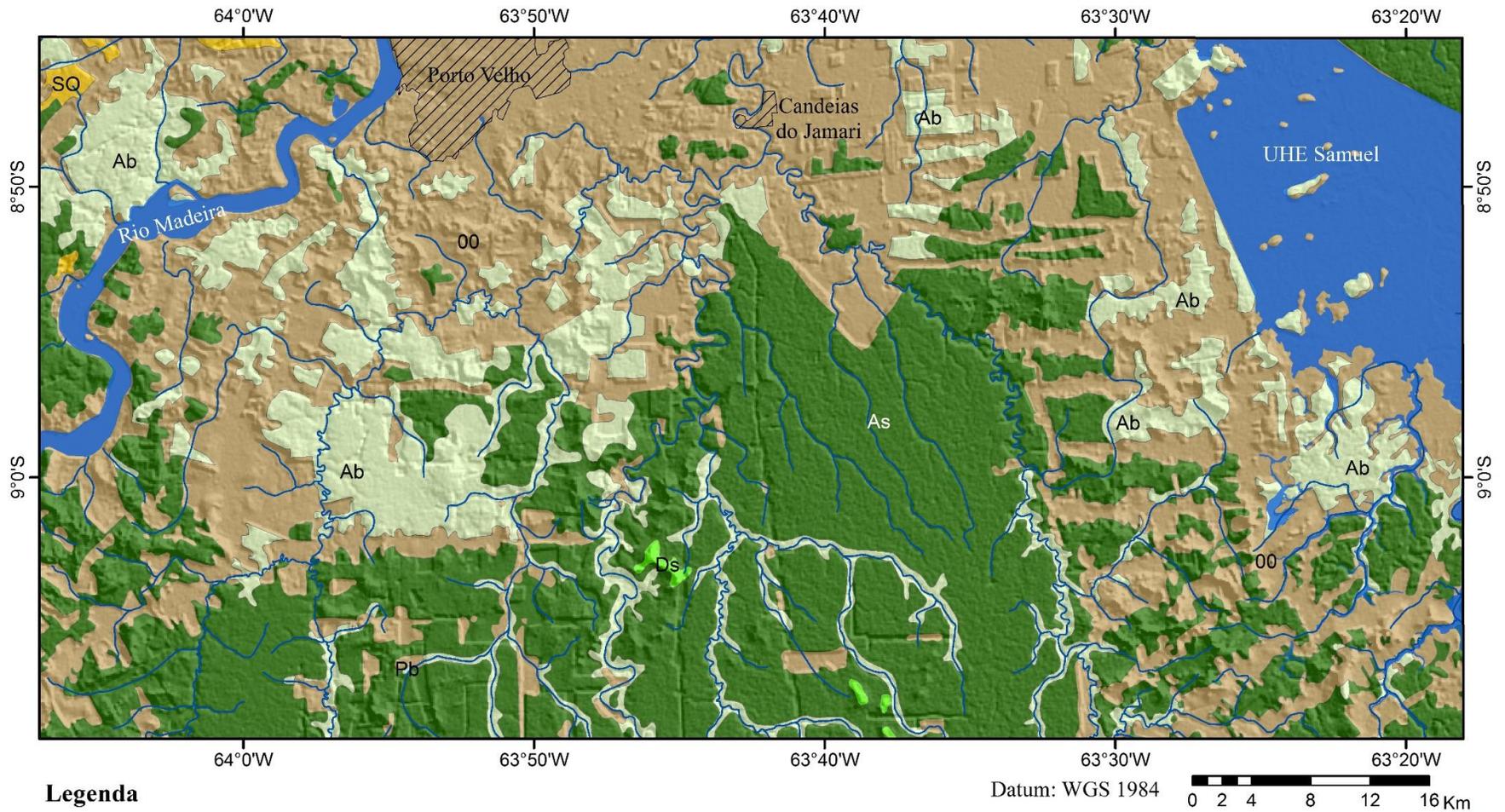


Figura 14 – Mapa de cobertura vegetal da área de estudo, modificado de Rondônia, (2002).

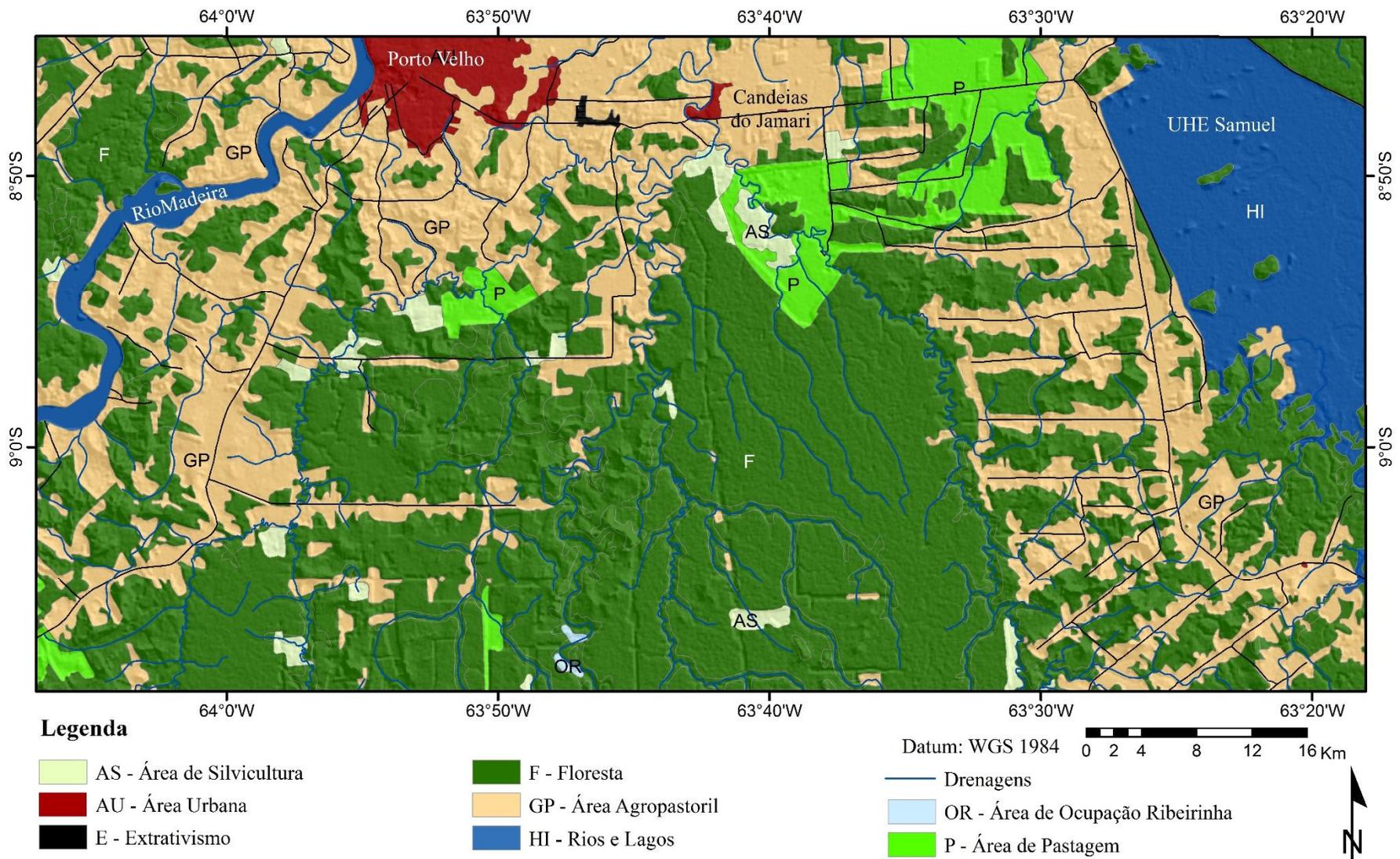


Figura 15 – Mapa de uso e ocupação das terras da área de estudo. Modificado de Rondônia, (2002).

HI – Rios e Lagos

OR – Área de ocupação Ribeirinha: Localizadas em pequenas áreas associadas ao rio Candeias.

P – Área de pastagem: Ocorre em uma área no centro-leste da região, assim como em áreas menores no sul e sudoeste da área de estudo.

3.8. Aptidão Agrícola

Em relação à aptidão agrícola, Rondônia (2002) divide a área conforme a Figura 16.

2,2: 2ab(c). 2ab - Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Ocupam uma área no sudeste em áreas de Latossolo vermelho escuro, onde podem ser observados níveis de couraças ferruginosas, com altitudes entre 180 e 200m.

2,6: 2(ab)c, 2(b)c, 2c - Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Ocupam uma grande área na porção central envolvendo as cidades de Candeias do Jamari e Porto Velho, e uma área na margem esquerda do rio Madeira. São áreas de Latossolo vermelho-amarelo argiloso.

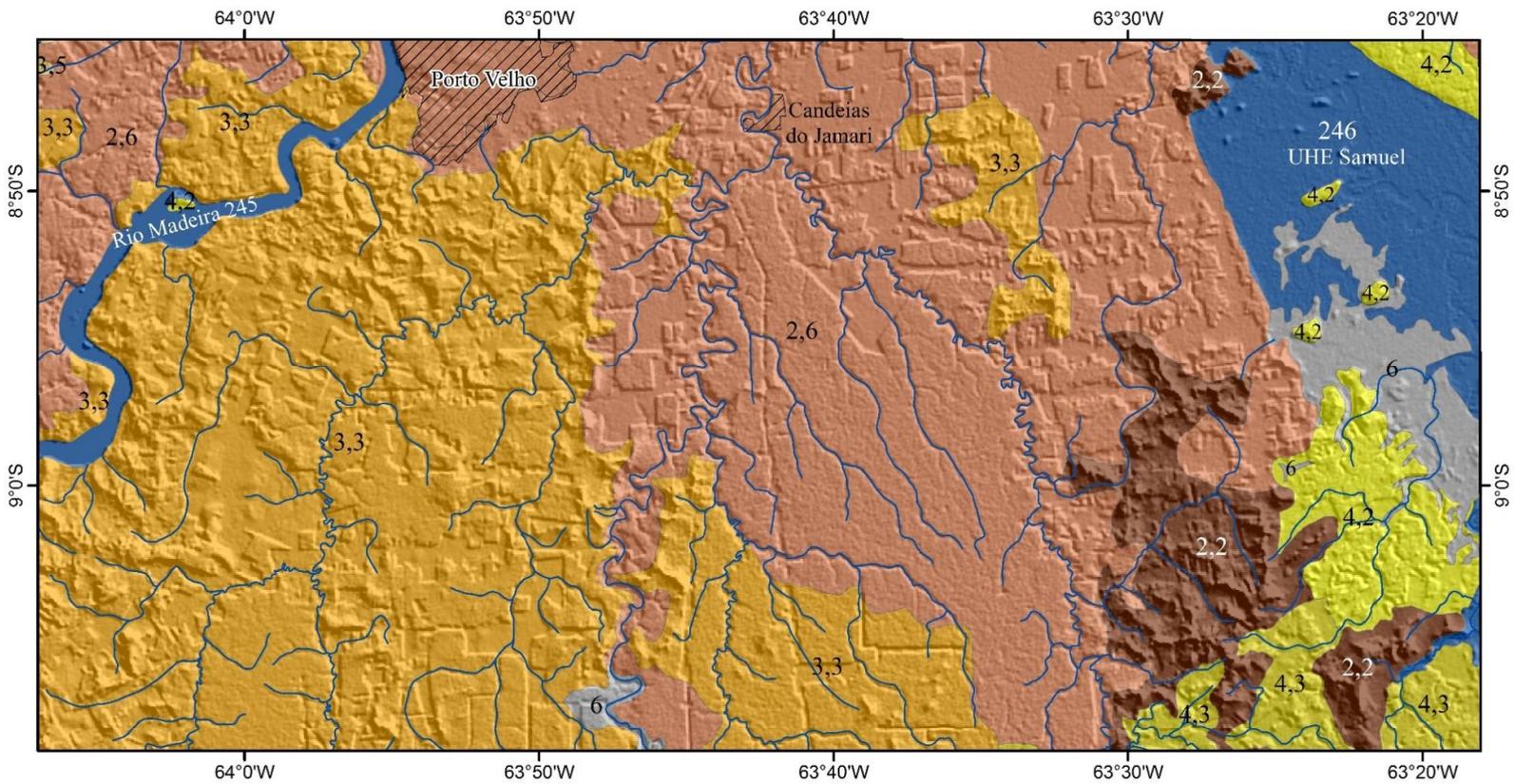
3,3: 3(bc) - Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Ocupa grande parte da área, na porção oeste e sul, estando presente também em uma área entre a cidade de Candeias do Jamari e o Complexo Hidrelétrico de Samuel. São áreas de Latossolo vermelho-amarelo franco, Latossolo amarelos e Cambissolo.

3,5: 3(b) - Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Ocupam uma área de forma muito restrita na margem esquerda do rio Madeira, no limite noroeste da área de estudo.

4,2: 4p - Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada. Ocupam áreas de Latossolo amarelo bem drenados ao leste e nordeste da área de estudo, nas proximidades do Complexo Hidrelétrico de Samuel.

4,3: 4(p) - Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada. Ocupam uma área no sudeste da área onde estão presentes solos amarelos argilosos.

6 - Terras sem aptidão para uso agrícola. Ocupam áreas de Latossolo amarelo mal drenado ao sul do Complexo Hidrelétrico de Samuel, e uma área restrita no sul, associado ao rio Candeias.



Legenda

- 2,2: 2ab(c). 2ab - Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C
- 2,6: 2(ab)c, 2(b)c, 2c - Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C
- 3,3: 3(bc) - Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C
- 3,5: 3(b) - Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C
- 4,2: 4p - Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada

- 4,3: 4(p) - Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada
- 6 - Terras sem aptidão para uso agrícola
- 245 - Rios
- 246 - Lagos
- Sede Municipal
- Drenagens

Datum: WGS 1984



Figura 16 – Mapa de aptidão agrícola da área de estudo, modificado de Rondônia, (2002).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Materiais

Os trabalhos consideraram a integração e interpretação dos dados altimétricos, geomorfológicos, pedológicos e geológicos preexistentes na área de estudo além dos dados de aerogeofísica. A base de dados altimétricos utilizada neste trabalho foi a do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (NASA, 2000), que consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do Endeavour (ônibus espacial) no ano de 2000. As imagens foram obtidas no endereço eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov> e têm resolução espacial de 90 metros.

A principal base geomorfológica utilizada foi a disponibilizada pela SEDAM (2002) no Projeto Planaflores (1998), junto com as informações de clima, hidrografia, solo, cobertura vegetal, uso e ocupação das terras e aptidão agrícola, além da base geomorfológica do IBGE (2013). Os mapas geológicos utilizados foram aqueles publicados por Quadros e Rizzotto (2007) e Oliveira e Filho (2013) e a partir deles determinou-se os pontos a serem visitados na etapa de campo, em grande parte relacionados às unidades mapeadas como laterítico residual, coberturas detrito-lateríticas, laterítico coluvial e secundariamente as chamadas coberturas indiferenciadas.

Os dados gamaespectrométricos foram obtidos pela FUGRO AIRBORNE SURVEYS para a CPRM por meio do projeto denominado de “Rondônia Central – RO” (CPRM, 2010).

Os parâmetros de execução do levantamento são descritos, resumidamente, a seguir:

- Direção das linhas de voo: N-S
- Espaçamento entre as linhas de voo: 500 m
- Direção das linhas de controle: E-W
- Espaçamento entre as linhas de controle: 10 km
- Intervalo entre medições consecutivas (espectrômetro): 1,0 s
- Altura média de voo: 100 m
- Velocidade aproximada de voo: 264 km/h
- Intervalo de amostragem: 73 m no terreno.

A aeronave utilizada para a aquisição dos dados foi a Cessna C-208B Caravan, prefixo PR-FAM, de propriedade da LASA Prospecções S/A. O trabalho foi realizado no período de 20/09/2009 e 10/04/2010 onde foram adquiridos 125.916,35 km de linhas de voo e 6.268,65 km de linhas de controle. A equipe utilizou como base de operações as cidades de Porto Velho (RO) e Ji-Paraná (RO).

O processamento dos dados foi desenvolvido no escritório da LASA Prospecções S.A. no Rio de Janeiro e envolveu a aplicação das rotinas do sistema Oasis Montaj, versão 8.5, e para tanto foram utilizados interpoladores curvatura mínima com *grids* com células de 125 m. Os principais produtos gerados e utilizados neste trabalho foram: as imagens individuais dos canais do eU, eTh, K e as razões eU/K, eTh/K, no formato GRD, além das composições ternárias: (RGB) K, eTh, eU, e (RGB) eTh/K, MDT, eTh. Esses produtos foram utilizados no processo seguinte que consistiu na modelagem por meio de álgebra de mapas. Todas as imagens foram trabalhadas no datum WGS84.

É importante ressaltar que a umidade e a cobertura vegetal podem influenciar a aquisição de dados gamaespectrométricos. Segundo Minty (1997), a intensidade dos raios gama pode aumentar ou diminuir dependendo das condições de umidade do solo. Os dados de gamaespectrometria foram adquiridos durante o período de seca, entre maio e setembro, assim conclui-se que a umidade teve pouca ou nenhuma influência nos dados finais. Por outro lado, Wilford (1997) afirma que a vegetação pode atenuar os raios gama que chegam ao equipamento, especialmente quando a cobertura vegetal é densa. A área de estudo, de acordo com a Figura 14, encontra-se desmatada em mais de 50%, e as regiões que não fazem parte desse desmatamento são áreas de Floresta Ombrófila Aberta Submontana.

4.2 Procedimentos Metodológicos

O trabalho foi realizado em 3 etapas. A primeira etapa foi realizada com a mesma metodologia utilizada por Herrera *et al.*, (2016) e incluiu os trabalhos de campo, onde foram identificadas áreas de crosta lateríticas já estudadas por trabalhos anteriores, e novas áreas. Esses afloramentos de crostas lateríticas serviram como base para a verificação dos trabalhos realizados nas fases posteriores. Nesta etapa também constou a identificação dos intervalos altimétricos associados à ocorrência de crostas lateríticas, utilizando o MDT da área em conjunto com os pontos visitados em campo. Na segunda etapa utilizaram-se os dados de gamaespectrometria para identificar padrões de respostas associados a crostas lateríticas e ter assim um guia para a definição de áreas favoráveis para a ocorrência de crostas lateríticas. Na

última etapa foi aplicado o método booleano, mais especificamente o método *index overlay*, para ter uma visão quantitativa das áreas de favorabilidade de ocorrência de crostas lateríticas. A partir desses resultados foram feitas as devidas interpretações e sugestões sobre diferentes aspectos importantes relacionados às crostas lateríticas.

4.2.1. Correlação crostas vs altimetria

O software utilizado para o processamento e integração dos dados foi o ArcGis, versão 10.0, onde os mapas geológicos, geomorfológicos, pedológico e topográficos foram sobrepostos com a imagem de relevo (MDT) com o intuito de identificar as principais altitudes associadas às crostas mapeadas e o padrão geomorfológico existente. Já na margem esquerda, as áreas alvo foram definidas através da análise do padrão gamaespectrométrico em conjunto com a altimetria. Após a definição das áreas, foi possível a identificação do intervalo altimétrico de ocorrência de crostas lateríticas.

Novas áreas não cartografadas por trabalhos anteriores como crostas lateríticas ou seus produtos de desmantelamento, foram visitadas com o objetivo de verificar a existência das mesmas e de buscar correspondências com alguma superfície de aplanamento regional. Os trabalhos de campo incluíram a visita a 27 pontos onde coletou-se 16 amostras. As avaliações de campo consideraram os aspectos geológicos, geomorfológicos e incluíram as descrições dos perfis lateríticos (mineralogia, textura, modo de ocorrência).

4.2.2. Aerogamaespectrometria

A utilização de imagens gamaespectrométricas foi considerada por constituírem ferramentas úteis na delimitação de áreas com probabilidade de ocorrência de crostas e seus produtos de desmantelamento (WILFORD *et al.*, 1997; MINTY, 1997; CARRINO *et al.*, 2011; WILFORD, 2012; IZA *et al.*, 2016; entre outros).

Os dados foram adquiridos com um espectrômetro acoplado a uma aeronave, composto por detectores de raios gama de alta sensibilidade. A configuração do espectrômetro consiste em três caixas isoladas com quatro cristais de iodeto de sódio. De acordo com Byrnes (2009), os cristais de iodeto de sódio, ao serem atingidos por raios gama, emitem cintilações que são contadas por um fotomultiplicador, dando assim a intensidade de radiação de eU, eTh e K.

As imagens brutas têm formato GRD, foram transformadas em TIFF e posteriormente trabalhadas no ambiente ArcGis. Os mapas ternários foram construídos no ArcGis, usando a ferramenta *Composite Bands*. Dois mapas ternários foram gerados. O primeiro a partir das imagens brutas de %K, eTh (em ppm) e eU (em ppm) nas cores RGB respectivamente. Neste sentido, as áreas com tonalidades avermelhadas terão influência predominante do %K, as áreas esverdeadas terão influência do eTh, nas áreas azuladas o eU predominará, enquanto as áreas com influência das três variáveis apresentarão tons esbranquiçados.

O segundo mapa ternário foi gerado a partir das imagens da razão eTh/K (adimensional por ser uma razão), o MDT, em metros, e o eTh (em ppm). Dickson e Scott (1997) afirmam que há enriquecimento de Th e U e perda de K enquanto o processo intempérico avança. Neste sentido, as áreas com tonalidades avermelhadas terão influência predominante do eTh/K, as áreas esverdeadas terão influência do relevo, nas áreas azuladas o eTh predominará, enquanto as áreas com influência das três variáveis apresentarão tons esbranquiçados. Em todos os casos supracitados as áreas com tonalidades escuras (preto) representarão domínios com ausência de todas as variáveis. A partir dessa premissa, foram analisados os padrões de respostas gamaespectrométricas para definir áreas de ocorrência de crostas lateríticas.

O processo de modelagem consiste de uma série de procedimentos para obter visões hipotéticas simplificadas dos atributos estudados. Neste sentido, foi utilizada a técnica booleana que está relacionada aos modelos guiados pelo conhecimento, ou seja, modelos baseados em informações prévias ou hipóteses obtidas por um especialista (Bonham-Carter, 1994; Carranza, 2009). Para verificar e calibrar os modelos apresentados, foram usados como suporte trabalhos de campo, mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos disponíveis.

O método usou os dados de aerogamaespectrometria integrado as imagens de elevação (MDT) as quais foram analisadas usando a técnica de modelagem matemática booleana por meio do *index overlay*, com o intuito de criar mapas de previsibilidade para ocorrência de crostas lateríticas. A base teórica foi obtida a partir dos trabalhos de An *et al.* (1991), Zimmermann (1985) Bonham-Carter, (1994), Moreira *et al.*(2003), McBratney *et al.* (2003), Lagacherie (2005), Carranza, (2009), Carrino *et al.* (2011) e principalmente Iza *et al.* (2016) devido as similaridades altimétricas, geológicas e geomorfológicas.

4.2.3. Método de análise Lógica Booleana

A lógica Booleana é um sistema matemático usado para criar regras ou expressões lógicas para selecionar, analisar e processar dados. Consiste em um sistema binário composto de “1” e “0”, onde “0” representa ‘falso’ e “1” representa ‘verdadeiro’. Bonham-Carter (1994) melhorou a técnica booleana por meio do método *index overlay* (MIO), o qual consiste em dar diferentes pesos a cada mapa de entrada, considerando o nível de importância de acordo com a hipótese avaliada. Assim, os dados de saída são classificados em valores de contagem apropriada para o mapeamento. O objetivo é produzir um mapa com um maior espectro de resultados, que mostre áreas distribuídas por cores de acordo com a classe (BONHAM-CARTER, 1994).

Os mapas binários (0 e 1) de entrada foram gerados a partir das razões eTh/K, eU/K, assim como os intervalos altimétricos (obtidos das imagens de MDT), reclassificando as imagens de acordo com os dados estudados em campo. Dauth (1997) afirma que a razão Th/K é útil na identificação de materiais intempéricos. Por outro lado, Carrino *et al.* (2011) obtiveram bons resultados na discriminação de crostas lateríticas, utilizando não apenas a razão eTh/K mas também a razão eU/K. Iza *et al.* (2016) também obtiveram bons resultados utilizando as mesmas variáveis. Desse modo, as razões foram usadas para destacar as discrepâncias e enfatizar áreas favoráveis associadas a crostas ferruginosas. Os valores mais altos (valores iguais ou maiores do que a média mais 1 vez o desvio padrão) de eTh/K e eU/K foram associados a maior probabilidade de ocorrência de crosta laterítica e, portanto, transformados em “1” e os valores mais baixos foram transformados em “0”, gerando novas imagens reclassificadas (0 e 1) para ambas as razões.

O procedimento com a imagem de elevação MDT foi diferente daquele usado nas imagens de aerogeofísica. Na margem direita do rio Madeira, foi usado o valor “1” para elevações maiores do que 120 m, e “0” para elevações menores do que 120 m. Esse valor limite foi escolhido de acordo com dados verificados em campo. Para a margem esquerda do rio, o valor “1” foi relacionado a altitudes entre 80 e 110 m (associadas a crostas lateríticas de acordo com os dados verificados em campo).

4.2.3.1. Método Index Overlay (MIO)

No MIO, cada imagem de entrada (MDT, eTh/K, eU/K) tem um peso que depende da hipótese considerada. Cada mapa é multiplicado pelo seu peso correspondente e depois

somados, para finalmente serem normalizados pela soma dos pesos (Eq 1). O resultado final é representado por uma variação de valores entre 0 e 1 (Bonham-Carter, 1994).

$$S = \frac{\sum_i^n W_i \text{class} (MAP_i)}{\sum_i^n W_i}$$

Equação 1 – Método *Index Overlay* (MIO) mostrando uma combinação de mapas binários de entrada conferindo valores a cada variável e normalizado pela soma dos pesos. O resultado é um valor entre 0 e 1, o qual pode ser classificado em intervalos apropriados para mapeamento; onde W_i = peso do i -ésimo mapa, $\text{class} (MAP_i)$ representa o mapa de entrada da i -ésima variável, e n = número de variáveis.

Para a aplicação do MIO, foram usadas as três principais variáveis: eTh/K, eU/K, e MDT, e o procedimento foi realizado utilizando álgebra de mapas no ambiente GIS. Cada mapa de entrada recebeu um peso que pertence a uma progressão geométrica de razão 2 ($A_n = 2^{n-1}$): $((1 * eU/K + 2 * eTh/K + 4 * \text{relevo})/7)$, considerando que o relevo tem mais influência e está relacionado com a gênese e desenvolvimento de crostas lateríticas, sendo elas a principal feição de preservação dos platôs, além de apresentar ampla continuidade e formar uma vasta superfície de aplanamento para a margem direita. Para a margem esquerda a equação aplicada, foi distinta: $2 (A_n = 2^{n-1}) ((1 * eU/K + 2 * \text{relevo} + 4 * eTh/K)/7)$. Foi atribuído maior peso à gamaespectrometria pois as crostas associadas a relevo com topo plano (platôs) são pouco expressivas. As classes finais variam entre 0 e 1 e indicam áreas com a menor probabilidade (0) e a maior probabilidade (1) de ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento. A combinação de pesos permite discriminar conjuntos de variáveis em classes favoráveis ou desfavoráveis, permitindo melhor visualização de cada uma, assim como a individualização de cada variável ou combinação de variáveis.

A etapa final constará na integração e comparação dos dados de campo com os mapas geológicos, geomorfológicos, de solos, além do próprio modelo booleano. Esse procedimento permitirá a delimitação de áreas com ocorrência de crostas lateríticas e contribuirá para as sugestões de melhoramento dos mapas geológicos, geomorfológicos e de aptidão agrícola existentes, além da delimitação de áreas de interesse para cascalho laterítico aplicado a construção civil e delimitação de áreas menos favoráveis para agricultura. A Figura 17 mostra o fluxograma com todos os procedimentos e respectivas etapas envolvidas no trabalho.

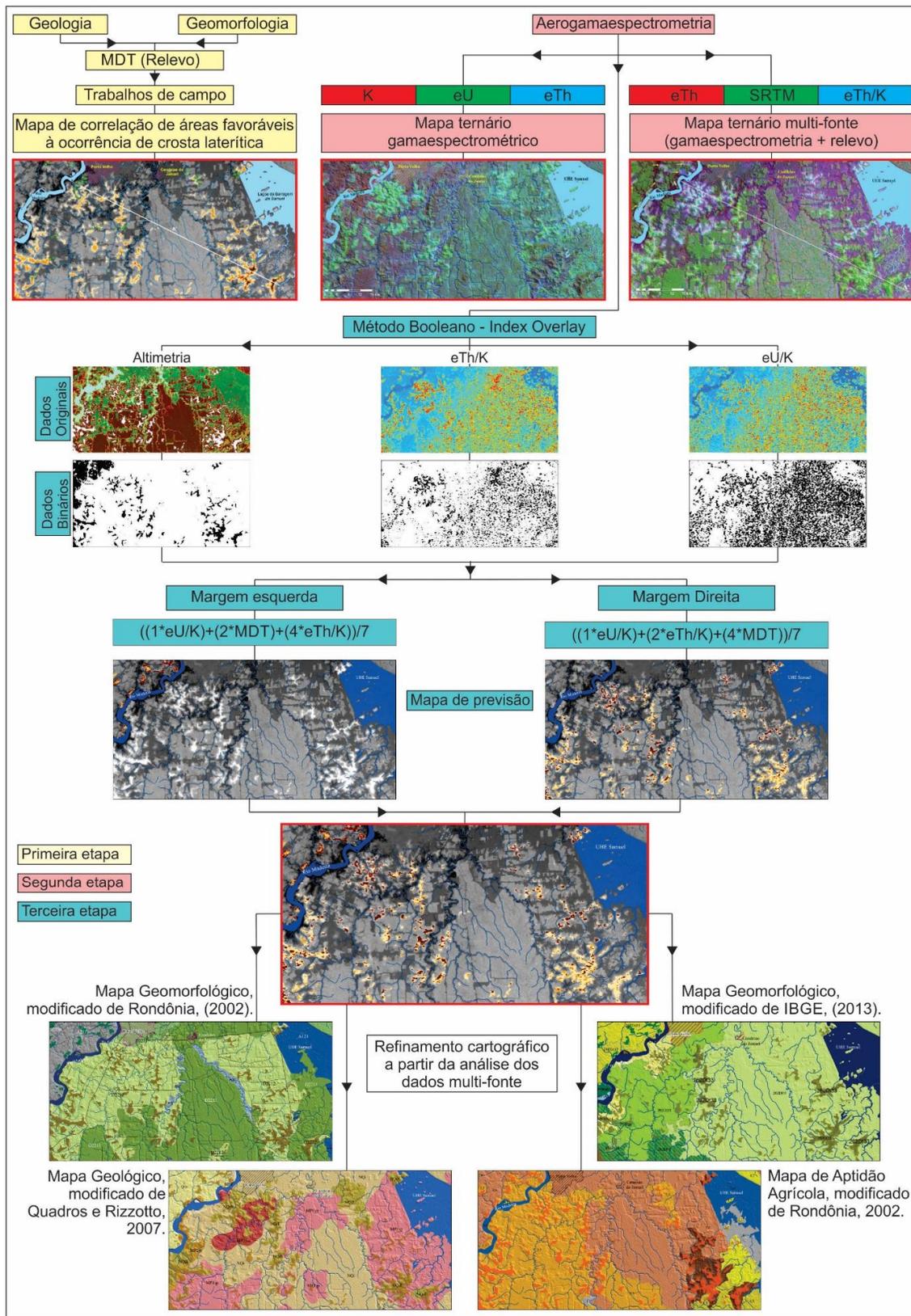


Figura 17 – Fluxograma de procedimentos realizados e principais produtos gerados (polígonos vermelhos).

5. RESULTADOS

As diferentes etapas do trabalho, têm resultados distintos e são apresentados a seguir. O item 5.1 está relacionado à primeira etapa (trabalhos de campo e análise da altimetria), o item 5.2 destaca os resultados relacionados à análise dos dados gamaespectrométricos e padrões de respostas associados às crostas, e o 5.3 apresenta os resultados relacionados à aplicação do método booleano usando dados multi-fonte.

5.1. Crostas lateríticas e aspectos altimétricos

Na área de estudo os perfis lateríticos são classificados como ferruginosos e imaturos de acordo com o grau de evolução proposto por Costa (1991). A integração das bases multi-fonte evidenciou a associação entre crostas lateríticas e as feições de topo plano (platôs), demonstrando controle topográfico (Figura 18) (HERRERA *et al.*, 2016). Todos os afloramentos visitados nas áreas delimitadas como de topo plano e com elevação entre 120 e 204 m permitiram ratificar a relação entre crostas e o relevo.

Os perfis lateríticos exibem pelo menos o horizonte colunar e/ou pisolítico/nodular que por vezes podem ser sobrepostos pelo horizonte concrecionário, Latossolos ou mesmo por solo orgânico cinza escuro a preto com até 30 cm de espessura. Os níveis de truncamento do perfil laterítico são variados e podem expor até o horizonte pálido/transicional (Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22).

No caso das crostas colunares as estruturas são verticais a subverticais (Figura 19 e Figura 20) com composição predominantemente hematítica e porções goethíticas e caulínicas subordinadas além de rara gibbisita. A porção superior das colunas normalmente ocorre intensamente intemperizada, com formação expressiva no topo do horizonte desmantelado. Apesar de ocorrer em praticamente toda área, as crostas colunares mais expressivas são observadas na porção sudeste e podem atingir entre 3 e 4 m de altura (Figura 23). Os canais verticais associados a antigas raízes são comumente preenchidos por nódulos e pisólitos de goethita e hematita com córtex de goethita. As crostas pisolíticas/nodulares também ocorrem em toda a área e os afloramentos mais expressivos ocorrem nas cercanias da cidade de Porto Velho, nas proximidades da UNIR, próximo ao km 9,5 da BR 364, sentido Acre.

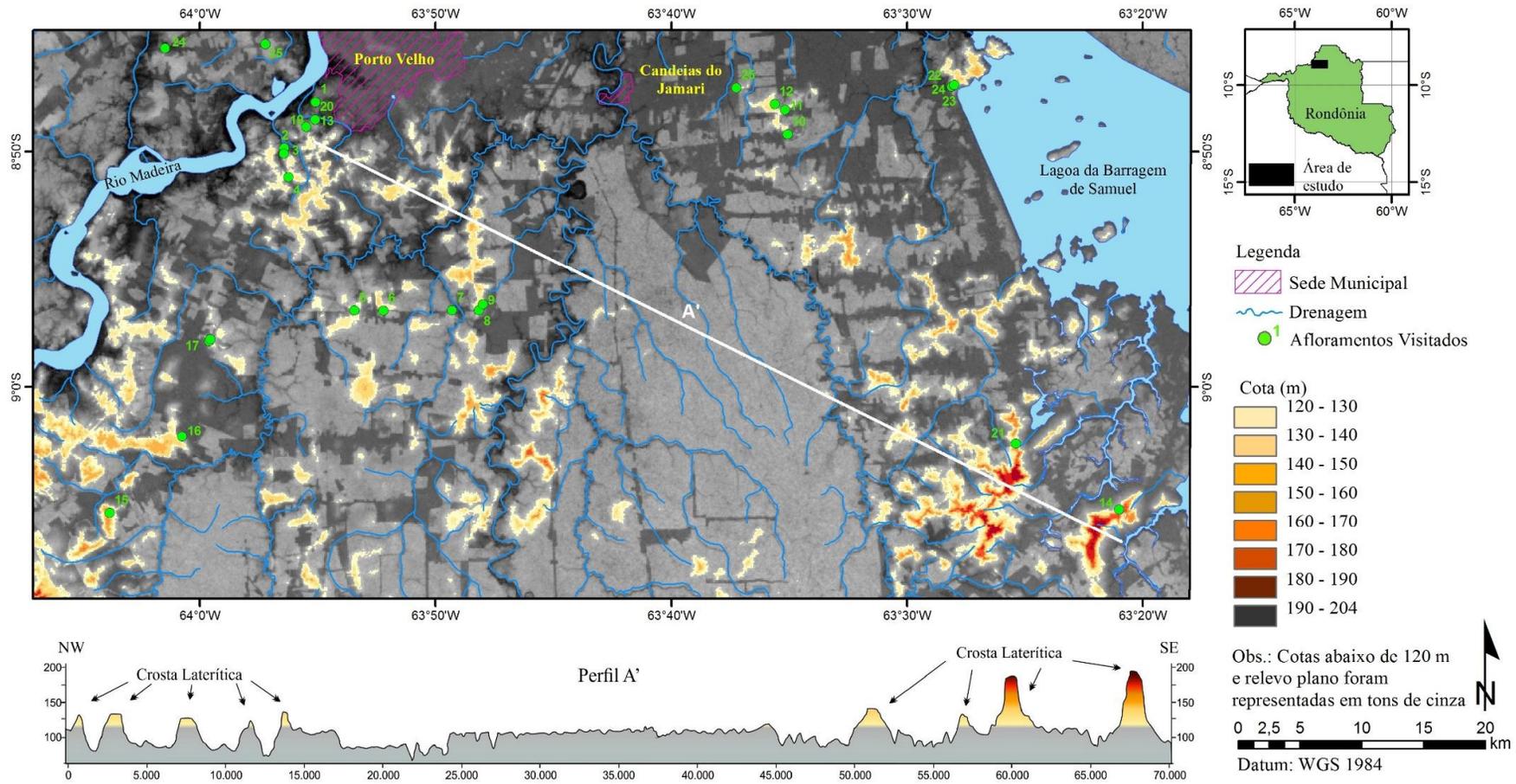


Figura 18 – Áreas com topo plano associadas a ocorrência de crostas lateríticas imaturas com cotas predominantemente entre 120 e 150 m.

Em termos gerais as crostas são constituídas principalmente por hematita, goethita, caulinita e quartzo observados macroscopicamente e dominantes em todos os pontos visitados, como mostrado nas Figura 20, Figura 21 e Figura 24. Em pelo menos 4 afloramentos observou-se a presença de magnetita milimétrica a centimétrica (Figura 20). As crostas nodulares têm comumente núcleo hematítico preto a marrom escuro e córtex goethítico milimétrico com tons amarelados. Localmente foram registrados nódulos amarelados goethíticos, dispersos em uma matriz hematítica. Estes nódulos têm cerca de 3 cm de diâmetro e são formados pela superposição de camadas concêntricas milimétricas de goethita com quartzo e caulinita dispersos. Na porção sudoeste da área as ocorrências de caulinita e gibbissita são mais frequentes e estão associadas às crostas pisolíticas/nodulares. Em nenhum dos pontos visitados observou-se, nas crostas, feições reliquiares que permitissem a identificação da estrutura, textura ou mineralogia da rocha fonte. Entretanto, no ponto 14 (sudeste da área), Figura 23, é possível observar o perfil laterítico completo com exposição do saprólito, horizonte pálido, crosta laterítica e Latossolo sobreposto. O saprólito exibe trama foliada com significativa presença de magnetita e quartzo.

Em alguns setores da porção sudoeste da área o topo dos perfis é constituído por nódulos, concreções, esferólitos e fragmentos compostos de oxi-hidróxido de ferro com matriz argilosa (Figura 19 e Figura 21). A ocorrência de nódulos e pisólitos desprovidos de matriz, na superfície, pode ser explicada pela lixiviação das partículas mais finas por *run off*, formando assim, uma camada de material inconsolidado, com espessura de até 10 cm, constituindo um depósito superficial recente, relativamente restrito, derivado do desmantelamento da crosta subjacente (Figura 22).

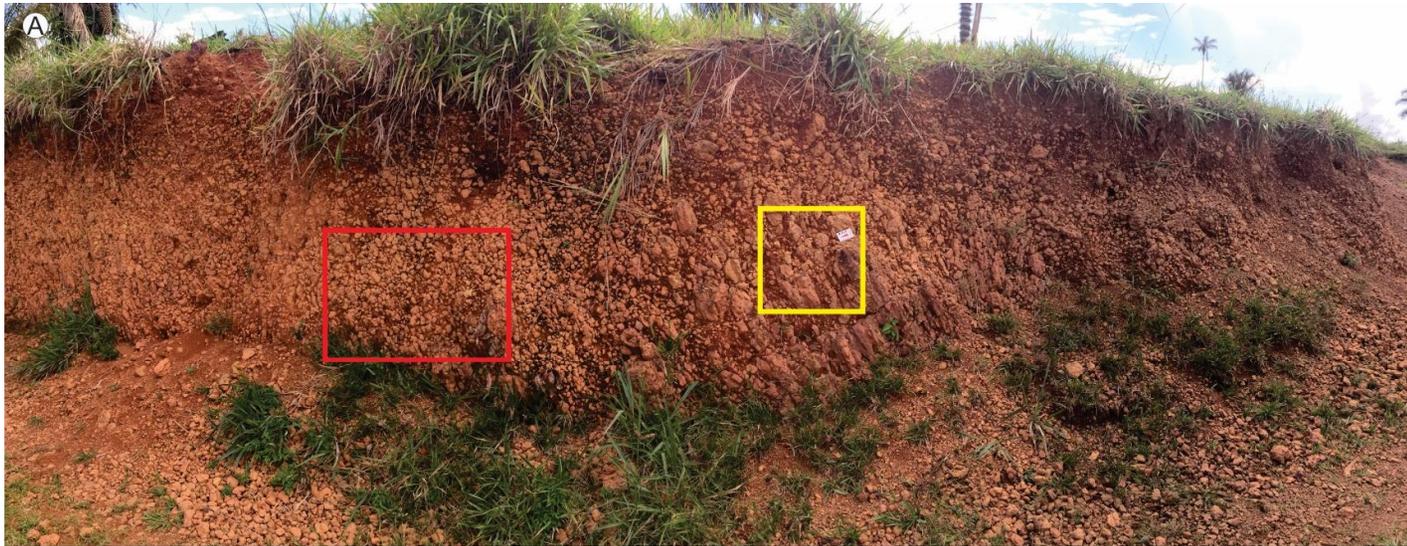


Figura 19 – Afloramento 9, localizado na porção central da área. Perfis tipo “corte de estrada” destacando a ocorrência de crostas lateríticas ferruginosas, 01/05/2015. A) Aspecto geral do perfil evidenciando o horizonte colunar e dismantelado sobrepostos por Latossolo pouco espesso. B) Detalhe da crosta colunar. C) Desmantelamento da crosta colunar.



Figura 20 – Afloramento 10, localizado na porção norte da área, aproximadamente 8 km a leste da cidade de Candeias do Jamari. 11/05/2015. A) Aspecto geral do afloramento. B) Detalhe da crosta colunar, C) Magnetita milimétrica a centimétrica. D) Nódulos/Pisólitos principalmente hematíticos e goethíticos.

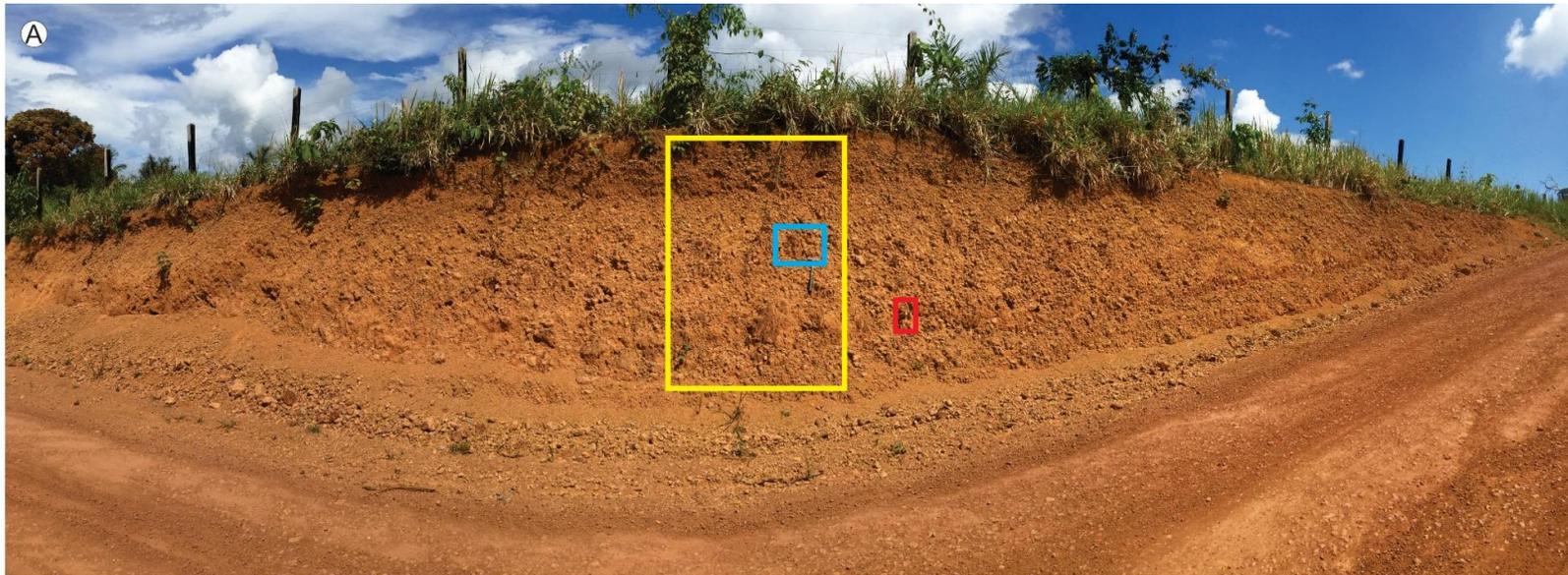


Figura 21 –Afloramento 5, localizado na porção centro-oeste da área. 01/05/2015. A) Crosta laterítica pisolítica/nodular e latossolo com fragmentos da crosta. B) Detalhe da crosta pisolítica/nodular. C) Detalhe dos nódulos e pisólitos. D) Detalhe dos nódulos/pisólitos de hematita com córtex de goethita.



Figura 22 – Afloramento 17, localizado na porção oeste da área de estudo, 26/06/2015. A) Aspecto geral da área com ocorrência de nódulos e pisólitos inconsolidados e fragmentos centimétricos de crosta. B) Detalhe da superfície com nódulos e pisólitos. C) Detalhe dos nódulos ferruginosos.

O processo de lateritização é fortemente favorecido em regiões que passaram por marcada alternância entre períodos secos e úmidos (Aleva, 1993; Anand e Paine, 2002). Os autores destacam que o nível freático sazonalmente flutua e promove alternância entre condições oxidantes mais e menos severas, favorecendo remobilização do ferro, lixiviação de elementos móveis e, conseqüentemente, a concentração de nódulos ferruginosos em meio a matriz argilosa desferruginizada, gerando assim a zona mosqueada do perfil laterítico. A evolução do processo provoca o acúmulo residual de ferro formando assim as crostas lateríticas.

Notadamente em condições de clima árido, a crosta laterítica é preservada e tende a manter as paleosuperfícies de aplanamento. Por outro lado, a imposição de regime permanentemente úmido acarreta na diminuição da flutuação do nível freático, interrompendo a formação da zona mosqueada, acelerando a degradação da crosta laterítica e conseqüentemente favorecendo a geração de Latossolos na superfície (HORBE e COSTA, 1997, 1999b e 2005). O desmantelamento do topo das crostas com formação de horizontes concrecionários e solo associado são resultados da forte atuação de um clima quente e úmido na área estudada.

As crostas lateríticas identificadas representam, portanto, a alternância de climas pretéritos e os platôs identificados correspondem a uma paleosuperfície regional dissecada que passa atualmente por forte processo de degradação, evidenciado pelo desmantelamento das crostas e pela formação de Latossolos. A existência de uma superfície regional de dissecção baixa e nenhum ou esporádicos inselbergs e tors (2.2.1.1) e com altitudes inferiores às observadas nos platôs, Figura 18, sugere que o processo de erosão regional atuou intensamente e propiciou apenas a permanência das litologias mais resistentes, neste caso, as próprias crostas lateríticas (que constituem os platôs com altitudes entre 120 e 150 m e entre 180 e 204 m) e alguns *inselbergs* e *tors* graníticos (presentes nas planícies, em altitudes abaixo de 120 m).

Na margem esquerda do rio Madeira, abaixo da altitude 110 m há registros de ocorrência de crostas lateríticas (DELLA JUSTINA, 1994; QUADROS e RIZZOTTO, 2007; OLIVEIRA e FILHO, 2013) assim como entre 120 e 150 m (platôs margem direita do rio Madeira); essa diferença altimétrica observada pode estar associada a diferentes períodos de formação das crostas e/ou relacionado a neotectônica assim como proposto por Costa *et al.* (1996), Souza Filho *et al.* (1999), Scandolara (1999) e Oliveira e Costa (2006).

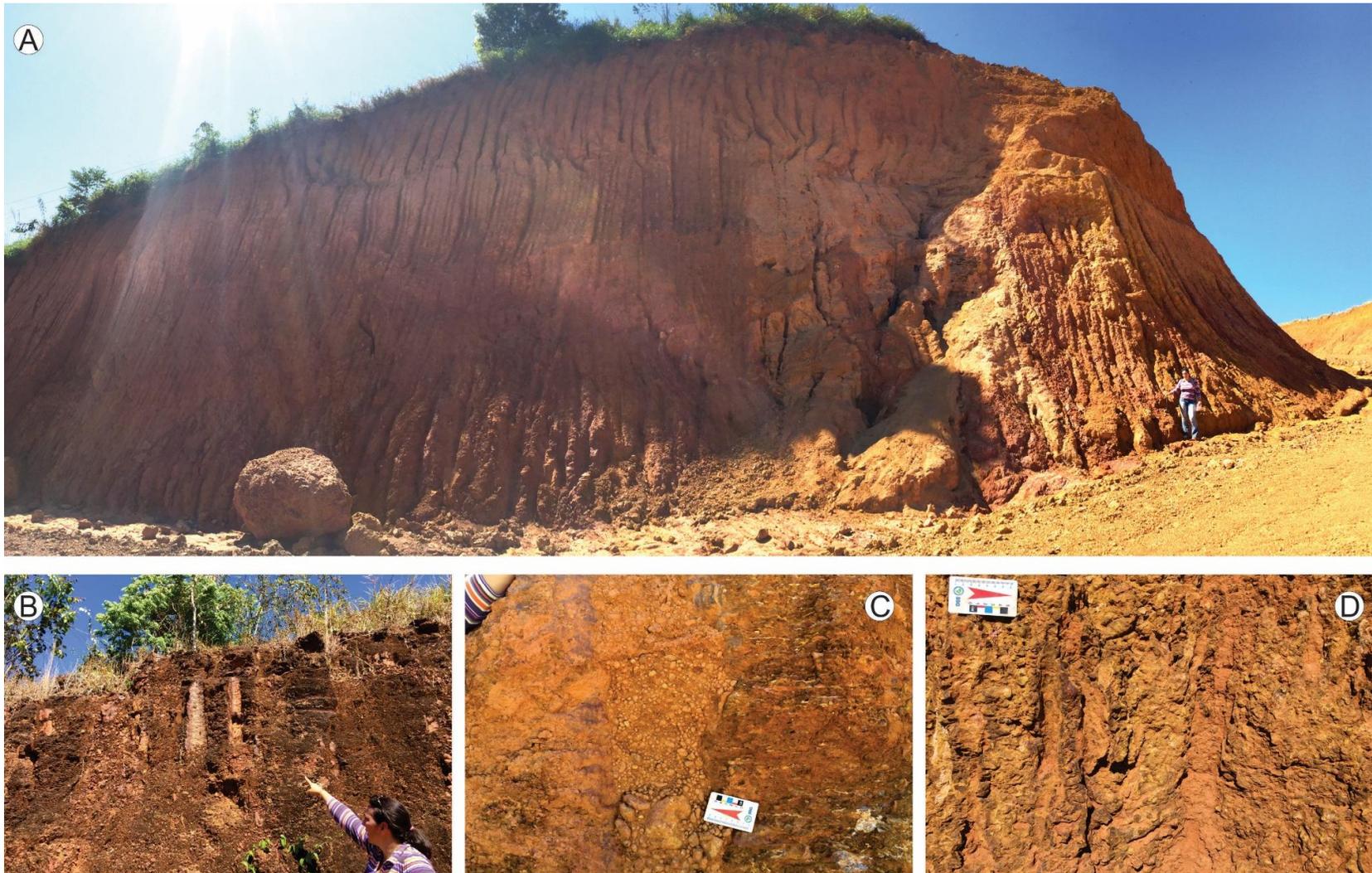


Figura 23 – Afloramento 14, localizado na região sudeste da área, 23/06/2015. A) Aspecto geral do afloramento com topo (4 m) constituído de crosta colunar. B) Detalhe das estruturas megacolunares. C) Pisólitos preenchendo estrutura colunar. D) Detalhe da estrutura colunar.



Figura 24 – A e B) Nódulos hematíticos de cor vermelha escura com córtex goethítico amarelado (Afloramentos 3 e 8 respectivamente). C e D) Nódulos hemáticos marrom avermelhado escuro com córtex goethítico (Afloramentos 5 e 12 respectivamente) E) Nódulos amarelados (goethita) evidenciados na parte externa do bloco de crosta laterítica (Afloramento 4). F) Nódulos goethíticos amarelados, (porção interna) circundados por matriz hematítica avermelhada e porções com caulinita e quartzo (Afloramento 4).

5.2. Resultados da análise da gamaespectrometria

Os resultados na primeira etapa destacaram diversas áreas para a ocorrência de crostas associadas a platôs e preferencialmente situadas em dois intervalos altimétricos: 120 e 150 m; e entre 180 e 204 m. Apesar do evidente incremento observado na cartografia geomorfológica a metodologia não identificou todas as formas de ocorrências das crostas lateríticas da área (áreas de relevo pouco expressivo, suavemente ondulado). Por outro lado, na margem esquerda do rio Madeira, entre as altitudes 80 e 110 m, o modo de ocorrência não favorece a identificação por meio da simples análise do relevo e da geomorfologia em escalas maiores que 1:100.000.

A gamaespectrometria mostrou-se útil na delimitação de áreas não associadas a platôs e localizadas em altitudes abaixo de 110 m (margem esquerda do rio Madeira). A análise da razão eTh/K e dos canais individuais do K, eTh e eU permitiu delimitar os intervalos gamaespectrométricos associados às crostas lateríticas. A razão eTh/K nas crostas lateríticas variam entre 30 a 1200, os de eTh entre 30 e 126 ppm, enquanto os de K entre 0 e 5,5%, entretanto, nas áreas onde ocorrem crostas, os valores de K são sempre muito próximos a zero. No caso do eU , os valores variam entre 0 e 19 ppm e mostram discreta correlação direta com as crostas lateríticas.

Os altos valores de eTh , associados a valores baixos de K e intermediários de eU ocorrem com cores verdes claras no ternário K, eTh , eU (RGB) e estão associados às crostas lateríticas. Esse padrão é bem marcado nas porções oeste e norte da área e está associado a platôs (120 a 150 m) destacado sobre uma planície (<120 m) com tons verdes escuros a pretos (Figura 25). Notadamente na porção centro-norte, sudoeste e sudeste da área há algumas ocorrências com tons escuros (preto/marrom escuro) associadas também a platôs. Esses padrões de resposta gamaespectrométricas e alto relevo associado são também altamente correlacionáveis com os resultados obtidos na integração dos dados de altimetria e geomorfologia (Figura 18), ou seja, vinculados a crostas lateríticas. Na porção sudeste as crostas ocorrem entre 120 e 150 m e entre 180 e 204 m de altitude.

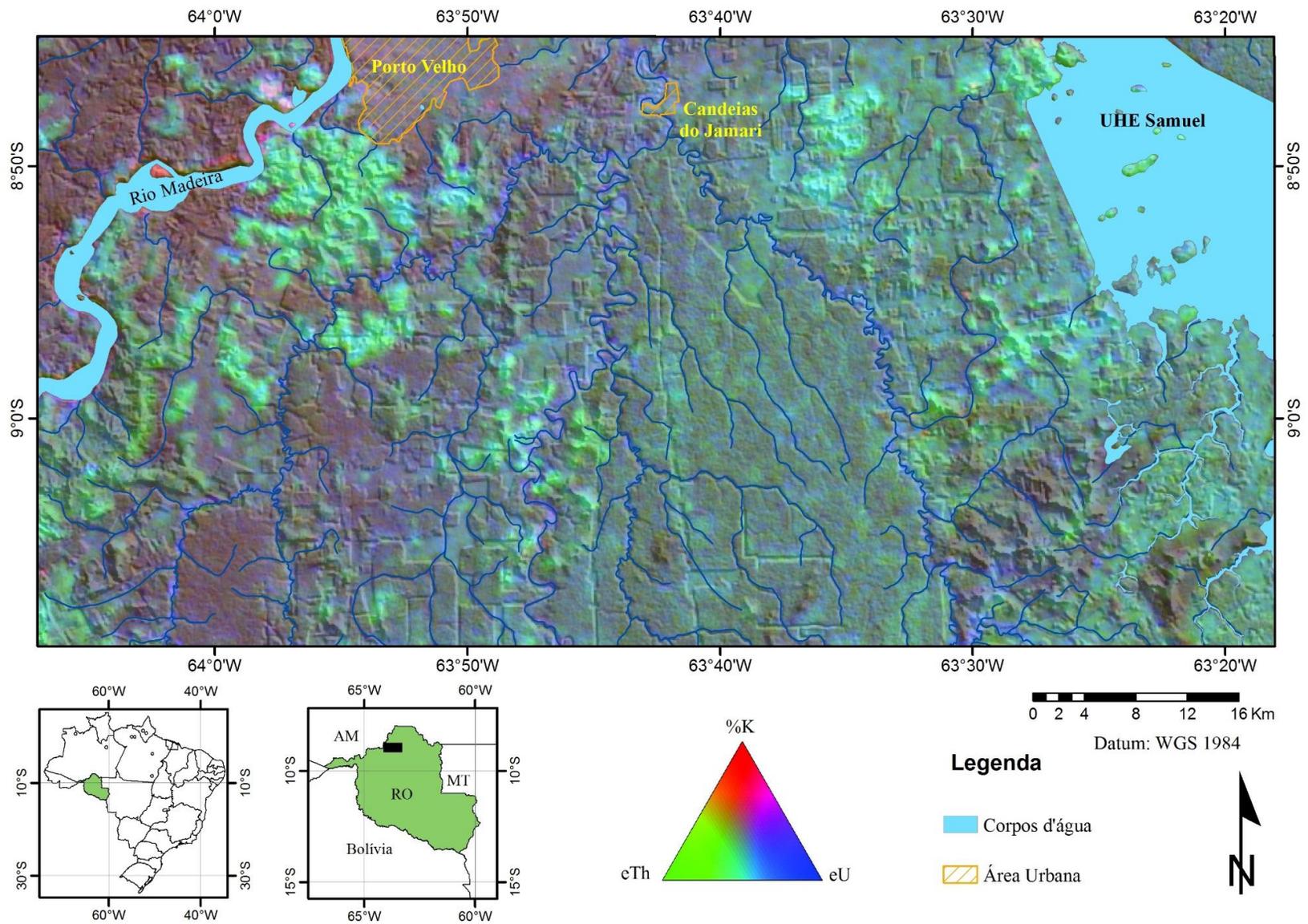


Figura 25 – Mapa ternário da integração das imagens %K, eTh, eU, respectivamente nos canais RGB.

O mapa ternário eTh/K, MDT e eTh, (RGB), Figura 26, mostra áreas com tonalidades claras, indicando influência das três variáveis, ratificando padrões de respostas gamaespectrométricas típicos de crostas lateríticas e seus produtos do dismantelamento, ou seja, alto eTh, altas razões eTh/K e, neste caso, altos valores altimétricos. Entretanto, os setores associados aos padrões gamaespectrométricos verdes claros, ou seja, vinculados, principalmente aos altos valores altimétricos representam áreas onde o padrão gamaespectrométrico é distinto e vinculado a menores proporções de eTh e eTh/K. Esses resultados ratificam os dados do ternário K, eTh e eU, (RGB) e enfatizam dois padrões de resposta gamaespectrométrica diferentes para as crostas lateríticas: um na porção noroeste da área, próximo ao rio Madeira, e outro no sudeste da área onde ocorrem crostas associadas às maiores altitudes. Estes resultados podem também ser observados nos perfis apresentados na Figura 26 (MDT, eTh e eTh/K). Notadamente, os maiores valores gamaespectrométricos absolutos não ocorrem nas maiores altitudes (NW da área), em contrapartida nas maiores altitudes os valores gamaespectrométricos estão dentro da média da área mas acima da média local, evidenciando picos localizados associados a crostas (SE da área).

As diferenças de respostas gamaespectrométricas estão relacionadas às características da rocha-fonte e, conseqüentemente, aos aspectos mineralógicos e químicos do regolito. As crostas lateríticas localizadas na porção oeste e norte estão relacionadas a rochas-fonte graníticas, em grande parte, relacionadas à Suíte Intrusiva Santo Antônio e à Suíte Intrusiva Serra da Providência. Essa afirmação é corroborada pelos dados de campo, altos valores de eTh e pelo mapa geológico de Quadros e Rizzotto (2007). Entretanto, na porção centro-norte e sudeste da área os padrões gamaespectrométricos mostram relativamente menores valores de eTh, assim como de eU e K. Esse padrão gamaespectrométrico é distinto daqueles apresentados nas demais partes da área e podem estar relacionados a rochas do embasamento (máfica-ultramáficas) ou mesmo supracrustais.

Esses padrões são similares aos observados por Wlifford *et al.* (1997), que afirma que as crostas lateríticas desenvolvidas sobre rochas máficas-ultramáficas aparecem escurecidas no ternário K, eTh, eU (RGB). Esses resultados mostram que eventos intempéricos atuando sobre rochas distintas, localizadas em altitudes idênticas, geram produtos residuais similares (crostas lateríticas e seus produtos de dismantelamento), mas com padrões gamaespectrométricos distintos.

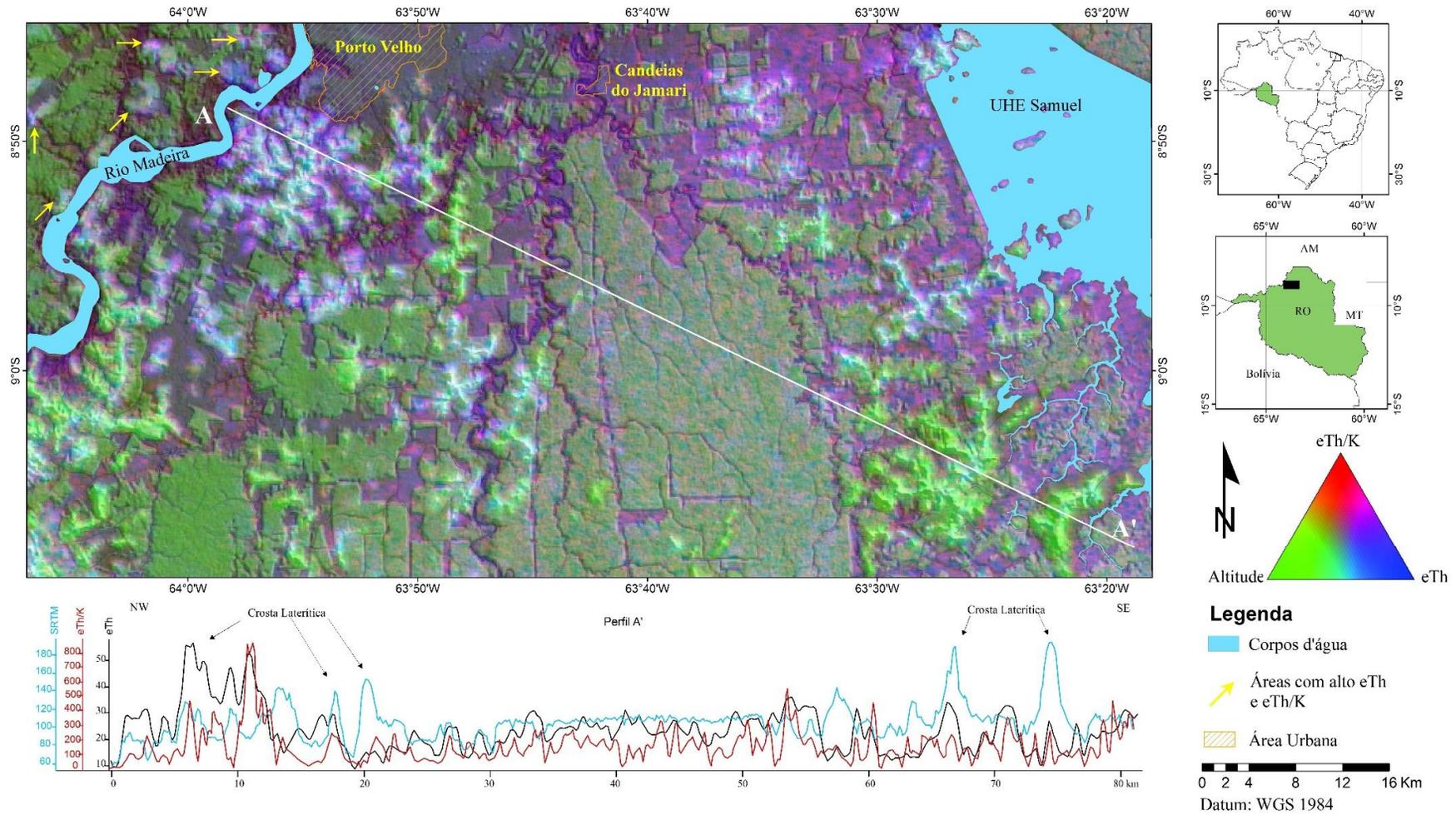


Figura 26 - Mapa ternário da integração das imagens multifonte eTh/K, MDT e eTh (RGB).

Na primeira etapa do trabalho evidenciou-se uma limitação em identificar crostas associadas a platôs na margem esquerda do rio Madeira. Nesta região as altitudes estão abaixo de 110 m e os desníveis são menores que 10 m e por este motivo são pouco evidentes nas imagens altimétricas. Os resultados gamaespectrométricos apresentados mostram áreas na margem esquerda (setas amarelas, Figura 26) com padrões similares (verde claro na Figura 25 e branco na Figura 26) às crostas adjacentes à margem direita, apesar da ausência de platôs. Estas respostas são, em parte, distintas daquelas observadas por Carrino *et al.* (2011) que observaram fortes relações positivas entre o alto relevo e os altos valores de eTh e eTh/K com as crostas.

A integração dos dados gamaespectrométricos e altimétricos permitiu a ampliação do conhecimento acerca das crostas lateríticas. Os resultados espectrométricos aqui apresentados mostram algumas áreas na margem esquerda com respostas gamaespectrométricas similares às crostas adjacentes à margem direita, apesar da ausência de platôs. Desse modo, a gamaespectrometria além de ratificar os atuais mapas existentes, contribui na ampliação da cartografia das crostas e, conseqüentemente, na cartografia geomorfológica e geológica da área, com destaque à margem esquerda do rio Madeira. Estas respostas são, em parte, distintas àquelas observadas por Carrino *et al.* (2011) que observaram fortes relações positivas entre o alto relevo (platôs) e os altos valores de eTh e eTh/K com as crostas lateríticas. Esses resultados são relativamente similares aos obtidos por Iza *et al.* (2016) que observou presença de crostas lateríticas em intervalos altimétricos distintos mas com padrões gamaespectrométricos similares.

5.3. Resultados da análise do Modelo booleano (*index overlay*)

O modelo booleano, por meio do método *index overlay* (MIO), proporcionou a obtenção de 8 classes de favorabilidade para a ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos de desmantelamento. Na margem direita do rio Madeira as áreas consideradas como favoráveis representam 6,12 %. As áreas consideradas como pelo menos favoráveis tem influência do relevo (peso 4) e de suas combinações com as razões, eU/K , eTh/K (pesos 5, 6 e 7), tabela 1.

A aplicação da mesma equação na margem esquerda do rio Madeira gerou resultados inconclusivos, pois o relevo (ausência de platôs) é menos significativo como variável discriminante para a ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento. Desse modo, optou-se por atribuir peso 4 à razão Th/K . Assim as classes consideradas

favoráveis têm influência pelo menos da razão Th/K e de suas combinações com a razão, eU/K e com o relevo (pesos 5, 6 e 7), tabela 2. O resultado obtido com a reorganização dos pesos gerou resultados extremamente satisfatórios e destacou 0,54% da área como favoráveis para a ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento. De acordo com as Tabela 1 e 2 e Figura 27, as regiões consideradas como favoráveis e extremamente favoráveis para a ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento, cobrem 278,4 km² representando 6,6% da área.

Tabela 1 – Classificação das classes obtidas no MIO (margem direita do rio Madeira)

| Pesos | Classes MIO | Variável | Área km ² | Área Acum. km ² | Área % | Área % Acum. | Classes |
|-------|-------------|--------------------|----------------------|----------------------------|--------|--------------|------------------------|
| 0 | 0 | Nenhuma | 2.396,6 | 2.396,6 | 57,15 | 57,15 | Desfavorável |
| 1 | 0,14 | eU/K | 812,0 | 3.208,6 | 19,37 | 76,52 | Desfavorável |
| 2 | 0,29 | eTh/K | 18,2 | 3.226,8 | 0,43 | 76,95 | Desfavorável |
| 3 | 0,43 | eU/K +eTh/K | 483,4 | 3.710,2 | 11,53 | 88,48 | Desfavorável |
| 4 | 0,57 | MDT | 142,5 | 3.852,7 | 3,40 | 91,88 | Favorável |
| 5 | 0,71 | MDT+eU/K | 47,6 | 3.900,3 | 1,14 | 93,02 | Favorável |
| 6 | 0,86 | MDT+eTh/K | 7,4 | 3.907,8 | 0,18 | 93,19 | Favorável |
| 7 | 1,00 | MDT+eU/K /K +eTh/K | 58,5 | 3.966,3 | 1,40 | 94,59 | Extremamente favorável |

Tabela 2 – Classificação das classes obtidas no MIO (margem esquerda do rio Madeira)

| Pesos | Classes MIO | Variável | Área km ² | Área Acum. km ² | Área % | Área % Acum. | Classes |
|-------|-------------|-----------------|----------------------|----------------------------|--------|--------------|------------------------|
| 0 | 0 | Nenhuma | 45,4 | 45,4 | 1,08 | 1,08 | Desfavorável |
| 1 | 0,14 | eU/K | 1,0 | 46,3 | 0,02 | 1,10 | Desfavorável |
| 2 | 0,29 | MDT | 154,2 | 200,5 | 3,68 | 4,78 | Desfavorável |
| 3 | 0,43 | MDT+eU/K | 3,8 | 204,4 | 0,09 | 4,87 | Desfavorável |
| 4 | 0,57 | eTh/K | 1,2 | 205,5 | 0,03 | 4,90 | Favorável |
| 5 | 0,71 | eTh/K +eU/K | 5,6 | 211,2 | 0,13 | 5,04 | Favorável |
| 6 | 0,86 | MDT+eTh/K | 2,7 | 213,9 | 0,07 | 5,10 | Favorável |
| 7 | 1,00 | MDT+eU/K +eTh/K | 12,9 | 226,8 | 0,31 | 5,41 | Extremamente favorável |

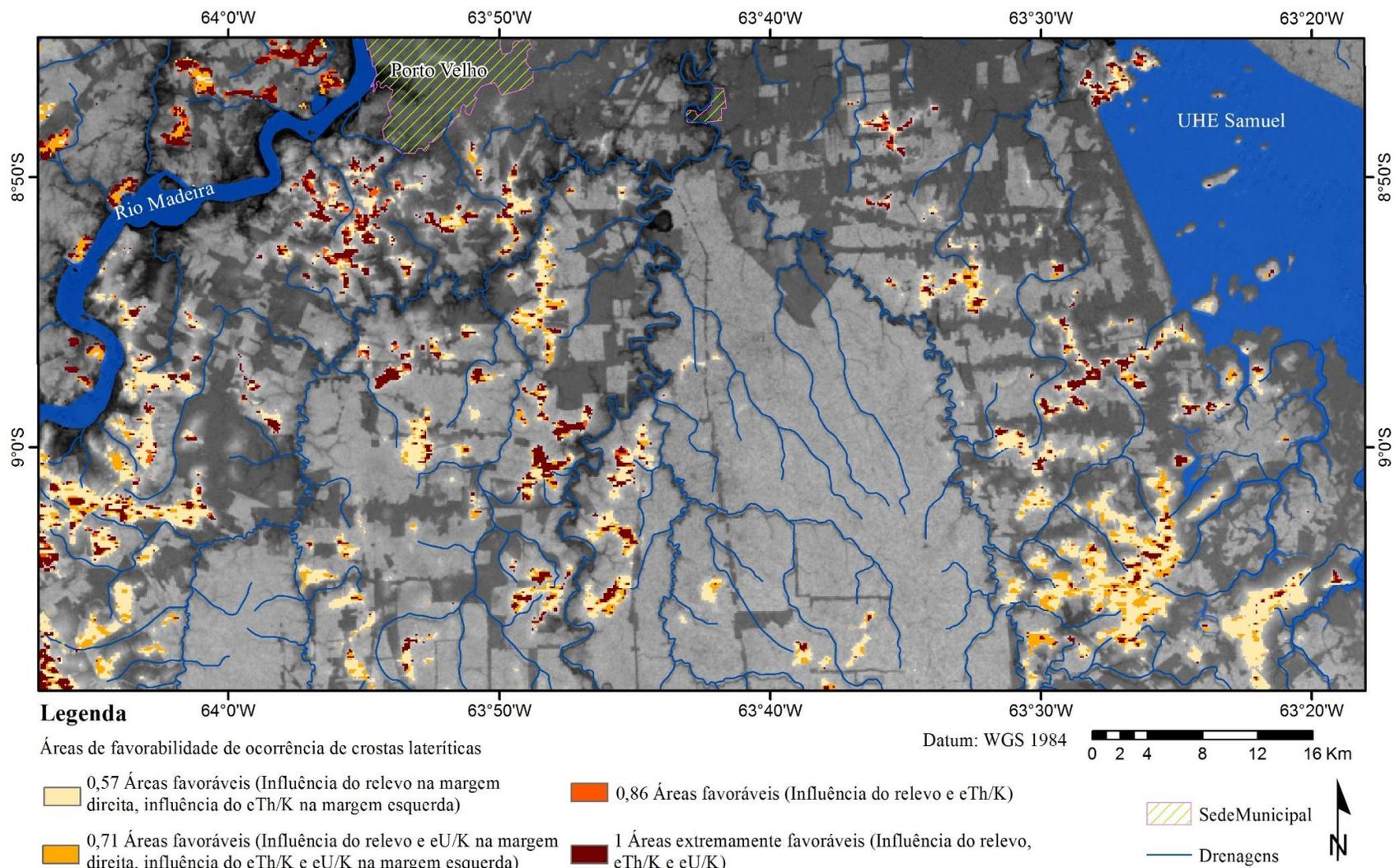


Figura 27 – Mapa de áreas de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas e seus produtos do desmantelamento por meio do método *index overlay*.

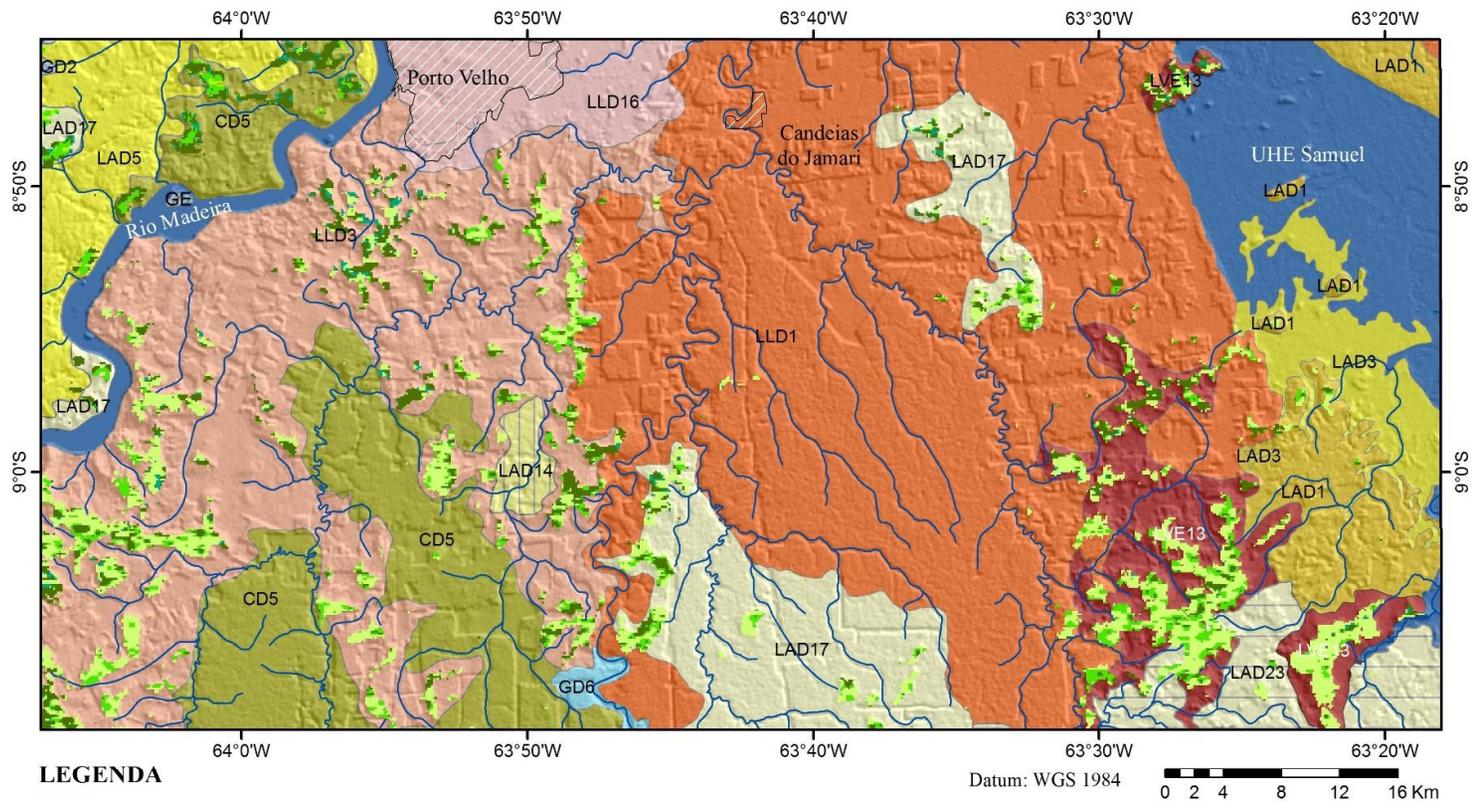
5.4. Verificação dos dados

As áreas classificadas como favoráveis foram sobrepostas ao mapa de solos e coincidem em grande parte com Latossolos, Figura 28. Em particular, a unidade LLD1, Latossolos vermelho-amarelos distróficos não contém áreas previstas no modelo booleano, assim como constatado nos trabalhos de campo. Pela previsão do modelo, as unidades de solo LLD3, LAD17 e LVE13 são aquelas que apresentam as maiores sobreposições com áreas favoráveis. Na margem esquerda do rio Madeira, as áreas previstas pelo MIO coincidem com as áreas de Latossolo Amarelo Distrófico (LAD17) e em parte com o Cambissolo Distrófico (CD5). Também ocorre de forma restrita sobreposto ao Latossolo Amarelo Distrófico (LAD5).

No mapa geomorfológico, as áreas classificadas como pelo menos favoráveis coincidem em grande parte com as unidades geomorfológicas D2212 cuja descrição é de dissecação baixa e muitos *tors* e *hillocks* residuais, com uma drenagem de padrão subdentríptico e baixa densidade. Nas outras unidades geomorfológicas há sobreposição restrita das áreas favoráveis para ocorrência de crostas. Na margem esquerda do rio Madeira as áreas previstas pelo MIO coincidem parcialmente com os terraços fluviais nas adjacências do rio Madeira, Figura 29.

A Figura 30 mostra o mapa de previsibilidade da técnica booleana sobreposto no mapa geológico de Quadros e Rizzotto (2007). Em termos gerais, há boa sobreposição entre as crostas mapeadas (Nqdl-Coberturas Detrito-Lateríticas) e o modelo previewal. Outras unidades geológicas apresentam recobrimento com algumas áreas previstas pelo modelo, como é o caso da unidade MP1 γ - Suíte Intrusiva Serra da Providência no sudeste e leste da área. Entretanto nesses domínios o relevo está entre 120 e 180 m de altitude, e as crostas lateríticas sustentam a paisagem e podem ser, em parte, a rocha fonte. Por outro lado, na margem esquerda do rio Madeira, as áreas previstas coincidem parcialmente com a unidade Q1t – terraços fluviais.

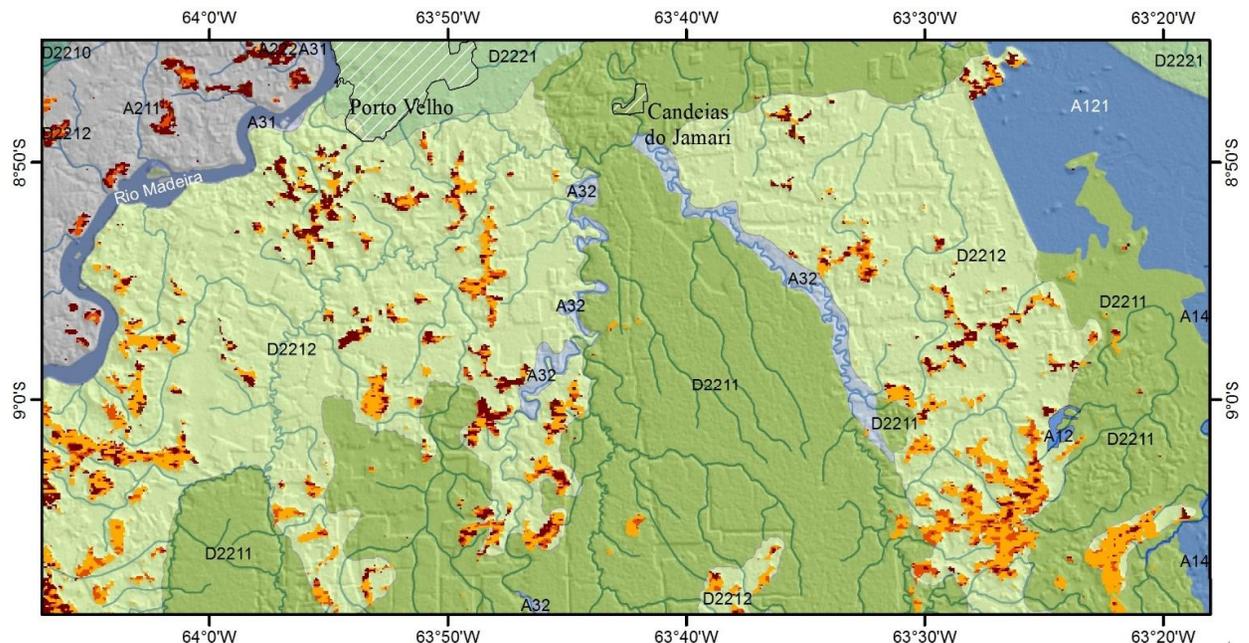
Notadamente, as áreas identificadas como favoráveis para a ocorrência de crostas lateríticas e os produtos do seu desmantelamento, estão inseridas em domínios com forte desmatamento, ou mesmo em áreas com Floresta Ombrófila Aberta Submontana, neste último caso, localizadas em grande parte na porção centro sul da área. Nesse sentido, ratifica-se a baixa influência da vegetação nos dados gamaespectrométricos (modelo previewal), Figura 31.



LEGENDA

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> CD5 Cambissolo Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso GD2 Gleissolo Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso GD6 Gleissolo Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso GE1 Gleissolo Eutrófico: 0-2%, mal dren., argiloso LAD1 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso LAD3 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, mal dren., argiloso LAD5 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., argiloso LAD14 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., argiloso LAD17 Latossolos Amarelos Distrófico: 2-8%, bem dren., franco LAD23 Latossolos Amarelos Distrófico: 0-2%, bem dren., argiloso | <ul style="list-style-type: none"> LLD1 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem dren., argiloso LLD3 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 2-8%, bem dren., franco LLD16 Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos: 0-2%, bem dren., argiloso LVE13 Latossolos Vermelho-Escuros Eutróficos: 2-8%, bem dren., argiloso, lig. pedregoso <p>Áreas de favorabilidade de ocorrência de crostas lateríticas</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,57 Áreas favoráveis (Influência do relevo) 0,71 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eU/K) 0,86 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eTh/K) 1 Áreas extremamente favoráveis (Influência do relevo, eTh/K e eU/K) |
|--|--|

Figura 28 – Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método *Index Overlay*) sobreposto ao mapa de solos de Rondônia (2002).



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> A211 Terraços Fluviais. Terraços Altos não Dissecados A222 Terraços Fluviais. Terraços Baixos com presença de Leitões Abandonados e Pântanos A31 Planícies Inundáveis e Vales. Rios Principais A32 Planícies Inundáveis e Vales. Rios Secundários D2210 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) Relevo Plano e Evidências de Superfícies com Couraças Ferruginosas D2211 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Baixa e Nenhum ou Esporádicos Inselbergs e Tors D2212 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Baixa e Muitos Tors e Hillocks Residuais D2221 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Média e Nenhum ou Esporádicos Inselbergs e Tors D2321 Superfície de Aplanamento. Nível III (<200 m) com Dissecação Média e Nenhum ou Esporádicos Inselbergs e Tors | <p>Áreas de favorabilidade de ocorrência de crostas lateríticas</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,57 Áreas favoráveis (Influência do relevo) 0,71 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eU/K) 0,86 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eTh/K) 1 Áreas extremamente favoráveis (Influência do relevo, eTh/k e eU/K) |
|---|---|

Datum: WGS 1984

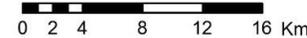
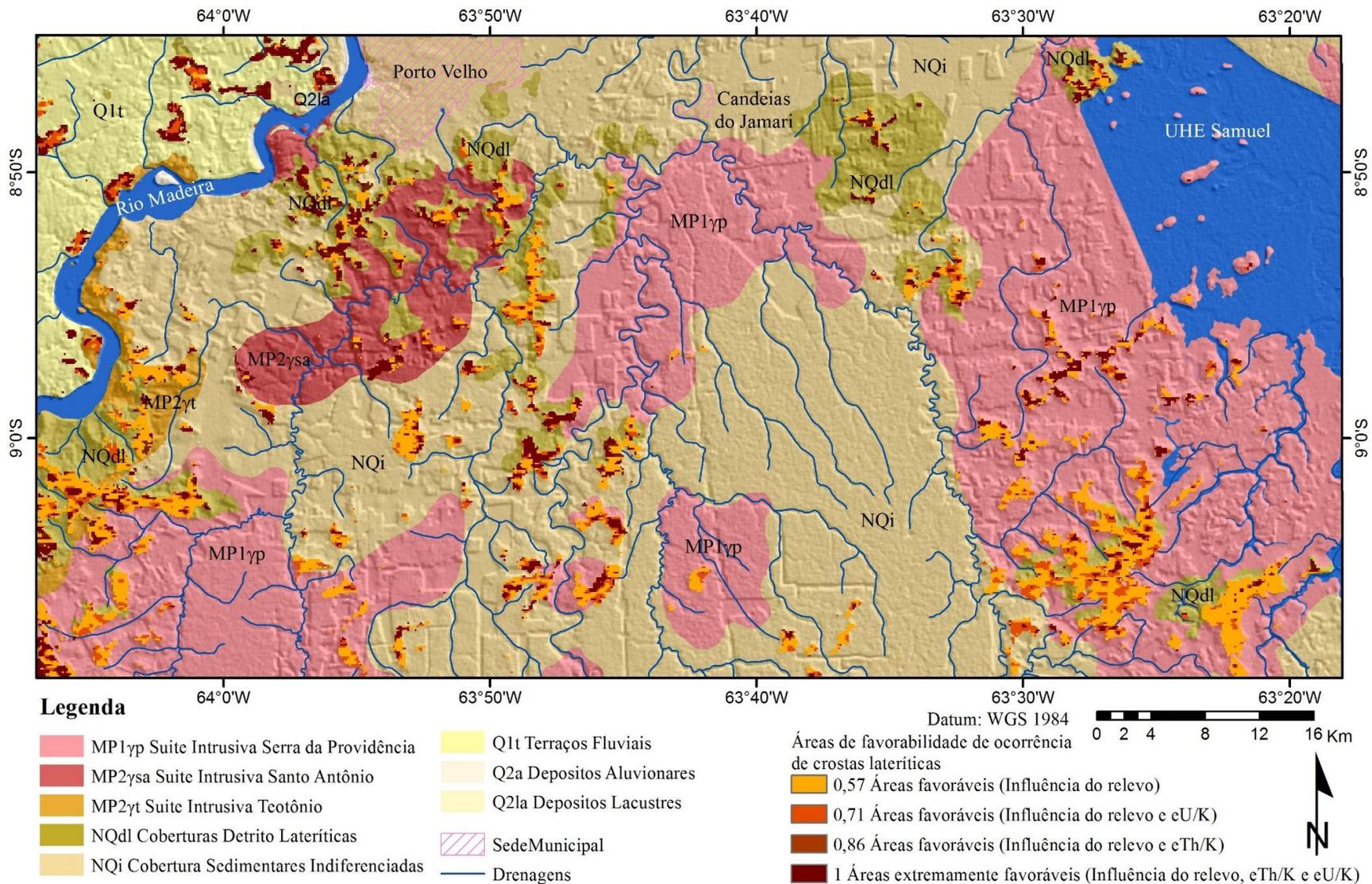
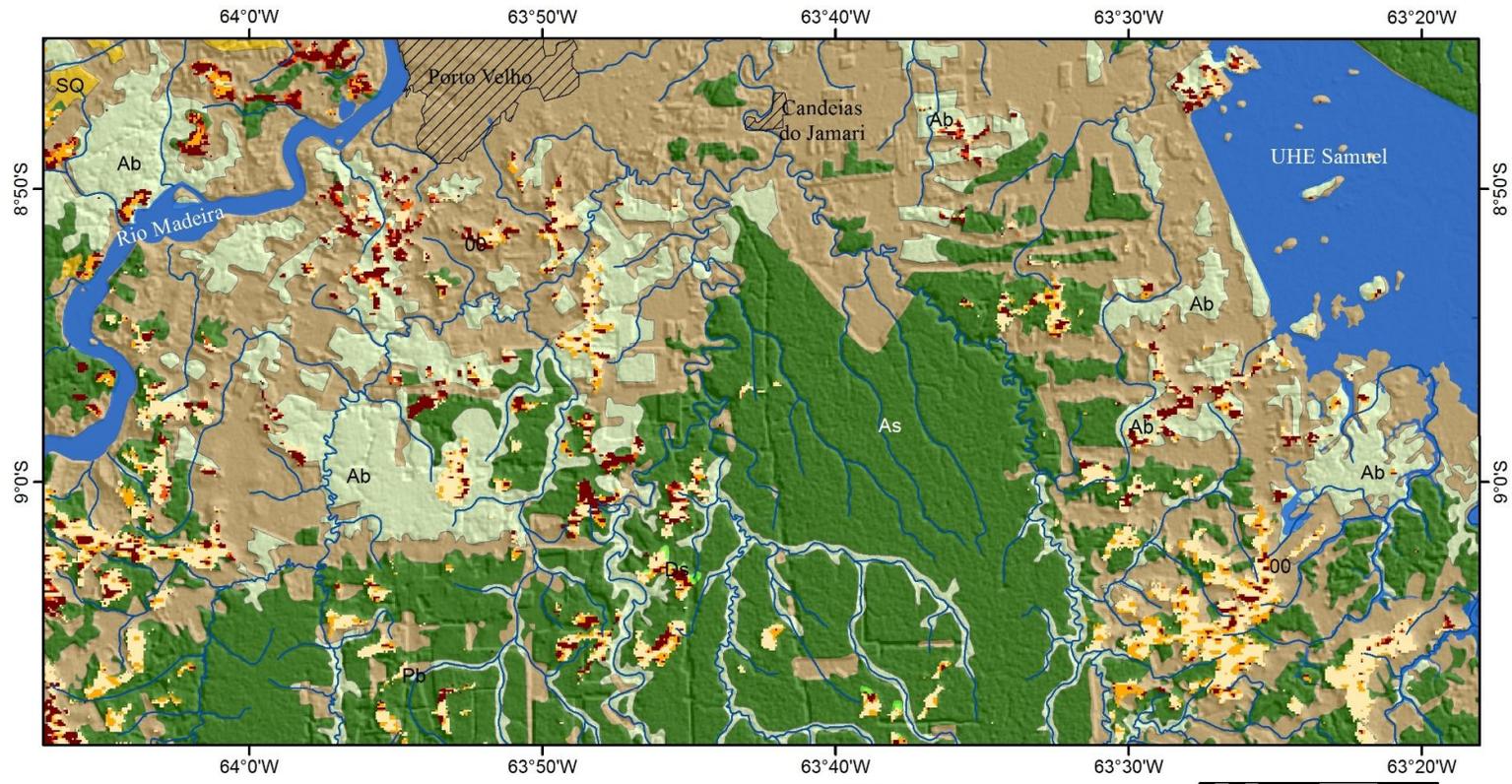


Figura 29 – Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método *Index Overlay*) sobreposto ao mapa geomorfológico de Rondônia (2002).





Legenda

- Áreas Desmatadas
- Ab - Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas
- As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana
- Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana
- Pb - Formação Pioneira sob Influência Fluvial Arbustiva
- SO - Contato Savana/Floresta Ombrófila

Datum: WGS 1984

- Áreas de favorabilidade de ocorrência de crostas lateríticas
- 0,57 Áreas favoráveis (Influência do relevo na margem direita, influência do eTh/K na margem esquerda)
 - 0,71 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eU/K na margem direita, influência do eTh/K e eU/K na margem esquerda)
 - 0,86 Áreas favoráveis (Influência do relevo e eTh/K)
 - 1 Áreas extremamente favoráveis (Influência do relevo, eTh/K e eU/K)

0 2 4 8 12 16 Km

Localidade

Drenagens

Corpos d'água



Figura 31 – Mapa de cobertura vegetal da área de estudo sobreposto pelas áreas previsionais da análise booleana, modificado de Rondônia, (2002).

5.5. Aspectos sócio-econômicos

As crostas lateríticas são de suma importância em termos minerais no município de Porto Velho, pois uma grande parte da demanda dos lateritos é relacionada à construção civil, especificamente para a construção de estradas, assim como estudado por Della Justina (1994) e Oliveira e Filho (2013). Muitos dos locais visitados neste trabalho estão associados a frentes de lavra ativas e inativas.

Na engenharia civil as crostas têm sido utilizadas na construção de obras rodoviárias, barragens e até mesmo concreto (NOGUEIRA, 1985). Essa aplicação depende das características da jazida, sendo melhores aquelas que apresentam concreções com núcleos ferruginosos contínuos e resistentes. Na Amazônia, a aplicação tem sido mais voltada para agregados para a construção civil e obras rodoviárias devido à grande disponibilidade e baixo custo de extração. Costa (2007) afirma que na Amazônia os lateritos tem sido amplamente usados na construção de casas, palácios, igrejas e, mais recentemente, estradas. Hoje em dia, continuam sendo agregados de asfalto e concreto onde não há disponibilidade de brita a custo acessível. Neste sentido as áreas delimitadas na Figura 32 devem ser consideradas como domínios prioritários no que diz respeito à disponibilidade de cascalho laterítico, pois além de terem localização próxima aos grandes centros consumidores (Porto Velho e Candeias do Jamari), tem fácil acesso e considerável volume disponível.

Apesar de serem aproveitadas como material para construção civil e ser consideradas alvos para prospecção mineral as áreas com ocorrência de crostas lateríticas têm limitações quanto à fertilidade (NOGUEIRA, 1985; ALEVA, 1993; COSTA, 2007; CHANDRASEKARAN, 2010). Segundo Nogueira (1985), o problema da fertilidade das crostas está diretamente relacionado ao clima, vegetação e às características dos perfis. O regime de precipitação regula a maior ou menor lixiviação do solo laterítico. Em condições de boa drenagem, a caulinita, ferro e óxidos de alumínio são concentrados, enquanto Ca, Mg e K são lixiviados, diminuindo a capacidade de troca catiônica, minimizando a retenção de água e, portanto, diminuindo a fertilidade do solo. A vegetação típica dos solos lateríticos é representada inicialmente por florestas, que proporcionam nutrientes e matéria orgânica ao solo, em uma fina camada superficial, porém após ser desmatado perde sua vegetação protetora e tende a se deteriorar (NOGUEIRA, 1985).

Chandrasekaran *et al.* (2010), estudou diversos solos e sua aptidão para a agricultura e concluiu que solos lateríticos não são úteis para agricultura, pois são solos pouco espessos e

com muito cascalho. De acordo com Costa (2007), as crostas ferruginosas e aluminosas são uma barreira para a agricultura e, quando intemperizadas, com Latossolos desenvolvidos podem ser empregadas para este fim, sempre que aplicados fertilizantes e corretivos. Segundo Nogueira (1985), para garantir fertilidade, há necessidade de suprir o solo de bases (Ca e Mg) e aumentar o pH, além de proteger da erosão e evitar o desmatamento, o que inviabiliza o processo de agricultura em tais áreas.

Aleva (1993) afirma que a importância econômica dos lateritos está relacionada a extração de alumínio e outros metais como níquel e ferro, mas por outro lado, tem um efeito negativo no crescimento de plantas e afeta a produção alimentar em regiões tropicais. Em termos de prospecção mineral, os lateritos são fontes de ferro, alumínio e manganês (COSTA 1991). Costa (2007) afirma que as reservas e produção mundial de alumínio vem de formações lateríticas, assim como reservas de níquel-cobalto, manganês, ferro e caulim estão intimamente ligadas às formações lateríticas.

Durante a fase de campo foram localmente identificados minerais de alumínio, sendo mais frequente a presença de materiais ferruginosos como hematita e goethita. Castro (2015) afirma que no norte de Rondônia a ausência de crostas bauxíticas indicam perfis pouco evoluídos e desenvolvidos na segunda fase de lateritização na Amazônia. Assim, o potencial para a ocorrência de bauxitas na área de estudo, em uma primeira análise, é restrito e são necessários estudos geológicos e geoquímicos para determinar o teor dos principais elementos presentes.

Em termos de aptidão agrícola, na região de estudo, as áreas previstas para a ocorrência de crostas lateríticas estão sobrepostas às áreas 2,2: 2ab(c). 2ab - Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C e 3,3: 3(bc) - Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C, Figura 32.

5.6. Refinamento cartográfico a partir da análise dos dados multi-fonte

Em termos geomorfológicos, existem duas unidades espacialmente significativas, segundo Rondônia (2002): A) D2212, de dissecação baixa e muitos *tors* e *hillocks* residuais, que tem cotas entre 80 e 204m. É importante ressaltar que todos os afloramentos visitados de crostas lateríticas associados a platôs estão localizados nesta unidade geomorfológica. B) D2211, de dissecação baixa e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors* localizadas em altitudes inferiores a 120 m.

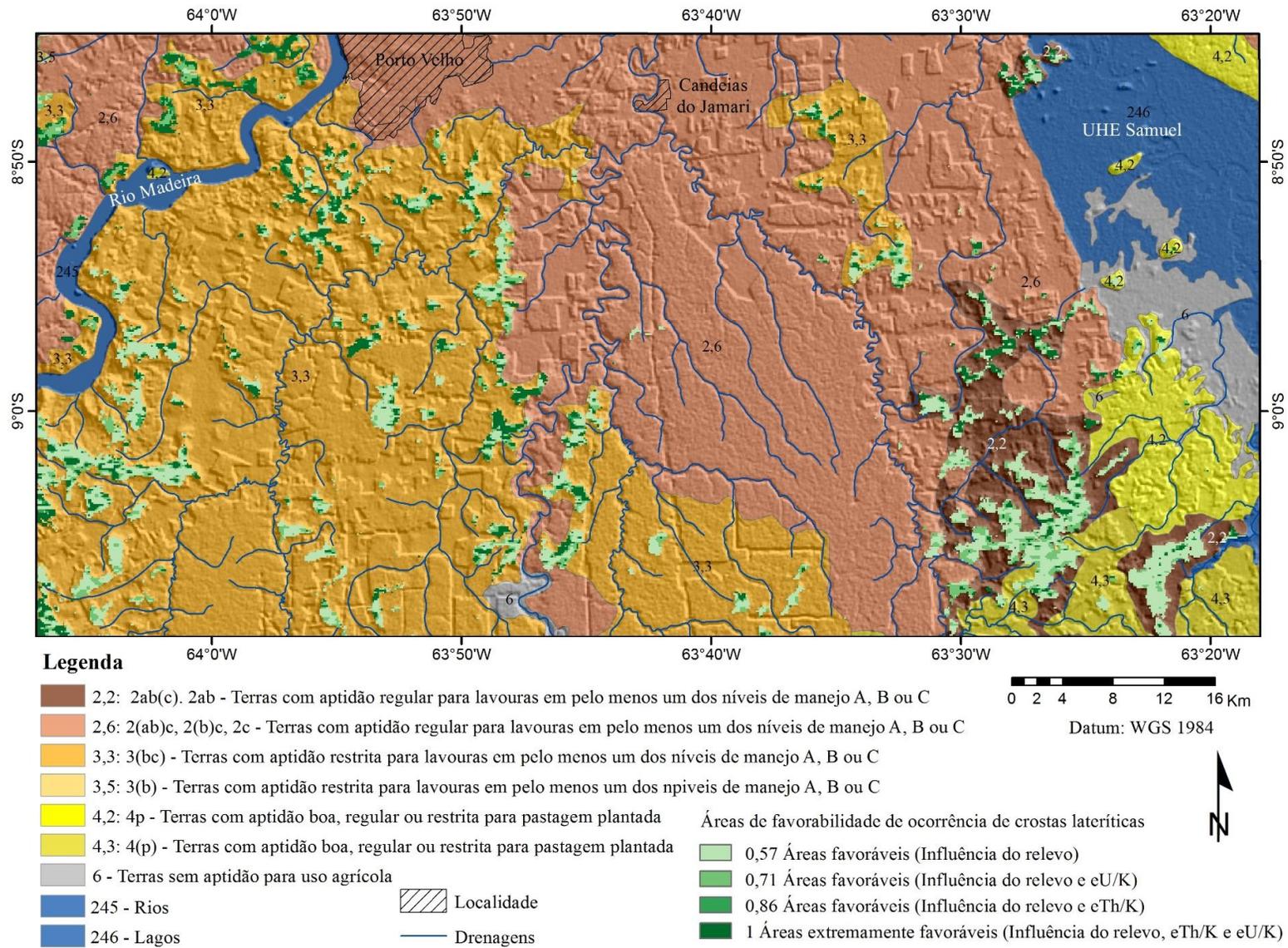


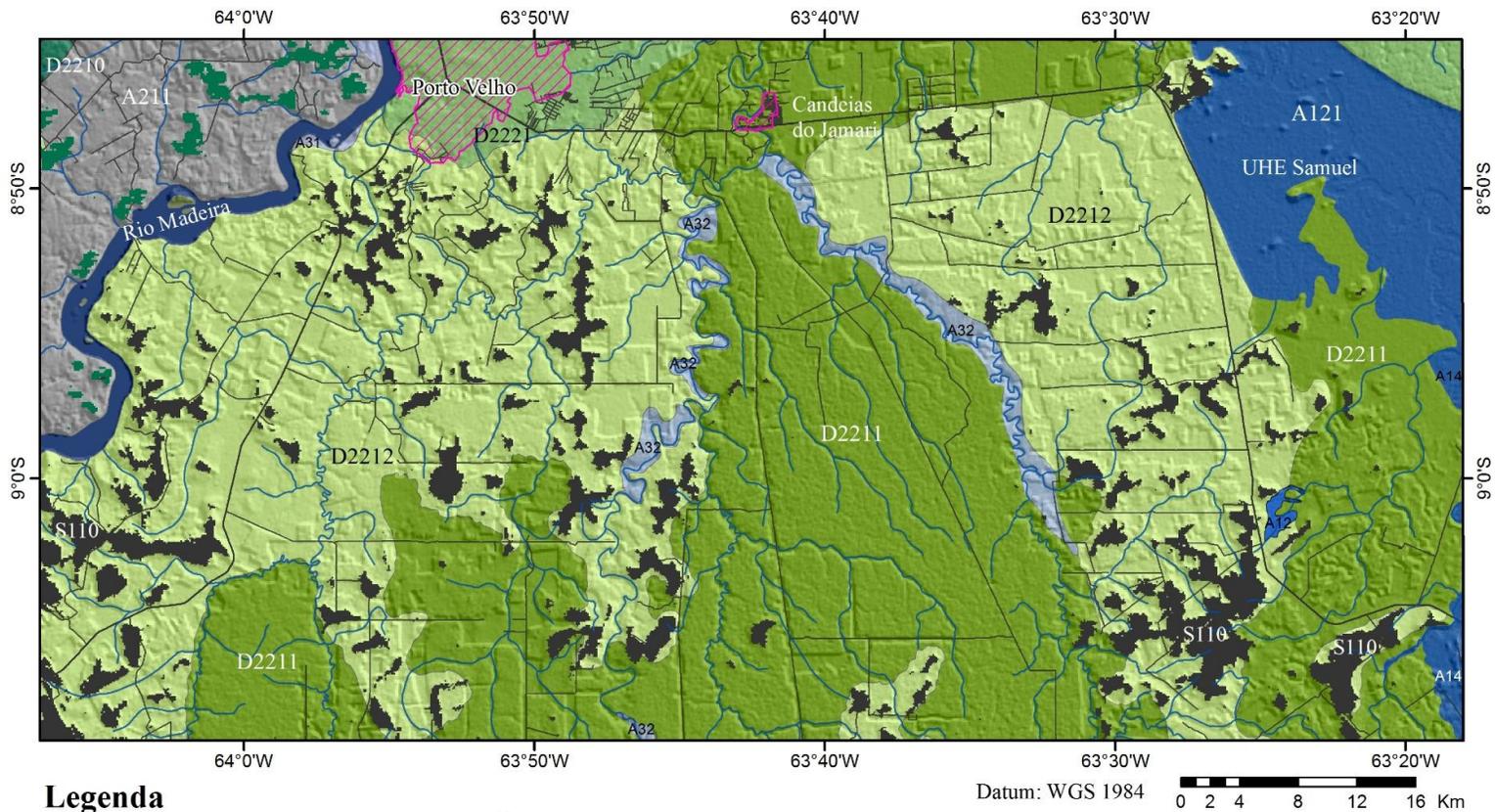
Figura 32 - Mapa de previsibilidade de ocorrência de crostas lateríticas (método Index Overlay) sobreposto ao mapa de aptidão agrícola de Rondônia (2002).

Notadamente o mapa geomorfológico elaborado por Rondônia (2002), na área de estudo, não discrimina platôs e não inclui as crostas ferruginosas na unidade geomorfológica “dissecação baixa e muitos *tors e hillocks* residuais (D2212)”, domínio onde ambos foram identificados e descritos por este trabalho. Esta discrepância pode estar relacionada as distintas escalas ou metodologias de trabalho utilizadas por Rondônia (2002) e por este trabalho. A identificação de crostas lateríticas no referido mapa é feita apenas na margem esquerda do rio Madeira na unidade “D2210 – relevo plano com evidências de superfícies com couraças ferruginosas”. Dessa forma, sugere-se a inclusão das áreas identificadas na margem esquerda do rio Madeira na referida unidade (Figura 33).

Já para a margem direita do rio Madeira, a unidade mais adequada para o refinamento da cartografia geomorfológica é a S110 descrita como “Plana com Ferricrete Cap Rock”. O relatório técnico do Planaflores (RONDÔNIA, 2002) descreve a unidade com topos subhorizontalizados que formam rampas extensas, com densidade de drenagem muito baixa, de relevo plano e com declividades inferiores a 1%. A cobertura superficial é constituída por argilas e argilas com areia muito fina, sendo comum a presença de nódulos milimétricos de laterita. A referida unidade é a que tem a descrição mais próxima às feições observadas em campo. Portanto, sugere-se a ampliação da unidade S110 conforme mostra a Figura 33. O tamanho dos platôs permite sua inclusão em mapas com escalas entre 1:100.000 e 1:250.000.

Por sua vez, o mapa geomorfológico publicado pelo IBGE (2013), descreve a “Depressão de Porto Velho” como constituintes de depósitos sedimentares inconsolidados com formas de relevo de topos tabulares conformando rampas suavemente inclinadas esculpidas em coberturas sedimentares com altitudes entre 100 e 150 m (262Dt33). A cartografia dessa unidade geomorfológica coincide parcialmente com os platôs sustentados por crostas lateríticas identificados neste trabalho. Contudo, diversas áreas cartografadas aqui não foram consideradas pelo mapa do IBGE (2013), fato aparentemente também relacionado à escala, metodologia e ao objetivo do trabalho.

O domínio “depósitos sedimentares inconsolidados” utilizado pelo IBGE é inadequado, pois não há depósitos sedimentares neste domínio geomorfológico, e sim produtos derivados do processo de intemperismo e obviamente não relacionados a processos sedimentares, mas sim a processos residuais (pedogênese). Portanto, sugere-se a mudança de “Depósitos Sedimentares inconsolidados” para “Enriquecimento Supergênico”.



Legenda

- | | | |
|---|------------|--|
| A12 Lagos | Acessos | D2210 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Relevo Plano e Evidências de Superfícies com Couraças Ferruginosas |
| A121 Lagos Artificiais | Drenagens | D2211 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Baixa e Nenhum ou Esporádicos Inselsbergs e Tors |
| A14 Áreas Alagadas | Localidade | D2212 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Baixa e Muitos Tors e Hillocks Residuais |
| A211 Terraços Fluviais. Terraços Altos não Dissecados | | D2221 Superfície de Aplanamento. Nível II (< 300 m) com Dissecação Média e Nenhum ou Esporádicos Inselsbergs e Tors |
| A222 Terraços Fluviais. Terraços Baixos com presença de Leitos Abandonados e Pântanos | | D2231 Superfície de Aplanamento. Nível III (<200 m) com Dissecação Média e Nenhum ou Esporádicos Inselsbergs e Tors |
| A31 Planícies Inundáveis e Vales. Rios Principais | | |
| A32 Planícies Inundáveis e Vales. Rios Secundários | | |
| S110 Superfícies Tabulares Planas com Ferricrete Cap Rock (áreas propostas) | | |

Figura 33 – Proposta de mapa geomorfológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Rondônia (2002).

Desse modo, sugere-se a inclusão de novas áreas que apresentam feições geomorfológicas similares àquelas mapeadas pelo IBGE (topo tabular e densidade de drenagem média a baixa) na unidade 262Dt33, associadas a crostas ferruginosas, identificadas nesse trabalho, para a margem direita do rio Madeira, conforme a Figura 34.

Na margem esquerda do rio Madeira, a unidade 246Dc21, onde há maior sobreposição de crostas lateríticas, está descrita como “Conjunto de formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente, também em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural”. Esta área encontra-se localizada em um domínio residual (crostas lateríticas) e sedimentar (depósitos aluvionares, lacustres e terraços fluviais), sem evidências marcantes de topos tabulares como os observados na margem direita do rio Madeira. Portanto, sugere-se a criação da unidade 246Dc11 com a seguinte descrição: “Conjunto de formas de relevo de topos convexos, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas lateríticas”, conforme Figura 34.

Em relação aos aspectos geológicos, o mapeamento realizado por Quadros e Rizzotto (2007) exhibe boa correlação com as crostas identificadas neste trabalho, apesar das diferentes escalas de mapeamento entre ambos. Entretanto, novas áreas na porção sul e sudeste foram identificadas neste trabalho. Nestes setores predomina a unidade “coberturas sedimentares indiferenciadas” e “Suíte Intrusiva Serra da Providência” e subordinadamente outras unidades geológicas descritas no item 2.4 deste trabalho. Neste sentido sugere-se a inclusão destas áreas na unidade NQdl – coberturas detrito lateríticas (Figura 35).

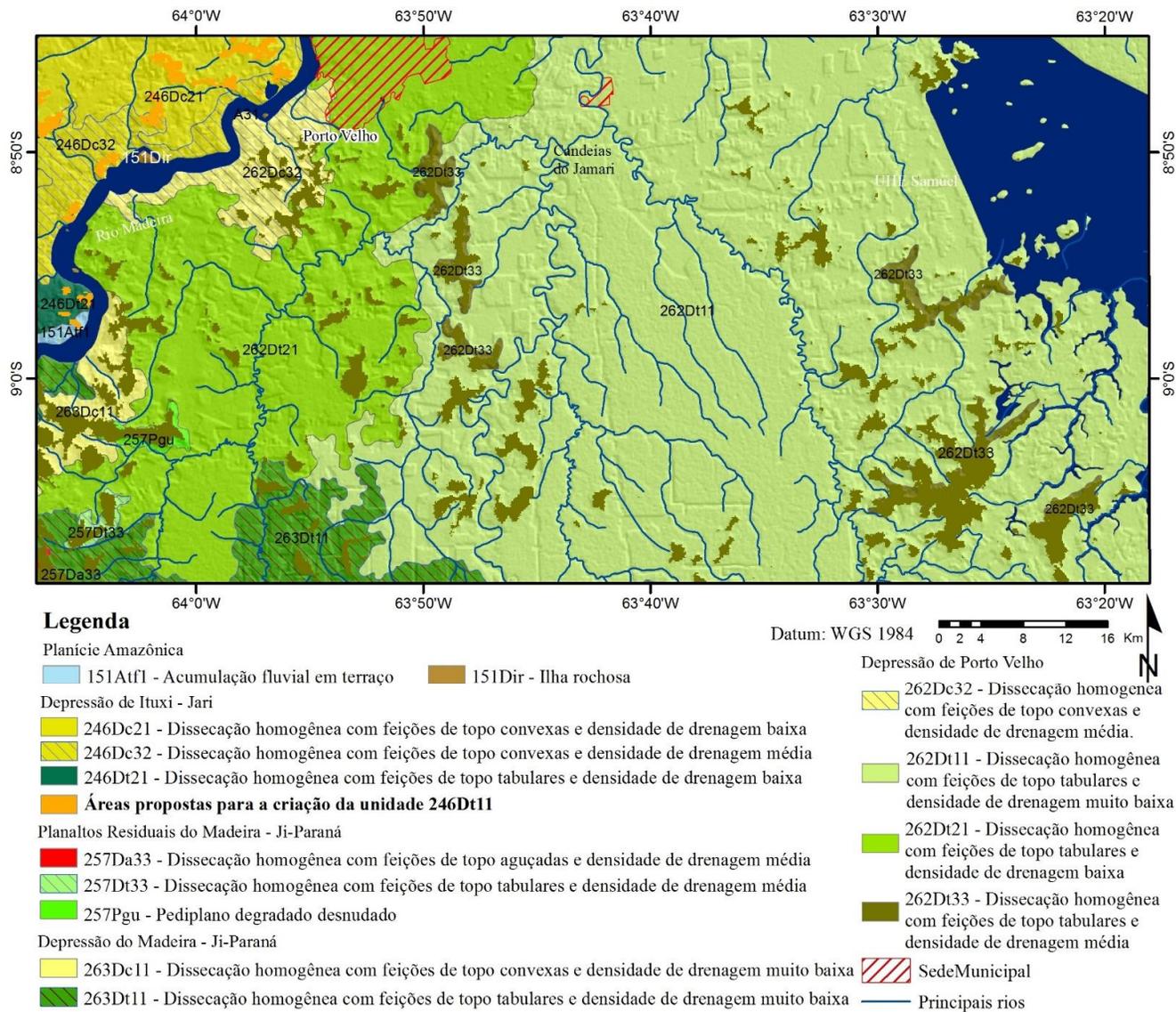
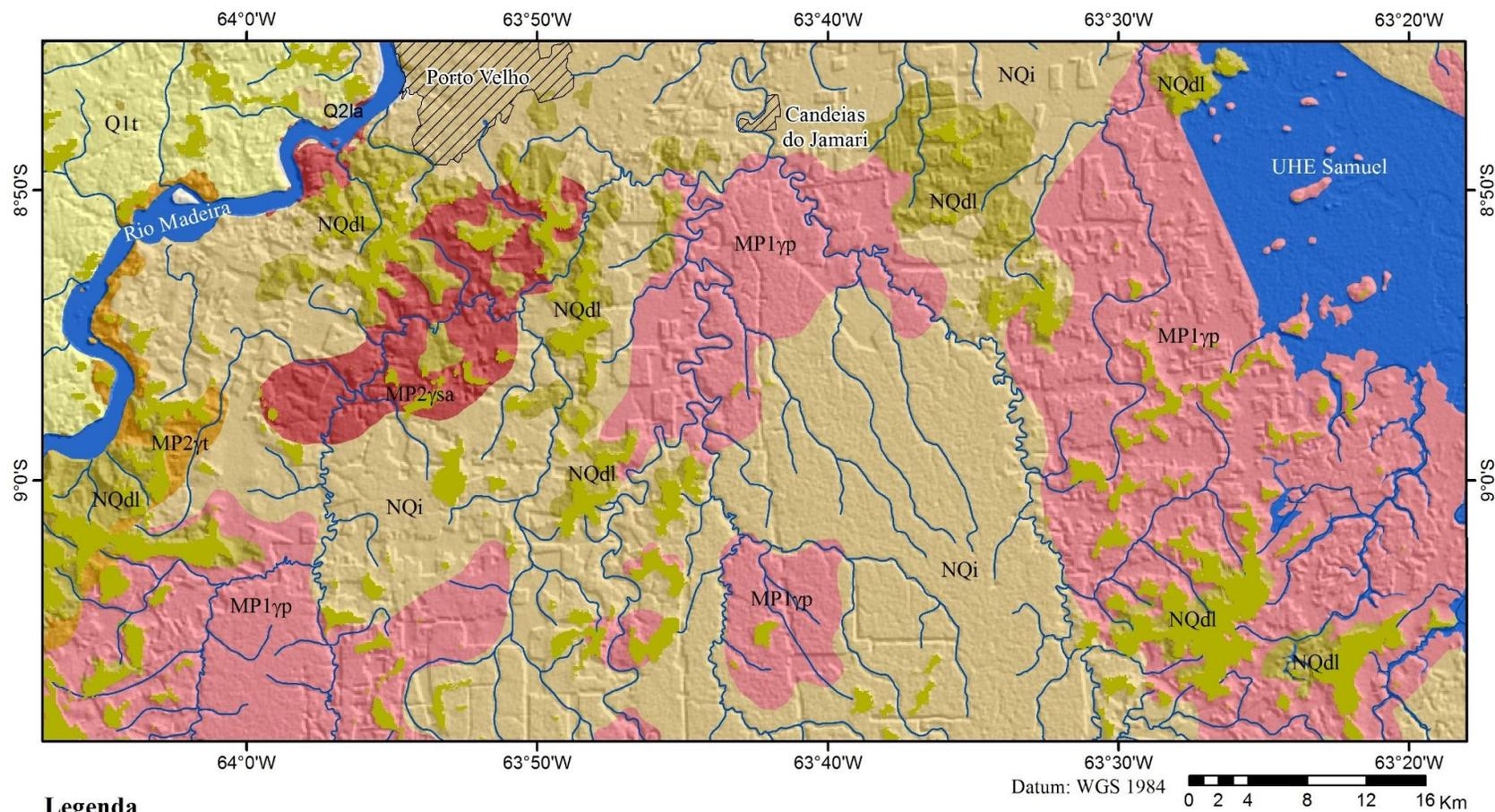


Figura 34 – Proposta de mapa geomorfológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de IBGE (2013).

As crostas lateríticas identificadas representam, portanto, a alternância de climas pretéritos, e os platôs identificados correspondem, pelo menos, a uma paleosuperfície regional ampla e dissecada que passa atualmente por forte processo de degradação. A presença de três principais intervalos altimétricos marcados por crostas lateríticas (80 a 110 m na margem esquerda do rio Madeira, e entre 120 e 150 m e entre 180 e 204 m na margem direita do rio Madeira) com características mineralógicas, estruturais e texturais similares sugere atuação de neotectônica assim como proposto por Guerra (1952 e 1953), Melo *et al.* (1978), Costa *et al.* (1996), Souza Filho *et al.* (1999), Scandolaro (1999), Oliveira e Costa (2006) e Litherland e Pitfield (1983).

Em relação ao mapa de aptidão agrícola, as áreas de previsão de ocorrência de crostas lateríticas coincidem em grande parte com as áreas classificadas como 3,3: 3(bc) Terras com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Contudo, na porção sudeste e nordeste da área, há sobreposição com a unidade classificada como 2,2: 2ab(c), 2ab Terras com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C. Neste domínio, as crostas lateríticas estão associadas a platôs com intervalos altimétricos de 180 a 204 m com exposição da própria crosta laterítica, horizonte desmantelado (nódulos e pisólitos) eventualmente sobreposto por Latossolo. Esta condição é restritiva, pois são terras que apresentam limitações relacionadas à produtividade, em especial aquelas relacionadas à deficiência de fertilidade, deficiência de água e, em muitos casos, impedimentos à mecanização. Assim, sugere-se a mudança, das áreas previstas com ocorrência de crostas lateríticas para a classe de aptidão 3,3: 3(bc) assim como proposto na Figura 36.



Legenda

- | | | |
|---|---|---|
| MP1 γ p Suite Intrusiva Serra da Providência | Q1t Terraços Fluviais | NQdl Coberturas Detrito Lateríticas |
| MP2 γ sa Suite Intrusiva Santo Antônio | Q2a Depositos Aluvionares | NQi Cobertura Sedimentares Indiferenciadas |
| MP2 γ t Suite Intrusiva Teotônio | Q2la Depositos Lacustres | Sede Municipal |
| | | Drenagens |

Figura 35 – Proposta de mapa geológico incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Quadros e Rizzotto (2007).

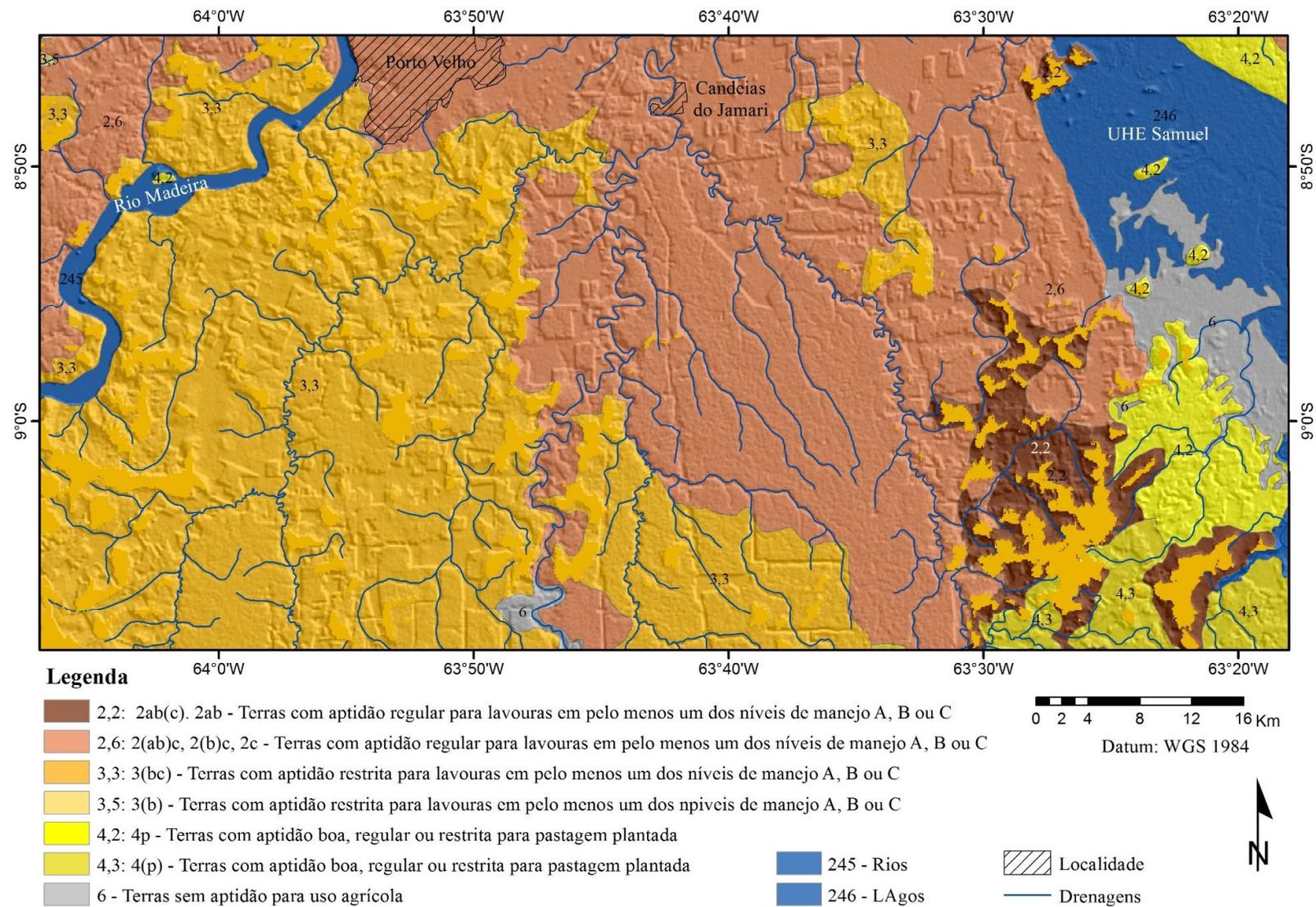


Figura 36 – Proposta de mapa de aptidão agrícola incluindo as áreas de crostas lateríticas previstas pelo modelo booleano, modificado de Rondônia (2002).

6. CONCLUSÕES

A utilização de dados altimétricos e geomorfológicos, apoiados com verificações de campo mostraram-se fundamentais para a cartografia de crostas lateríticas e seus produtos de desmantelamento. A identificação e descrição dos perfis lateríticos, altitudes e formas de relevo associadas permitiu o incremento dos mapas geológicos, geomorfológicos, assim como de aptidão agrícola e da descrição das respectivas unidades. Na região amazônica onde há dificuldade de acesso, pouca informação sobre as crostas e mapeamento com escalas de pouco detalhe, o refinamento das interpretações do relevo (MDT), assim como sua correlação com aspectos geológicos, geomorfológicos e gamaespectrométricos dos mapas, mostrou-se eficiente e útil.

Os resultados obtidos no método *index overlay* mostraram áreas que coincidem totalmente com as áreas identificadas por trabalhos anteriores, e incluem novas áreas que mostraram-se consistentes com as bases geomorfológicas, geológica, de solos e de aptidão agrícola.

Dessa forma, nota-se que os mapas supracitados subestimam as atuais áreas de ocorrência de crostas, o que reforça a necessidade de trabalhos de mapeamento sistemático, em escalas adequadas, com intuito de reduzir essa discrepância. Os mapas geomorfológicos foram aqueles que evidenciaram as maiores diferenças cartográficas com as áreas identificadas por esta pesquisa, e dessa forma merecem atenção redobrada.

A ocorrência de crostas lateríticas em pelo menos três níveis altimétricos (80 a 110 m, 120 a 150 m e entre 180 a 204 m) deixa clara a necessidade estudos geocronológicos e de geologia estrutural com o objetivo de definir a existência de uma ou mais superfícies de aplanamento e detalhar a neotectônica da área. O fato é que os platôs ocupam aproximadamente 278,4 km², representam 6,6% da área de estudo, representando uma importante feição geomorfológica da área ainda não cartografada e/ou significativamente subestimada.

A ocorrência de Latossolos associados às crostas é amplamente discutida na Amazônia e a atividade vegetal é apontada como um dos importantes fatores envolvidos. Assim, em alguns setores da área mapeada, por exemplo, aqueles localizados no extremo norte e noroeste, onde predominam solos e não há crostas lateríticas aflorantes, é possível que elas estejam em subsuperfície. Estudos em escala maiores que 1:100.000 são necessários para o maior detalhamento cartográfico das crostas lateríticas.

Recomendam-se estudos geocronológicos para definir as idades das crostas lateríticas e conseqüentemente a identificação da(s) idade(s) da(s) paleosuperfície(s) de aplanamento existente(s) na região e na área estudada. Os métodos U-Th/He em goethita e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ são utilizados em diversas partes do mundo e podem ajudar a detalhar os aspectos evolutivos. (LIPPOLT *et al.* 1998, THOMAS *et al.* 2000, SHUSTER *et al.* 2005, HEIM *et al.* 2006, LIMA, 2008, RIFFEL *et al.* 2015, entre outros). Os resultados podem contribuir com a identificação das paleosuperfícies associadas e com as interpretações relacionadas a neotectônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSY, M.L. Palinology of Amazonia: the history of the forests as revealed by the palynological record. In: Prance, G.T. e Lovejoy, T.E. (eds.). **Amazonia**. Oxford: Pergamon Press, 1985.
- ADAMY, A.; ROMANINI, S.J. **Geologia da Região Porto Velho-Abunã**: Relatório Final. Porto Velho: CPRM, 1990.
- ALEVA, G. J. J. **The CORLAT handbook**: Guidelines and background information for the description of laterite profiles for interdisciplinary use. Brussels: International Soil Reference and Information Centre, 1993.
- AN, P.; MOON, W. M.; RENCZ, A. Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration. **Canadian Journal of Exploration Geophysics**, v. 27, p. 1-11, 1991.
- ANAND, R. R; PAINE, M. Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implications for exploration. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 49, p. 3-62, 2002.
- BARDOSSY, G.; ALEVA, G. J. J. The Amazon Basin: a discussion review. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ICSOBA, 6. 1989, Poços de Caldas. Travaux ICSOBA. Poços de Caldas: L'Académie Yugoslave des Sciences et des Arts, v. 19, p. 445-458.
- BÁRDOSSY, G., ALEVA, G.J.J. **Lateritic bauxites**. Developments in Economic Geology, 27. Elsevier, Amsterdam. 624p, 1990.
- BETTENCOURT, J.S; TOSDAL, R.M.; LEITE JR., W.B.; PAYOLLA, B.L. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil-I. Reconnaissance U-PB geochronology and regional implications. **Precambrian Research**, v.95, p.41-67, 1999.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E.; HERMANN, M. L. P.; MENDONÇA, M.; SANTOS, G. F.; CARVALHO, S. M. C.; COITINHO, J. B. L. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol. II. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996.
- BONHAM-CARTER, G. F. Tools for map analysis: multiple maps. In: _____. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS** Oxford: Pergamon, 1994. Cap 9. p. 267-337.
- BOTELHO, J. **Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico**. 5ª ed. Lisboa Fundação Calouste Gulbenkian, 1979.
- BOULANGÉ, B.; CARVALHO, A. The bauxite of Porto Trombetas. In. CARVALHO A., BOULANGÉ B., MELFI A.J., LUCAS Y. (eds). **Brazilian Bauxites**, São Paulo, USP/FAPESP/ORSTOM, p. 55-73. 1997.
- BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982.
- BURROUGH, P. A; MACMILLAN, R.A; DEURSEN, W.V. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observation and topography. **Journal of Soil Science**, v. 43, p. 193-210, 1992.
- BYRNES, M.E. **Field Sampling Methods for Remedial Investigations**, 2 ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

- CARRANZA, E. J. M. Knowledge-driven modeling prospectivity. In: _____. **Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS**, v 11. Amsterdam: Elsevier, 2009. Cap 7. p. 189-246.
- CARRINO, T. A.; SILVA, A.M.; BOTELHO, N.F.; SILVA, A.A.C. Discriminação de áreas de espesso regolito do leste do Estado do Amazonas usando estatística multivariada, algoritmo hiperespectral e modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 1, p. 155-172, 2011.
- CASTRO, R.T. **A Lateritização NA Amazônia Ocidental: Sul de Roraima e Norte e Noroeste de Rondônia**. 2015. Dissertação (Pós-graduação em Geociências) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015
- CHANDRASEKARAN, B.; ANNADURAI, K.; SOMASUNDARAM, E. **A textbook of Agronomy**. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers, 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, 21, 146-160, 1991.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S; FERREIRA JUNIOR, C.R.P.; BEZERRA, P.E.L; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica Da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos E Depositionais. **Geonomos**, v.4 n.2, 1996
- COSTA, ML. Lateritization as a major process of ore deposit formation in the Amazon region. **Exploration and Mining Geology**, 6, 79-104. 1997.
- COSTA, M. L. da. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B. de; SILVA, C. R. da (Eds.). **Prospecção geoquímica: depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás**. Rio de Janeiro: SBGq/CPRM, 2007. p. 199-244.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Rondônia Central**: relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções; Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas, 27 v. 1, 2010.
- DA SILVA, M.F. **Análise morfoestrutural da folha Porto Velho SC20 V-B-V, como subsídio a delimitação de traçados de estradas e rodovias**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2014.
- DARNLEY, A. G.; GRASTY, R. L. Mapping from the air by gamma-ray spectrometry. **Canadian Institute of Mining Metallurgy**, v. 11, p. 485-500, 1971.
- DAUTH, C. Airbornemagnetic, radiometric and satellite imagery for regolith mapping in the Yilgarn Craton of Western Australia. **Exploration Geophysics**, 28, 199–203, 1997
- DELLA JUSTINA, E.E., **Retrato Social da Exploração de Recursos Minerais no Município de Porto Velho-Rondônia**: O caso dos lateritos.1994. Monografia (Especialização em Geografia) – Amazônia, questão Regional e Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 1994.
- DENT, D. L.; MACMILLAN, R.A.; MAYR, T.L.; CHAPMAN, W.K.; BERCH, S.M. Use of airborne gamma radiometrics to infer soil properties for a forested area in British Columbia, Canada. **Journal of Ecosystems and Management**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2013.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

- DUVAL, J. S. Modern aerial gamma-ray spectrometry and regional potassium map of the conterminous United States. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 39, p. 249-253, 1990.
- ELETRONORTE, Eletronorte. Disponível em:
<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/rondonia/> Acesso em: 18/01/2016.
- FISCH, G., MARENGO, J.A., NOBRE, C.A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/cliesp10a/fish.html>. Acessado em 26/05/2016.
- GRAHAM, D. F.; BONHAM-CARTER, G. F. Airborne radiometric data: a tool for reconnaissance geological mapping using a GIS. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, p. 1243-1249, 1993.
- GREGORY A. F.; HORWOOD J. L. **A laboratory study of gamma-ray spectra at the surface of rocks**. Ottawa: Department of Energy, Mines and Resources, (Mines Branch Research Report, 85). 1961.
- GUERRA A.T. Formação de lateritos sob a floresta equatorial amazônica (Território Federal do Guaporé). **Revista Brasileira de Geografia**, 4, 33-52, 1952.
- GUERRA, A.T. Observações geográficas sobre o Território do Guaporé. **Revista Brasileira de Geografia**, 2, 183-302, 1953.
- HEIM, J., VASCONCELOS, P., FARLEY K., SHUSTER D., BROADBENT, G. (U-Th)/He and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of weathering, Hamersley Province, Australia: implications for weathering history and landscape evolution. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 70(18) Supplement, 2006.
- HORBE A.M.C. COSTA M.L. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas silicoferruginosas. **Acta Amazônica**, 27(4):241-256. 1997.
- HORBE, A.M.C & Costa, M.L. Geochemical evolution of a lateritic Sn,Zr,Th,Nb,Y,REE- bearing ore body derived from apogranite: the case os Pitinga, Amazonas-Brasil, **Journal of Geochemical Exploration**, 66: 339-351. 1999a.
- HORBE A.M.C. & COSTA M.L. Relações genéticas entre Latossolos e crostas lateríticas aluminosas e aluminoferruginosas na região de Paragominas - Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, 29(4):477-504. 1999b.
- HORBE A.M.C., COSTA, M.L. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia, **Geoderma**, 126: 225-239. 2005.
- HORBE, A. M. C. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Naturais (Cessou em 2005. Cont. ISSN 1981-8114 Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciênci, v. 9, p. 93-104, 2014.
- IBGE. **Mapas interativos**, 2013. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/> Acessado em: 20 de junho de 2015.
- IZA, E.R.H.F; HORBE, A.M.C; SILVA, A.M. Boolean and fuzzy methods for identifying lateritic regoliths in the Brazilian Amazon using gamma-ray spectrometric and topographic data. **Geoderma**, 269, 27-38, 2016. Doi:

- KOTSCHOUBEY, B.; CALAF, J.M.C.; LOBATO, A.C.C.; LEITE, A.S.; AZEVEDO, C.H.D. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará/ oeste do Maranhão. In MARINI O.J., QUEIROZ E.T., RAMOS B.V (eds) **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília, DNPM-CT/Mineral-ADIMB, p. 691-782. 2005.
- LAGACHERIE, P. An algorithm for fuzzy pattern matching to allocate soil individuals to pre-existing soil classes. **Geoderma**, n. 128, p. 274-288, 2005.
- LIMA, M.G. **A história do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas**. 2008 Tese (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008
- LIPPOLT H. J., BRANDER T., AND MANKOPF N. R. An attempt to determine formation ages of goethites and limonites by (UTh)- 4 He dating. **Neues Jahrbuch Mineralogie.-Monatshefte**. 11, 505–528, 1998.
- LITHERLAND, M., PITFIELD, P.E.J. The Mesozoic-Cenozoic history of eastern Bolivia and the recognition of four age's of duricrust. **Proceedings of II International Seminar of Laterisation Processes**, Sao Paulo, IGCP Project 129. Sao Paulo, pp. 281-294, 1983.
- LUCAS, Y.; KOBILSEK, B; CHAUVEL, A. Structure, genesis and present evolution of Amazonian bauxites developed on sediments. **Anais Inter. Cong. ICSOBA**, Poços de Caldas, 22: 81-94. 1989.
- MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M.L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, n. 2. p. 3-52, 2003.
- MCKENZIE, N. J.; RYAN, P. J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, v. 89, p. 67-94, 1999.
- MCNEIL, M. Lateritic Soils in distinct Tropical Environments: Southern Sudan and Brazil. In: _____ FARVAR, T., MILTON, J. (eds) **The Careless Technology: Ecology and International Development**, Garden City: The Natural History Press, 1972.
- MELO, D.P.; COSTA, R.C.R.; E NATALI FILHO, T. - Geomorfologia da folha SC.20-Porto Velho. In: BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.20-Porto Velho. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral (Levantamento de Recursos Naturais, 16), 1978.
- MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 39-50, 1997.
- MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA-FILHO, R.; CAMARA, G. Spatial analysis techniques applied to mineral prospecting: an evaluation in the Poços de Caldas Plateau. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 183-190, 2003.
- NAHON, D.; MELFI, A., CONTE, C.N. Presence d'un vieux système de cuirasses ferrugineuses latéritiques en Amazonie du Sud. As transformation in situ en latosols sous la forêt équatoriale actuelle. **Compt. Rend. Acad. Sci**, v. 308, p. 755-760, 1989.
- NASCIMENTO, T.C.N., MANIESI, V., ADAMY, A., NOGUEIRA, A., A natureza e aplicação dos materiais lateríticos na área urbana e entorno de Porto Velho. **Revista geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.11 – 19, 2012.

- NOGUEIRA, J. 1985. **Lateritas**. *Boletim Técnico*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 46 p.
- OLIVEIRA, J. G. F.; COSTA, M. L. Caracterização geológica de um perfil laterítico imaturo na região de Porto Velho-Rondônia. In: IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 2006, Belém-PA. **IX Simpósio de Geologia da Amazônia**. Belém: SBG-NÚCLEO NORTE, p. 01-04. 2006.
- OLIVEIRA, C.E.S, FILHO, R.S. **Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (SC.20-V-B-V)**. Porto Velho: CPRM, 2013.
- PAYOLLA, B.L. **As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, rio Madeira, Porto Velho, Rondônia**: geologia, petrografia e geoquímica. M.Sc. Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- PENTEADO, M. M^a. **Fundamentos de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 154 p.
- PENTEADO, M. M^a. **Geografia e Planejamento**: A geomorfologia no contexto social. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1981.
- POMEROL, C.; LAGABRIELLE, Y.; RENAND, M.; GUILLOT, S. **Princípios de geologia**: técnicas, modelos e teorias. 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- QUADROS, M.L. do E.S.; RIZZOTTO, G.J. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia-escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM. 116 p. Programa Geologia do Brasil-PGB. 2007.
- QUADROS, M.L. do E.S.; RIZZOTTO, G.J.; OLIVEIRA, J.G.F. de; CASTRO, J.M.R. de. Depósitos fluviais da Formação Rio Madeira, pleistoceno superior da Bacia do Abunã, Rondônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, 2006, Belém. **Trabalhos Apresentados**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2006.
- RIFFEL, S. B., VASCONCELOS, P. M., CARMO, I.O. FARLEY, K. A. Combined $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U–Th)/He geochronological constraints on long-term landscape evolution of the Second Paraná Plateau and its ruiniform surface features, Paraná, Brazil. **Geomorphology**, 233. pp. 52-63, 2015.
- RIZZOTTO, G.J; QUADROS, M.L do E.S. Geologia do sudoeste do Craton Amazônico. In. HORBE, A.M.C.; SOUZA, V da S. (Coords.). **Contribuições à geologia da amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, v.4, p 69-84, 2005.
- RIZZOTTO, G.J.; QUADROS, M.L. do E.S.; OLIVEIRA, J.G. de; CASTRO, J.M. de; LAFON, J.M. Idades PB- dos granitos do setor noroeste do Estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, Belém. **Trabalhos Apresentados**. Belém: SBG-Núcleo Norte 1 CD-Rom. 2006.
- RONDONIA, Secretaria de Estado do Planejamento. **Plano agroflorestal e Pecuario de Rondônia – PLANAFLORO** (bando de dados geográfico). Porto Velho, 2002. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/109-cogeo/168-acervo-tecnico>>. Acessado em 20 de junho de 2015.
- RONDONIA, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM. **Boletim Climatológico de Rondônia, 2010**. Porto Velho, 2010.
- RUFFET, G.; INNOCENT, C.; MICHARD, A., FERAUD, G.; BEAUVAIS, A.; NAHON, D.; HAMELIN B. A geochronological $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ study of L-Mn oxides from the weathering sequence of Azul, Brazil. **Geochim. et Cosmochim. Acta**, 60, p. 2219-2232, 1996.

- SANTOS, M. **Por uma geografia nova: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.
- SANTO ANTONIO ENERGIA. Disponível em:
<http://www.santoantonioenergia.com.br/pt/energia/energia1/>. Acessado em: 25/05/2016.
- SCANDOLARA, J.E. A neotectônica no Estado de Rondônia e adjacências: esboço preliminar e aspectos evolutivos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6. Manaus, **Boletim de Resumos Expandidos**. Manaus: SBG-Núcleo Norte, p.301-304. 1999.
- SCOTT, K., PAIN, C. **Regolith Science**. Melbourne: Csiro Publishing, 2008.
- SHUSTER, D.L., VASCONCELOS, P.M., HEIM, J.A., FARLEY, K.A. Weathering geochronology by (U-Th)/He dating of goethite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 69 (3), p.659-673, 2005. doi:10.1016/j.gca.2004.07.028
- SOUZA FILHO, P.W.M.; QUADROS, M.L.E.S.; SCANDOLARA, J.E.; SILVA, E.P.; REIS, M.R. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia-Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Vol.29, n.4, p.469-476. 1999.
- TARDY, Y., KOBILSEK, B. PAQUET, H., Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **Journal of African Earth Sciences**, 12(1): 283-295, 1991.
- TARDY, Y & ROQUIN, C. **Dérive des continents: Paléoclimats et alterations tropicales**. Orléans, Éditions BRGM, 1998.
- TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester: John Wiley, 2001.
- THOMAS, M. F. **Tropical geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates**. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- THOMAS, B., LIPPOLT, H.J. PIDGEON, R.T. U-Th-He Dating of Ironstones – Examples from the Hamersley Iron Province and Darling Range Laterites from Western Australia. **Journal of Conference Abstracts**, 5(2), 245, 2000.
- TOSDAL, R.M.; BETTENCOURT, J.S.; LEITE Jr., W.B.; PAYOLLA, B.L. Pb isotopic compositions from middle Proterozoic rondonian rapakivi massifs, southwestern margin of the Amazonian Craton, Brazil. In DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; COSTI, H.T. (EDS). Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, 1, Belém. **Abstracts Volume**. Belém: Center for Geosciences. University Federak of Para. 88p. 78-79. 1995.
- TRUCKENBRODT, W., KOTSCHOUBEY, B., GÓES, A.M. Considerações a respeito da idade das bauxites na arte leste da região Amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. **Anais...** Belém, SBG/NO., 1: 201-209, 1982.
- TUCKER, C. J.; HOLBEN, B.N.; GOFF, T.E. Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 15, p. 255-261, 1984.

- ULLMAN, E. Ecology and Spatial Analysis: A comment on the James D. Clarkson. **Ann. Ass. A, Geogr.**, 63(2), 272-274, 1973
- VASCONCELOS, P.M.; RENNE P.R.; BRIMHALL G. H.; BECKER, T.A. Direct dating of weathering phenomena by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K – Ar analysis of supergene K – Mn oxides. **Geoch. Et Cosmoch. Acta**, 58:1635 – 1666, 1996.
- WILFORD, J. R.; BIERWIRTH, P.N.; CRAIG, M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 201-216, 1997.
- WILFORD, J. A weathering intensive index for the Australian continent using airborne gamma-ray spectrometry and digital terrain analysis. **Geoderma**, v. 183-184, p. 124-142, 2012.
- ZHU A-XING.; YANG, L.; LI, B.; QIN, C-Z.; PEI, T.; LIU, B. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. **Geoderma**, v. 155, n. 3-4, p. 164-174, 2010.
- ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Boston: Kluwer-Nijhoff, 363 p., 1985.