

MAURIELLE FELIX DA SILVA

MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO POR PEDOMETRIA NAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DOS RIOS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E
GUARAQUEÇABA - GUARAQUEÇABA (PR)

CURITIBA
2016

MAURIELLE FELIX DA SILVA

MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO POR PEDOMETRIA NAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DOS RIOS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E
GUARAQUEÇABA - GUARAQUEÇABA (PR)

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geografia, no Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula

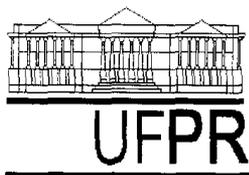
CURITIBA
2016

Silva, Maurielle Felix da
Mapeamento pedológico preditivo por pedometria nas bacias
hidrográficas dos Rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba –
Guaraqueçaba – PR / Maurielle Felix da Silva . – Curitiba, 2016.
150 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor
de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Orientador: Eduardo Vedor de Paula
Bibliografia: p.135-141

1. Pedometria. 2. Topografia. 3. Mapeamento digital. I. Paula,
Eduardo Vedor de. II. Título.

CDD 526.928



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos dezoito dias do mês de abril do ano de dois mil e dezesseis, na sala 109, foi avaliada pela Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo relacionados, a Dissertação de Mestrado da aluna **MAURIELLE FELIX DA SILVA** intitulada “**MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO POR PEDOMETRIA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E GUARAQUEÇABA - GUARAQUEÇABA (PR)**” que obteve como resultado final APROVADA.

(RES. 65/09 CEPE Art. 69. Os examinadores avaliarão a dissertação ou a tese considerando o conteúdo, a forma, a redação, a apresentação e a defesa do trabalho, decidindo pela aprovação, ou reprovação do trabalho de conclusão do aluno.

Parágrafo único. A ata da sessão pública da defesa de dissertação ou tese indicará apenas a condição de aprovado ou reprovado.

OBS: este documento tem a validade de 60 dias a contar desta data.

Nome e assinatura da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula - orientador

Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares - UFPI

Prof. Dr. Claudinei Taborda da Silveira - PPGGEO/UFPR

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à APA de Guaraqueçaba, que me proporcionou não apenas o prestígio de belas paisagens, mas que me ensinou, acima de tudo, cultivar o respeito à natureza.

AGRADECIMENTOS

Feliz foi o indivíduo que decidiu que haveria um espaço, num documento tão formal repleto de nomes e normas complicadas, para prestarmos um singelo agradecimento para aqueles que caminharam conosco nesta jornada. Não é à toa que deixamos este emocionante momento para o final.

Foram muitas as pessoas e instituições importantes neste trabalhoso, árduo, mas também cheio de bons momentos, ciclo de dois anos. Tentarei expressar aqui, em breves palavras, a gratidão que sinto por cada um que de alguma forma contribuiu para esta realização, sobretudo pessoal, que hoje se concretiza nesta dissertação.

Agradeço primeiramente a Universidade Federal do Paraná (UFPR), principalmente ao Programa de Pós Graduação em Geografia pela infraestrutura. Agradeço também aos secretários Adriana e Zem pela competência.

Agradeço à Fundação Grupo Boticário, em especial a equipe da Reserva Natural Salto Morato, por todo apoio e infraestrutura nas campanhas de campo ao longo destes dois anos.

Agradeço também a Sociedade de Proteção a Vida Selvagem (SPVS), em especial a equipe da Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa, pelo auxílio no trabalho de campo e, em especial, ao Sr. Roberto, não só por ser um exímio piloto de barco, mas por dividir conosco toda sua simpatia e conhecimento.

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo Vedor de Paula, pelo incentivo, pela paciência, seus ensinamentos, pela confiança, por proporcionar experiências acadêmicas e profissionais muito valiosas para minha formação. Obrigada por me ensinar sonhar alto!

Ao Professor Dr. Leonardo José Cordeiro Santos, que não gosta de ser assim chamado, rs, por sanar todas as dúvidas pedológicas quase que em tempo real e por ser tão simples, tão querido, tão “paizão”. Na Pedologia e na vida, obrigada por seus ensinamentos, por muitas vezes interromper o seu trabalho nem que fosse para me ouvir e dar sábios conselhos! Obrigada Léo!

Ao professor Dr. Claudinei Taborda Silveira pelos ensinamentos em Geomorfometria e contribuições desde o início desta jornada, sempre com muita paciência e boa vontade.

A todos os companheiros do LABS - Laboratório de Biogeografia e Solos pela convivência. Um agradecimento especial a minha amiga Ana Paula Marés Mikosik, pelo apoio e incentivo desde a fase do projeto, o companheirismo na primeira e inesquecível disciplina de “Gênese, Morfologia Classificação dos Solos”, pelos conselhos e longas e agradáveis

conversas. Aos amigos Alexei Nowatzki, Caroline Mangueira, Dani Torrissi e Mariana Andreotti Dias pelo dia-a-dia, carinho, risadas e conversas.

Como prometido, em parágrafo especial, agradeço ao amigo/irmãozinho Carlos Augusto Wroblewski. Obrigada pela força nesses dois anos!

Aos vizinhos do LAGEO, que hoje já se tornaram amigos: Priscila D'Aroz, Gisele Neuman e especialmente ao Ricardo Michael Pinheiro Silveira que, com muita boa vontade e paciência compartilhou sua experiência e seu conhecimento comigo, me ajudando incontáveis vezes na construção deste trabalho. Sou grata não somente a isso, mas por poder nestes dois anos te conhecer melhor e ver seu companheirismo.

Aos vizinhos de laboratório, amigos dos churrascos, da academia e da vida que me incentivaram, ouviram reclamações, ensinaram, riram e apoiaram: minha amiga irmã sempre presente Michele Cristina Antônio. Ao geógrafo e poliglota Kauê Gabriel Fonseca Moura. Ao amigo super parceiro Felipe “Santos” e Bárbara Fernandes pelos “carões” e aos churras com Kaiser! Ao amigo de elevadíssima autoestima da Geografia Humana, Augusto dos Santos Pereira, porque “com o nosso ego ninguém mexe!!!” A amiga Thayz Athayde Viada, por todo amor e empoderamento. Aos amigos Juliana Gouvea, Michel Monteiro, Dani Sanabria e Thyago Corrêa (êeeee!!!) pelos divertidos e doloridos momentos de academia, festas e dooooces!!! Aos demais vizinhos de laboratório, minha “filhinha” Mayara Soares, Otacílio Paz - graaande Ota! Obrigada pelos helps parceiro! As meninonas Bruna Daniela e Karen Moura Bueno pelos cafés e fofocas. Ao meu amigo, parceiro e namorado Leonardo Zanella, por todo amor, carinho, paciência e chocolates nesses momentos difíceis da reta final.

Aos meus familiares, minha mãe Hilda da Silva pelo amor incondicional e apoio em todas as minhas decisões, por entender todos os finais de semana que passei longe, por valorizar cada passo. Esta conquista também é sua! Agradeço também ao meu padrasto e amigo Luciano Pereira “Lúcio”, por ser tão bacana e por estar ali sempre presente e prestativo.

Obrigada por serem, cada um a sua maneira, especiais em minha vida!

RESUMO

Os Mapeamentos Pedológicos Digitais (MDS), também conhecidos como Pedometria, tem se destacado pela possibilidade do estabelecimento de diversas relações entre os atributos topográficos do relevo derivados de um Modelo Digital do Terreno (MDT) juntamente com conhecimentos de Geomorfologia, Pedologia, Estatística e Geoprocessamento. Neste contexto pretendeu-se com o presente trabalho a realização o mapeamento pedológico digital com a utilização de atributos topográficos, em escala 1:25.000, nas bacias hidrográficas dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, localizadas no município de Guaraqueçaba. Para tanto se utilizou do método da Tabulação Cruzada dos atributos topográficos e uma área de referência (AR). A área de referência corresponde à Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa, cujo mapeamento pedológico detalhado em escala 1:25.000. Os procedimentos adotados seguiram três etapas principais: a) obtenção do MDT e cálculo dos atributos topográficos primários (hipsometria, declividade, perfil de curvatura, plano de curvatura) e secundários (índice topográfico de umidade, índice de corrente de máximo fluxo e índice de capacidade de transporte de sedimentos); b) análise morfométrica e inclusão das variáveis de material de origem (geologia) e vegetação; c) definição das regras de classificação da área de referência. A partir destas etapas foi realizada a Tabulação Cruzada dos atributos topográficos, geologia e vegetação, que resultou em cinco grupos pedológicos: Grupo 1 - Solos de Influência Fluvio-marinha; Grupo 2 - Solos Hidromórficos das Planícies Aluviais; Grupo 3 - Solos Oxidados; Grupo 4 – Solos Rasos. De acordo com o índice de Exatidão Global a concordância entre o mapeamento de referência e o mapeamento preditivo foi de 82,21%, e por meio da matriz de erros foi possível identificar que o grupo pedológico que apresentou maior índice de Exatidão pelo Produtor (UP) foi o Grupo 1 - Solos de Influência Fluvio-marinha (95,60%) e o menor índice foi apresentado pelo Grupo 4 - Solos Rasos (47,80%). Diante dos resultados obtidos, a etapa seguinte consistiu na extrapolação das regras de classificação da área de referência para toda a área de estudo, que corresponde às bacias hidrográficas anteriormente citadas, e checagem de campo. Os resultados foram satisfatórios de acordo com os objetivos propostos neste trabalho. Ressalta-se que o mapeamento gerado, ainda que preditivo, possui potencial de aplicação no subsídio de análises para planejamento e gestão ambiental do território, tal como o Plano de Manejo da APA de Guaraqueçaba-PR, que se encontra em elaboração.

Palavras-chave: Pedometria, Atributos Topográficos, Mapeamento Digital de Solos, Tabulação Cruzada, Modelo Digital do Terreno.

ABSTRACT

In the absence of pedological information of the Guaraqueçaba region – Paraná, this study intended to create a predictive pedometric mapping, in the scale 1:25,000, of the hydrographic basins of the Taçaçaba, Serra Negra and Guaraqueçaba rivers, all located in the city of Guaraqueçaba. To do so, a cross-tabulation method using topographical attributes of a Reference Area (RA) was used. The RA corresponds to the Natural Reserve of the Red Amazon Parrot, which has a detailed pedological mapping made in the scale 1:25,000. The adopted procedures followed three steps: a) obtaining the DTM and primary topographic attributes' calculations (hypsometry, declivity, curvature profile and plan) and secondary (topographic humidity index, maximal stream flux and sediment transportation ability); b) morphometric analysis and inclusion of the soil genesis variable (geology) and vegetation; c) definition of the reference area classification rules. After this point a cross tabulation of the geological, vegetation topographical attributes was made, which resulted in five pedological groups: Group 1 – Fluvio-marine soils; Group 2 – Flood plain hydromorphic soils; Group 3 – Oxidized soils; Group 4 – Shallow soils. According to the Global Accuracy index, the conformity between the reference and the predictive mappings was of 82.21%, and through the Error Matrix it was possible to identify that the pedological group that showed the highest index by the Producer's Accuracy (PA) was the Group 1 - Fluvio-marine soils (97.93%), and the smallest index was in the Group 4 - Shallow soils (47,80%). After the obtained results, the next step consisted in extrapolating the classification rules of the RA to the whole study area, which corresponds to the aforementioned river basins; then a subsequent field work was made. The results were satisfactory according to the proposed objectives of this study. It is also noticeable that the resulting outcome of the mapping process, even if it is a predictive one, still has applicability to base analysis of environmental management and planning studies, such as the management plan of the Environmental Protection Area of Guaraqueçaba, which is currently being developed.

Keywords: Pedometry, Topographical Attributes, Digital Soil Mapping, Cross-tabulation, Digital Terrain Model.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO	22
FIGURA 2 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO.	24
FIGURA 3 - UNIDADES GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.	26
FIGURA 4 - UNIDADES AMBIENTAIS NATURAIS (UAN'S) DA ÁREA DE ESTUDO. 31	
FIGURA 5 - MAPA PEDOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO. (EMBRAPA, 2011).	32
FIGURA 6 - MAPA PEDOLÓGICO DA ÁREA DE REFERÊNCIA – RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA.	37
FIGURA 7 - ELEMENTOS DA VERTENTE.....	43
FIGURA 8 - NOVE UNIDADES HIPOTÉTICAS DO MODELO DE SEGMENTO DE VERTENTES.....	45
FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA VELOCIDADE DO INTEMPERISMO. SETOR (A) BOA INFILTRAÇÃO E BOA DRENAGEM FAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO. SETOR (B) BOA INFILTRAÇÃO E MÁ DRENAGEM DESFAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO. SETOR (C) MÁ INFILTRAÇÃO E MÁ DRENAGEM DESFAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO.	46
FIGURA 10 - PEDOMETRIA EM RELAÇÃO ÀS DEMAIS ÁREAS DO CONHECIMENTO.....	51
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.	56
FIGURA 12 - GRADE REGULAR DA SUPERFÍCIE DO SOLO (A), JANELA COM NOVE NODOS (B), JANELA COM NOVE <i>PIXELS</i> (C).	61
FIGURA 13 - JANELA DE VIZINHANÇA 3X3.	62
FIGURA 14 - Fluxo da água no plano de curvatura (setas pontilhadas) e fluxo da água no perfil da curvatura das vertentes (setas contínuas).	67
FIGURA 15 - MODELO DIGITAL (a); DIREÇÃO DO FLUXO (b); ÁREA ESPECÍFICA DE CONTRIBUIÇÃO (AC), ACUMULAÇÃO DO FLUXO OU ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (c)	69
FIGURA 16 - MÉTODO D-INFINITO PARA CÁLCULO DA DIREÇÃO DE FLUXO.....	71
FIGURA 17 – ETAPAS DA TABULAÇÃO CRUZADA DA ÁREA DE REFERÊNCIA....	76
FIGURA 18 – ETAPAS DA TABULAÇÃO CRUZADA DA ÁREA DE ESTUDO.....	80
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE HIPSOMETRIA.....	81

FIGURA 20 - HIPSOMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	83
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.....	84
FIGURA 22 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.....	85
FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE PERFIL DE CURVATURA.....	86
FIGURA 24 - PERFIL DE CURVATURA DA ÁREA DE ESTUDO.....	87
FIGURA 25 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE PLANO DE CURVATURA.....	88
FIGURA 26 - PLANO DE CURVATURA DA ÁREA DE ESTUDO.....	89
FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DO ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO.....	90
FIGURA 28 - ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO DA ÁREA DE ESTUDO.....	91
FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE.....	92
FIGURA 30 - ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.....	93
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	94
FIGURA 32 - CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	95
FIGURA 33 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A VEGETAÇÃO E A SUBORDEM PEDOLÓGICA DO GRUPO 1 (RY).....	97
FIGURA 34 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 1 (RY) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	98
FIGURA 35 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 2 (GX/GM/CXg) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	99
FIGURA 36 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 3 (PA/PVA/CX/CH) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	100
FIGURA 37 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 5 NA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	101
FIGURA 38 – MAPA PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA (AR) – RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA.....	110

FIGURA 39 – PONTOS DE CHECAGEM E TRAJETO REALIZADO NA VERIFICAÇÃO DE CAMPO NA RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA.	112
FIGURA 40 – ESPACIALIZAÇÃO DAS CONCORDÂNCIAS E DISCORDÂNCIAS NA ÁREA DE REFERÊNCIA.	114
FIGURA 41 - MAPEAMENTO PREDITIVO DE SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO COM A INCLUSÃO DA VARIÁVEL HIPSOMETRIA NAS REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO.	117
FIGURA 42 - COMPARAÇÃO ENTRE O MAPA DE REFERÊNCIA (SPVS, 2002) E O MAPA PREDITIVO.....	121
FIGURA 43 – MAPA PEDOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO (AE) 4 GRUPOS – BACIAS HIDROGRÁFICAS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E GUARAQUEÇABA.	127
FIGURA 44 – MAPA PEDOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO (AE) 5 GRUPOS – BACIAS HIDROGRÁFICAS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E GUARAQUEÇABA.	129
FIGURA 45 - PONTOS DE CHECAGEM NA ÁREA DE ESTUDO.....	131
FIGURA 46 - PONTOS DE CHECAGEM NA RESERVA NATURAL SALTO MORATO - ÁREA DE ESTUDO.	132

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA ÁREA DE ESTUDO.....	27
TABELA 2 - QUANTIFICAÇÃO DAS UAN'S NA ÁREA DE ESTUDO.	30
TABELA 3 - UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
TABELA 4: UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE REFERÊNCIA (AR).....	36
TABELA 5: CÁLCULO DE ÁREA – HIPSOMETRIA.....	81
TABELA 6: CÁLCULO DE ÁREA - DECLIVIDADE	84
TABELA 7: CÁLCULO DE ÁREA – PERFIL DE CURVATURA	86
TABELA 8 - Cálculo de Área – Plano de Curvatura	88
TABELA 9 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO (ICMF)	90
TABELA 10 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE	92
TABELA 11 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE DE CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	94
TABELA 12 - ANÁLISE GEOMORFOMÉTRICA DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	96
TABELA 13 – ÁREA DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	111
TABELA 14 - CONCORDÂNCIAS E DISCORDÂNCIAS DA CLASSIFICAÇÃO.	114
TABELA 15 - ERROS DE OMISSÃO DO MAPEAMENTO PREDITIVO.....	115
TABELA 16 - EXATIDÃO DO PRODUTOR NO MAPEAMENTO PREDITIVO.....	118
TABELA 17 - ERROS DE INCLUSÃO DO MAPEAMENTO PREDITIVO.....	119
TABELA 18 - EXATIDÃO DO USUÁRIO NO MAPEAMENTO PREDITIVO.....	120
TABELA 19 - CÁLCULO DE ÁREA – 4 GRUPOS PEDOLÓGICOS – ÁREA DE ESTUDO (AE)	126
TABELA 20 - CÁLCULO DE ÁREA – 5 GRUPOS PEDOLÓGICOS – ÁREA DE ESTUDO (AE)	128

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CRITÉRIOS ADOTADOS NA PADRONIZAÇÃO DOS DADOS CARTOGRÁFICOS.....	57
QUADRO 2 - CLASSES CLINOGRÁFICAS.....	65
QUADRO 3 - ESTRUTURA DA MATRIZ DE CONFUSÃO.....	78
QUADRO 4 - SÍNTESE DAS REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	102
QUADRO 5 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AR.....	103
QUADRO 6 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AR.....	104
QUADRO 7 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AR.....	105
QUADRO 8 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AR.....	106
QUADRO 9 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA AR.....	107
QUADRO 10 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (1) DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	107
QUADRO 11 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS E A VEGETAÇÃO NA AR.....	108
QUADRO 12 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (2) DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	108
QUADRO 13 - MATRIZ DE EXATIDÃO GLOBAL DO MAPEAMENTO PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA.....	113
QUADRO 14 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AE.....	122
QUADRO 15 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AE.....	123
QUADRO 16 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AE.....	123
QUADRO 17 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS DA AE.....	124
QUADRO 18 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA AE.....	124

QUADRO 19 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (1) DA ÁREA DE ESTUDO	125
QUADRO 20 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS E A VEGETAÇÃO DA AE.....	125
QUADRO 21 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (2) DA ÁREA DE ESTUDO.....	126
QUADRO 22 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (3) DA ÁREA DE ESTUDO.....	128

LISTA DE ABREVIATURAS

AE - Área de Estudo

APA - Área de Proteção Ambiental

APPA - Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina

AR - Área de Referência

CAD - Contaminantes Assoreamento e Dragagem

CEM - Centro de Estudos do Mar

CEP - Complexo Estuarino de Paranaguá

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GPS - *Global Position System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICMF - Índice de Corrente de Máximo Fluxo

ICTS - Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos

ITU - Índice Topográfico de Umidade

LABS - Laboratório de Biogeografia e Solos

LHG - Laboratório de Hidrogeomorfologia

MDT - Modelo Digital do Terreno

MED - Modelo de Elevação Digital

RPPN - Reserva Particular de Patrimônio Natural

SPVS - Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental

UC - Unidade de Conservação

UFPR - Universidade Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

(β) - Declividade

(Z) - Hipsometria

(τ) - Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos

(Ω) - Índice de Corrente de Máximo Fluxo

(w) - Índice Topográfico de Umidade

(φ) - Perfil de Curvatura

(ψ) - Plano de Curvatura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	21
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	21
1.3 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
1.3.1 <i>Geologia</i>	25
1.3.2 <i>Geomorfologia</i>	29
1.3.3 <i>Pedologia</i>	31
1.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS DA ÁREA DE REFERÊNCIA	35
1.4.1 <i>Mapeamento Pedológico da Área de Referência (ROCHA et. al, 2002)</i>	35
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	41
2.1 <i>RELAÇÕES SOLO - PAISAGEM</i>	41
2.2 <i>MAPEAMENTOS PEDOLÓGICOS</i>	47
2.2.1 <i>Mapeamentos Pedológicos Tradicionais</i>	47
2.2.2 <i>Mapeamentos Pedológicos Digitais</i>	49
2.2.3 <i>Mapeamento Pedológico Digital por Área de Referência</i>	52
3. MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1 <i>MATERIAIS UTILIZADOS</i>	55
3.1.1 <i>Softwares Utilizados</i>	55
3.1.2 <i>Equipamentos de Campo</i>	55
3.2 <i>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</i>	56
3.2.1 <i>Dados Cartográficos Utilizados</i>	56
3.2.2 <i>Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT)</i>	58
3.2.2.1 <i>Método de Interpolação Empregado</i>	58
3.2.2.2 <i>Cálculo da Resolução Ideal do grid</i>	59
3.2.3 <i>Atributos Topográficos</i>	60
3.2.3.1 <i>Geração dos Atributos Topográficos Primários</i>	61
3.2.3.1.1 <i>Hipsometria (Z)</i>	63
3.2.3.1.2 <i>Declividade (β)</i>	63
3.2.3.1.3 <i>Perfil de Curvatura (ϕ)</i>	65
3.2.3.1.4 <i>Plano de Curvatura (ψ)</i>	67
3.2.3.2 <i>Geração dos Atributos Topográficos Secundários</i>	68
3.2.3.2.1 <i>Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Ω)</i>	69
3.2.3.2.2 <i>Índice Topográfico de Umidade – ITU (w)</i>	70
3.2.3.2.3 <i>Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (τ)</i>	72
3.2.3.3 <i>Análise Geomorfométrica da Área de Referência (AR), definição dos grupos pedológicos e regras de classificação</i>	73
3.2.3.4 <i>Integração dos atributos topográficos e Tabulação Cruzada</i>	75
3.2.3.5 <i>Comparação entre o mapa pedológico digital e o mapeamento existente</i>	76
3.2.3.6 <i>Procedimentos de campo para validação do mapa pedológico preditivo</i>	79
3.2.3.7 <i>Extrapolação das regras de classificação da área de Referência (AR) para a área de Estudo (AE)</i>	79

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	80
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS	80
4.1.1 <i>Caracterização dos Atributos Topográficos Primários</i>	80
4.1.1.1 <i>Hipsometria (Z)</i>	80
4.1.1.2 <i>Declividade (θ)</i>	84
4.1.1.3 <i>Perfil de Curvatura (φ)</i>	86
4.1.1.4 <i>Plano de Curvatura (ψ)</i>	88
4.1.2 <i>Caracterização dos Atributos Topográficos Secundários</i>	89
4.1.2.1 <i>Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Ω)</i>	89
4.1.2.2 <i>Índice Topográfico de Umidade (w)</i>	92
4.1.2.3 <i>Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (t)</i>	93
4.2.1 <i>Resultados da Análise Geomorfométrica</i>	95
4.3 MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA	109
4.4 COMPARAÇÕES ENTRE OS GRUPOS CLASSIFICADAS NO MAPA PREDITIVO E NO MAPEAMENTO EXISTENTE	113
4.4.1 <i>Exatidão Global</i>	113
4.5 MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO DA ÁREA DE ESTUDO	122
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
APÊNDICES	142

1. INTRODUÇÃO

Os solos são recursos naturais de extrema importância, pois são os ambientes naturais de crescimento e desenvolvimento de plantas, as quais integram a maioria dos alimentos necessários à subsistência. Além disso, o solo funciona como mediador dos fluxos d'água entre a hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera influenciando diretamente na qualidade da água que utilizamos (LEPSCH, 2002).

Segundo Santos (2004) o solo é o suporte dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a terra, sendo o seu estudo imprescindível para o planejamento. Dada importância do solo no meio ambiente, de acordo com a autora, o mesmo é um dos temas de planejamento ambiental. Quando se analisa o solo, pode-se deduzir sua potencialidade e fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como concentrador de impactos.

Desta forma, os mapeamentos pedológicos, utilizados em instrumentos de planejamento ambiental, devem ser realizados em escala adequada para atender a localização dos tipos de solo e a compreensão de suas potencialidades e fragilidades, pois se não houver um manejo adequado dos mesmos, podem se tornar suscetíveis a diversos estágios de degradação.

De acordo com IBGE (2007) existem várias categorias de levantamentos pedológicos para os mais variados fins, desde a geração de conhecimentos sobre o recurso do solo de um país ou região, até o planejamento do uso da terra para diversas atividades em nível de propriedade. Tipicamente são classificados em exploratório, reconhecimento, semidetalhado, detalhado e ultradetalhado, sendo que os tipos de mapeamento são definidos de acordo com a escala e com o número de observações em campo.

Segundo o mesmo autor a escala apropriada de mapeamento de solos para estudos ambientais é 1:50.000, uma vez que este nível de detalhamento fornece informações básicas razoavelmente precisas, para planejamento geral de programas de conservação e manejo de solos. No entanto, os mapeamentos pedológicos em escala de detalhe e semidetalhe requerem maior quantidade de observações e coleta de amostras para controle de

campo. Além disso a aquisição de informações detalhadas sobre o solo e as operações de mapeamento do mesmo são bastante onerosas e necessitam tempo considerável para serem concluídas.

Neste contexto, os Mapeamentos Pedológicos Digitais (MDS), também conhecidos como Pedometria, tem se destacado pela possibilidade do estabelecimento de diversas relações entre os atributos topográficos derivados de um Modelo Digital do Terreno (MDT), aliando conhecimentos de Geomorfologia, Pedologia, Estatística e Geoprocessamento.

As técnicas Pedométricas empregadas nos mapeamentos pedológicos preliminares auxiliam na delimitação das ordens de solos, pois segundo Campos (2006) o uso dos Modelos de Elevação Digital (MED) e das técnicas geoestatísticas permite a compreensão do comportamento dos atributos do solo, de forma a favorecer os levantamentos pedológicos, assim como o estabelecimento de práticas de manejo de solo e de culturas adequadas.

Além disso, a utilização de tais técnicas facilita a predição dos solos para posterior validação em campo, uma vez que as bacias hidrográficas Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, localizadas no município de Guaraqueçaba, e inseridas integralmente na APA (Área de Proteção Ambiental) de Guaraqueçaba, possuem grande extensão territorial e baixa densidade de estradas vicinais, dificultando o acesso.

A escolha da área de estudo se deve à intenção de se dar continuidade a projetos existentes e aliar pesquisas já desenvolvidas em parceria com o LABS (Laboratório de Biogeografia e Solos), vinculado ao Departamento de Geografia na Universidade Federal do Paraná (UFPR), tal como o Programa CAD (Contaminantes Assoreamento e Dragagem no estuário de Paranaguá/PR), cuja descrição detalhada pode ser encontrada em BOLDRINI e PAULA (2008, p.225).

Os dados a serem obtidos no mapeamento proposto serão integrados ao banco de dados do LABS, que desenvolve, conjuntamente com o CEM (Centro de Estudos do Mar), a construção de um banco de dados geográfico da área de abrangência do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Este projeto atualmente recebe financiamento do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Recentemente o LABS/UFPR também firmou parceria com o ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), por meio do convênio registrado na UFPR sob o número 02127.000192/2011-14. Nesta parceria o LABS assume a responsabilidade de desenvolver pesquisas aplicadas no litoral do Paraná, tal como a pesquisa proposta neste estudo, que poderá subsidiar a elaboração e atualização dos planos de manejo das unidades de conservação (UCs) federais existentes na região de Guaraqueçaba/PR.

As quatro UCs federais existentes na região iniciaram recentemente o processo de elaboração de seus Planos de Manejo, desta forma, a necessidade de estudos do meio físico, dentre eles os estudos pedológicos em escala de maior detalhe, tornam-se indispensáveis. No entanto, a escala do mapeamento disponível que abrange a região da APA Guaraqueçaba é 1:250.000, conforme atualização e readequação da legenda realizadas pela EMBRAPA no ano de 2011. Esta escala não é apropriada para subsidiar instrumentos de planejamento ambiental como os planos de manejo das unidades de conservação e plano diretor municipal, sobretudo quando se considera a existência de mapeamentos com maior nível de detalhe para os temas geomorfologia e cobertura vegetal.

Cabe destacar que, como já mencionado anteriormente, a escala apropriada de mapeamento de solos tradicional para estudos ambientais é de, no mínimo, 1:50.000, uma vez que as informações contidas num levantamento pedológico são essenciais para a avaliação do potencial e das limitações de uma área, constituindo uma verdadeira base de dados para estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos e planejamento de uso, manejo e conservação de solos. Neste caminho, o mapeamento pedológico digital constitui uma importante ferramenta na predição dos solos, uma vez que a área de estudo possui vasta extensão territorial e dificuldades de acesso, o que inviabiliza o mapeamento pedológico tradicional, pois este seria muito custoso e demandaria muito tempo. No entanto, a região dispõe de dados do relevo em escala 1:25.000, sendo esta compatível com a aplicação de modelos para mapeamento digital de solos na mesma escala de origem dos dados topográficos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a aplicação dos atributos topográficos do relevo para a realização do mapeamento digital de solos em escala 1:25.000 nas bacias hidrográficas dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, localizadas no município de Guaraqueçaba – PR a partir da extrapolação de regras de classificação estabelecidas para uma Área de Referência.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Estabelecer as regras de classificação em uma área de referência para extrapolação e checagem do modelo de predição do mapeamento da área de estudo;
- Gerar e analisar os atributos topográficos primários e secundários da área de estudo, a partir de um Modelo Digital do Terreno (MDT);
- Comparar os mapas da área de referência gerados pelo mapeamento digital e por levantamento pedológico tradicional pelos métodos de Exatidão Global, Matriz de Erro, Erros de Omissão e Inclusão e Exatidão do ponto de vista de Usuário e Produtor;
- Extrapolar as regras de classificação da área de referência para a área de estudo (bacias hidrográficas);
- Efetuar campanha de campo para o apoio e verificação do mapeamento preditivo;
- Averiguar as vantagens e desvantagens de aplicação do método de mapeamentos digitais de solos por tabulação cruzada.

1.3 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo totaliza 1.181,07 km² de extensão e compreende as bacias hidrográficas dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, inseridas em sua totalidade na porção continental da APA Federal de Guaraqueçaba, que está localizada no litoral norte do estado do Paraná, abrangendo o município de Guaraqueçaba e parte dos municípios de Antonina, Paranaguá e Campina Grande do Sul. Os principais acessos à área de estudo são as rodovias BR 277 e PR 405, conforme representado na (FIGURA 1).



FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO
 FONTE: A autora (2015).

A região integra, tanto na porção continental como na porção estuarina, uma variedade de ambientes. De acordo com IPARDES (2001) abrange a serra do mar, planície costeira, manguezais e ilhas com uma vasta biodiversidade, com destaque para o interior das baías de Guaraqueçaba, Laranjeiras e Pinheiros, contendo um grande número de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Nas porções de serra (médias e altas encostas) se sobressai a elevada concentração de Floresta Atlântica em seu estado primitivo, formando um complexo significativo de Floresta Ombrófila Densa, podendo ser destacada como a maior e mais representativa de toda a costa brasileira.

Além de sua configuração paisagística natural bastante diversificada, a área de estudo foi escolhida por possuir elevado número de unidades de conservação (UC's), pois além da APA Federal de Guaraqueçaba, a região possui outras áreas de proteção de diversas categorias como: Área de Proteção Ambiental Estadual de Guaraqueçaba, Estação Ecológica de Guaraqueçaba, Reserva Biológica Bom Jesus, Parque Nacional de Superagui, além de quatro Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN's): Salto Morato, Papagaio-da-cara-roxa, Guaricica e Sebuí, conforme representado na (FIGURA 2).

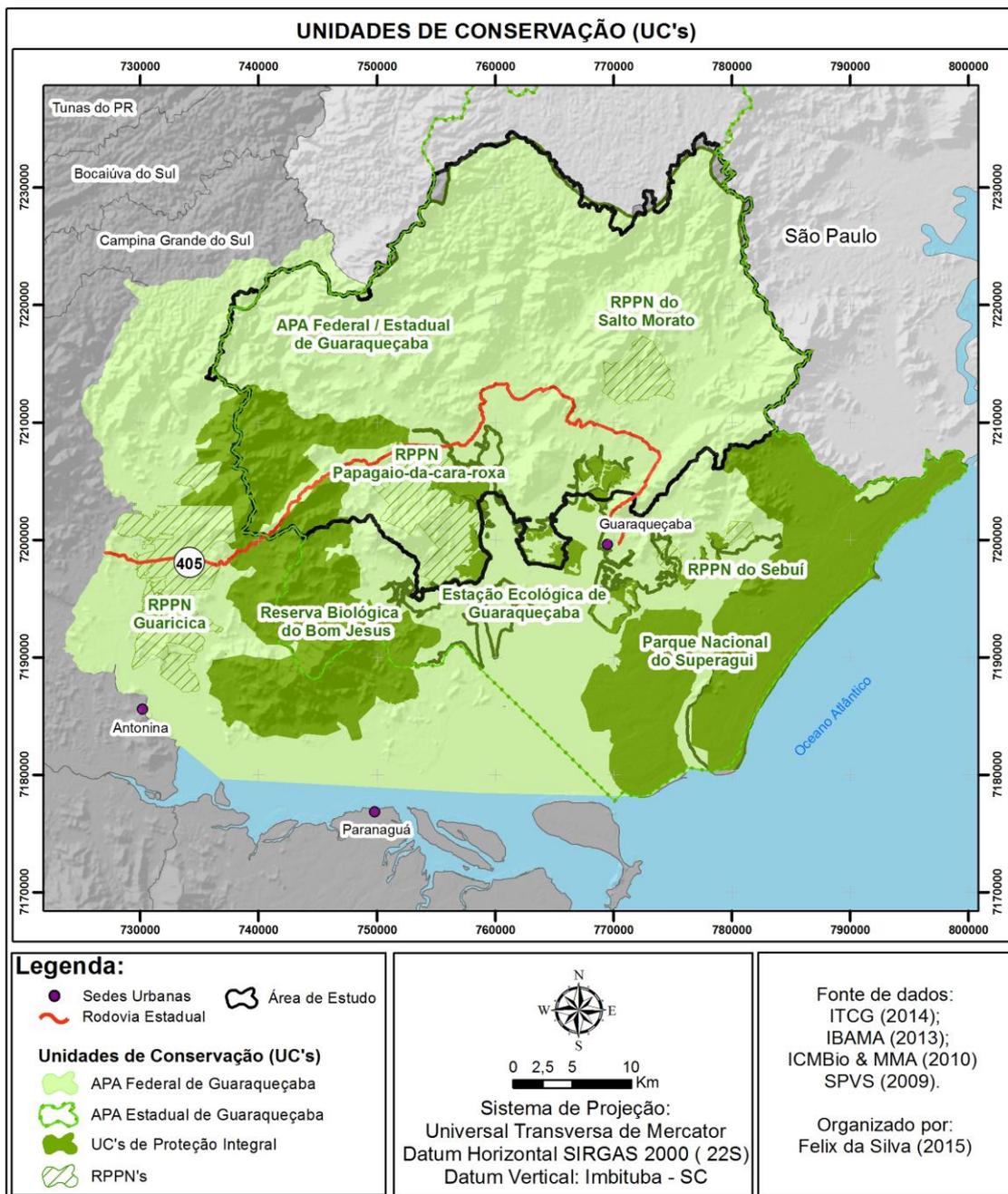


FIGURA 2 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO.
 FONTE: A autora (2015).

A seguir será apresentada uma descrição geopedológica da área de estudo. Cabe destacar que, conforme descrito por Curcio *et al.* (2006), a geopedologia pode ser entendida como a combinação dos aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

1.3.1 Geologia

A geologia da área de estudo foi descrita com base no estudo elaborado por Minerais do Paraná S/A (MINEROPAR), em escala 1:250.000, publicado em PARANÁ (2006).

A área de estudo está inserida em dois compartimentos litológicos distintos: o Escudo do Paraná, formado por terrenos cristalinos de baixo e alto grau de metamorfismo, associado a terrenos oriundos de eventos de magmatismo e constituído de rochas mais antigas (ígneas e metamórficas), representado pela Serra do Mar. Já o outro compartimento corresponde às áreas de planície, onde predominam os sedimentos arenosos de origem marinha costeira e aluvionar, equivalendo aos sedimentos cenozoicos da Planície Litorânea e Planícies Fluviais, sendo que na área de estudo predominam os sedimentos aluvionares.

Neste estudo, optou-se pelo agrupamento das formações geológicas em unidades, que foram espacializadas na FIGURA 3, sintetizadas e quantificadas na (TABELA 1).

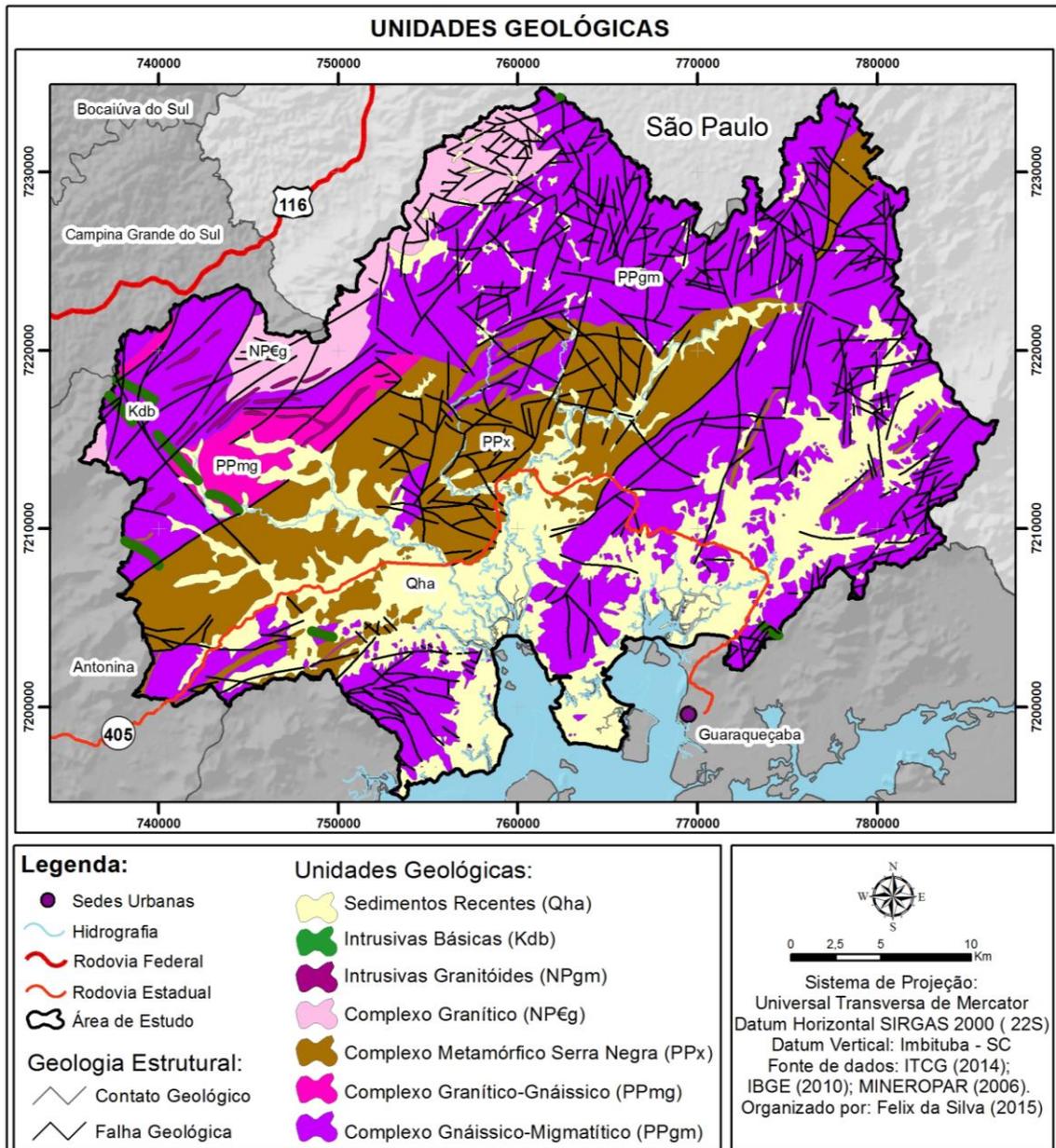


FIGURA 3 - UNIDADES GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.
 FONTE: A autora (2015).

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA ÁREA DE ESTUDO.

UNIDADES GEOLÓGICAS	CÓDIGO	LITOTIPOS	IDADE	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Sedimentos Recentes	Qha	Sedimentos inconsolidados e depósitos aluvionares	Quaternário	289,52	24,51
Intrusivas Básicas	Kdb	Intrusões de diabásio e basalto	Jurássico-Cretáceo	14,27	1,21
Intrusivas Granitoides	NPgm	Granitos pórfiros e microgranitos	Neoproterozoico	5,65	0,48
Complexo Granítico	NPég	Álcali-Granitos	Neoproterozoico - Cambriano	63,96	5,42
Complexo Metamórfico Serra Negra	PPx	Xistos, anfibolitos, gnaisses, quartzitos e ocorrências de enderbitos, metacherts, metarcósios e metarenitos	Paleoproterozoico	221,98	18,79
Complexo Granítico-Gnáissico	PPmg	Monzogranito e granodioritos gnáissicos	Paleoproterozoico	36,76	3,11
Complexo Gnáissico-Migmatítico	PPgm	Migmatitos oftálmicos, estromáticos e indiferenciados. Gnaisses ocelares, cataclasados e graníticos. Ocorrências de anfibolitos, mármore e pegmatitos	Paleoproterozoico	548,93	46,48
TOTAL				1.181,07	100

FONTE: MINEROPAR (2003).

Elaboração: A autora (2015).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico (PPgm), corresponde ao maior grupo litológico representado na área estudada, computando 46,48% da área total, distribuídos em diversas porções, sendo predominante a leste e nordeste. Nesta unidade são localizados litotipos de idade Paleoproterozoica, como migmatitos oftálmicos, estromáticos e indiferenciados. Também são encontrados gnaisses ocelares, cataclasados e graníticos, bem como a ocorrência de anfibolitos, mármore e pegmatitos. Este complexo está

representado como a Serra do Mar, inserido em subunidades geomorfológicas como os morros costeiros e rampas.

O Complexo Granítico-Gnáissico (PPmg) corresponde a 3,11% da área total, formado por litotipos de idade Paleoproterozoica, como monzogranitos e granodioritos gnáissicos, sendo encontrados na face Sul da Serra da Virgem Maria, no noroeste da área de estudo.

O Complexo Metamórfico Serra Negra (PPx) é constituído pelas rochas mais antigas da Serra do Mar, as quais apresentam variados graus de metamorfismo. Está localizado principalmente nas porções sudoeste e central, com menor ocorrência na porção noroeste. Esta unidade é formada também por litotipos de idade Paleoproterozoica, sendo a terceira unidade geológica mais expressiva na área de estudo. Possui uma área de 18,79% do total, composto por xistos, anfibolitos, gnaisses, quartzitos e ocorrências de enderbitos, metacherts, metarcósios, metarenitos entre outros.

O Complexo Granítico (NP€g), corresponde a rochas formadas em eventos de magmatismo, datados do Neoproterozoico-Cambriano e ocorre nas porções norte e noroeste da área de estudo. Possui uma área de 5,11% do total, formado por álcali-granitos.

A unidade representada pelas Intrusivas Granitoides (NPgm), corresponde à formação Guaratubinha, na porção noroeste. Possui área de 0,48% do total, sendo a unidade menos expressiva na área de estudo, formada por rochas de idade Neoproterozoica. Nesta unidade ocorrem granitos pórfiros e microgranitos.

A unidade das Intrusivas Básicas (Kdb) é constituída por diques de idade Jurássico-Cretácea. Possui área de 1,21% do total, sendo a segunda unidade menos expressiva na área de estudo, formada por intrusões de direção NW de diabásio e basalto, predominantemente a oeste e noroeste.

A última unidade corresponde aos Sedimentos Recentes (Qha) do período Quaternário. Possui área de 24,51% do total, sendo a segunda unidade mais expressiva na área de estudo, formada por sedimentos inconsolidados e depósitos aluvionares. São porções de planície com influência fluvial, nas regiões sul, leste e oeste da área de estudo (rios Tagaçaba, Serra

Negra e Guaraqueçaba), como também de influência marinha (Ilhas e toda a região costeira) e o sistema estuarino local.

1.3.2 Geomorfologia

Os compartimentos geomorfológicos da área de estudo correspondem a duas grandes unidades naturais: a Serra do Mar e a Planície Litorânea (MAACK, 2012). Cabe ressaltar que embora a área de estudo esteja inserida em ambos os compartimentos, as porções de planície possuem maior influência fluvial, evidenciada onde predominam os sedimentos aluvionares.

De acordo com Bigarella (2003), o compartimento denominado Serra do Mar é representado por uma faixa de encostas com a presença de vertentes abruptas, situadas na margem do Planalto Atlântico. É caracterizado por ser um domínio montanhoso constituído por rochas de idade pré-cambriana e que possui declividades elevadas e alto índice pluviométrico. São predominantes as formas de relevo denudacionais, constituídas por escarpas e cristas com topos agudos e convexos.

É possível identificar também um relevo bastante dissecado, com a presença de falhas, fraturas e contatos litológicos que formam um padrão dendrítico de drenagem (MINEROPAR, 2006) e, conforme descrito por Angulo (2006) o compartimento da Serra do Mar apresenta características de borda de planalto ou de escarpa, além de setores caracterizados por erosão diferencial.

Conforme descrito por Paula (2010) neste compartimento ocorrem declividades acentuadas, em geral maiores do que 30%, que aliadas à pluviosidade anual de 3.500 mm, bem como à ocorrência de solos mais rasos como Cambissolos Háplicos, e associações destes solos com Argissolos Vermelho-Amarelos, configuram esta paisagem como suscetível à ocorrência de movimentos de massa e a processos erosivos.

Já a extensão da Planície Litorânea é marcada desde o sopé da Serra do Mar até o oceano. Em geral, apresenta altitude inferior a 20 metros sobre o nível do mar (ANGULO, 2006). A região é composta por sedimentos predominantemente arenosos nas áreas de maior influência marinha e por sedimentos finos, principalmente nas planícies aluviais, sendo que estas

porções apresentam relevo plano e suave ondulado. É possível observar a ocorrência de morros e colinas de diversos tamanhos, com altitudes que variam de 100 a 400 metros, nas quais as encostas são íngremes, podendo atingir declividades superiores a 45% (OKA-FIORI *et al.*, 1997). Em Bigarella (2001) é possível encontrar um estudo mais detalhado sobre a formação e as características geológico-geomorfológicas da planície litorânea.

Na área de estudo predominam as Planícies Aluviais, onde as declividades, em geral atingem até 8%. Segundo Paula (2010) nestas porções de relevo predominam associações de Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos, os quais se desenvolveram sobre sedimentos recentes, que, aliados a pluviosidade anual de 2.000 mm, favorece a ocorrência de processos erosivos, sobretudo caracterizados por erosão laminar decorrente da rápida saturação dos solos hidromórficos, assim como desbarrancamento das margens dos canais fluviais, devido ao assoreamento dos mesmos.

As feições geomorfológicas presentes nos compartimentos da região foram levantadas e apresentadas no Macrozoneamento do Litoral Paranaense, elaborado pelo IPARDES, e publicado em escala 1:250.000 em 1989. A publicação descreve estas feições como Unidades Ambientais Naturais (UAN's), identificadas como: Áreas Colúviais, Áreas Colúviais Montanhosa, Colinas, Mangues, Morros, Planícies Aluviais, Planícies de Restingas e Serras. As UAN's foram quantificadas na (TABELA 2) e espacializadas na (FIGURA 4).

TABELA 2 - QUANTIFICAÇÃO DAS UAN'S NA ÁREA DE ESTUDO.

UNIDADE AMBIENTAL NATURAL (UAN)	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Serras	767,47	64,98
Planalto Dissecado	3,35	0,28
Planalto Ondulado	98,69	8,36
Morros	8,66	0,73
Colinas	3,80	0,32
Áreas Colúviais Montanhosas	50,19	4,25
Áreas Colúviais	0,08	0,01
Planícies Aluviais	185,39	15,70
Planícies de Restingas	25,27	2,14
Mangues	38,182	3,23
TOTAL	1.181,07	100,00

FONTE: IPARDES (1989).
Elaboração: A autora (2015).

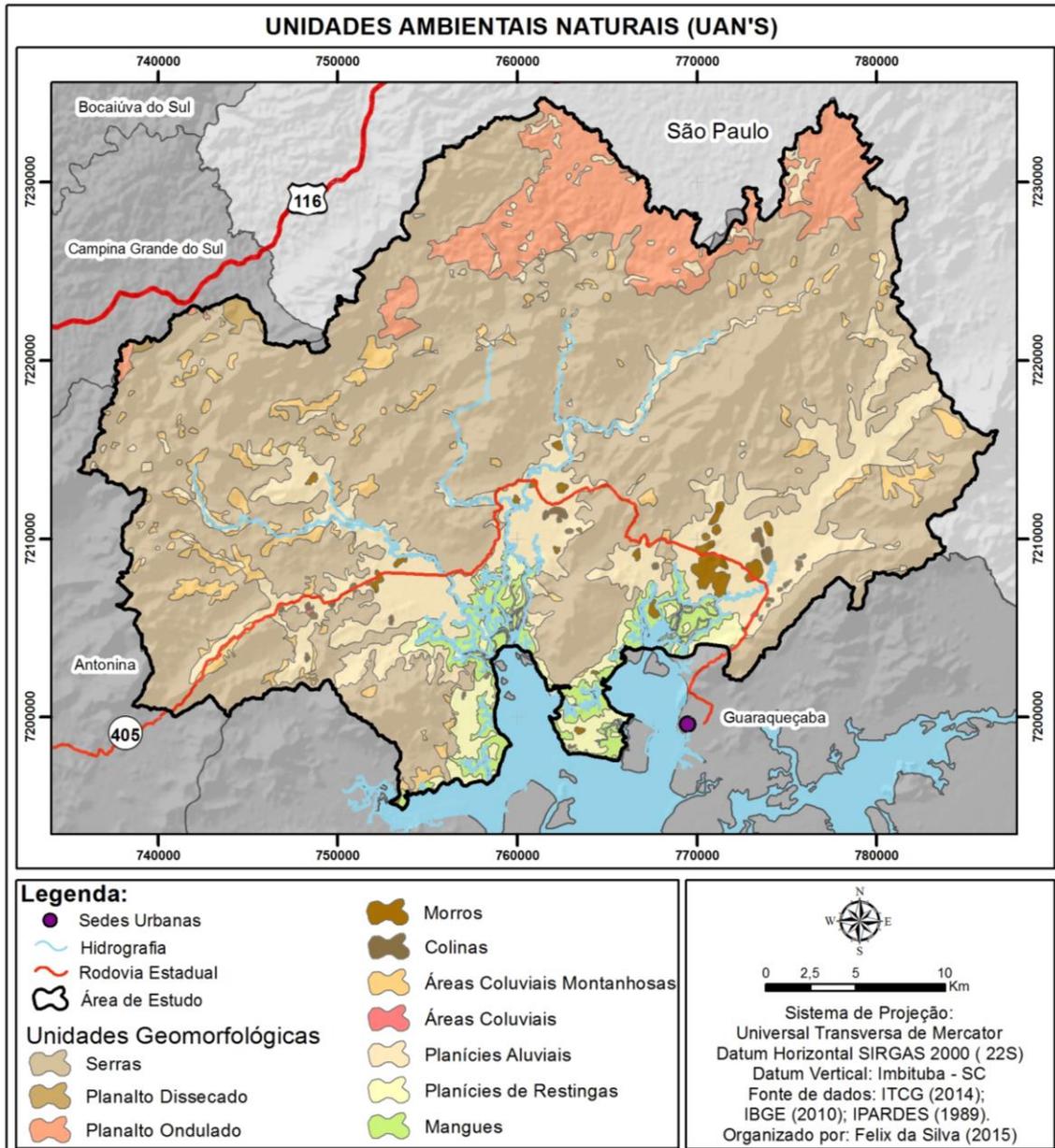


FIGURA 4 - UNIDADES AMBIENTAIS NATURAIS (UAN'S) DA ÁREA DE ESTUDO.
 FONTE: A autora (2015).

1.3.3 Pedologia

O mapeamento pedológico descrito neste trabalho foi elaborado pela EMBRAPA (2011), na escala 1:250.000, conforme (FIGURA 5). As informações referentes às características das unidades taxonômicas dos solos encontrados na área de estudo, podem ser consultadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRAPA, 2013).

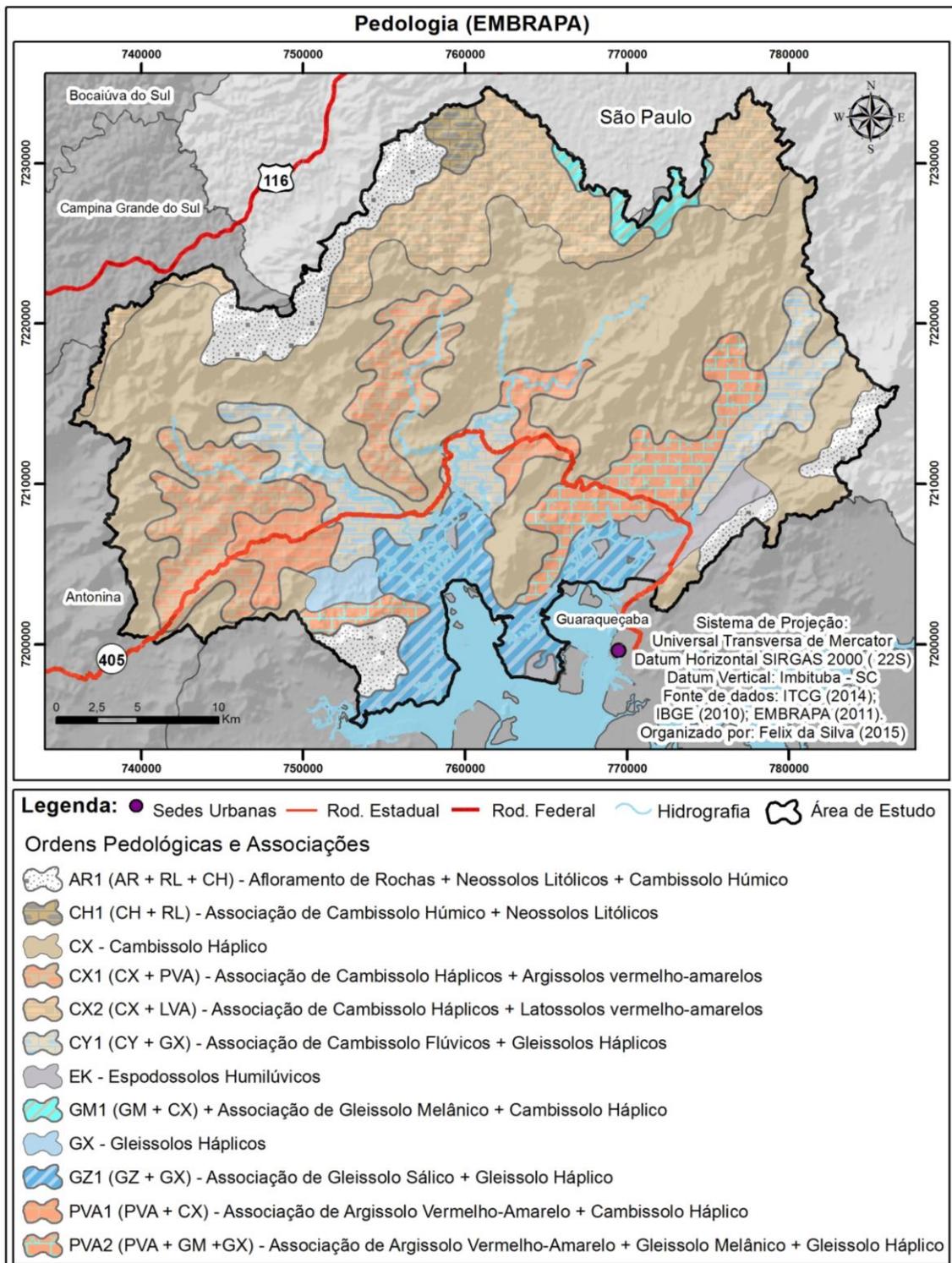


FIGURA 5 - MAPA PEDOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO. (EMBRAPA, 2011).
FONTE: A autora (2015).

A ordem pedológica dos Cambissolos abrange mais da metade da área de estudo (71,7%). Esta unidade é subdividida em três subordens, dos Cambissolos Háplicos, Flúvicos e Húmicos, sendo que estas subordens são encontradas em associações com outras subordens. Os Cambissolos Húmicos, associados à Neossolos Litólicos, apresentam-se em apenas 0,93% da área total, localizados ao norte, em uma zona de relevo ondulado a forte ondulado. Os Cambissolos Háplicos, que representam 42,27% da área total, somam a maior classe de solos da área de estudo, ocorrendo principalmente sobre o relevo característico da Serra do Mar e dos Morros Isolados Costeiros, ao norte. A associação entre Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelos corresponde a 9,16% da área total, estando localizados na zona central, sobre os maciços do Complexo Serra Negra, da Serra do Mar. Já os Cambissolos Háplicos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos correspondem a 11,14% do total, e estão localizados em toda a região norte, nas áreas mais elevadas da Serra do Mar (acima dos 400 metros de altitude), sobre o Complexo Gnáissico-Migmatítico. Por fim, a associação de Cambissolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos ocorre nas planícies aluviais da Planície Litorânea, nomeadamente dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, apresentando uma fração de 8,20% do total dos solos mapeados.

A ordem pedológica dos Argissolos abrange 10,25% da área de estudo e ocorre em apenas uma variação, correspondendo aos Argissolos Vermelho-Amarelos. Estes são encontrados na paisagem associados à Cambissolos Háplicos apresentando uma fração de 4,03% do total e também associados aos Gleissolos Melânicos e Gleissolos Háplicos, que somam 6,22%, que são comumente encontrados nas zonas intermediárias entre as serras e morros e a Planície Litorânea, ou seja, nas planícies fluviais dos principais rios da área de estudo.

A ordem dos Gleissolos corresponde a 8,89% da área total. Está subdividida em três subordens: os Gleissolos Háplicos, Gleissolos Melânicos e Gleissolos Sálidos. Os Gleissolos Háplicos encontram-se concentrados na planície fluvial do rio Itaqui, pertencente à bacia do rio Tagaçaba, com aproximadamente 0,89% de área, os Gleissolos Melânicos ocorrem em

associação com os Cambissolos Háplicos, num total de 1,12%, e os Gleissolos Sállicos associados à Gleissolos Háplicos que totalizam 6,88%, estão localizados em toda a área de influência dos manguezais no sistema estuarino da baía de Paranaguá.

A unidade pedológica referente à associação de Afloramentos Rochosos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Húmicos corresponde a 7,01% da área total estudada. Esta associação ocorre sobre o Complexo Gnáissico-Migmatítico (metamórfico) ao sul e a oeste, e sob o grupo Suíte Álcali-Granito, de conformação magmática, ao norte e está presente em zonas de elevada altitude e acentuada declividade.

E por fim, a ordem dos Espodossolos, que ocorre na subordem dos Espodossolos Humilúvicos corresponde a 2,15% da área. Estes solos são encontrados na Planície de Restinga, predominantemente na porção oeste da área de estudo.

A (TABELA 3) sintetiza as informações das unidades pedológicas acima descritas.

TABELA 3 - UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.

UNIDADES PEDOLÓGICAS	CÓDIGO	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Associação de Afloramentos Rochosos + Neossolos Litólicos + Cambissolos Húmicos	AR1 (AR + RL + CH)	82,81	7,01
Associação de Cambissolos Húmicos + Neossolos Litólicos	CH1 (CH + RL)	10,96	0,93
Cambissolos Háplicos	CX	499,20	42,27
Associação de Cambissolos Háplicos + Argissolos Vermelho-Amarelos	CX1 (CX + PVA)	108,13	9,16
Associação de Cambissolos Háplicos + Latossolos Vermelho - Amarelos	CX2 + LVA	131,59	11,14
Associação de Cambissolos Flúvicos + Gleissolos Háplicos	CY1 (CY + GX)	96,83	8,20
Espodosolos Humilúvicos	EK	25,44	2,15
Associação de Gleissolos Melânicos + Cambissolos Háplicos	GM1 (GM + CX)	13,20	1,12
Gleissolos Háplicos	GX	10,46	0,89
Associação de Gleissolos Sállicos + Gleissolos Háplicos	GZ1 (GZ + GX)	81,32	6,88
Associação de Argissolos Vermelho-Amarelos + Cambissolos Háplicos	PVA1 (PVA + CX)	47,63	4,03
Associação de Argissolos Vermelho-Amarelos + Gleissolos Melânicos + Gleissolos Háplicos	PVA2 (PVA + GM + GX)	73,49	6,22
TOTAL		1.181,07	100

FONTE: EMBRAPA (2011).
Elaboração A autora (2015).

1.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS DA ÁREA DE REFERÊNCIA

1.4.1 Mapeamento Pedológico da Área de Referência (ROCHA *et. al*, 2002)

A seguir, serão apresentadas as subordens pedológicas encontradas na Área de Referência (FIGURA 6). Maiores detalhes sobre as análises físico-químicas presentes no relatório emitido pela SPVS, do ano de 2002¹. Enquanto que na (TABELA 4) estão sintetizadas as informações sobre as subordens pedológicas da AR e suas respectivas áreas.

¹ ROCHA, H. O.; CARDOSO, A.; SCHMIDLIN, D.; ROCHA, A. J. **Levantamento de Solos:** Reserva Natural do Itaqui. Curitiba: Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental/ The Nature Conservancy. 2002.

TABELA 4: UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE REFERÊNCIA (AR).

ORDENS PEDOLÓGICAS	SÍMBOLO	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
ARGISSOLO AMARELO	PA	0,33	0,49
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PVA	3,42	5,06
CAMBISSOLO HÁPLICO	CX	14,68	21,74
CAMBISSOLO HÍSTICO	CI	0,85	1,26
CAMBISSOLO HÚMICO	CH	9,61	14,23
GLEISSOLO HÁPLICO	GX	5,89	8,72
GLEISSOLO MELÂNICO	GM	8,15	12,07
NEOSSOLO FLÚVICO	RY	21,36	31,63
NEOSSOLO LITÓLICO	RL	3,25	4,81
TOTAL		67,54	100,00

FONTE: Rocha et. al (2002).

Os Cambissolos Húmicos (CH) somam 14,23% da área, ocorrendo nas porções mais elevadas que os Cambissolos Háplicos, em posições de sopés que circundam a Serra do Itaqui. O material de origem desta subordem é composto principalmente a partir litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico. O relevo apresenta predominantemente por classes de declive que variam de forte ondulado a escarpado. As áreas com menor declividade representam pequenas inclusões de relevo plano e ondulado. A vegetação desta subordem apresenta feições particulares devido às condições locais do ambiente. É representada majoritariamente pela Floresta Ombrófila Densa Submontana em estágio inicial.

Os Neossolos Litólicos (RL) correspondem a 4,81% da área e ocorrem nas regiões mais altas e íngremes da reserva, na porção centro-sul da área de estudo, equivalendo ao extremo leste da Serra do Itaqui. São formados principalmente por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico e por meta sedimentos nas áreas de menor declive, nos depósitos de tálus.

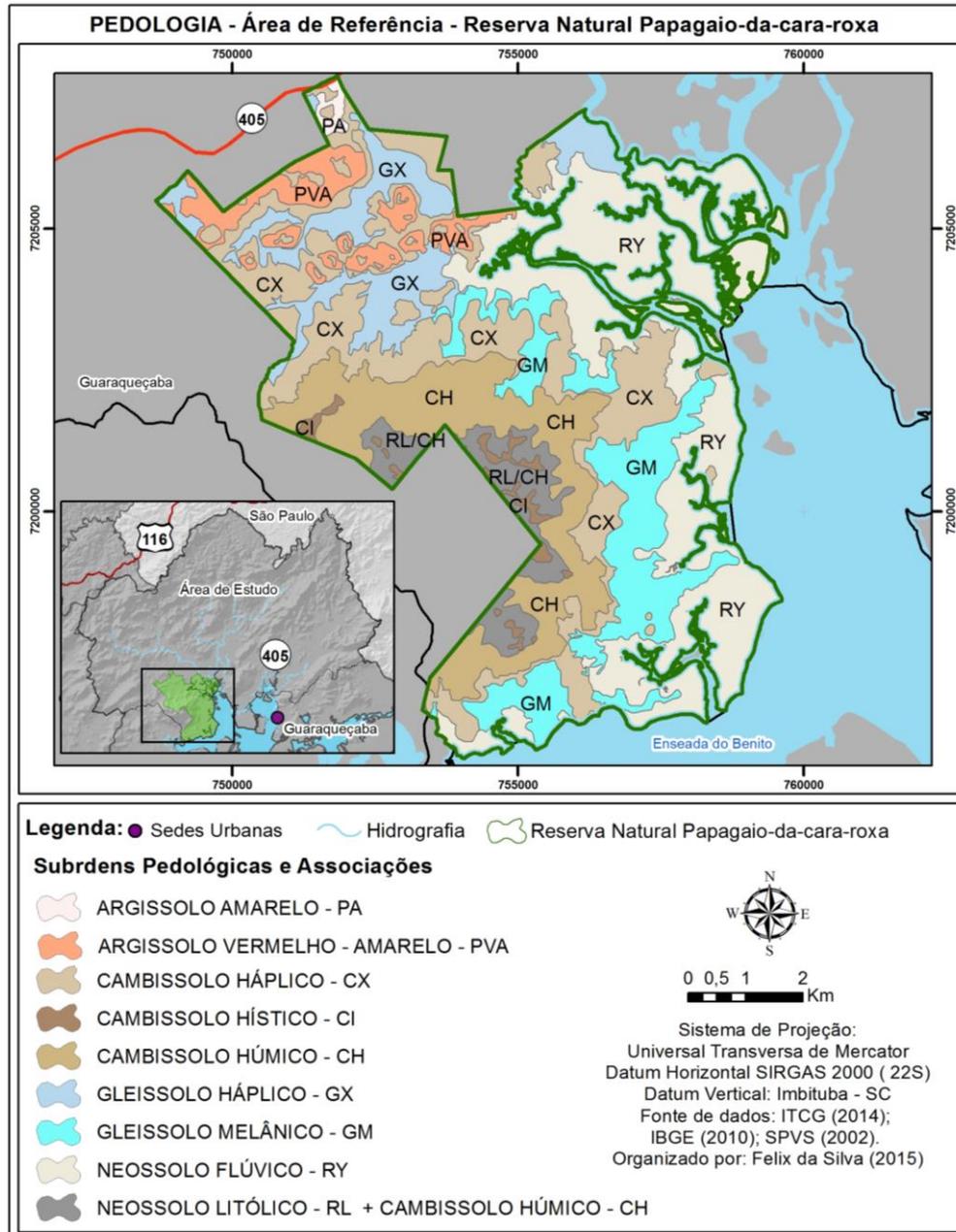


FIGURA 6 - MAPA PEDOLÓGICO DA ÁREA DE REFERÊNCIA – RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA. ORGANIZAÇÃO: A Autora (2015).

O relevo predominante nesta subordem pedológica varia de forte ondulado a escarpado, podendo haver algumas áreas de relevo plano e suave ondulado, sobretudo nas situações de ocorrência de vertentes convexas. A vegetação é composta por porções bastante preservadas da Floresta Ombrófila Densa Submontana.

Os Cambissolos Hísticos (CI) ocupam 1,26% da área, ocorrem distribuídos na região central da reserva ocupando as cristas mais elevadas

dos morros que compõem a Serra do Itaqui. Estes solos são intermediários para Neossolos Litólicos, cujo material de origem é composto, sobretudo, pelo produto do intemperismo de gnaisses, migmatitos e demais rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Em relação ao relevo estes solos ocorrem em classes de declive que variam de forte ondulado a escarpado nos terços superiores das vertentes. Já nas posições de topo, ocorrem em áreas com menor declividade, representadas pelas fases de relevo plano e ondulado. A cobertura vegetal é constituída pela Floresta Ombrófila Densa Submontana.

Os Cambissolos Háplicos (CX) abrangem um percentual de 21,74% da área e estão localizados nas áreas de ocorrência de pedimentos, rampas de colúvio e em superfícies de erosão baixas ou morros. Aparecem também como divisores entre as áreas mais planas e as porções montanhosas da Serra do Itaqui, principalmente em rampas curtas de encostas embutidas nos vales. O material de origem dos Cambissolos Háplicos é formado predominantemente por gnaisses e migmatitos e por Sedimentos Recentes nas posições mais baixas da paisagem. O relevo desta unidade é representado predominantemente por classes de declive que variam de plano (0 a 3%) à suave ondulado (3 a 8%). As áreas com maior declividade representam basicamente o terço superior das encostas que acompanham os topos aplainados dos morros. Estes solos também ocorrem em menor expressão nas fases de relevo ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%) e montanhoso (45 a 75%). Esta subordem pedológica ocorre predominantemente sob pastagens e em menor sob proporção pela Floresta Ombrófila Densa Submontana em estágio inicial.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) correspondem a 5,06% da área, concentrando-se em sua porção noroeste, bastante próximos aos Argissolos Amarelos e podem ser intermediários para Cambissolos argissólicos e latossólicos. O material de origem desta subordem pedológica é caracterizado também por xistos, anfibolitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos e outras litologias do Complexo Serra Negra. O relevo é representado predominantemente por classes de declive que variam entre 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado) e 45 a 75% (montanhoso). Nas áreas mais baixas e planas da paisagem o material de origem é formado por

Sedimentos Recentes. Em relação à vegetação, ao contrário da subordem anteriormente descrita, há a presença de vegetação em estágio inicial, médio e avançado. As pastagens aparecem em menor proporção.

Os Argissolos Amarelos (PA) ocupam 0,49% da área e encontram-se exclusivamente no extremo norte da reserva nas porções mais baixas da paisagem, sendo que estes solos aparecem como intermediários para Cambissolos Háplicos, com inclusões de Argissolos Vermelho Amarelo e Gleissolos Háplicos. O material de origem dos Argissolos Amarelos nas porções de relevo forte ondulado (20 a 45%) e ondulado (8 a 20%) é formado por xistos, anfíbolitos, gnaisses, migmatitos, quartzito, e outras litologias do Complexo Serra Negra. À medida que onde as declividades variam de 0 a 8% estes solos são oriundos de Sedimentos Recentes. Esta subordem foi mapeada em locais nos quais a floresta original foi praticamente toda extraída e atualmente estão ocupadas por pastagens, vegetação em estágio inicial e uma pequena proporção de floresta em estágio médio.

Os Neossolos Flúvicos (RY) abrangem 31,63% da área e ocorrem praticamente em toda a porção leste da área mapeada, nas áreas de influência fluviomarinha, com destaque para as planícies dos rios Tagaçaba, Caitê, Borrachudo, do Santo, do Barreiro e Caçada. Ocorrem também em forma de pequenas ilhas, localizadas a nordeste. Estes solos são formados sobre manguezais, cerca de 90%, e em menor proporção a partir do produto do intemperismo de sedimentos recentes, gnaisses e migmatitos. A topografia desta subordem pedológica é predominantemente plana, variando de 0 a 3% de declividade e em menor proporção ocorrem em relevo suave ondulado, com declividades variando entre 3 a 8%. A vegetação predominante nas áreas de RY é representada pela Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha e em menor expressão pela Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas em estado inicial.

Os Gleissolos Melânicos (GM) totalizam 12,07% da área aparecem basicamente em duas situações distintas na paisagem: em vales mais amplos formados na transição entre a serra e a planície. Situam-se também entre os manguezais e superfícies baixas e aplainadas que sofrem inundações frequentes, ou seja, em áreas com maior deficiência de drenagem

(encharcamento) e influência fluviomarinha. Esta subordem pedológica é formada a partir do produto do intemperismo de rochas de natureza diversa, com predomínio de Sedimentos Recentes, e ocupam uma extensão geográfica considerável nas rampas de colúvio e/ou terraços adjacentes à planície de inundação e áreas com influência fluviomarinha, ou ainda, em áreas posicionadas dentro da própria planície de inundação. A topografia do terreno nesta subordem de solo é majoritariamente plana com declividade inferior a 3% e o restante é distribuído em inclusões de relevo suave ondulado e ondulado. A vegetação predominante desta subordem pedológica corresponde pastagens, Formações Pioneiras de Influência Fluvial e Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

A subordem pedológica dos Gleissolos Háplicos (GX) representa 8,72% da área e ocorre em condições de umidade durante o ano, concentrando-se a noroeste da área de estudo. Uma pequena porção destes solos, que são intermediários para Cambissolos Háplicos gleissólicos, é encontrada a nordeste. Os Gleissolos Háplicos são principalmente formados a partir do produto do intemperismo de Sedimentos Recentes, sendo que a topografia nesta classe de solo é predominantemente plana e o restante é distribuído em inclusões de relevo suave ondulado e ondulado. Quanto à cobertura vegetal, esta subordem pedológica ocorre sob pastagens, Formações Pioneiras de Influência Fluvial herbácea e arbustiva e Floresta Ombrófila Densa Submontana em estágio inicial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Pedólogos e geomorfólogos estão em consenso quanto ao desempenho da configuração superficial da crosta terrestre na gênese, evolução e desenvolvimento dos solos. Assim, os solos podem ser compreendidos pela relação entre a morfogênese-pedogênese quando se considera a evolução do relevo.

Na escala da vertente o relevo determina a ocorrência e as propriedades dos solos, por meio da dinâmica do fluxo da água. Outra influência do relevo pode ser observada na forma como os solos evoluem em locais não saturados e saturados (mal drenados) que interferem nos processos de intemperismo químico (translocação de materiais solúveis e/ou lixiviação).

Desta forma, esta fundamentação teórica tem como intuito enfatizar a atuação do relevo na gênese, evolução e desenvolvimento dos solos com base nas relações solo-paisagem.

2.1 RELAÇÕES SOLO - PAISAGEM

Os solos constituem um contínuo tridimensional na paisagem, desta forma, para que se compreenda sua formação e distribuição, se faz necessária a compreensão da formação da própria paisagem (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005).

A importância do fator relevo na gênese dos solos remonta aos estudos elaborados no século XIX, por Vasilli V. Dockuchaev que vinculou a origem dos solos à ação do relevo, atrelada aos demais fatores de formação, sendo: material de origem, clima, organismo e tempo (ESPINDOLA, 2008).

A publicação do livro "*Factors of Soil Formation – A System of Quantitative Pedology*" por Jenny (1994) contribuiu para a noção de que o relevo fosse considerado um fator adicional para a equação que caracteriza a formação de um determinado solo, ou de uma propriedade específica do mesmo (JENNY, 1994; LESPCH 2010), a qual é expressa pela (EQUAÇÃO 1), onde as características do solo dependem da combinação dos seus fatores de

formação como clima (*cl*), organismos (*o*), relevo (*r*), material de origem (*p*) e tempo (*t*):

$$s = f(cl, o, r, p, t) \quad (1)$$

De maneira geral, tanto pedólogos quanto geomorfólogos estão de acordo com a ideia de que os solos, aparecendo em todas as posições do relevo, têm sua história ligada à própria história do relevo, tanto localmente como regionalmente (McFADDEN, 1990 *apud* QUEIROZ NETO, 2000).

Milne (1935), um dos precursores da abordagem solo-paisagem, foi quem descreveu as sucessões contínuas de solos nas vertentes, com o conceito de *catena*. Este conceito explica os padrões de solos nas paisagens, por meio dos processos ocorridos do interflúvio até o sopé, no fundo do vale. O mesmo autor estabelece que a mudança sequencial nos solos ao longo da vertente é atribuída a variações na drenagem subsuperficial, ao transporte diferencial e deposição de sedimentos erodidos e, à lixiviação, translocação e redeposição de materiais solúveis via superfície ou subsuperfície (MILNE, 1935 *apud* KÄMPF; CURI, 2012).

De acordo com Sommer e Schlichting (1997) e Bockheim *et al.* (2005), após o surgimento do conceito de *catena*, as formas do relevo receberam especial atenção, uma vez que este conceito salientou a influência do relevo sobre a drenagem, movimento da água vertical e horizontal, promovendo alterações nos atributos do solo e favorecendo a identificação de superfícies geomórficas ou superfícies pedométricas que são geneticamente e evolutivamente interdependentes.

Diversos autores, a exemplo de Milne (1935), Vidal-Torrado *et al.* (2005), Campos *et al.* (2006), Espindola (2008), Lespach (2010; 2011), Campos (2012), Kämpf e Curi (2012) convergem ao considerar o relevo como fator condicionante dos solos na paisagem.

Para McBratney (2003), a relação “solo-paisagem”, se refere ao somatório entre o solo e a paisagem definido no tempo e espaço, sendo então, o conjunto dos atributos do solo e da paisagem e suas interações.

Seibert *et al.* (2007) indicam que os aspectos topográficos são os que provocam maior variabilidade nos atributos do solo, justificando a importância dos estudos que incorporam os conceitos da relação solo-paisagem.

O relevo, para Guerra e Guerra (2009), refere-se à configuração superficial da crosta terrestre e afeta o desenvolvimento dos solos, principalmente, pela influência sobre a dinâmica da água, erosão, microclimas e, por conseguinte, na temperatura do solo.

Nos estudos sobre relevo, é comum a utilização do conceito de vertente, a qual pode ser descrita como a forma tridimensional modelada pelos processos de denudação atuantes tanto no passado como no presente, representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo de vale (DYLIK, 1968 *apud* BIGARELLA, 2003).

Para Ruhe (1960) *apud* Kämpf e Curi (2012), o perfil de uma vertente pode apresentar cinco elementos tais como interflúvio, ombro, encosta, sopé e sopé colúvio-aluvial (FIGURA 7).

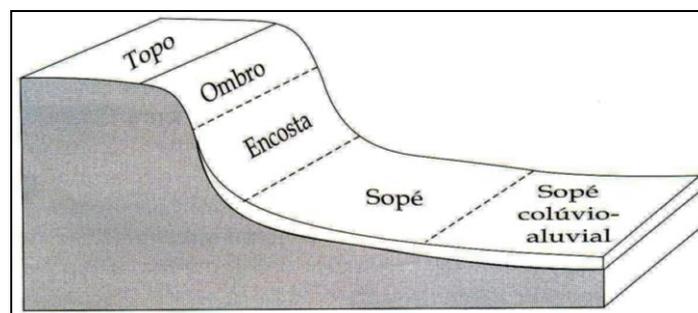


FIGURA 7 - ELEMENTOS DA VERTENTE.
 FONTE: Ruhe (1960) *apud* Kämpf e Curi (2012).

Outros autores, como Huggett, (1975), Pachepsky *et al.* (2001) e Iqbal *et al.* (2005), destacam que esta segmentação da vertente em topo, ombro, encosta, sopé, etc., provoca uma variabilidade espacial nos atributos do solo, pois é relevante no transporte e retenção de água no solo, bem como no transporte e deposição de sedimentos.

Dalrymple *et al.* (1968) demonstraram um modelo hipotético dos processos geomorfológicos dominantes em nove unidades de superfície em uma vertente (FIGURA 8) sendo:

- 1) Interflúvio: onde ocorrem os processos pedogenéticos associados com o movimento vertical subsuperficial da água;
- 2) Declive de Infiltração: onde ocorre o processo de eluviação química e mecânica pelo movimento lateral subsuperficial da água;
- 3) Declive Convexo de Rastejamento: ocorre o rastejamento do solo com a formação de terraços;
- 4) Frente de Queda: onde há o movimento de queda, escorregamento e o desgaste físico e químico do solo;
- 5) Meia Encosta de Transporte: ocorre, por meio de movimentos de massa o transporte de material e a formação de terraços com ação superficial e subsuperficial da água;
- 6) Sopé Coluvial: onde ocorre redeposição de matéria por movimentos de massa e lavagem superficial, com a formação de leques, transporte de material, rastejamento e ação superficial e subsuperficial da água;
- 7) Saliente Coluvial: onde há deposição aluvial e processos resultantes da ação subsuperficial da água;
- 8) Canal Barreira: ocorrem os processos de erosão, afundamento e queda dos solos;
- 9) Canal Leito: onde ocorre o transporte do material para o vale pela ação da superfície da água, gradação e erosão periódicas.

Os segmentos de vertente deste modelo de paisagem afetam grandemente a variação dos atributos do solo, em função principalmente da quantidade, fluxo e distribuição sazonal da água, que podem condicionar ambientes específicos, pois interferem no movimento de bases e comportamento das argilas (DANIELS e HAMMER, 1992).

Como exposto, existem vários modelos de vertente que relacionam seus seguimentos com as características dos solos que neles ocorrem. No entanto, Kämpf e Curi (2012) colocam que as relações entre o relevo e a formação dos solos são muito diversificadas, uma vez que este está atrelado com a distribuição espacial dos solos em todas as escalas da paisagem, desde a subcontinental à vertente individual. Para estes autores ocorrem efeitos diretos do relevo nos processos de formação dos solos e efeitos indiretos, que são

expressos por meio da influência do relevo em outros fatores ambientais como clima e hidrologia.

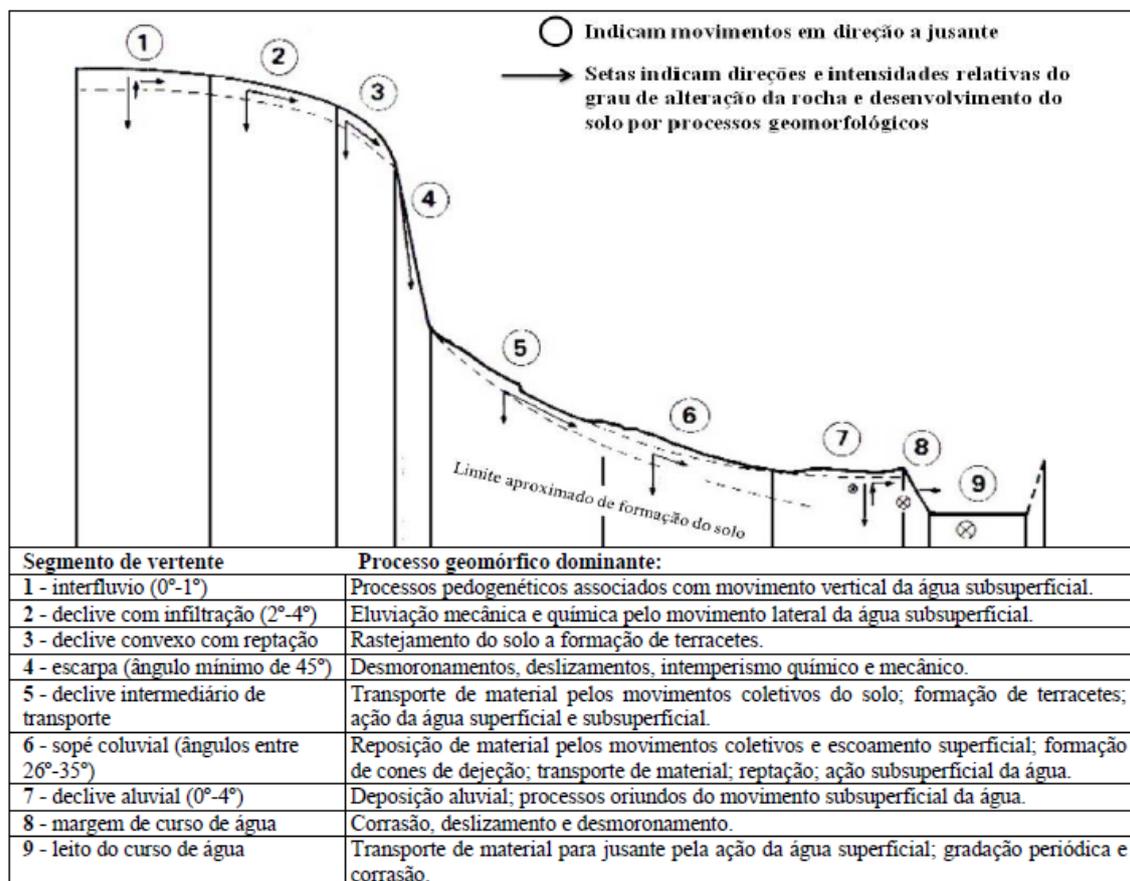


FIGURA 8 - NOVE UNIDADES HIPOTÉTICAS DO MODELO DE SEGMENTO DE VERTENTES.

FONTE: Silveira (2010) adaptado de Dalrymple *et al.* (1968).

De acordo com McKenzie e Ryan (1999) *apud* Silveira (2010) pressupõe-se que em escala local, quando as demais variáveis são semelhantes, o relevo condiciona a ocorrência dos solos, que são influenciados pela dinâmica do fluxo da água, energia e processos de redistribuição de material nas vertentes, controlando significativamente sua distribuição.

Segundo Toledo *et al.* (2009) e Lepsch (2011), o relevo influencia os processos pedogenéticos, uma vez que a topografia é responsável, por regular o escoamento superficial das águas pluviais, pois controla a quantidade de água que infiltra numa rocha ou saprólito. Tanto a quantidade de água como também o tempo de sua permanência influenciam na liberação e eliminação

dos compostos solubilizados pelas reações químicas do intemperismo, sendo que estas reações ocorrem mais intensamente nas partes do relevo onde há mais infiltração, seguida de lixiviação dos produtos solúveis (FIGURA 9).

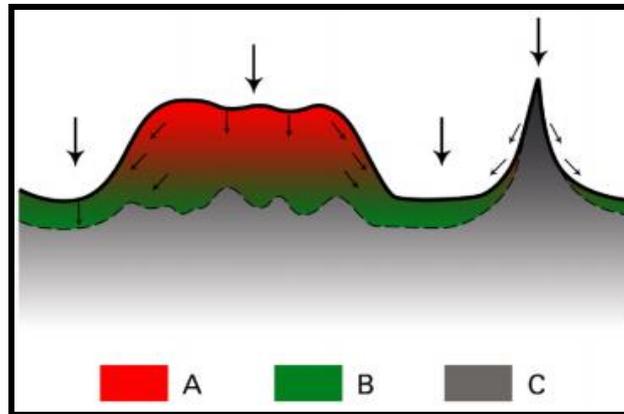


FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA VELOCIDADE DO INTEMPERISMO. SETOR (A) BOA INFILTRAÇÃO E BOA DRENAGEM FAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO. SETOR (B) BOA INFILTRAÇÃO E MÁ DRENAGEM DESFAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO. SETOR (C) MÁ INFILTRAÇÃO E MÁ DRENAGEM DESFAVORECEM O INTEMPERISMO QUÍMICO.

FONTE: Toledo *et al.* (2009).

Os mesmos autores consideram, ainda, que nos topos quase planos, como nos topos de platôs ou colinas, a boa infiltração e a boa drenagem favorecem a alteração dos minerais como a remoção dos produtos solubilizados e como resultado há a formação de um perfil de alteração mais profundo e bastante intemperizado. Nas encostas muito íngremes não ocorre o aprofundamento do perfil, pois o material desagregado, em início de alteração, é carregado pela erosão, onde parte da água que escoar carrega também produtos solubilizados. Por outro lado, nas porções mais baixas do relevo, a água pode ficar por muito tempo estagnada e em contato com o regolito, sendo que, saturada por componentes solúveis, pode perder a capacidade de continuar promovendo reações de alteração nos minerais. No entanto, é comum haver a síntese de novos produtos a partir das substâncias solubilizadas, como a formação de argilas 2:1, quando há grande quantidade de cátions solúveis, como também a síntese de compostos ferrosos, pode haver a formação de nódulos ferruginosos, que podem ser identificados no perfil como mosqueados.

O conhecimento do sistema de fluxos de água de uma determinada área, derivado do entendimento das relações geomorfologia-estratigrafia-pedologia, é muito útil para a compreensão dos processos genéticos e do comportamento dos solos (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005). Estes autores colocam ainda que esses aspectos também são de grande importância para os pesquisadores que estudam erosão, poluição e física dos solos, para os geoquímicos e também para os geomorfólogos, aos quais muito interessa conhecer todos os processos que atuam ao longo das vertentes. Esse tipo de informação poderá ser usado para aumentar a exatidão dos diagnósticos agrícolas e/ou ambientais, ajustando-os melhor à realidade.

Autores como Carré e McBratney (2005) e Thompson *et al.* (2006) defendem que o comportamento dos atributos do solo é controlado pelos componentes da paisagem, dentre eles, altitude, declividade e curvatura do terreno, os quais influenciam processos pedogenéticos. Para Moore *et al.* (1991) e Bui *et al.* (1999) esta relação se evidencia por considerar características ambientais, parâmetros topográficos e hidrológicos particulares de cada local específico.

Segundo Campos (2012), apesar de bastante explícita a importância e discussão das relações solo-paisagem, poucos trabalhos abordam a temática com vistas a identificar e mapear solos, muito embora estes modelos permitam compreender as relações entre as condições do solo e os aspectos topográficos do terreno.

2.2 MAPEAMENTOS PEDOLÓGICOS

2.2.1 Mapeamentos Pedológicos Tradicionais

De acordo com EMBRAPA (1995) um mapeamento pedológico é um prognóstico da distribuição geográfica dos solos como corpos naturais, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza, sendo que um levantamento identifica solos que possam ser

reconhecidos como unidade natural, prevê e delinea suas áreas nos mapas, em termos de classes definidas de solos.

Os solos classificados devem ser definidos como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta, contém matéria viva podendo ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (SANTOS *et al.*, 2013).

Tradicionalmente os levantamentos de solos envolvem pesquisas de gabinete, campo e laboratório, compreendendo o registro de observações, análises e interpretações de aspectos do meio físico e de características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, visando à sua caracterização, classificação e principalmente cartografia (IBGE, 2007).

De acordo com Pinto *et al.* (1999), em gabinete é comum a observação estereoscópica de pares de aerofotos e a partir delas efetua-se uma interpretação visual das feições do relevo. Da mesma maneira, de acordo com Florenzano (2007) atualmente, também é possível interpretar informações sobre paisagem utilizando imagens de satélite onde é possível, por meio da interpretação visual ou programas computacionais de classificação de imagens, também identificar feições de relevo. Posteriormente, realiza-se o levantamento de campo, onde os solos são identificados e mapeados conforme a escala pretendida.

Estes solos então são classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos vigente, conforme diversos atributos diagnósticos, tais como quantidade e qualidade de material orgânico nos horizontes superficiais, número, disposição e espessura de horizontes, cor, material de origem, entre outros.

Segundo Lepsch (2002) as cartas pedológicas são definidas como a aplicação sintética das informações pertinentes à formação e distribuição geográfica dos diferentes solos existentes em uma localidade.

De acordo com IBGE (2007), as cartas pedológicas podem ser classificadas em diversos tipos de acordo com a qualidade ou quantidade de

informações demandadas, e se diferenciam principalmente quanto aos objetivos que se destinam e quanto à extensão das áreas que abrangem. Para cada tipo de levantamento há um tipo de mapa de solos, o qual é designado pelo nome do levantamento correspondente.

Devido à complexidade, os mapeamentos tradicionais de solos são bastante onerosos e requerem grande dispêndio de tempo para serem concluídos. Além disso, os mapeamentos convencionais foram criticados por empregar modelos mentais, fundamentados na experiência do pedólogo, e não em modelos que possam ser reproduzidos, sendo possível avaliar somente o resultado final e não a qualidade do modelo (CEDDIA, 2013)².

Além disso, o método tradicional não considera a dependência espacial entre as unidades de mapeamento, a qual pode ser forte, principalmente em se tratando de levantamentos detalhados ou em áreas onde os limites entre os solos não são óbvios. Conseqüentemente, o modelo discreto, assumido no mapeamento tradicional não é geralmente realístico, porque os limites naturais na paisagem tendem a ser mais graduais que abruptos (BURGESS e WEBSTER, 1984; McBRATNEY e WEBSTER, 1981; ODEH *et al.*, 1990 *apud* MENDONÇA-SANTOS e SANTOS, 2003).

Para McBratney *et al.* (2000) e Bonisch (2004) *apud* Nowatzki (2013) os métodos convencionais de levantamentos de solos são criticados, por serem muito qualitativos nas caracterizações, sendo que nos últimos anos, tem se observado o desenvolvimento de modelos quantitativos, os quais foram categorizados em um novo ramo da ciência do solo conhecido como Pedometria.

2.2.2 Mapeamentos Pedológicos Digitais

O Mapeamento Pedológico Digital pode ser definido como a criação e a popularização de sistemas de informação espacial do solo por modelos numéricos que inferem variações espaciais e temporais dos tipos e

² Citação fundamentada na Palestra de Marcos Bacis Ceddia intitulada "Interfaces entre o Mapeamento Convencional e Digital de Solos", apresentada no XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo realizado em julho de 2013 no município de Florianópolis - SC.

propriedades do solo, a partir da observação e conhecimento do solo junto com variáveis relacionadas ao meio ambiente (McBRATNEY *et al.*, 2007; LAGACHERIE, 2008).

McBratney *et al.* (2003) incorporam nos modelos, além dos cinco fatores de formação (CLORPT) estabelecidos por Jenny (1994), a variabilidade espacial dos atributos solo, sendo que estes fatores permitiram a abordagem espacial do CLORPT, gerando o modelo SCORPAN. Neste modelo, as coordenadas geográficas são incorporadas e as classes de solos e seus atributos podem ser previstos a partir de sete fatores (*s*) o próprio solo, (*c*) o clima, (*o*) organismos vivos, (*r*) atributos da paisagem (relevo), (*p*) material de origem (litologia), (*a*) o tempo e (*n*) as coordenadas geográficas, conforme a (EQUAÇÃO 2):

$$s = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad (2)$$

A realização de mapeamentos pedológicos digitais, por meio da Pedometria, requer uma representação do relevo em meio digital, a qual é obtida por meio de técnicas de geoprocessamento, tornando possível a elaboração dos modelos da superfície terrestre de maneira automatizada.

Segundo McBratney *et al.* (2003), o mapeamento digital de solos se desenvolveu a partir do surgimento de uma série de tecnologias que possibilitam sua execução, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), Sensoriamento Remoto (SR), *Global Navigation Satellite System* (GNSS), entre outros. A (FIGURA 10) elucida a posição da Pedometria em relação às demais áreas do conhecimento.

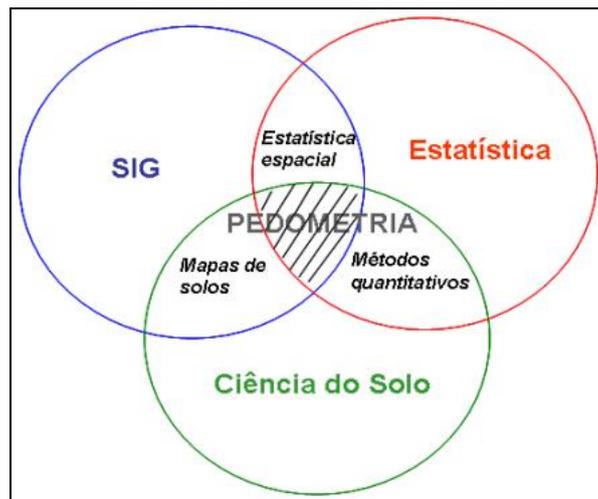


FIGURA 10 - PEDOMETRIA EM RELAÇÃO ÀS DEMAIS ÁREAS DO CONHECIMENTO.
 FONTE: Coelho (2010) adaptado de Hengl (2003)

Hengl (2003) afirma que os mapas pedológicos obtidos por Pedometria melhoram os trabalhos de mapeamento pedológicos tradicionais, pois resultam em mapas mais objetivos e detalhados.

De acordo com McBratney (1996) a Pedometria estabelece relações matemáticas entre classes, propriedades e as variáveis preditoras dos solos, que são também conhecidas como variáveis geomorfométricas. Estas são de suma importância para os estudos pedológicos de gênese e distribuição.

As variáveis geomorfométricas, também conhecidas como atributos topográficos, são derivadas dos Modelos Digitais do Terreno (MDT). Estes são definidos como a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z (ROCHA, 2000). De acordo com Dalmolin e Santos (2003) o MDT trata apenas dos pontos que representam o terreno a ser modelado, diferente de um Modelo Numérico de Elevação (MNE), que pode conter informações referentes ao terreno e elementos existentes sobre ele como vegetação, edificações, etc.

Para Campos *et al.* (2006) a utilização de um MDT é uma técnica que pode ser considerada como uma evolução do estudo dos solos, pois permite uma melhor visualização da inter-relação solo e paisagem, através de associações da influência do relevo, do comportamento hídrico e da comunidade vegetal sobre as diferentes classes de solos, permitindo

estabelecer limites mais precisos e menos subjetivos entre os compartimentos pedológicos.

De acordo com Silveira (2010) o MDT possui importância na predição de mapeamento de solos, uma vez que os processos pedogenéticos são influenciados pela posição que o solo ocupa nas vertentes. Assim sendo, as unidades homogêneas encontradas na paisagem são calculadas a partir de grades regulares dos MDT's e os atributos topográficos podem ser empregados no mapeamento pedológico, sobretudo na distinção de classes de solos.

2.2.3 Mapeamento Pedológico Digital por Área de Referência

Como já explicitado anteriormente, os estudos da relação solo-paisagem podem subsidiar levantamentos de solos, constituindo dessa maneira um poderoso instrumento de predição da feição pedológica de áreas ainda não conhecidas (MOTTA *et al.*, 2002).

Coelho (2010) destaca que a grande vantagem do mapeamento pedológico digital é a possibilidade do emprego de modelos para extrapolar os limites para áreas adjacentes ao mapa utilizado como referência, partindo da proposição de que áreas com mesma fisiografia. Consequentemente haverá um ganho de informações para áreas que anteriormente não possuíam informações pedológicas.

Tal extrapolação é possível uma vez que a utilização das relações solo-paisagem se refere à aplicação das formas do relevo para predizer as variações transversais do solo na paisagem, pois: (a) dentro de uma unidade solo-paisagem ocorre interação entre os cinco fatores de formação em diferentes magnitudes, resultando em diferentes tipos de solos; (b) os solos dentro de uma mesma unidade solo-paisagem são mais similares quando comparados a solos em outras unidades; (c) áreas com as formas do relevo semelhantes, também apresentaram associação de solos com características similares; (d) áreas adjacentes de diferentes unidades solo paisagem apresentam relações espaciais; (e) uma vez que as quantidades de solos e as unidades de paisagem são determinadas na área, o tipo de solo pode ser

inferido pela identificação das unidades solo-paisagem (HUDSON, 1992 *apud* CAMPOS, 2012).

De acordo com Lagachiere (2001), o método da Área de Referência (AR) é fundamentado na hipótese de que a região subjacente a uma área de referência inclua todas, ou a maioria das classes de solos da AR. Isto significa que esta região subjacente deva possuir um número finito de classes de solos distintas ou em associações, de modo que a maior parte delas possa ser encontrada dentro da AR.

Para Hudson (1992) é possível agrupar solos em unidades de mapeamento por meio da identificação de características resultantes do cruzamento dos atributos do relevo, pois se pressupõe que onde há configuração de relevo semelhante, os solos que ali ocorrem também são similares.

Cunha *et al.* (2005) colocam que estes estudos possibilitam a extrapolação de informações disponíveis em mapas pedológicos em qualquer escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando na redução dos custos e do tempo para a obtenção de dados ambientais básicos.

Ippoliti *et al.* (2005) destacam que o mapeamento digital aumenta a eficiência do trabalho de campo após uma classificação preliminar, pois seu mérito está na análise digital do terreno, sendo esta realizada com o apoio de um modelo pedológico de ocorrência previamente conhecido.

No entanto, Valladares e Hott (2008) alertam que com a utilização dos MDT's é possível obter informações sobre a topografia, e produtos derivados, tais como a declividade, sendo que através de histogramas ou áreas de referência é possível realizar a comparação com os mapas de solos tradicionais. Todavia, a análise das Áreas de Referência e dos histogramas necessita de um amplo conhecimento da área de estudo para delinear amostras ou para classificar os solos. Vale ressaltar que o intuito não é descobrir novas classes de solos, mas melhorar o delineamento das classes de solos já existentes.

A partir desta bibliografia, buscou-se considerar os conceitos, experiências e métodos dos mapeamentos pedológicos digitais para a realização do mapeamento pedológico preditivo em escala 1:25.000, escala

dos dados cartográficos disponíveis, das bacias hidrográficas dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, com a utilização de atributos topográficos e um mapeamento pedológico existente (Área de Referência), de acordo com o objetivo proposto no início deste trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A relação de materiais utilizados neste estudo foi dividida em *softwares* e equipamentos de campo. Primeiramente foram utilizados os *softwares*, nas etapas de organização de dados, edição e elaboração das informações bibliográficas e cartográficas. Os equipamentos de campo correspondem a todas as ferramentas utilizadas nas coletas de solo em campo.

3.1.1 Softwares Utilizados

Para tornar possível o desenvolvimento dos objetivos deste estudo e procedimentos metodológicos, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- a) ESRI ArcGIS® 10.1 (edição de arquivos vetoriais, geração de atributos topográficos, álgebra de mapas e criação dos *layouts* dos mapas temáticos);
- b) SAGA 2.0.5. (geração de atributo topográfico secundário).

3.1.2 Equipamentos de Campo

Os equipamentos de campo utilizados foram:

- a) Trado holandês - para as prospecções dos solos;
- b) Pedocomparador - para a acomodação das amostras;
- c) Câmera fotográfica - para registro fotográfico das paisagens representativas para as análises;
- d) Cartas de campo - para apoiar o planejamento das rotas e pontos a serem verificados;
- e) GPS de navegação Garmin Map, modelo 60CSx - para a localização geográfica dos pontos de prospecção.

- f) Veículos com tração 4x4 - para o deslocamento nas áreas de estrada não pavimentada;
- g) Barco - para acesso às áreas de influência fluviomarinha.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos neste trabalho foram divididos em quatro etapas principais (FIGURA 11).

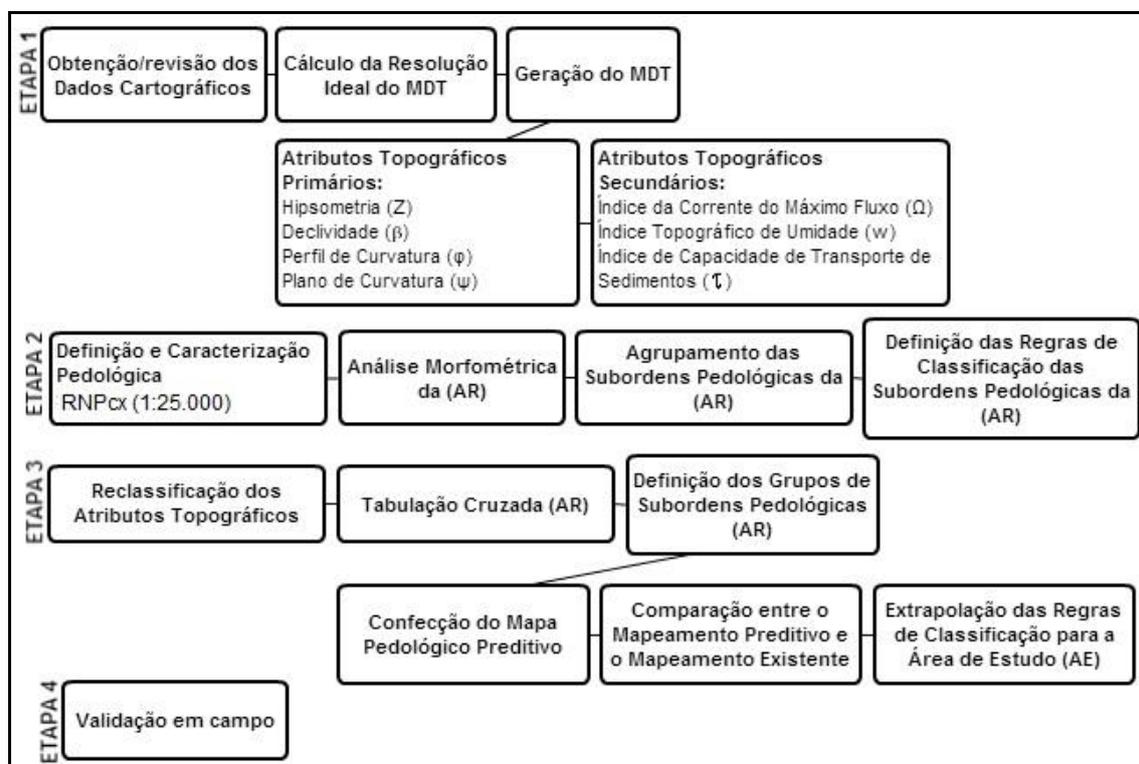


FIGURA 11 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.

ELABORAÇÃO: A Autora (2015)

A seguir, serão apresentados em maior detalhe os procedimentos metodológicos para a realização deste trabalho.

3.2.1 Dados Cartográficos Utilizados

Os dados disponíveis da área de estudo correspondem a curvas de nível (com equidistância de 10m), pontos cotados e hidrografia na escala 1:25.000,

extraídos das cartas topográficas: 2828-3 SE, 2828-3 SO, 2828-4 SO, 2843-2 NO, 2843-2 NE, 2844-1 NO, 2844-1 NE, 2844-2 NO, 2843-2 SO, 2843-2 SE, 2844-1 SO, 2844-1 SE, 2844-2 SO, 2843-4 NO, 2843-4 NE, 2844-3 NO e 2844-3 NE.

As referidas cartas foram disponibilizadas pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG), tendo sido elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) no ano de 2002, no âmbito do Programa de Proteção da Floresta Atlântica (PRÓ-ATLÂNTICA). A digitalização e organização dos dados foram realizadas pelo Laboratório de Pesquisas Aplicadas em Geomorfologia e Geotecnologias (LAGEO - UFPR).

Estes dados foram digitalizados e georreferenciados conforme Sistema Geodésico de Referência vigente, o SIRGAS 2000, sendo definidos os parâmetros descritos no (QUADRO 1).

Elementos Cartográficos	Critérios
Limite espacial	Bacias hidrográficas dos rios Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba (Fonte PLDM, 2010)
Projeção cartográfica	Sistema Universal Transversa de Mercator
Fuso	22 - Sul - Meridiano Central: 51°
<i>Datum</i> horizontal	SIRGAS 2000
<i>Datum</i> vertical	Imbituba – SC

QUADRO 1 - CRITÉRIOS ADOTADOS NA PADRONIZAÇÃO DOS DADOS CARTOGRÁFICOS.

Cabe ressaltar que os dados, mesmo em formato digital, necessitaram passar por um processo de edição vetorial. Informações como as da rede de drenagem apresentavam muitos erros nos sentidos dos vetores (sentido correto de montante e jusante) e foram realizadas correções para que os dados pudessem ser interpretados pelo *software* na geração do MDT, o qual passou por inúmeros testes e foi gerado em várias versões até a obtenção de informações confiáveis para a representação da superfície.

3.2.2 Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT)

3.2.2.1 Método de Interpolação Empregado

O método de interpolação empregado neste estudo para a geração do MDT foi o *Topogrid*. Este método é fundamentado no trabalho desenvolvido por Hutchinson (1988; 1989), no programa ANUDEM (*Australian National University Digital Elevation Model*). Foi desenvolvido com uma proposta de interpolação, sobretudo de dados vetoriais (linhas de drenagem e curvas de nível), visando à criação um MDT hidrológicamente consistente, uma vez que permite a inserção das linhas de drenagem que auxiliam na manutenção do declive do terreno na direção do escoamento superficial.

Conforme descrito em ESRI ArcGIS® (2012) o *Topogrid* mescla métodos interpolativos entre as abordagens estatísticas global e local, sendo que as técnicas globais procuram ajustar um modelo de superfície, usando todos os pontos de dados conhecidos simultaneamente. Já os interpoladores que utilizam técnicas locais, concentram-se em pequenas regiões no entorno do ponto a ser interpolado para assegurar que as estimativas sejam feitas apenas com os dados de vizinhança (MIRANDA, 2010).

Desta forma, o processo de interpolação do *Topogrid* foi concebido para tirar vantagem de dados de entrada em formato vetorial (como curvas de nível e drenagem), pois estes são comumente disponíveis em maior volume nas bases e, dados como pontos cotados, que possuem informações sobre as superfícies de elevação. Assim sendo, esta técnica de interpolação foi idealizada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. Desta forma, o método foi otimizado para ter a eficiência e rapidez computacional de métodos de interpolação locais, como interpolação ponderada inverso da distância (IDW), sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação globais, como *Krigagem* e *Spline* (ESRI ArcGIS® 2012).

De acordo com a interpretação de Saito (2011) sobre a interpolação proposta por Hutchinson (1988; 1989), por meio da definição de tolerâncias horizontais e verticais podem ser removidos pixels que interrompem o fluxo ao longo da rede de drenagem digitalizada, ou que são identificadas como

depressões fechadas. Para tanto, o programa estima um *grid* (grade) regular em uma superfície plana e, por meio de um grande número de dados de elevação irregularmente espaçados, linhas de contorno e linhas de fluxo, possibilita o efeito de suavização e o aumento sensível da precisão dos modelos gerados.

Diante das possibilidades que o interpolador *Topogrid* apresenta os dados de entrada utilizados para a geração do MDT foram curvas de nível, pontos cotados e hidrografia.

O *software* ESRI ArcGIS® 10.1 permite que o usuário determine a resolução do MDT, ou seja, estabeleça o tamanho do *pixel*. No entanto, esta determinação requer alguns critérios que serão a seguir descritos.

3.2.2.2 Cálculo da Resolução Ideal do *grid*

Neste trabalho a definição da resolução ideal do *grid* (tamanho do *pixel*) para a geração do modelo foi apoiada na proposta de Hengl (2006). O autor descreve que a definição do tamanho ideal do *pixel* deve ser pautada na cartografia, ao considerar a escala original da base de dados, e na topografia, considerando as características morfométricas do relevo local.

Desta forma, a resolução ideal do MDT foi calculada pela relação entre a área de estudo e as curvas de nível, através da (EQUAÇÃO 2), onde p corresponde ao tamanho do *pixel*, (A) a área total, e $\sum l$ ao somatório do comprimento das curvas de nível da delimitação avaliada.

$$p \leq \frac{A}{2 \cdot \sum l} \quad (1)$$

Em seguida, obteve-se que o tamanho de *pixel* para a área considerada é $p \leq 10,16\text{m}$, sendo esta a resolução mínima para a geração do MDT.

Por meio do mesmo cálculo, o autor sugere que seja realizado um recorte que represente 5% da área total, sendo este recorte representativo da área de estudo ao conter a maior concentração de curvas de nível, onde p

corresponde ao tamanho do pixel, ($A(5\%)$) a área total, e $\sum l(5\%)$ ao somatório do comprimento das curvas de nível da delimitação avaliada (2).

$$p \geq \frac{A(5\%)}{2 \cdot \sum l(5\%)} \quad (2)$$

Após a realização do cálculo obteve-se que a maior resolução possível seria $p \geq 2,4m$. Diante dos resultados, optou-se em adotar como resolução do *pixel* o valor de 10m devido a limitações de processamento de dados e também porque esta resolução não prejudica a representação e posterior interpretação das formas de relevo na área estudada.

Para a representação cartográfica do MDT foi utilizada uma ferramenta de “sombreamento do relevo”, denominada *Hillshade*. O efeito do sombreamento ocorre pela incidência de uma fonte luminosa (o Sol), com um ângulo específico que torna aparente o aspecto acidentado (rugoso) do terreno. Neste trabalho foram utilizados os ângulos de 45° em relação à vertical e 315° em relação ao azimute.

3.2.3 Atributos Topográficos

Os atributos topográficos são derivados de um MDT (MOORE *et al.*, 1991; MOORE *et al.*, 1993; WILSON e GALLANT, 2000; CHAGAS, 2006) e podem ser parametrizados a partir de variáveis, como altitude, declividade, aspecto, diferentes curvaturas, área contribuição, índice topográfico de umidade, etc. (McBRATNEY *et al.*, 2003; SILVEIRA, 2010).

Os atributos topográficos podem ser divididos em primários e secundários. Os atributos primários são calculados diretamente do MDT, como primeira derivada, com a inclusão de variáveis como elevação, declividade, aspecto (ou orientação) plano e perfil de curvatura, direção de fluxo e área específica de contribuição. Os atributos secundários envolvem combinações de atributos primários, segunda derivada, e podem ser utilizados para caracterizar a variabilidade espacial de processos específicos que ocorrem na paisagem,

como parâmetros relacionados a processos de transportes de sedimentos e a movimento da água superficial e subsuperficial no solo, compreende o índice de corrente de máximo fluxo, índice topográfico de umidade e índice de capacidade de transporte de sedimentos (MOORE *et al.*, 1991; MOORE *et al.*, 1993, GALLANT e WILSON, 2000; McBRATNEY *et al.*, 2003; SILVEIRA, 2010).

3.2.3.1 Geração dos Atributos Topográficos Primários

As operações efetuadas para a obtenção dos atributos topográficos primários foram executadas por meio de uma janela com nove nodos. O cálculo dos parâmetros de uma célula central tem como base os seus vizinhos em uma janela de oito células que se deslocam 3x3, conforme representado na (FIGURA 12) (MCBRATNEY *et al.*, 2003 e SILVEIRA, 2010).

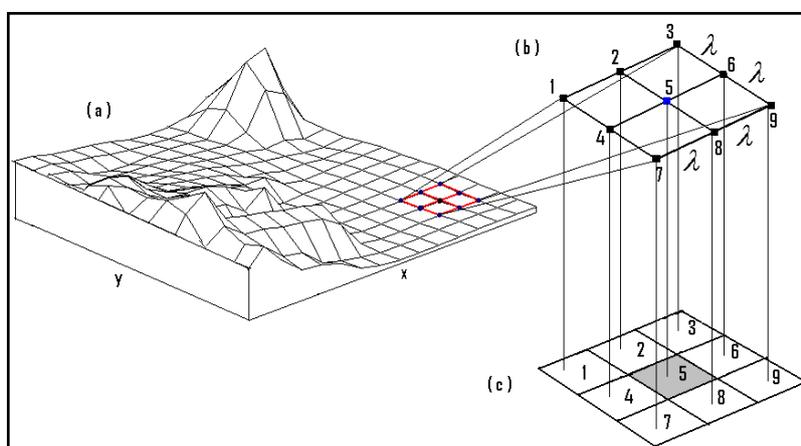


FIGURA 12 - GRADE REGULAR DA SUPERFÍCIE DO SOLO (A), JANELA COM NOVE NODOS (B), JANELA COM NOVE PIXELS (C).

FONTE: Silveira (2010).

A partir do MDT representado em forma de grade regular, a declividade, por exemplo, pode ser estimada como as derivadas locais, usando as diferenças finitas centradas localmente, em uma vizinhança 3x3, como mostra a (FIGURA 13), onde Z_i são os valores altimétricos pontuais (SILVEIRA, 2010).

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

FIGURA 13 - JANELA DE VIZINHANÇA 3X3.

FONTE: Silveira (2010).

Quando são utilizados os modelos matriciais é comum a aplicação de filtros (ou janelas). Segundo Miranda (2010) no entendimento comum de filtro, imagina-se um objeto que filtra impurezas. Neste caso, “filtrar as impurezas” significa retirar as células espúrias de determinado intervalo de dados, ou seja, filtrar uma imagem (ou mapa matricial) significa gerar uma nova imagem, na qual alguns atributos ou grupos de atributos são realçados e caracterizados.

Neste trabalho optou-se pela utilização de filtros de suavização (ou de passa-baixa). De acordo com Miranda *op. cit.* estes são utilizados quando se deseja suprimir valores altos para eliminar picos sem significado na paisagem, no intuito de se obter um plano que mais aproximadamente ressalte a tendência geral da topografia, ou informação que está sendo representada. Quanto maior o tamanho do filtro, mais valores médios serão obtidos em função do maior conjunto de números usados para calcular a média. No entanto, não há uma padronização e uma fixação dos valores (tamanhos) de filtros a serem utilizados, somente a experiência e a visualização das informações permite definir qual o tamanho do filtro adequado.

Ressalta-se ainda que, ao trabalhar com filtros deve-se ter em mente que o dado de saída não é o mesmo que o dado de entrada, sendo que a realização de cálculos utilizando os elementos do mapa matricial de entrada (em especial o MDT e a declividade) deve ser feita com o dado original.

Tendo como base estas considerações, a aplicação de filtros teve o propósito de melhorar a visualização dos atributos topográficos, não sendo, portanto, utilizada nos cálculos dos mesmos.

Além disso, os atributos topográficos foram obtidos em valores contínuos, sendo necessária a discretização dos intervalos de variação em classes representativas para análise dos resultados.

3.2.3.1.1 Hipsometria (Z)

Este atributo corresponde ao MDT propriamente dito (SILVEIRA, 2010). É definido como a representação da altimetria obtida a partir das informações planimétricas e altimétricas presentes (SIRTOLI, 2008), ou seja, representa a variação altimétrica do relevo, sendo esta variação discretizada em classes. Valeriano (2003) entende a hipsometria como uma derivação de ordem zero do MDT.

De acordo com Demattê *et al.* (1996) o relevo possui importante papel no comportamento do solo. A umidade, à medida que se dirige da posição mais alta a posição mais baixa, apresenta maior concentração, que é ocasionada tanto pelo escoamento superficial como pelo fluxo subsuperficial, influenciando diretamente no processo genético dos solos que ali ocorrem.

3.2.3.1.2 Declividade (β)

A declividade, também denominada de clinografia, corresponde à inclinação do terreno em relação ao plano horizontal. De acordo com Burrough (1986) pode ser expressa por um plano tangente à superfície, uma vez que este plano é definido como a mudança de elevação em relação à distância.

Segundo Gallant e Wilson (2000), a declividade controla a distribuição superficial e subsuperficial da água, afetando diretamente no regime hídrico. Desta forma, a declividade é um dos atributos topográficos mais importantes, pois controla os processos pedológicos, uma vez que influencia diretamente na velocidade do fluxo superficial e subsuperficial da água, ou seja, influencia no teor da água do solo e no potencial dos processos erosivos e deposicionais.

Neste estudo foi calculada segundo o algoritmo de Horn (1981) e Moore *et al.* (1991), obtendo-se o valor em graus, conforme a (EQUAÇÃO 4), onde β significa a inclinação do terreno.

$$\beta = \arctan \left(\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \right) \quad (4)$$

Em estruturas matriciais, o valor da declividade para cada célula é calculado considerando os valores das células vizinhas (MIRANDA, 2010). Em representações cartográficas pode ser expressa em graus ou porcentagem. Para representar a declividade em valores de porcentagem se utilizou a (EQUAÇÃO 5).

$$\alpha = \tan\beta.(100) \quad (5)$$

De acordo com análises realizadas por Uberti e Klamt (1984), em estudos sobre as relações entre solos e superfícies geomórficas, é possível afirmar que a declividade do terreno pode grandemente influenciar na composição granulométrica do solo, uma vez que a ação dos processos de transporte é favorecida pela declividade em detrimento do intemperismo.

De acordo com IBGE (2007) e Santos *et al.* (2013) a declividade corresponde às denominadas “Fases de Relevo”. Estas fases qualificam condições de declividade, comprimento das encostas e a configuração superficial do terreno que afetam as formas de modelado (formas topográficas) de áreas de ocorrência das unidades de solo. De acordo com estas publicações, as distinções são empregadas principalmente para prover informações sobre a possibilidade do emprego de equipamentos agrícolas, principalmente os mecanizados, e facilitar inferências sobre suscetibilidade à erosão dos vários ambientes. A descrição completa das “Fases de Relevo” pode ser encontrada no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007) e no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2013), podendo ser sintetizadas nas seguintes fases, conforme o (QUADRO 2):

Declividade	Tipo de Relevo
0 a 3%	Plano
3 a 8%	Suave Ondulado
8 a 20%	Ondulado
20 a 45%	Forte Ondulado
45 a 75%	Montanhoso
> 75%	Escarpado

QUADRO 2 - CLASSES CLINOGRÁFICAS.
 FONTE: IGBE (2007) e (SANTOS *et al.*, 2013)

Para a espacialização das classes de declividade optou-se pela utilização de filtros, pois quando os resultados eram calculados em janelas 3x3 havia a ocorrência de muitas células espúrias. Desta forma, este atributo foi recalculado com a utilização de janelas 10x10. Cabe ressaltar que a utilização do filtro não prejudicou o cálculo dos demais atributos topográficos que utilizam a declividade como variável, sendo utilizada somente na espacialização e representação dos resultados.

3.2.3.1.3 Perfil de Curvatura (φ)

O perfil de curvatura se refere à forma da vertente, cujo segmento pode ser classificado como convexo, côncavo ou retilíneo. A vertente, quando analisada em perfil, representa a taxa de variação da declividade na direção da orientação das vertentes. Esse atributo topográfico é importante para caracterizar mudanças na velocidade do fluxo de água e processos relacionados ao transporte de sedimentos (GALLANT e WILSON, 2000; CHAGAS, 2006 *apud* SILVEIRA, 2010).

De acordo com Valeriano (2003) este atributo se refere à curvatura da superfície na direção do declive, onde os valores negativos referem-se a vertentes convexas, positivos a vertentes côncavas e valores nulos às vertentes retilíneas.

Segundo Moore *et al.* (1993) é calculado pelas (EQUAÇÕES 6, 7 e 8). Onde f_x e f_y são derivadas parciais das variáveis direcionais x e y , e λ corresponde ao espaçamento da grade, neste caso 10 metros, de acordo com a resolução do pixel adotada neste estudo.

$$f_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{Z_4 + Z_6 - 2Z_5}{\lambda^2} \quad (6)$$

$$f_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{Z_2 + Z_8 - 2Z_5}{\lambda^2} \quad (7)$$

$$f_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{-Z_1 + Z_3 + Z_7 - Z_9}{4\lambda^2} \quad (8)$$

O perfil de curvatura é obtido, portanto, pela (EQUAÇÃO 9).

$$\varphi = \frac{-2(f_{xx} f_x^2 + f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_y^2)}{f_x^2 + f_y^2} \quad (9)$$

O perfil de curvatura tem importância na aceleração ou desaceleração do fluxo de água em uma encosta, logo, tem influência direta na erosão do solo. Quando a declividade diminui, na direção da orientação da vertente, o terreno é côncavo; a convexidade se dá quando a declividade aumenta na direção da orientação da vertente; quando a declividade não se altera no perfil, o terreno é caracterizado como reto (COELHO, 2010).

Gobin *et al.* (2001) colocam que o movimento da água nas paisagens é o responsável principal pelo processo de desenvolvimento do solo, desse modo a compreensão das formas do relevo, contribui nas inferências e predições sobre os atributos do solo nos diferentes segmentos das vertentes.

As classes deste atributo topográfico foram definidas em três intervalos, sendo que para as vertentes convexas foram admitidos valores positivos, nas

vertentes côncavas, os valores negativos e nas vertentes retilíneas, valores entre os intervalos - 0,01 e 0,01, sendo que este intervalo mostrou-se mais adequado para representar o perfil de curvatura da área de estudo.

Para a representação do perfil de curvatura também foi utilizada janela 10x10, pois quando se aplica a ferramentas de generalização para este atributo, é possível verificar os padrões de perfis na paisagem, sobretudo quando se observa a informação com a sobreposição das curvas de nível da base cartográfica.

3.2.3.1.4 Plano de Curvatura (ψ)

O plano de curvatura se refere ao caráter divergente ou convergente dos fluxos de matéria e energia nas vertentes, em projeção horizontal (SIRTOLI, 2008). A (FIGURA 14) representa os perfis e planos de curvatura de nove modelos de vertentes propostos por Hugget (1975).

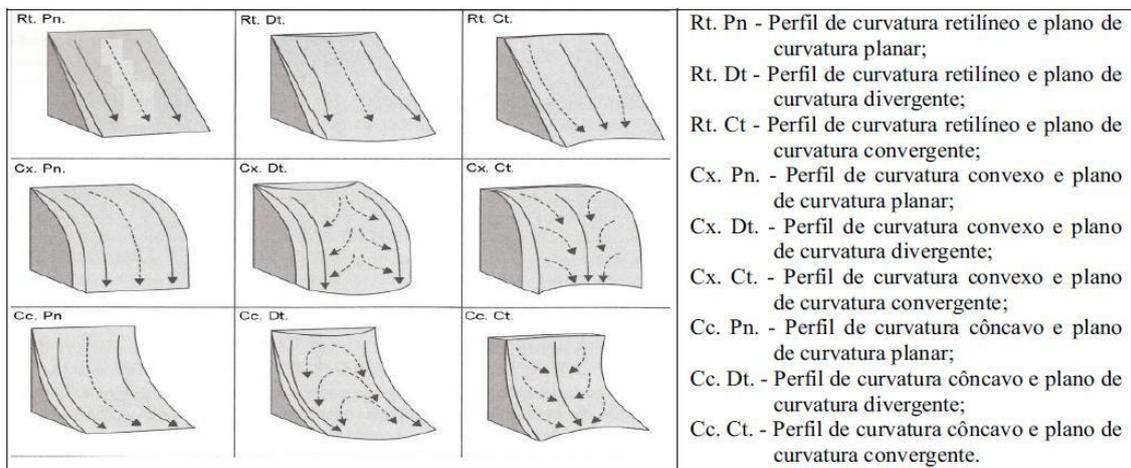


FIGURA 14 - Fluxo da água no plano de curvatura (setas pontilhadas) e fluxo da água no perfil da curvatura das vertentes (setas contínuas).

FONTE: Silveira (2010), adaptado de Hugget (1975).

De acordo com Valeriano (2003), o plano de curvatura pode ser entendido como a curvatura da superfície perpendicular à direção do declive, para a qual os valores positivos referem-se a vertentes divergentes, negativos a vertentes convergentes e valores nulos a vertentes planares.

O plano de curvatura foi calculado na mesma lógica do perfil de curvatura, sendo a (EQUAÇÃO 10), que determina os valores do plano de curvatura (MOORE *et al.*, 1993).

$$\omega = \frac{2(f_{xx} f_y^2 - f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_x^2)}{f_x^2 + f_y^2} \quad (10)$$

Este atributo tem influência na acumulação da umidade e do fluxo da água superficial e subsuperficial do terreno. Caracterizam-se como terrenos convergentes aqueles que as direções de maior declividade, em diferentes pontos do terreno, tendem a se encontrar; os terrenos, em que as direções de maior declividade, em diferentes pontos, tendem a se separar, são considerados divergentes (COELHO, 2010).

Para a representação do perfil de curvatura também foi utilizada uma janela 10x10, pois, assim como para o perfil de curvatura, a aplicação de filtros permite a verificação dos padrões dos planos na paisagem.

3.2.4 Geração dos Atributos Topográficos Secundários

Os índices de corrente de máximo fluxo, topográfico de umidade e capacidade de transporte de sedimentos são atributos topográficos secundários com grande potencial de aplicação nos diversos campos das ciências da terra, principalmente na geomorfologia e na ciência do solo (SILVEIRA, 2010). O mesmo autor descreve que, os atributos secundários são determinados a partir da vizinhança global e não, localmente, como ocorre com os índices primários.

Os atributos topográficos secundários foram discretizados com base na distribuição de células nos histogramas e nos intervalos naturais (*natural breaks*). Este método possibilita separar classes com base em agrupamentos naturais inerentes aos dados, ou seja, onde são identificadas classes que maximizam as diferenças entre os grupos de dados.

Após a identificação dos intervalos naturais, as classes foram aproximadas para valores inteiros, visando melhorar a compreensão dos resultados obtidos.

3.2.4.1 Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Ω)

O índice de corrente de máximo fluxo (Ω) é definido pelo produto da área específica de contribuição (A_c) e a tangente da declividade (β), conforme indicado na (EQUAÇÃO 11).

$$\Omega = A_c \cdot \tan \beta \quad (11)$$

Conforme descrito em Silveira (2010), a área específica de contribuição (A_c) é definida como o número de células, ou área, que contribui com o volume total de água, de uma determinada célula, é a área acumulada a montante por unidade de largura, transversal ao sentido do fluxo (FIGURA 15).

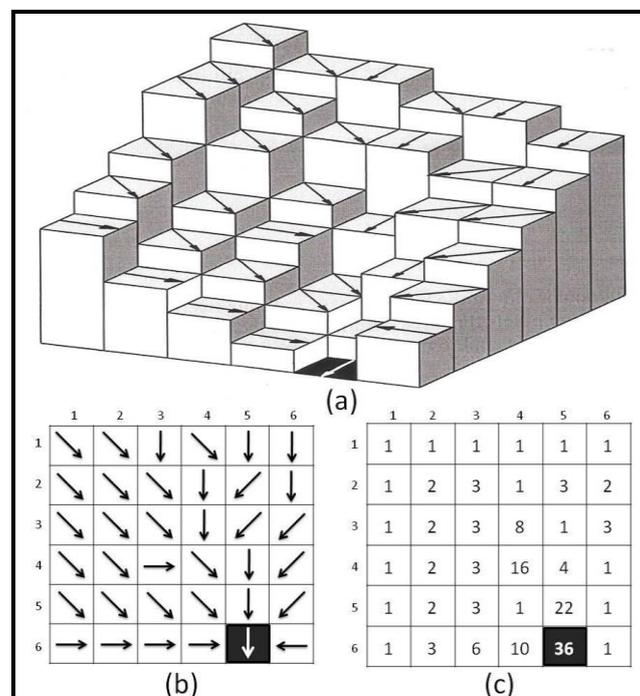


FIGURA 15 - MODELO DIGITAL (a); DIREÇÃO DO FLUXO (b); ÁREA ESPECÍFICA DE CONTRIBUIÇÃO (A_c), ACUMULAÇÃO DO FLUXO OU ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (c)
 FONTE: Silveira (2010), adaptado de Trauth (2007)

Conforme Wilson e Gallant (2000) este índice expressa a medida do poder erosivo da água corrente, uma vez que a descarga é proporcional à acumulação de fluxo de montante. Esta medida prenuncia a erosão nas áreas de perfil convexo, aceleração do fluxo, e deposição em áreas de perfil côncavo, redução da velocidade de fluxo.

O índice de corrente de máximo fluxo foi representado em porcentagem, sendo que para a espacialização deste atributo também foi utilizada como filtro uma janela 10x10.

3.2.4.2 Índice Topográfico de Umidade – ITU (w)

Segundo Sirtoli (2008), este índice é utilizado na caracterização da distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens. Para este autor o Índice Topográfico de Umidade também é definido como uma função entre declividade e área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo. Demonstra, de acordo com Moore *et al.* (2003), os efeitos do relevo na localização e extensão das áreas de acumulação de água.

O ITU é composto pela área de contribuição (A_c) dividido pela tangente da declividade, conforme explicitado em Gallant e Wilson (2000), onde (\ln) é o logaritmo natural, (A_c) é a área de contribuição (acumulação de fluxo) e ($\tan\beta$) é a tangente da declividade medida em graus (EQUAÇÃO 12):

$$w = \ln\left(\frac{A_c}{\tan\beta}\right) \quad (12)$$

É importante ressaltar que a (A_c), área de contribuição (acumulação de fluxo), foi calculada pelo método denominado D-infinito (D^∞), algoritmo proposto por Tarboton (1997), com a utilização da extensão TauDEM 5.1 do software *ESRI ArcGIS*® 10.1, sendo que o ângulo de direção do fluxo neste

método é determinado de acordo com a direção mais íngreme, considerando as oito faces triangulares formadas em uma janela de células 3x3 (FIGURA 16).

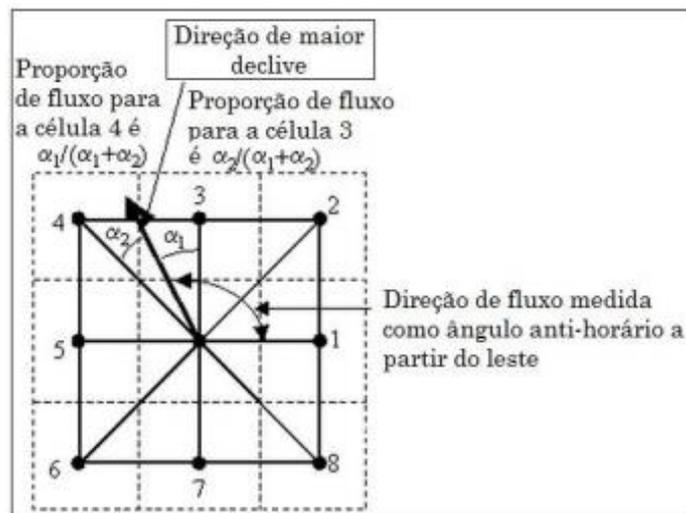


FIGURA 16 - MÉTODO D-INFINITO PARA CÁLCULO DA DIREÇÃO DE FLUXO.

FONTE: Silveira (2015), adaptado de Tarboton (1997)

Silveira (2010) comenta que a aplicabilidade deste índice se dá na separação dos solos com caráter hidromórfico, que ocorrem em relevo plano, de outras classes de solos que normalmente ocorrem em área de relevo plano ou suave ondulado, pois a (EQUAÇÃO 12) demonstra que o índice de umidade é função apenas da declividade, e que varia com a função tangente (\tan) e o logaritmo natural (\ln), ficando sujeito à seguinte restrição: $0^\circ < \beta < 90^\circ$.

Segundo a interpretação do autor supracitado, também na (EQUAÇÃO 12), quando a declividade aproxima de 0° , o limite desta função tende para infinito e, quando a declividade aproxima de 90° , o limite tende para zero. Desta forma, o significado físico desse comportamento é que quanto mais plano for o relevo, mais úmido (alto valor de umidade) o solo se apresentará, sendo possível então, por meio deste índice, a identificação de solos com caráter hidromórfico.

A representação deste índice foi realizada em porcentagem e para a representação deste atributo foi utilizada como filtro uma janela 5x5.

3.2.4.3 Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (τ)

Este índice é derivado da unidade de fluxo de energia equivalente ao fator de comprimento e inclinação da vertente (MOORE *et al.*, 1993).

Conforme descrito por Silveira (2010), as variáveis deste índice são a área de contribuição específica (A_c) e a declividade ($\text{sen}\beta$), conforme a (EQUAÇÃO 13), sendo as constantes m e n definidas pelos valores 0,6 e 1,3:

$$\tau = \left(\frac{A_c}{22.13} \right)^m \left(\frac{\text{sen}\beta}{0.0896} \right)^n \quad (13)$$

O mesmo autor coloca que o índice mensura a capacidade de transporte de sedimentos e, quanto mais alto o valor da área de contribuição (A_c) e maior a declividade (β), maior será a capacidade de transporte de sedimentos e, por consequência, os solos formados nestas condições serão menos desenvolvidos.

O índice de capacidade de transporte de sedimentos, assim como os demais atributos topográficos secundários, foi representado em porcentagem e com a utilização de janelas 10x10 como filtro.

3.2.5 Área de Referência – Mapeamento Pedológico Existente em Escala de Detalhe

O mapeamento pedológico existente em escala de detalhe (1:25.000) corresponde à Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa³, que totaliza 67,54 km² de extensão. A reserva pertence à Sociedade de Proteção a Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS) e está localizada no município de Guaraqueçaba, estado do Paraná, integralmente no interior da área de estudo do presente trabalho.

³ A Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa até o ano de 2014 era denominada Reserva Natural Itaqui.

Para a realização do referido mapeamento foram utilizados os seguintes dados cartográficos: levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984), os mapas geológicos (Folhas de Guaraqueçaba, Antonina e Rio Pardinho de Rivereau *et al* (1970) em escala 1:70.000, folhas planialtimétricas do IBGE e/ou do Serviço Geográfico do Exército, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, e o levantamento semidetalhado dos solos das da região litorânea presente no documento “Potencial de uso agrícola das áreas de várzea do Estado do Paraná” realizado por Rauen *et al.* (1994).

Devido às diferenças de escala entre os dados topográficos utilizados no mapeamento de referência e os dados utilizados neste trabalho, houve a necessidade de realizar adaptações e correções no mapeamento, pois foram encontradas incompatibilidades de georreferenciamento e detalhamento das feições, as quais poderiam prejudicar as operações de comparação entre o mapeamento preditivo e o mapeamento de referência. Cabe ressaltar que as edições vetoriais e adaptações foram embasadas nas descrições das unidades de mapeamento realizadas por Rocha *et. al* (2002).

Os solos da Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), a caracterização morfológica foi realizada segundo o manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (LEMOS e SANTOS, 1996) e a designação de horizontes, conforme Definição e Notação de Horizontes e Camadas do Solo (EMBRAPA, 1988), conforme descrito no relatório técnico disponibilizado por Rocha *et. al* (2002).

3.2.5.1 Análise Geomorfométrica da Área de Referência (AR), definição dos grupos pedológicos e regras de classificação.

A análise geomorfométrica da Área de Referência (AR) consistiu na quantificação dos atributos topográficos utilizados na compreensão e representação das formas do terreno, a fim de se obter um padrão de ocorrência para cada subordem pedológica mapeada. Para tanto, foram computados os valores máximos, mínimos e médios dos dados contínuos obtidos na geração dos atributos topográficos.

Em seguida, houve a verificação das relações entre os atributos topográficos com as subordens pedológicas da área de referência por meio da análise morfométrica e pela análise dos histogramas (APÊNDICE 1: Histogramas dos atributos topográficos por ordem pedológica.) e das sobreposições das informações, com o intuito de identificar quais atributos serão utilizados na obtenção do mapa pedológico preditivo da área de estudo.

A etapa seguinte consistiu na sobreposição das ordens pedológicas com os atributos topográficos, no propósito de identificar de padrões de ocorrência destes atributos com a distribuição dos solos. Uma análise complementar das relações entre solos e atributos topográficos do relevo foi realizada de maneira visual, comum em trabalhos de mapeamento preditivo de solos, realizada anteriormente por Silveira (2010) e Nowatzki (2013), por meio da sobreposição das ordens pedológicas e as classes discretizadas dos atributos topográficos. Após a identificação dos padrões houve um agrupamento das nove subordens pedológicas em cinco diferentes grupos, os quais representam unidades geomórficas distintas. Para Irvin *et al.* (1997) as Unidades Geomórficas expressam a dinâmica do ambiente em função da morfologia do relevo.

Cabe ressaltar que a principal variável analisada neste trabalho foi o fator de formação relevo, porém quando o mesmo não foi suficiente para a distinção das subordens pedológicas, optou-se pela utilização de demais elementos da paisagem, como a vegetação, disponível em escala 1:25.000. O fator de formação material de origem (geologia), ainda que disponível em escala de menor detalhe (1:250.000), também foi utilizado na análise visual e na distinção das subordens pedológicas na AR. Destaca-se também que o agrupamento destas subordens se fez necessário por não ser possível separar por atributos topográficos informações como textura, cor, granulometria etc., que caracterizam os horizontes diagnósticos e são utilizadas na classificação dos solos.

A descrição dos grupos pedológicos, estabelecidos por meio das relações entre as subordens pedológicas e atributos topográficos estão apresentadas no item (4.2.1) deste trabalho.

3.2.5.2 Integração dos atributos topográficos e Tabulação Cruzada

Para a integração dos atributos topográficos foi necessário realizar a reclassificação dos mesmos, sendo que este processo consiste na atribuição de novos valores as células existentes. Para Miranda (2010) neste tipo de operação o SIG reagrupa classes do mapa original por meio de um processo de fusão, fazendo com que os valores de seus atributos são modificados, mas não a sua geometria. Mesmo não sendo um processo analítico, é uma operação fundamental em SIG, pois facilita na revelação de novos padrões espaciais. Portanto, os atributos topográficos (declividade, índice de corrente de máximo fluxo, índice topográfico de umidade, índice de capacidade de transporte de sedimentos) e vegetação foram reclassificados.

Cabe ressaltar que os intervalos dos atributos topográficos declividade, índice topográfico de umidade, índice de corrente de máximo fluxo e índice de capacidade de transporte de sedimentos foram mantidos de acordo como haviam sido descritos no item (3.2.3) deste trabalho.

Após a reclassificação dos atributos, os mesmos foram combinados e analisados conjuntamente por meio da técnica da Tabulação Cruzada. Segundo Tomlin (1983) esta técnica é utilizada na integração de variáveis, podendo ser realizada por superposição de mapas. Para Silveira *et al.* (2012) a Tabulação Cruzada indica o conjunto de procedimentos que são empregados em análises espaciais em geoprocessamento, a qual produz novos dados a partir de funções de manipulação, podendo ser aplicadas a um ou mais mapas. As etapas da Tabulação Cruzada podem ser resumidas na (FIGURA 17):

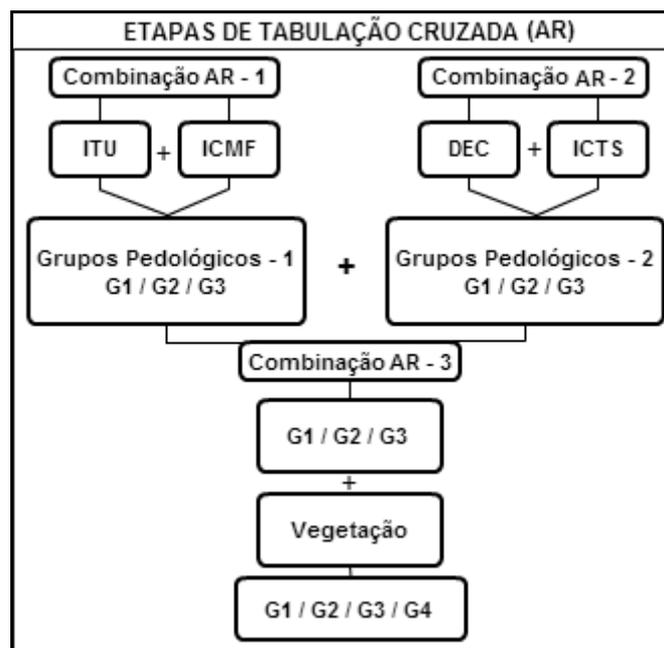


FIGURA 17 – ETAPAS DA TABULAÇÃO CRUZADA DA ÁREA DE REFERÊNCIA

3.2.5.4 Comparação entre o mapa pedológico digital e o mapeamento existente.

Neste trabalho foram utilizados os métodos de comparação descritos por Centeno (2003), Silveira (2010), Silveira *et al.* (2012), Nowatzki (2013) e Silveira (2015), são eles: Matriz de Confusão (ou Matriz de Erros), Erros de Inclusão, Exatidão do Ponto de Vista do Usuário (EU) e Erros de Omissão, Exatidão do Ponto de Vista do Produtor (EP) e de Exatidão Global.

A Matriz de Confusão é uma maneira de representação das contradições entre o real e o resultado do processo de classificação. Neste trabalho foi construída a partir da comparação entre as células do mapeamento existente e do mapeamento digital e por meio da contabilização dos erros e acertos. Neste caso, os valores considerados como “reais” são os valores obtidos no mapeamento pedológico da AR em escala 1:25.000. Os Erros de Inclusão correspondem às células que, mesmo pertencendo à outra classe foram incluídas em determinada classe mapeada onde $Ein(i)$ significa o erro de inclusão, $SC(i)$ é a soma parcial da coluna i da matriz de erros e $M(i,i)$ são os elementos da diagonal da linha i da matriz de erros, conforme a (EQUAÇÃO 14):

$$Ein(i) = \frac{SC(i) - M(i,i)}{SC(i)} \quad (14)$$

A Exatidão do Ponto de Vista do Usuário (EU) está associada à taxa do Erro de Inclusão. O (EU), (EQUAÇÃO 15), demonstra se determinada classe na imagem classificada corresponde a essa na imagem de referência. Se não houver erros de inclusão, a matriz de erros apresentará valores apenas na diagonal. No entanto, geralmente isso não ocorre.

$$EU = \frac{M(i,i)}{SC(i)} \cdot 100 \quad (15)$$

Já os Erros de Omissão correspondem às células pertencentes à classe que se deseja mapear, mas que foram erroneamente classificadas como sendo de outra, ou seja, foram omitidas de determinada classe, conforme a (EQUAÇÃO 16):

$$Eom(i) = \frac{SL(i) - M(i,i)}{SL(i)} \quad (16)$$

Onde $Eom(i)$ significa o erro de omissão, $SL(i)$ é a soma parcial da linha i da matriz de erros e $M(i,i)$ são os elementos da diagonal da linha i da matriz de erros.

A exatidão do ponto de vista do produtor (EP) está associada ao Erro de Omissão e pode ser medida pela taxa de células corretamente classificadas em cada classe, podendo ser obtida pela (EQUAÇÃO 17). Quanto maior for a EP, maior será o sucesso alcançado nas classes obtidas pelo mapeamento digital em relação ao mapeamento pedológico de referência.

$$EP = \frac{M(i,i)}{SL(i)} \cdot 100 \quad (17)$$

A determinação dos Erros de Inclusão e Omissão possibilita também o cálculo do percentual de concordância (C%) e discordância (D%) entre as ordens e subordens pedológicas digitalmente mapeadas e as ordens e subordens do mapeamento existente pelo valor da Exatidão Global. Permitem também a avaliação da quantidade de células de determinada ordem e/ou subordem foi subestimada ou superestimada, uma vez que os erros de omissão descrevem a acurácia de determinada classe mapeada, enquanto a taxa de erros de inclusão indica quanto uma classe foi superestimada.

A Exatidão Global é definida pela razão entre o número de células corretamente classificadas (nc), pelo número total de células da matriz (nt), conforme a (EQUAÇÃO 18):

$$EG = \frac{nc}{nt} \quad (18)$$

Cabe ressaltar que o resultado obtido no cálculo da EG fornece um parâmetro de avaliação do todo, não sendo possível pontuar quais classes foram mais bem classificadas. Para a obtenção destas informações é necessário recorrer aos resultados da Matriz de Confusão. Esta foi gerada pela comparação do total de células concordantes e discordantes do mapeamento, cuja lógica está representada no (QUADRO 3).

GRUPOS PEDOLÓGICOS		1	2	3	4	Soma Parcial
MAPEAMENTO Rocha et. al (2002)	1	Acerto	Erros	Erros	Erros	Total
	2	Erros	Acerto	Erros	Erros	Total
	3	Erros	Erros	Acerto	Erros	Total
	4	Erros	Erros	Erros	Acerto	Total
	Soma Parcial	Total	Total	Total	Total	Total AR

QUADRO 3 - ESTRUTURA DA MATRIZ DE CONFUSÃO.

3.2.5.5 Procedimentos de campo para validação do mapa pedológico preditivo

De acordo com as informações cartográficas digitais do mapeamento existente, realizado no ano de 2002, disponibilizadas pela Sociedade de Proteção a Vida Selvagem (SPVS), constam 28 observações em campo que possuem a descrição das ordens pedológicas.

Além destas 28 observações, foi também realizado um trabalho de campo para a checagem do mapeamento digital. Foram utilizados equipamentos auxiliares como GPS de navegação, cartas de campo, câmera digital e trado holandês. Para as treze prospecções realizadas nesta pesquisa (seis pontos na AR e sete pontos para a AE) foram aplicados os métodos da toposequência e caminhamento livre, que, aliados aos conhecimentos prévios sobre a distribuição espacial dos solos na área de estudo, auxiliam na localização de pontos estratégicos de observação.

3.2.5.5 Extrapolação das regras de classificação da área de Referência (AR) para a área de Estudo (AE)

Para a predição dos solos da Área de Estudo (AE) foram utilizadas matrizes de integração dos atributos topográficos, sendo que os intervalos, os pares de atributos integrados e as informações sobre a paisagem seguiram a mesma lógica da AR. As etapas da tabulação cruzada da AE foram resumidas na (FIGURA 18).

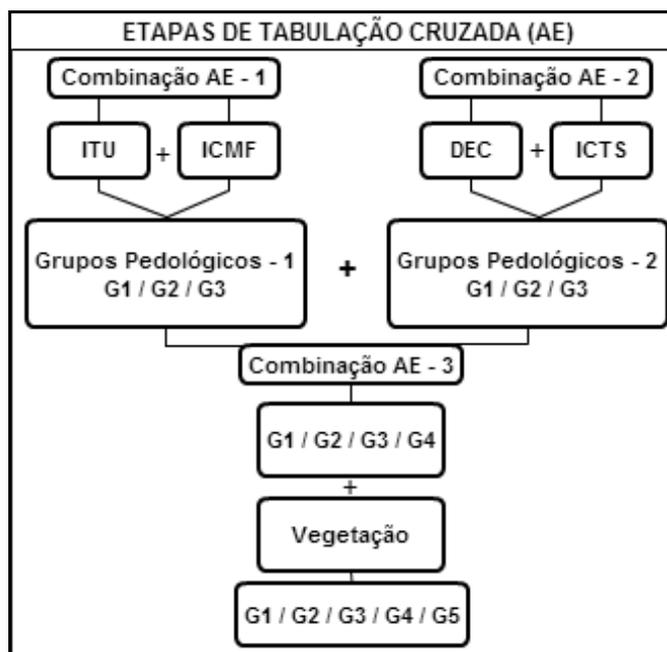


FIGURA 18 – ETAPAS DA TABULAÇÃO CRUZADA DA ÁREA DE ESTUDO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

A seguir serão apresentados os atributos topográficos primários e secundários em cartogramas, como também a quantificação de cada dos intervalos estabelecidos na discretização das classes.

4.1.1 Caracterização dos Atributos Topográficos Primários

4.1.1.1 Hipsometria (Z)

A hipsometria é derivada diretamente do MDT, sendo que a geração deste atributo topográfico permitiu computar a amplitude altimétrica da área de estudo, que varia de zero a 1.518 m, sendo que esta porção mais alta corresponde a Serra da Virgem Maria, nas nascentes do rio Tagaçaba.

A amplitude altimétrica foi discretizada em classes de acordo com a distribuição dos valores observados no histograma (FIGURA 19), (TABELA 5) e espacializada na (FIGURA 20):

TABELA 5: CÁLCULO DE ÁREA – HIPSOMETRIA

HIPSOMETRIA	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
0 a 20m	207,77	17,59
20 a 40m	71,18	6,03
40 a 100m	124,44	10,54
100 a 200m	149,48	12,66
200 a 300m	124,15	10,51
300 a 500m	187,24	15,85
500 a 700m	225,14	19,06
700 900m	59,04	5,00
900 a 1.000m	11,87	1,00
1.000 a 1.200m	16,43	1,39
> 1.200m	4,33	0,37
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

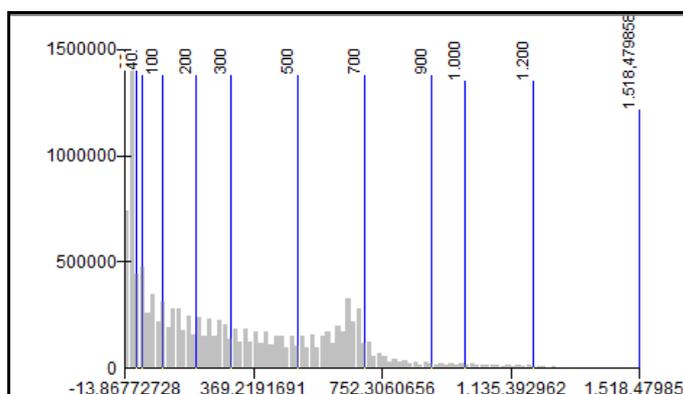


FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE HIPSOMETRIA.

Nota-se que nos terços superiores das vertentes, localizados predominantemente ao norte da área de estudo ocorrem serras, planaltos ondulados, e áreas colúvias montanhosas. Nestas áreas também se observa a presença predominante de solos com perfis e características de solos menos desenvolvidos, ou seja, mais rasos como Associações de Afloramentos Rochosos + Neossolos Litólicos + Cambissolos Húmicos e Associações de Cambissolos Húmicos + Neossolos Litólicos.

Nos terços médios das vertentes observa-se a ocorrência de unidades geomorfológicas como morros, serras e áreas coluviais montanhosas, onde estão presentes solos com perfis um pouco mais profundos e, portanto, mais desenvolvidos em relação aos descritos anteriormente, como Cambissolos Háplicos, Associações de Cambissolos Húmicos + Latossolos Vermelho-Amarelos e Associações de Cambissolos Háplicos + Argissolos Vermelho-Amarelos.

Já nos terços inferiores, nas porções centrais e ao sul da área de estudo predominam as planícies aluviais, sendo também encontradas planícies de restingas e manguezais. Nestas porções são encontrados solos como Cambissolos Háplicos e Gleissolos Háplicos. Também são encontradas Associações como Argissolos Vermelho-Amarelos + Cambissolos Háplicos, Gleissolos Sállicos + Gleissolos Háplicos, Gleissolos Melânicos + Cambissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos, Argissolos Vermelho-Amarelos + Gleissolos Melânicos + Gleissolos Háplicos e Cambissolos Flúvicos + Gleissolos Háplicos e Espodossolos Humilúvicos.

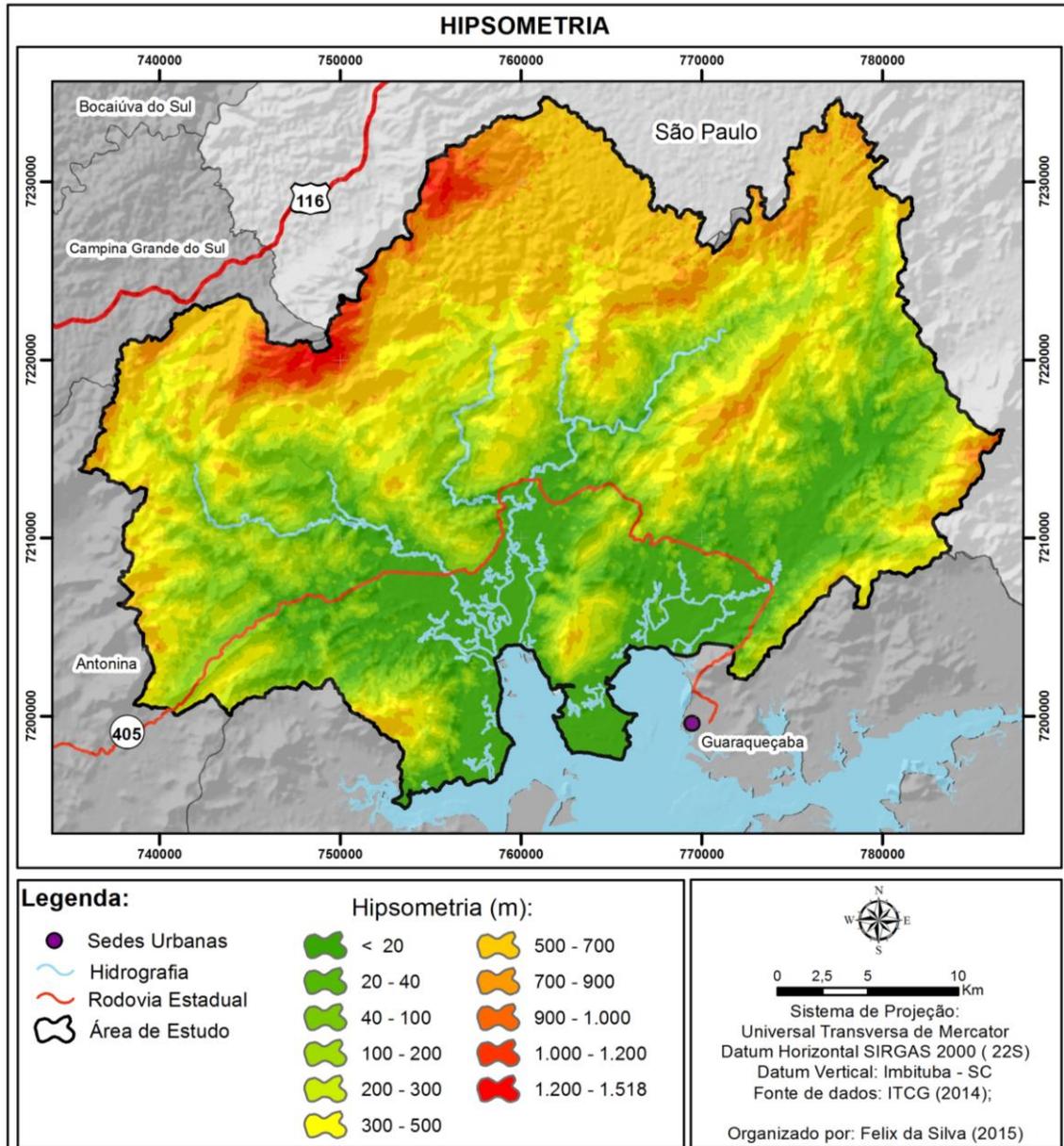


FIGURA 20 - HIPSOMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO.
 Elaboração: A Autora (2015).

4.1.1.2 Declividade (β)

A distribuição das células e áreas correspondentes a cada classe de declividade pode ser observada no histograma (FIGURA 21), e na (TABELA 6).

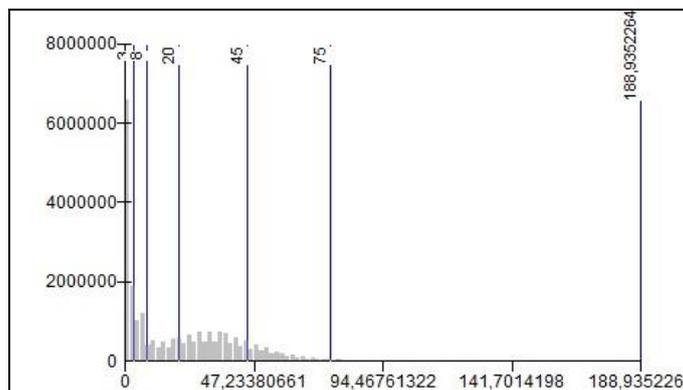


FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE.

TABELA 6: CÁLCULO DE ÁREA - DECLIVIDADE

DECLIVIDADE	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Plano (0 a 3%)	140,78	11,92
Suave Ondulado (3 a 8%)	85,83	7,27
Ondulado (8 a 20%)	158,15	13,39
Forte Ondulado (20 a 45%)	540,16	45,73
Montanhoso (45 a 75%)	239,56	20,28
Escarpado (> 75%)	16,60	1,41
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

As fases de relevo mais expressivas correspondem ao relevo forte ondulado (45,73%) e montanhoso (20,28%) que ocorrem nas serras. Em seguida foi identificada significativa expressão do relevo plano, totalizando 11,92% da área total. Estes correspondem aos sedimentos recentes, constituindo-se nas áreas coluviais, planícies aluviais, planícies de restingas e mangues.

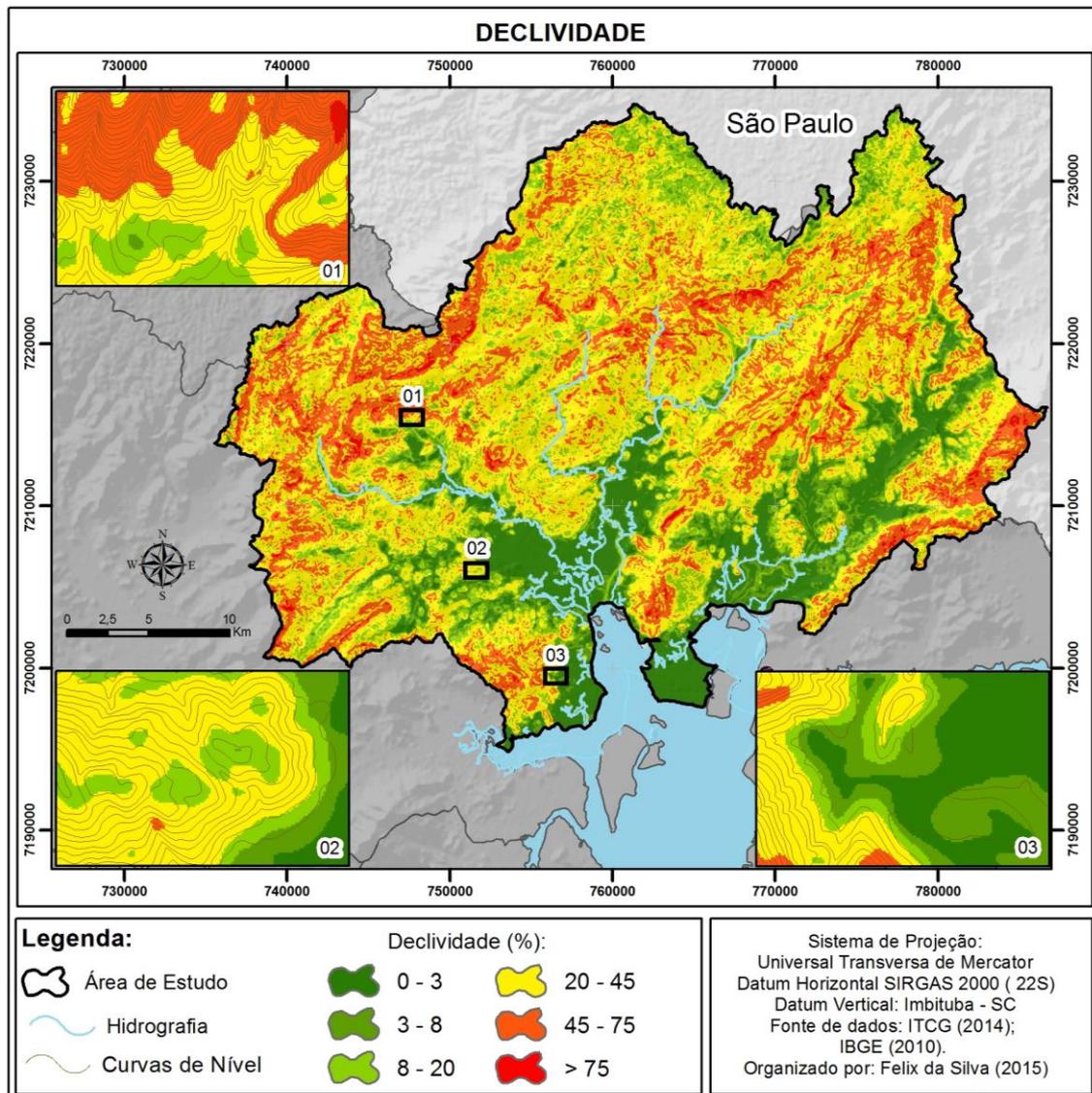


FIGURA 22 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.
 Elaboração: A Autora (2015).

4.1.1.3 Perfil de Curvatura (φ)

A identificação das classes dos perfis de curvatura (FIGURA 24) permite a compreensão da dinâmica longitudinal das vertentes, sendo possível identificar áreas com maior energia potencial para o carreamento de materiais.

Conforme o histograma (FIGURA 23) é possível observar uma maior predominância das vertentes retilíneas, totalizando 43,67% da área (TABELA 7).

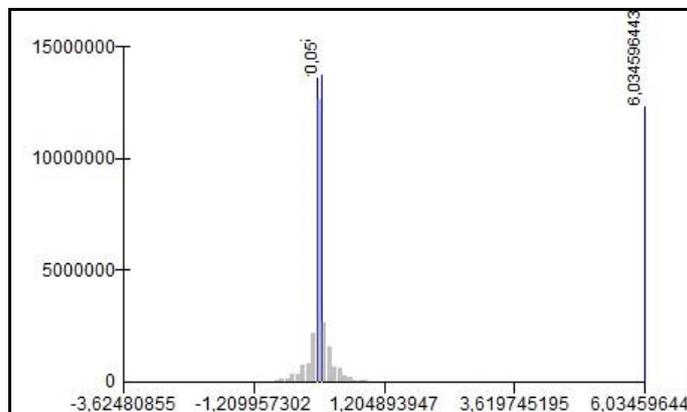


FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE PERFIL DE CURVATURA.

TABELA 7: CÁLCULO DE ÁREA – PERFIL DE CURVATURA

PERFIL DE CURVATURA	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Convexa	350,77	29,70
Retilínea	342,82	29,03
Côncava	501,23	42,44
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

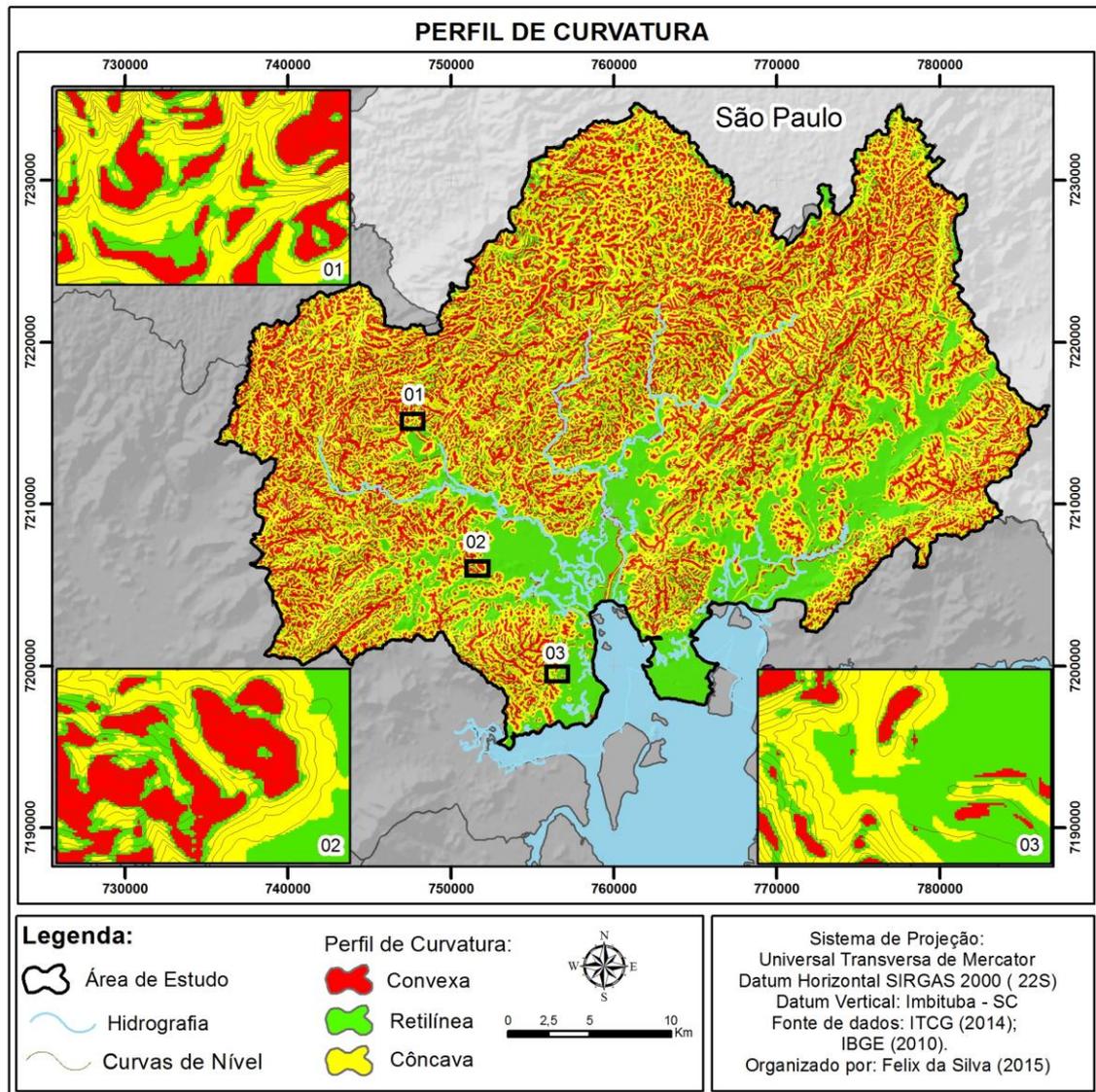


FIGURA 24 - PERFIL DE CURVATURA DA ÁREA DE ESTUDO.
 Elaboração: A Autora (2015)

4.1.1.4 Plano de Curvatura (ψ)

Foram identificadas três classes de perfil de curvatura (FIGURA 26), sendo que as vertentes com plano de curvatura planar predominam na área de estudo (46,04%), seguidas das vertentes divergentes (32,15%) e convergentes (21,81), conforme o histograma (FIGURA 25) e (TABELA 8). A espacialização deste atributo permitiu a identificação das áreas de convergência e divergência de fluxo, sendo que nas áreas de relevo mais acidentado, as áreas de convergência de fluxo foram mais expressivas.

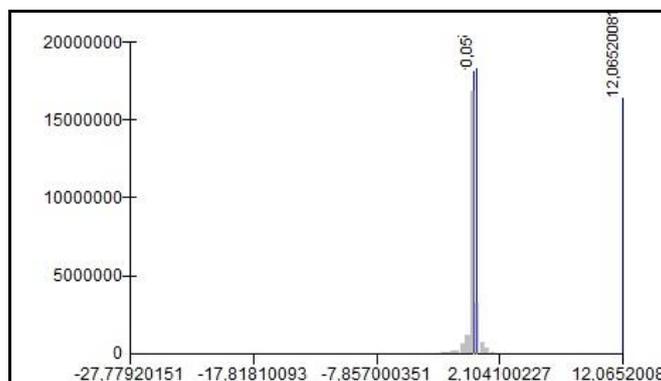


FIGURA 25 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE PLANO DE CURVATURA.

TABELA 8 - Cálculo de Área – Plano de Curvatura

PLANO DE CURVATURA	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Convergente	329,85	27,93
Planar	379,74	32,15
Divergente	471,50	39,92
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

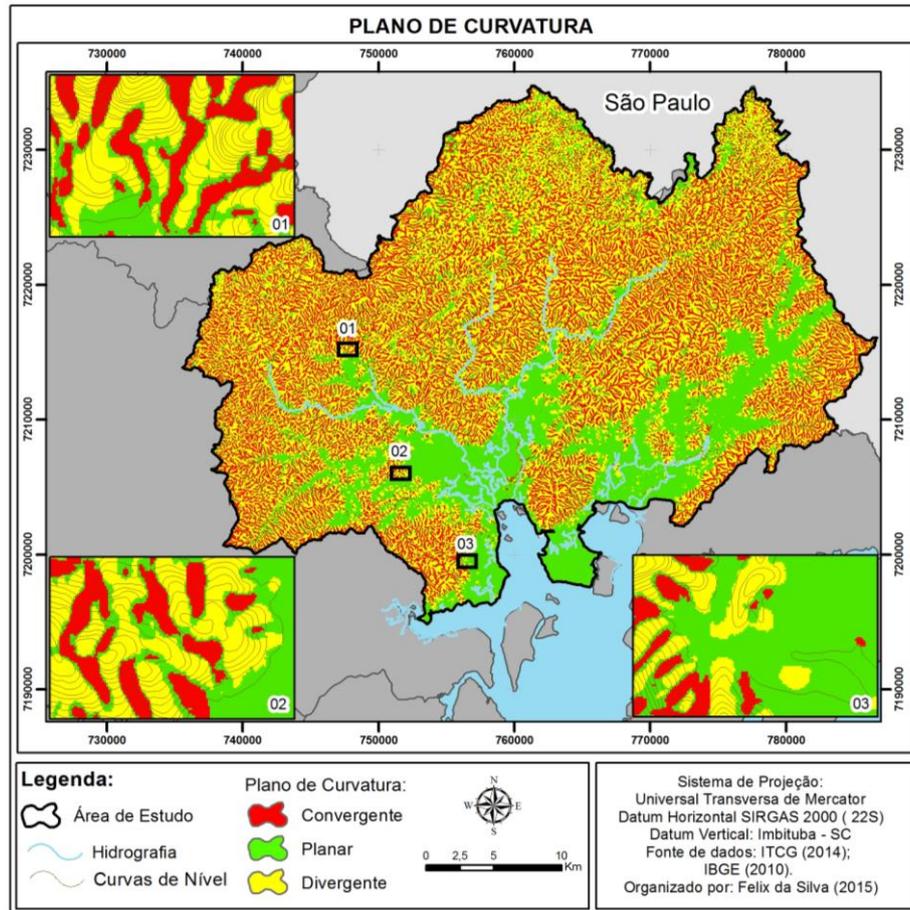


FIGURA 26 - PLANO DE CURVATURA DA ÁREA DE ESTUDO.

Elaboração: A Autora (2015)

4.1.2 Caracterização dos Atributos Topográficos Secundários

4.1.2.1 Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Ω)

Conforme o histograma (FIGURA 27) e a (TABELA 9) é possível identificar que são predominantes os intervalos 4 a 5 (19,41%), 5 a 6 (30,32%) e > 6 (31,58%), sendo que os dois últimos intervalos representam áreas de maior concentração do fluxo hídrico, onde o poder erosivo é maior.

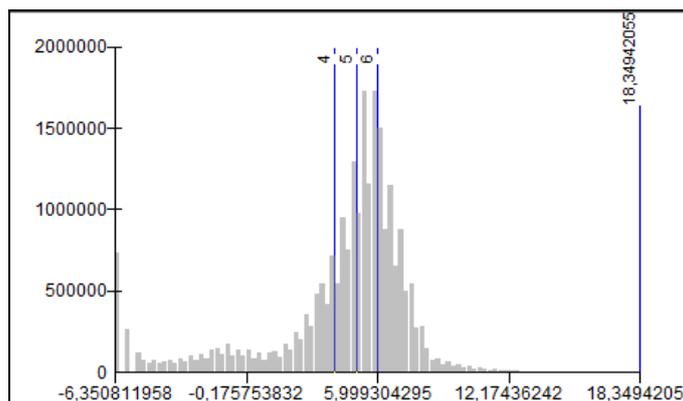


FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DO ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO.

TABELA 9 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO (ICMF)

ICMF	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
< 4	220,84	18,70
4 a 5	229,21	19,41
5 a 6	358,06	30,32
> 6	372,97	31,58
Total	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

É possível observar na (FIGURA 28) que, as porções da paisagem que apresentam os maiores índices de corrente de máximo fluxo correspondem às áreas de acentuado declive e concentração de fluxo (áreas de convergência). Em contrapartida, as áreas de planície estão bem demarcadas, com índices inferiores a 4.

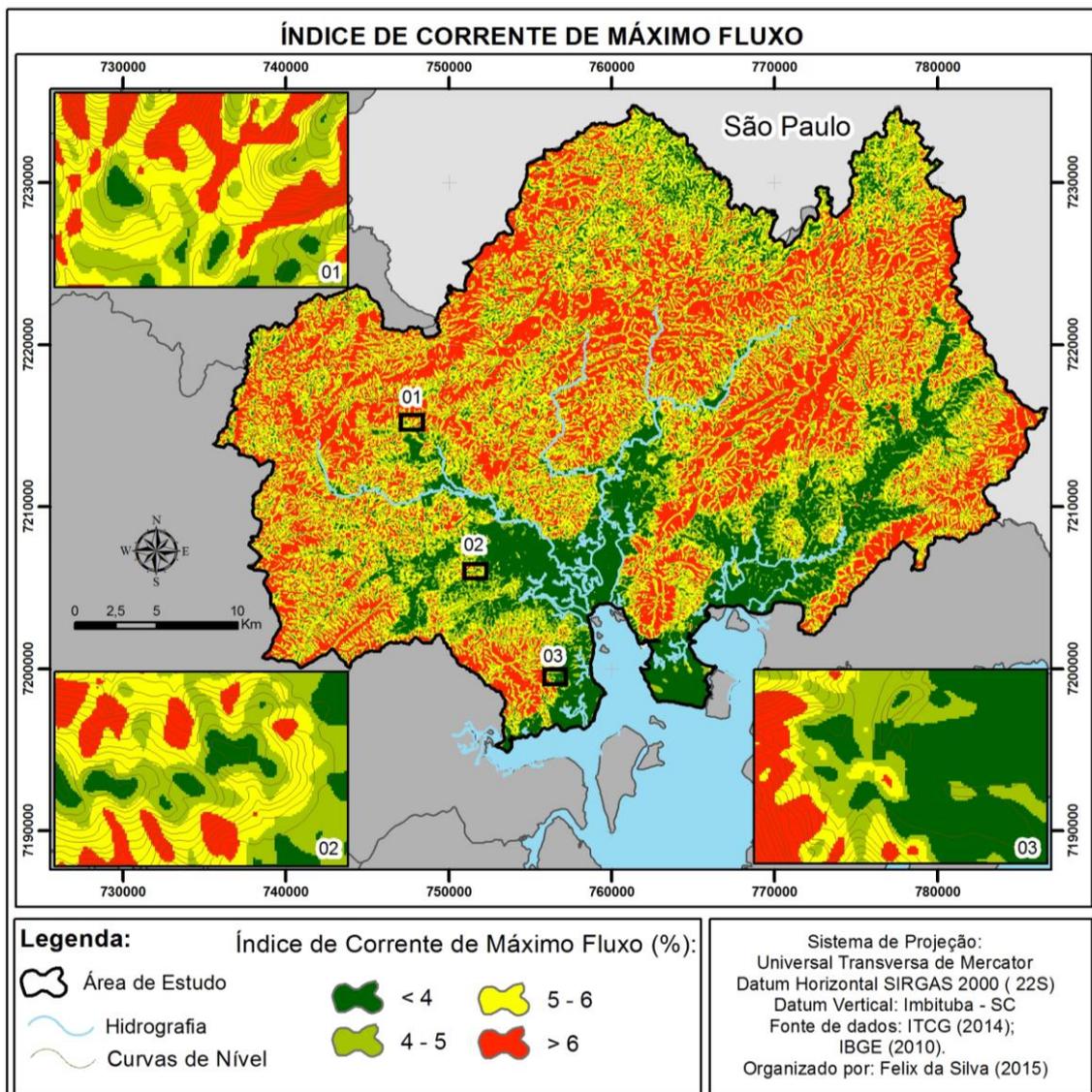


FIGURA 28 - ÍNDICE DE CORRENTE DE MÁXIMO FLUXO DA ÁREA DE ESTUDO.
Elaboração: A Autora (2015)

Este atributo topográfico é importante na compreensão da quantidade e distribuição do fluxo hídrico nas vertentes. Daniels e Hammer (1992) destacam que os fluxos de água, superficial e subsuperficial, ao longo das vertentes determinam a variabilidade espacial dos solos. Segundo a análise de Silveira (2010), quando ocorrem mudanças neste atributo, ocorrem mudanças também nas propriedades dos solos e, conseqüentemente, diferentes ordens pedológicas são identificadas.

4.1.2.2 Índice Topográfico de Umidade (w)

O histograma corresponde à (FIGURA 29) representa a distribuição dos valores em relação às classes discretizadas. Na (TABELA 10) observa-se que o intervalo < 8 corresponde a 44,06% da área total, que representa as áreas com menor concentração de umidade, ou seja, são as áreas onde ocorrem os maiores declives. Já as porções que apresentam ITU de 8 a 10 contabilizam 35,06% da área total e correspondem às áreas de transição denominadas de semi-hidromórficas. Os próximos intervalos, com valor > 10 representam claramente as porções da paisagem onde ocorre hidromorfia, totalizando 20,88% da área total.

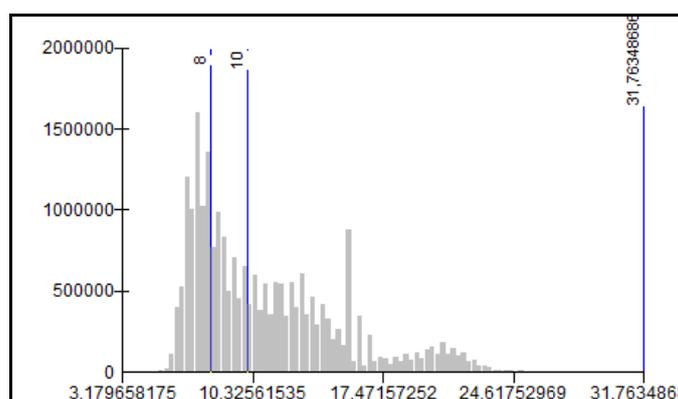


FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE.

TABELA 10 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE

ITU	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
< 8	520,40	44,06
8 a 10	414,07	35,06
> 10	246,61	20,88
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

Este atributo (FIGURA 30), em conjunto com os demais, é fundamental para a identificação dos solos de caráter hidromórfico e não hidromórfico. Segundo Curcio (2006) a gênese destes solos está relacionada à saturação hídrica, cuja característica morfológica é evidenciada por processos de

redução, com a ocorrência ou não de mosqueamento dentro de 50 cm de profundidade do perfil.

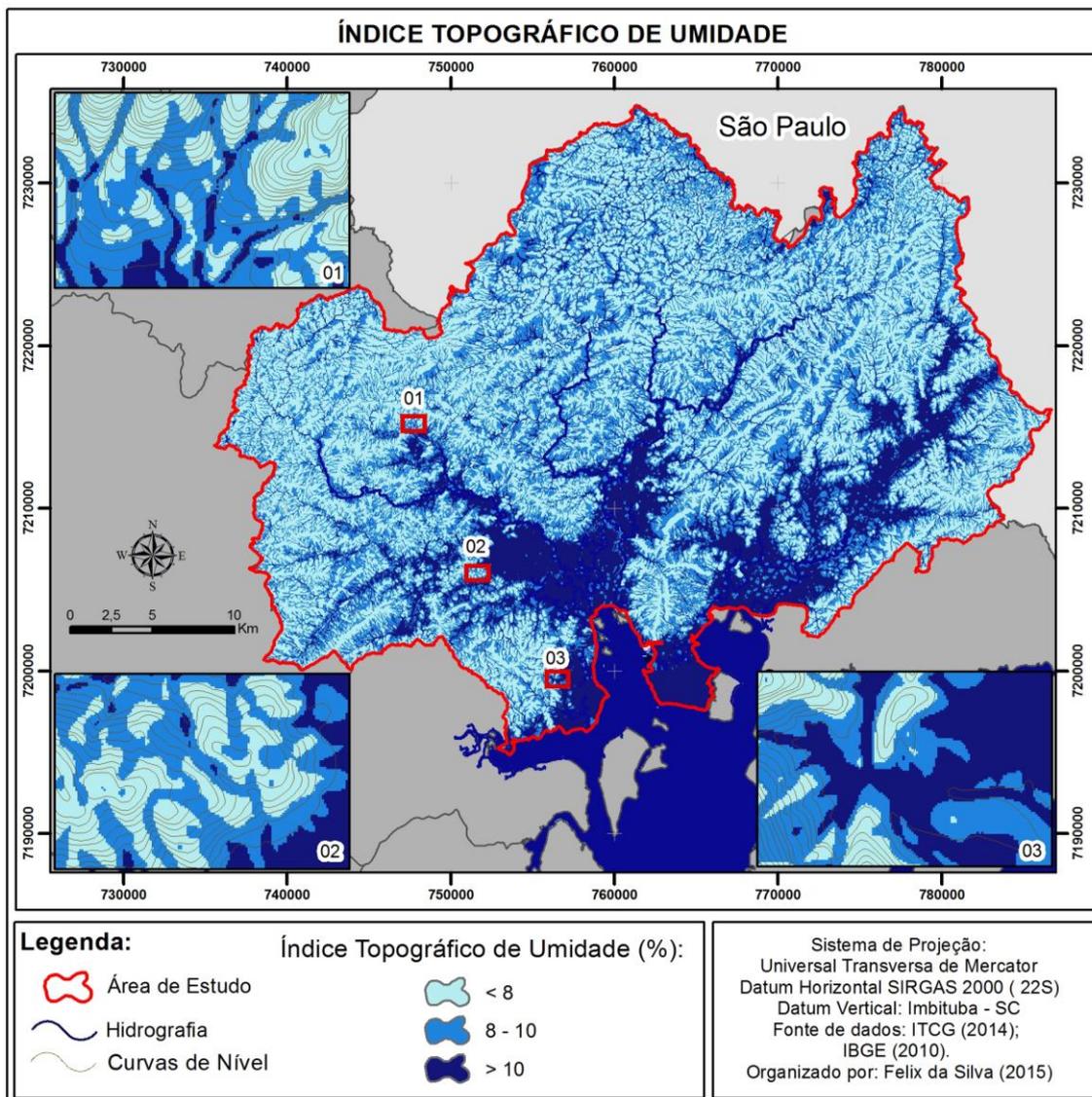


FIGURA 30 - ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.
Elaboração: A Autora (2015)

4.1.2.3 Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (t)

O histograma ilustrado na (FIGURA 31) representa a distribuição dos valores em relação às classes discretizadas. É possível verificar na (TABELA 11) uma predominância na distribuição dos valores pertencentes aos intervalos de valor 2 a 5 (32,22%) e < 2 (31,49%), que correspondem às áreas onde predomina a deposição em relação à erosão. Por outro lado, os valores 5 a 7

(18,22%) e > 7 (18,09%) indicam as áreas de média encosta, onde a erosão predomina em relação à deposição.

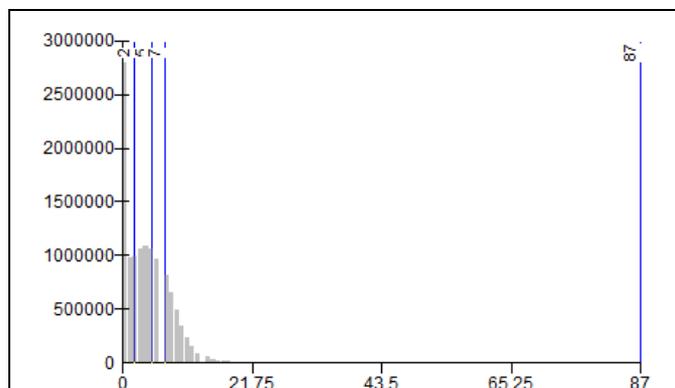


FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

TABELA 11 - CÁLCULO DE ÁREA – ÍNDICE DE CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

ICTS	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
< 2	372,46	31,49
2 a 5	379,37	32,22
5 a 7	215,44	18,22
> 7	213,81	18,08
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015).

Conforme ilustrado na (FIGURA 32), é possível verificar, em escalas de maior detalhe que este atributo se relaciona com a declividade as áreas de convergência de fluxo, evidenciando áreas com maior potencial erosivo. Conseqüentemente, os solos encontrados nestas porções serão menos desenvolvidos, ou seja, pouco profundos. No entanto, é possível observar também que a relação entre índice de transporte de sedimentos e índice de máximo fluxo, nem sempre é uma relação direta, pois existem áreas que apresentam convergência de fluxo hídrico, porém não há a ocorrência de movimentos de massa e transporte de material.

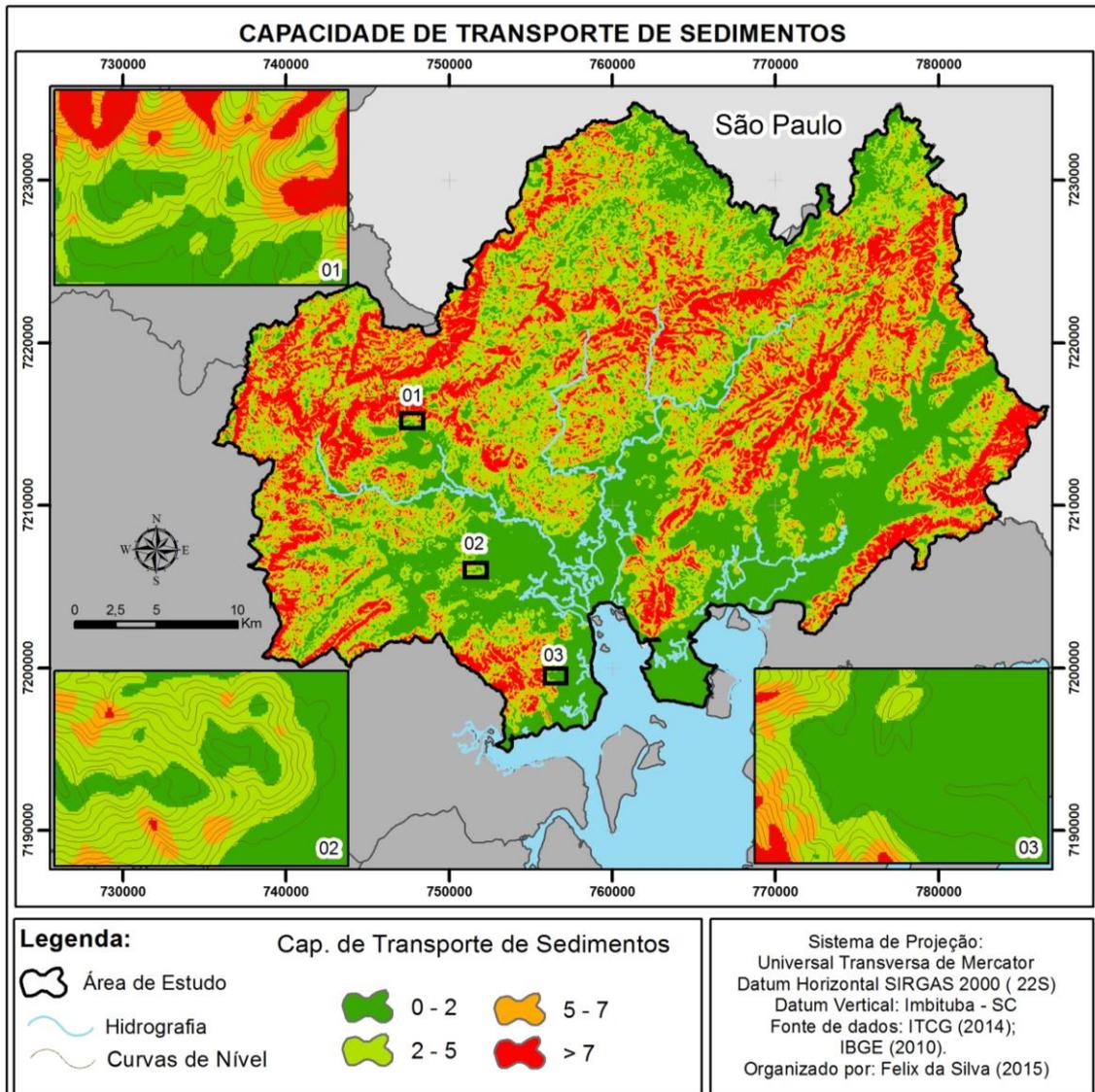


FIGURA 32 - CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO.
Elaboração: A Autora (2015)

4.2.1 Resultados da Análise Geomorfométrica

Os resultados da análise geomorfométrica permitiram o estabelecimento de um padrão de ocorrência para as subordens pedológicas mapeadas. Na (TABELA 12 - ANÁLISE GEOMORFOMÉTRICA DA ÁREA DE REFERÊNCIA) são

apresentados os valores máximos, mínimos e médios dos dados contínuos obtidos na geração dos atributos topográficos.

TABELA 12 - ANÁLISE GEOMORFOMÉTRICA DA ÁREA DE REFERÊNCIA

SUBORDENS PEDOLÓGICAS				HIPSOMETRIA			DECLIVIDADE			PER. DE CUR.		
	SÍM.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.		
ARGISSOLO AMARELO	PA	5,57	45,32	16,00	0,00	47,52	14,59	-2,01	2,04	0,13		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PVA	0,00	145,92	36,24	0,00	66,91	21,98	-3,35	5,23	0,04		
CAMBISSOLO HÁPLICO	CX	0,00	193,62	29,03	0,00	94,13	16,33	-4,53	6,21	0,02		
CAMBISSOLO HÍSTICO	CI	36,21	513,20	239,04	0,74	105,07	43,39	-4,12	3,27	-0,20		
CAMBISSOLO HÚMICO	CH	8,86	417,61	102,05	0,10	103,13	32,67	-4,81	8,24	0,05		
GLEISSOLO HÁPLICO	GX	0,00	42,53	10,28	0,00	40,16	3,98	-2,20	2,69	0,02		
GLEISSOLO MELÂNICO	GM	0,00	68,54	8,83	0,00	71,60	4,52	-4,38	6,41	0,02		
NEOSSOLO FLÚVICO	RY	0,00	34,58	3,37	0,00	58,94	2,16	-4,23	5,45	0,00		
NEOSSOLO LITÓLICO	RL	60,26	507,14	223,98	0,16	112,97	45,56	-5,39	5,71	0,00		
PLA. DE CUR.				ITU			ICMF			ICTS		
SÍM.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.
PA	-1,95	1,79	0,06	6,06	21,71	9,07	-6,35	7,94	4,00	0,00	6,00	1,32
PVA	-4,43	3,63	0,06	5,67	25,55	8,3	-3,94	14,32	4,76	0,00	22,00	2,44
CX	-5,16	4,83	0,06	5,24	30,93	9,15	-6,35	15,57	4,19	0,00	28,00	1,66
CI	-3,67	3,82	0,13	5,55	14,33	7,22	-0,29	10,62	5,36	0,00	16,00	5,63
CH	-6,13	5,22	-0,01	5,4	19,6	8,11	-2,19	13,47	5,59	0,00	23,00	4,53
GX	-2,29	2,00	0,00	6,27	27,57	10,79	-6,35	13,53	3,36	0,00	9,00	0,12
GM	-6,86	3,80	-0,01	5,57	26,3	10,87	-6,35	12,6	3,19	0,00	13,00	0,24
RY	-2,71	3,06	0,00	5,7	30,94	11,41	-6,35	13,81	2,38	0,00	21,00	0,04
RL	-4,45	4,39	0,01	5,47	17,52	7,68	-1,77	13,26	5,97	0,00	30,00	6,60

Organização: A Autora (2015).

Após a verificação dos valores na (TABELA 12) e histogramas que representam a distribuição dos valores dos atributos topográficos em relação às subordens pedológicas (APÊNDICE 1), verificou-se que os atributos topográficos que apresentaram melhor relação com as subordens pedológicas foram: hipsometria, declividade, índice topográfico de umidade (ITU), índice de corrente de máximo fluxo (ICMF) e índice de capacidade de transporte de sedimentos (ICTS).

Diante dos atributos analisados algumas subordens apresentaram as mesmas características morfométricas, sendo necessário realizar o agrupamento das nove subordens pedológicas em cinco diferentes grupos, os quais estão descritos a seguir:

Grupo 1 - Solos de Influência Fluviomarinha (RY): Este grupo possui características dos solos hidromórficos, sendo que principal diferença está relacionada à vegetação com influência fluviomarinha (Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha arbórea) e em menor proporção Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, conforme o Mapeamento da Vegetação do Litoral do Paraná realizado por Britez *et al.* (2015)⁴ (FIGURA 33). Formado por apenas uma subordem pedológica, o Grupo 1 apresenta valores referentes à declividade, ICMF e ICTS baixos enquanto que os valores do ITU são elevados, correspondendo às áreas hidromórficas das planícies formadas por Sedimentos Recentes (FIGURA 34).

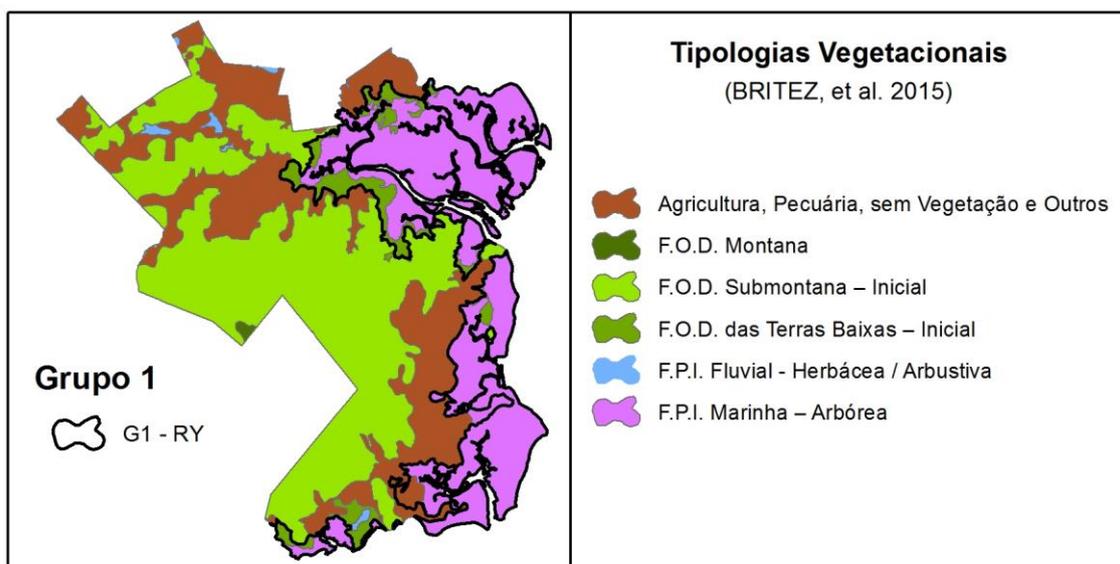


FIGURA 33 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A VEGETAÇÃO E A SUBORDEM PEDOLÓGICA DO GRUPO 1 (RY).

⁴ O mapeamento foi realizado por meio da interpretação de imagens de satélite SPOT, do ano de 2005, cuja resolução espacial é de 5m.

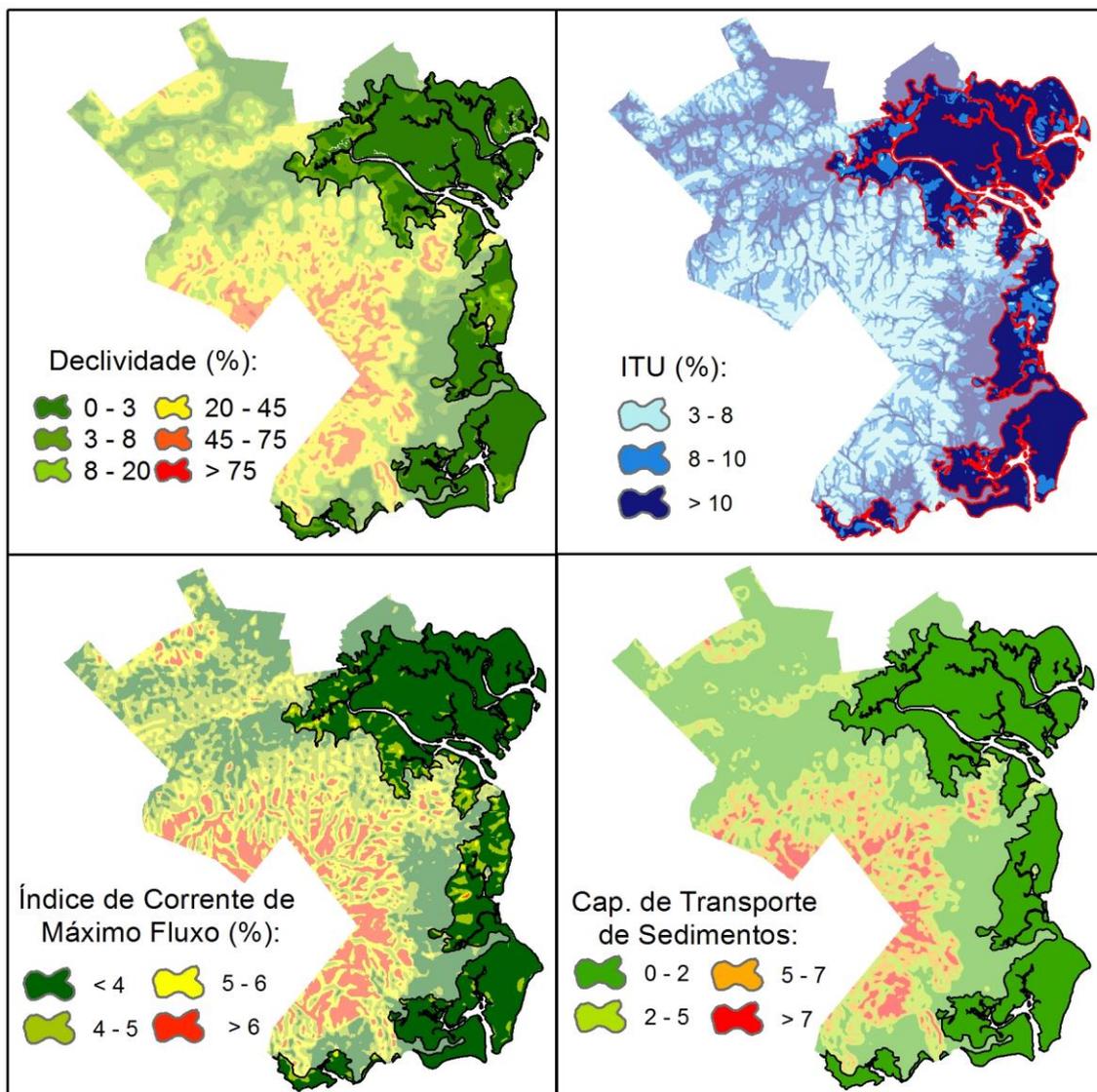


FIGURA 34 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 1 (RY) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.

Grupo 2 - Solos Hidromórficos das Planícies Aluviais (GX/GM/CXg): Estão presentes neste grupo três subordens pedológicas, sendo que as duas primeiras são caracterizadas por ocorrerem em áreas de planícies hidromórficas, formadas predominantemente por Sedimentos Recentes. Desta forma, os atributos topográficos (FIGURA 35) declividade, ICMF e ICTS possuem os menores valores, enquanto que o ITU possui valores mais elevados, assim como no Grupo 1. Foi também incorporada neste grupo a subordem dos Cambissolos Háplicos gleissólicos (CXg), que ocorrem

adjacentes aos Gleissolos Háplicos, na porção nordeste da Área de Referência. Segundo a descrição apresentada por Rocha *et. al* (2002) os CXg possuem características hidromórficas, porém não suficientes para atender aos critérios de um horizonte diagnóstico glei.

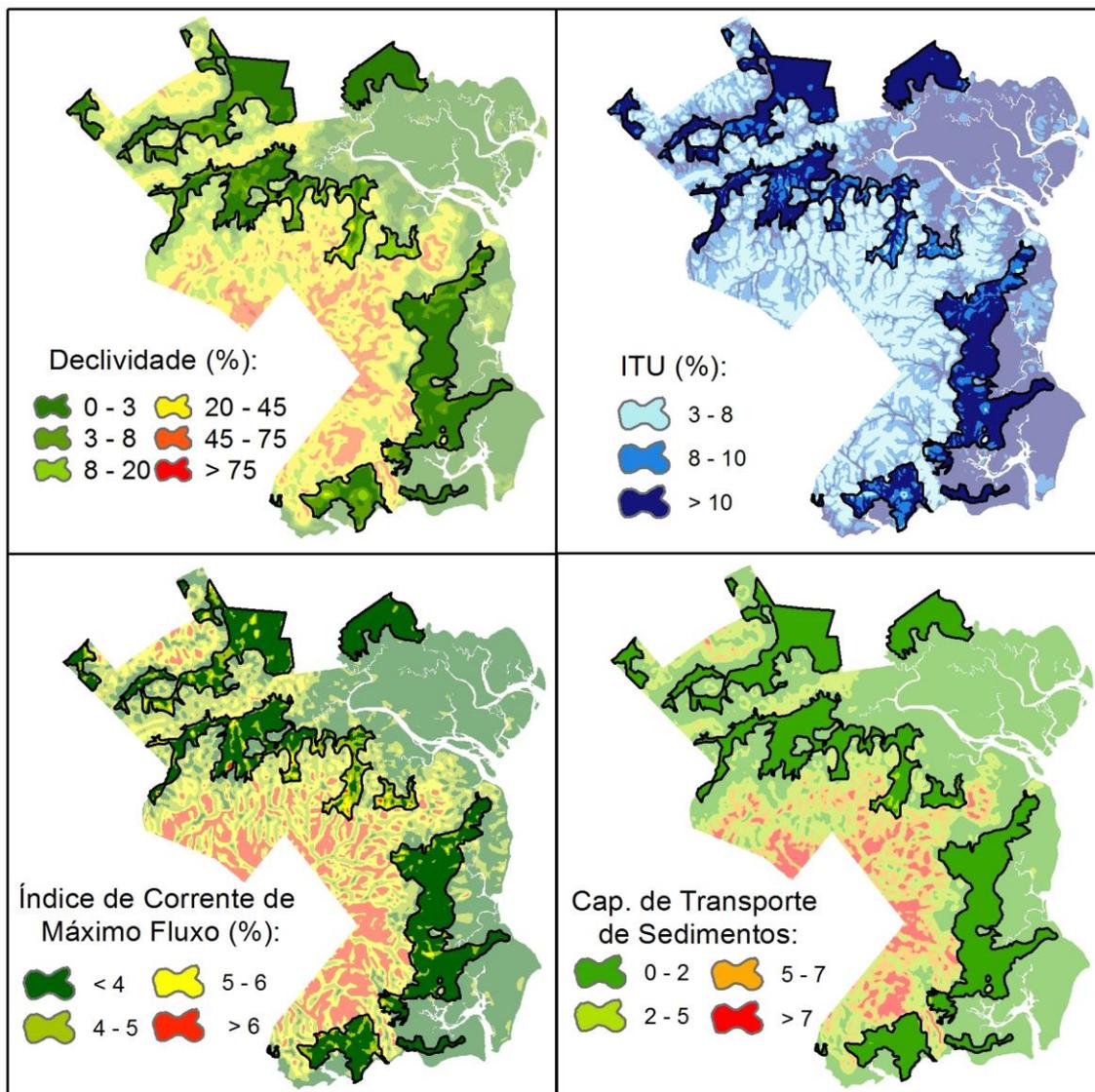


FIGURA 35 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 2 (GX/GM/CXg) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.

Grupo 3 - Solos Oxidados⁵ (PA/PVA/CX/CH): Este grupo (FIGURA 36) é formado por quatro subordens pedológicas que possuem o mesmo padrão

⁵ Entende-se por solos oxidados, os solos que ocorrem em terrenos bem drenados, onde predominam as reações químicas de oxidação, ao contrário dos ambientes imperfeitamente drenados, onde predominam as reações químicas de redução.

geomorfométrico, com declividade, ICMF, ICTS e ITU apresentando valores baixos a intermediários, em algumas áreas de relevo mais suave, principalmente nas áreas de transição de terço inferior para terço médio. Já nas áreas serranas, nos terços superiores das vertentes, são encontrados valores médios a altos. Os solos deste grupo encontram-se associados na paisagem, onde Cambissolos Háplicos ocupam predominantemente as bordas e sopés das vertentes, os Argissolos Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo ocorrem nas porções de terços médios a superiores e os Cambissolos Húmicos ocorrem nos terços superiores das vertentes.

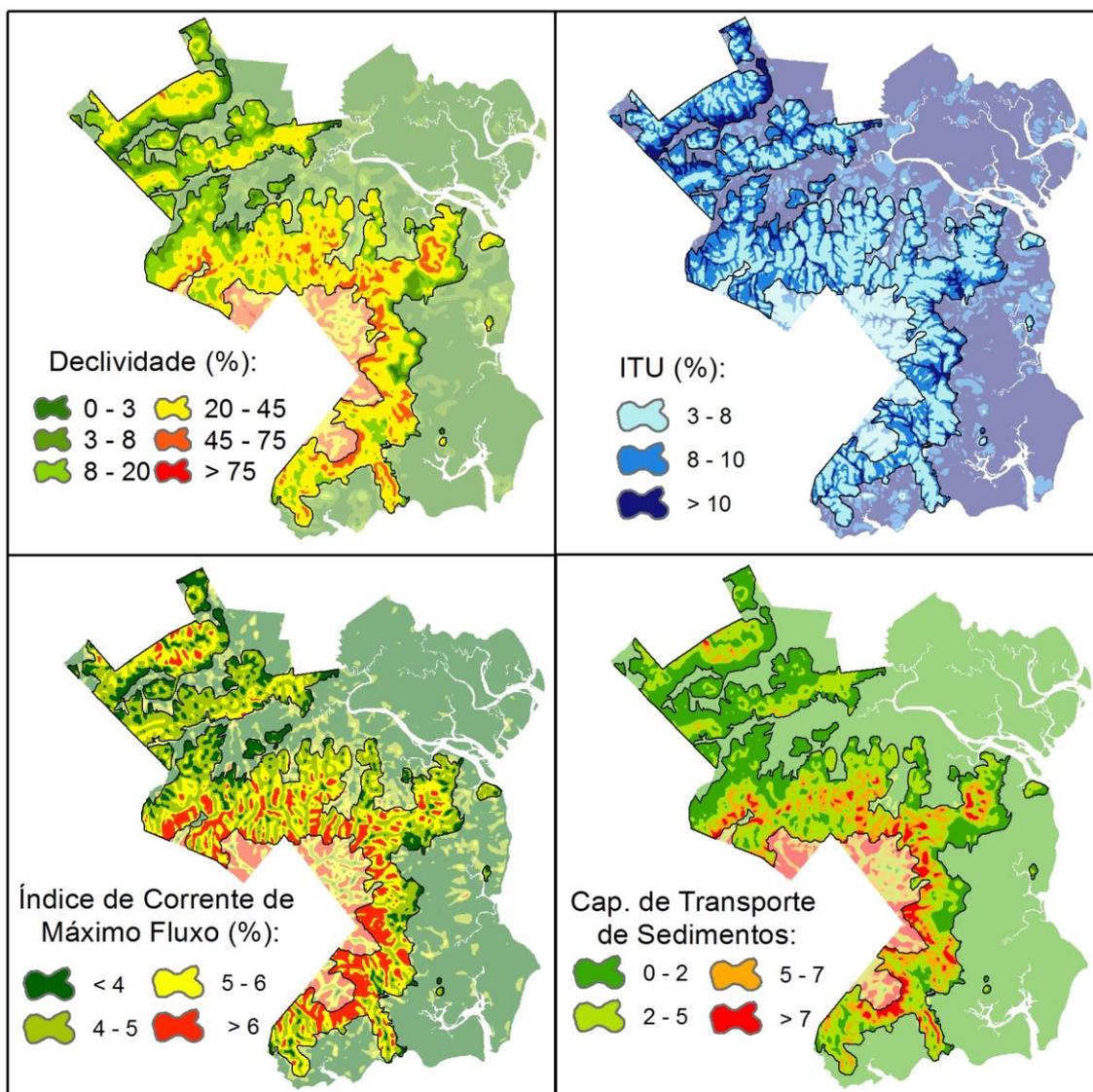


FIGURA 36 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 3 (PA/PVA/CX/CH) NA ÁREA DE REFERÊNCIA.

Grupo 4 - Solos Rasos e/ou Afloramentos (CI/RL): Este último grupo (FIGURA 37) é composto por duas subordens pedológicas, cujas características geomorfométricas são bastante semelhantes as do grupo anterior, em posições de terço superior das vertentes com altos declives, exceto nos topos. Estes solos também ocorrem em altitudes maiores que 180m, e integralmente sobre as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

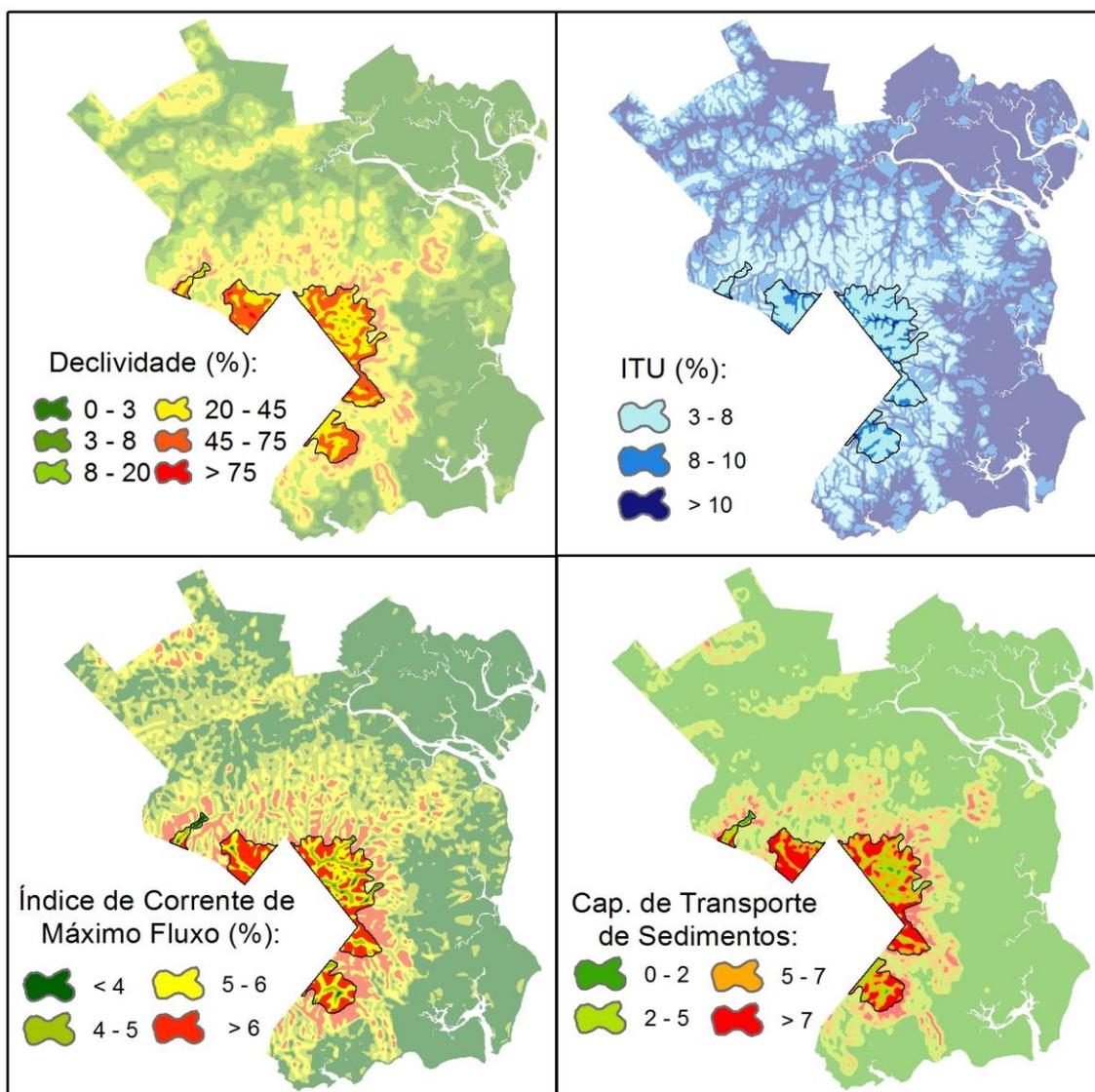


FIGURA 37 - RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E AS SUBORDENS PEDOLÓGICAS DO GRUPO 5 NA ÁREA DE REFERÊNCIA.

Em decorrência das análises acima descritas foram estabelecidas regras de classificação para as subordens pedológicas da AR. Estas foram estabelecidas a partir dos atributos topográficos declividade, índice de corrente

de máximo fluxo, índice topográfico de umidade e índice de capacidade de transporte de sedimentos, hipsometria, vegetação e geologia, conforme descrito no (QUADRO 4).

AGRUPAMENTOS	SÍM.	HIP.	DEC.	ITU	ICMF	ICTS	VEGETAÇÃO PREDOMINANTE
1 - Solos de Influência Fluvio-marinha	RY	0 a 20	0 a 3%	> 10	< 4	< 2	F.P. I. Fluvio-marinha / F.O.D. Terras baixas - inicial
2 - Solos Hidromórficos das Planícies Aluviais	CX	0 a 20	0 a 3%	> 10	< 4	< 2	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial
	GX	0 a 20	0 a 3%	> 10	< 4	< 2	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial / F.P.I. Fluvial - herbácea / arbustiva
	GM	0 a 20	3 a 8%	> 10	< 4	< 2	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Terras baixas - inicial / F.O.D. Submontana – inicial
3 - Solos Oxidados	PA	5 a 16	8 a 20%	8 a 10	4 a 6	2 a 5	F.O.D. Submontana – inicial
	PVA	0 a 36	20 a 45%	8 a 10	4 a 6	2 a 5	F.O.D. Submontana – inicial
	CX	0 a 30	8 a 45%	8 a 10	4 a 6	2 a 5	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial
	CH	40 - 180	20 a 45%	< 8	> 6	2 a 7	F.O.D. Submontana – inicial
4 - Solos Rasos e/ou Afloramentos	CI	> 180	20 a 45%	< 8	> 6	> 7	F.O.D. Submontana – inicial / F.O.D. Montana
	RL	> 180	45 a 75%	< 8	> 6	> 7	F.O.D. Submontana – inicial

QUADRO 4 - SÍNTESE DAS REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE REFERÊNCIA
Organização: A Autora (2015)

Estas regras foram então aplicadas no mapeamento pedológico preditivo da Área de Referência, cujos resultados das sobreposições e agrupamentos estão detalhados no próximo subcapítulo.

4.3 MATRIZES DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

Serão descritos neste subcapítulo os resultados preliminares obtidos após cada uma das etapas da Tabulação Cruzada, onde os pares de atributos topográficos foram cruzados e a interpretação foi realizada conforme as características dos solos descritas no item (1.4), sobre os aspectos pedológicos da Área de Referência (Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa).

Ressalta-se que as cores das matrizes a seguir foram escolhidas com base na padronização de cores proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et. al*, 2013) para uso em mapas de solos, destacam características dos grupos pedológicos mapeados. A cor bege corresponde aos solos de influência fluviomarinha, a cor azul foi utilizada para os solos hidromórficos, a cor amarela escura para os solos oxidados e a cor cinza para os solos rasos e/ou afloramentos de rocha. Já os cruzamentos que não possuem cores atribuídas, não ocorreram na área de estudo.

A primeira matriz de integração foi realizada com o índice topográfico de umidade (ITU) e o índice de corrente de máximo fluxo (ICMF) (QUADRO 5). Para o ITU foram considerados três intervalos nos quais os maiores valores representam áreas com maior acúmulo de umidade, referentes às áreas hidromórficas, à medida que os menores valores para as áreas semi-hidromórficas e não hidromórficas. Cabe destacar que a escolha destes três intervalos foi realizada de acordo com a análise morfométrica e visual dos solos da AR.

CLASSES		ICMF			
		$\Omega 1 (< 4)$	$\Omega 2 (4 - 5)$	$\Omega 3 (5 - 6)$	$\Omega 4 (> 6)$
ITU	w1 (< 8)	11	12	13	14
	w2 (8 - 10)	21	22	23	24
	w3 (> 10)	31	32	33	34

QUADRO 5 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AR.

Para o ICMF foram estabelecidos quatro intervalos, sendo que os valores são crescentes de acordo com aumento da concentração do fluxo, ou seja, com o aumento do poder erosivo para a área analisada.

Nesta primeira integração foram computadas 12 combinações, sendo que todas aparecem na AR. Estas foram incorporadas em três agrupamentos, de acordo com características morfológicas e as condições de saturação e estagnação hídrica das vertentes, conforme o (QUADRO 6).

AGRUPAMENTO (ITU + ICMF) - AR	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS VERTENTES	CONDIÇÕES DE SATURAÇÃO E ESTAGNAÇÃO HÍDRICA
Grupo 1 (RY/GX/GM/CXg)	31, 32, 33	Terço inferior, áreas planas e mal drenadas	Alta
Grupo 2 (PA, PVA, CX, CH)	12, 13, 21, 22, 23, 24, 34	Terço médio, áreas bem drenadas	Média
Grupo 3 (RL + CI)	11, 14	Terço superior, áreas muito bem drenadas	Baixa

QUADRO 6 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AR.

O Grupo 1, corresponde as porções da paisagem que possuem características de alta saturação e estagnação hídrica, onde ocorrem os Neossolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Melânicos e Cambissolos Háplicos gleissólicos. Estas porções coincidem com as planícies aluviais e fluviomarinhas da AR, sendo que estas áreas indicam a presença de solos hidromórficos.

O Grupo 2 representa porções onde ocorrem saturação e estagnação hídrica menores que as do Grupo 1, não sendo possível localizar condições pedogenéticas para os solos hidromórficos. Muitas destas porções correspondem às áreas de colúvios e transições dos terços inferiores para os terços médios das vertentes, onde são encontrados os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, assim como os Cambissolos Háplicos e Húmicos.

O Grupo 3 representa áreas com baixa ou nula saturação e estagnação hídrica, correspondendo aos terços superiores das vertentes nas áreas

serranas e escarpadas da Serra do Itaqui, onde são localizados os Cambissolos Hísticos e Neossolos Litólicos.

A segunda matriz de integração (QUADRO 7) foi realizada com os atributos topográficos declividade e índice da capacidade de transporte de sedimentos (ICTS). As classes da declividade correspondem às fases de relevo descritas em Santos *et al.* (2013), cujos valores crescentes são representados em porcentagem. Já o segundo atributo possui quatro intervalos onde os maiores valores representam áreas com maior potencial erosivo e os valores menores representam as áreas de deposição.

CLASSES		ICTS			
		$\tau_1 (< 2)$	$\tau_2 (2 - 5)$	$\tau_3 (5 a 7)$	$\tau_4 (> 7)$
DECLIVIDADE	$\beta 1 (0 - 3\%)$	11	12	13	14
	$\beta 2 (3 - 8\%)$	21	22	23	24
	$\beta 3 (8 - 20\%)$	31	32	33	34
	$\beta 4 (20 - 45\%)$	41	42	43	44
	$\beta 5 (45 - 75\%)$	51	52	53	54
	$\beta 6 (> 75\%)$	61	62	63	64

QUADRO 7 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AR.

Esta matriz de integração possui 24 combinações, porém nem todas ocorrem na AR. As combinações resultantes foram agrupadas de acordo com as características morfológicas das vertentes e as relações entre a pedogênese e morfogênese, pois ao analisar estes dois atributos em conjunto é possível identificar áreas onde ocorrem processos deposicionais e áreas onde predominam os processos erosivos (SIRTOLI, 2008; SILVEIRA, 2010; NOWATZKI, 2013), conforme (QUADRO 8):

AGRUPAMENTO (DEC + ICTS) - AR	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS VERTENTES	RELAÇÕES ENTRE MORFOGÊNESE E PEDOGÊNESE
Grupo 1 (RY/GX/GM/CX(g))	11, 21, 32	Terços inferiores, áreas planas ou de transição para áreas suave onduladas	Predominância dos processos deposicionais em relação aos processos erosivos
Grupo 2 (PA, PVA, CX, CH)	22, 31, 33, 34, 41, 42, 43, 52	Áreas de transição entre terços inferiores e os terços médios. Áreas onduladas ou forte onduladas	Ocorrência de processos deposicionais nas áreas de colúvio e atuação de processos erosivos nos terços médios
Grupo 3 (RL + CI)	44, 51, 53, 54, 62, 63, 64	Terços superiores, áreas montanhosas ou escarpadas	Predominância dos processos erosivos em relação aos processos deposicionais

QUADRO 8 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AR.

As combinações da segunda matriz de integração resultaram em três agrupamentos. O Grupo 1 foi estabelecido por meio da identificação das áreas mais planas da AR, que coincidem com as planícies aluviais e fluviomarinhas dos terços inferiores das vertentes. Nestas áreas os processos deposicionais predominam em relação aos processos erosivos.

O Grupo 2 corresponde às áreas de transição nos terços médios das vertentes, onde existem processos erosivos cuja intensidade varia de baixa à intermediária, sobretudo nas áreas coluviais. Já o Grupo 3 se refere às áreas onde há predominância dos processos erosivos em relação aos deposicionais nas áreas montanhosas e escarpadas.

A partir da integração das informações presentes no (QUADRO 6) e no (QUADRO 8) foi produzida uma nova matriz de integração (QUADRO 9), a qual resultou em 12 combinações.

CLASSES		$\beta e \tau$			
		$\beta e \tau 1$	$\beta e \tau 2$	$\beta e \tau 3$	$\beta e \tau 4$
$\Omega e w$	$\Omega e w 1$	11	12	13	14
	$\Omega e w 2$	21	22	23	24
	$\Omega E W 3$	31	32	33	34

QUADRO 9 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA AR.

Estas combinações foram agrupadas em três Grupos Pedológicos (QUADRO 10), sendo que o Grupo 1 corresponde aos solos com características hidromórficas e de ambientes de influência fluviomarinha, o Grupo 2 se refere aos solos oxidados com profundidades variando de médias a rasas e o Grupo 3 representa os solos rasos e/ou afloramentos de rochas.

GRUPOS PEDOLÓGICOS - AR (1)	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS
Grupo 1 (RY/GX/GM/CX(g))	11, 12	Áreas planas e hidromórficas	Solos hidromórficos e de influência fluviomarinha
Grupo 2 (PA, PVA, CX, CH)	13, 21, 22, 31, 32	Áreas de transição entre os terços inferiores e médios	Solos oxidados com profundidades médias a rasas
Grupo 3 (RL + CI)	14, 23, 24, 33, 34, 25, 35	Áreas de terços superiores com altos declives	Solos rasos e afloramentos rochosos

QUADRO 10 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (1) DA ÁREA DE REFERÊNCIA

Conforme as descrições presentes em Rocha *et. al* (2002) e análise visual, os Neossolos Flúvicos são encontrados majoritariamente nas áreas onde ocorrem as Formações Pioneiras de Influência Fluviomarinha e Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em estágio inicial. Com base nestas

informações, a próxima matriz de integração foi realizada pelo cruzamento entre os Grupos Pedológicos e a vegetação (QUADRO 11). Cabe mencionar que não foram encontradas na AR relações entre as demais tipologias vegetacionais e subordens pedológicas.

CLASSES		VEGETAÇÃO	
		Outras	Veg. Inf. M/F
GRUPOS PED. (AR)	Grupo 1	11	21
	Grupo 2	12	22
	Grupo 3	13	23

QUADRO 11 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS E A VEGETAÇÃO NA AR.

Desta matriz resultou seis combinações, sendo que quatro delas ocorrem na AR. Em seguida foram estabelecidos quatro Grupos Pedológicos (QUADRO 12), onde os solos presentes nas áreas planas e hidromórficas foram separados de acordo com a vegetação de influência fluviomarinha.

GRUPOS PEDOLÓGICOS - AR	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS	VEGETAÇÃO CARACTERÍSTICA
Grupo 1 - RY	Áreas planas e hidromórficas	Solo de influência fluviomarinha	F.P. I. Fluviomarinha / F. O. D. Terras baixas - inicial
Grupo 2 - GX/GM/CX(g)	Áreas planas e hidromórficas	Solos hidromórficos	Agricultura e Pecuária / F. O. D. Terras baixas - inicial / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 3 - (PA/PVA/CX/CH)	Áreas de transição entre os terços inferiores e médios	Solos oxidados com profundidades médias a rasas	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 4 - (CI/RL)	Áreas de terços superiores com altos declives	Solos rasos e afloramentos rochosos	F.O.D. Submontana – inicial / F.O.D. Montana

QUADRO 12 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (2) DA ÁREA DE REFERÊNCIA.

4.3 MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA

De acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3, utilizando os atributos topográficos primários e secundários e informações da vegetação e geologia, obteve-se o Mapa Pedológico Preditivo da Área de Referência em escala 1:25.000, o qual se encontra representado na (FIGURA 38).

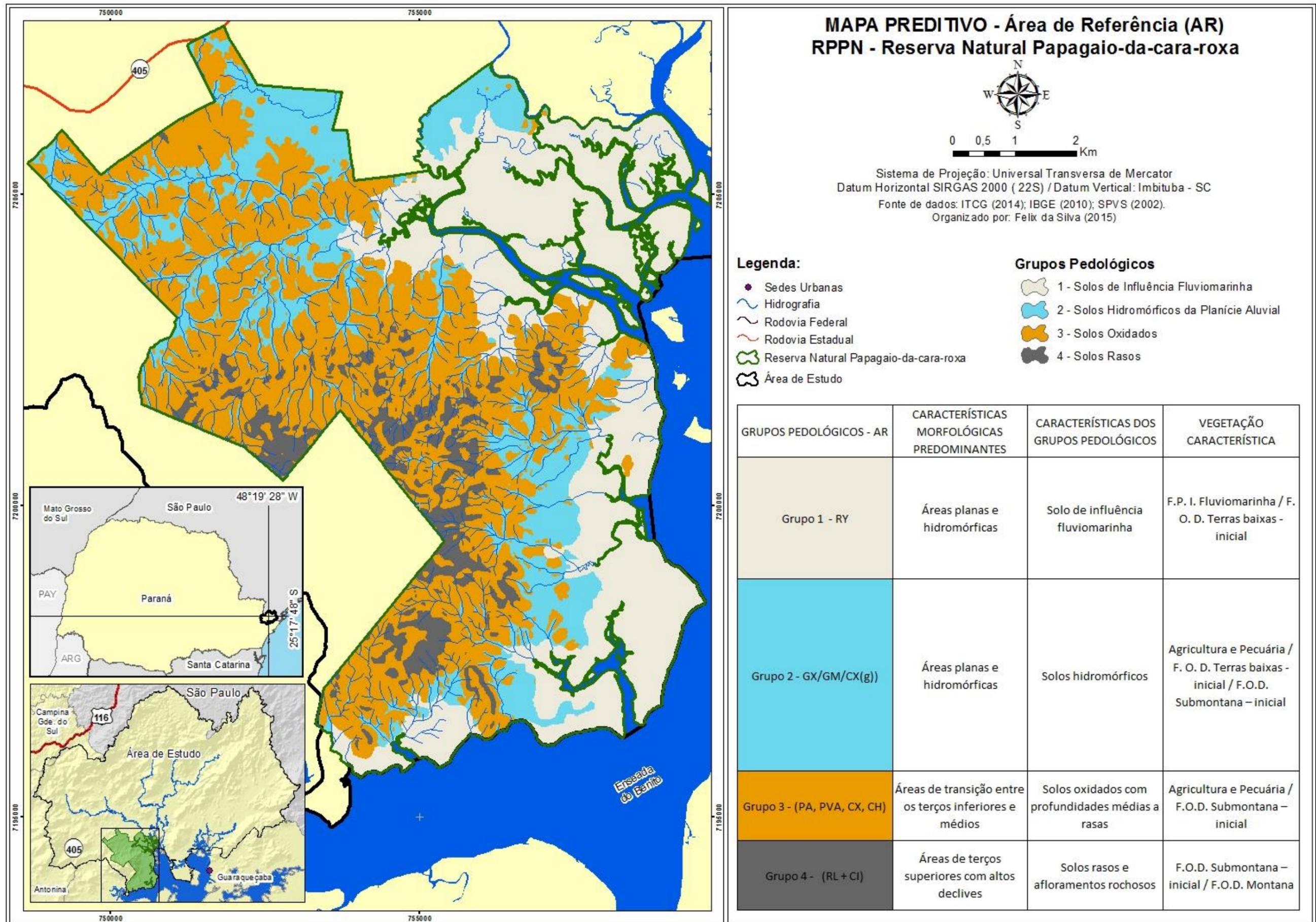


FIGURA 38 – MAPA PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA (AR) – RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA.
Elaboração: A Autora (2016)

A proporção das áreas ocupadas por cada um dos Grupos Pedológicos está descrita na (TABELA 13), sendo que o grupo que ocupa o maior valor de área é o Grupo 3, dos Solos Oxidados e o menor grupo encontrado é o Grupo 4, dos Solos Rasos.

TABELA 13 – ÁREA DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA ÁREA DE REFERÊNCIA.

GRUPOS PEDOLÓGICOS - AR	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Grupo - 1	21,49	31,95
Grupo - 2	12,62	18,77
Grupo - 3	26,32	39,13
Grupo - 4	6,83	10,15
TOTAL	67,42	100,00

Organização: A Autora (2015)

A (FIGURA 39) representa o trajeto de campo que foi realizado de barco pelo contorno da reserva. As verificações e tradagens dos pontos 5 e 6 foram realizadas nas margens, quando a equipe de campo ainda estava embarcada. Já as verificações e tradagens dos pontos 1, 2, 3 e 4 foram realizadas durante a realização do trajeto a pé.

Durante todo o trajeto realizado de barco foi possível visualizar a tanto na vegetação como nos solos, a influência fluviomarinha, principal característica do Grupo 1 que corresponde aos Neossolos Flúvicos. Estes solos ocupam 31,95% da área, sendo a subordem pedológica mais expressiva na reserva. Nas fotografias 5 e 6 da (FIGURA 39) é possível visualizar a hidromorfia e a relação destes solos com a vegetação de influência fluviomarinha (Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha arbórea).

Os solos hidromórficos das planícies aluviais, correspondentes ao Grupo 2, ocupam 18,77% da área da reserva e foram observados a partir do ponto 4, onde foi possível verificar a transição do manguezal para a área hidromórfica com influência predominantemente aluvial (fotografias 3 e 4).

Os pontos de checagem 1 e 2 correspondem aos solos do Grupo 3, que computam 39,13% da área total. Estes solos ocorrem principalmente em áreas de transição entre os terços médio e superior, onde o relevo é ondulado a forte ondulado. As amostras 1 e 2 foram coletadas entre 30 e 40 cm de profundidade

no sopé da Serra do Itaqui. Estes solos foram mapeados por Rocha *et. al* (2002) como Gleissolos Melânicos, no entanto, a verificação de campo realizada naquele ponto evidenciou a ocorrência de Cambissolos Háplicos, fazendo correspondência à subordem pedológica mapeada no âmbito do presente trabalho.

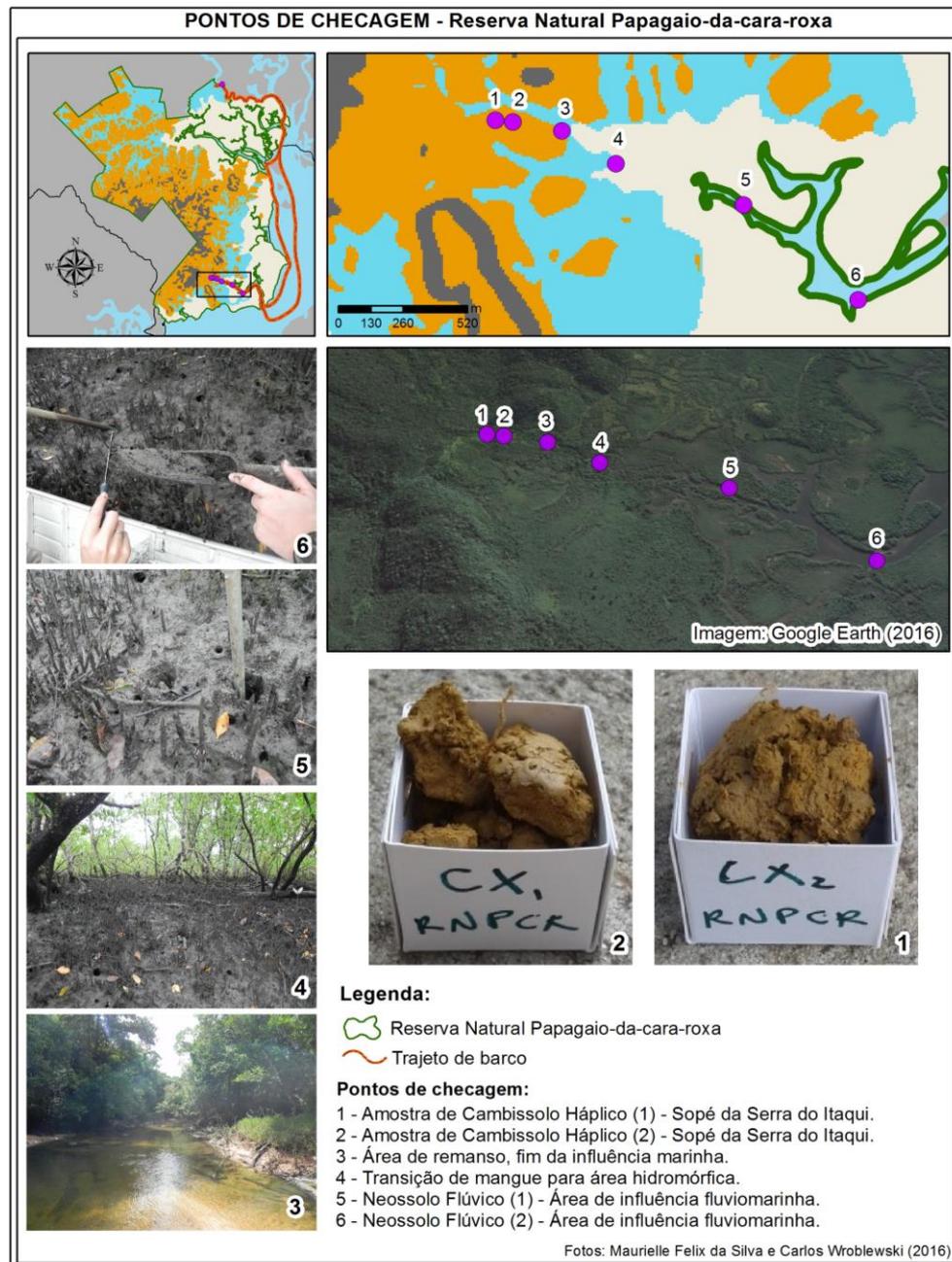


FIGURA 39 – PONTOS DE CHECAGEM E TRAJETO REALIZADO NA VERIFICAÇÃO DE CAMPO NA RESERVA NATURAL PAPAGAIO-DA-CARA-ROXA.

Os solos correspondentes aos Grupos 4 não puderam ser verificados em campo, devido ao elevado nível de dificuldade de acesso às trilhas da Reserva Natural Papagaio-da-cara-roxa. Cabe ressaltar que a verificação dos pontos ilustrados só foi possível devido à disponibilização de um barco e dois funcionários para acompanhar a equipe de campo nos trajetos. Além disso, foi possível caminhar pela reserva somente até o ponto de checagem 1, pois de ali em diante se iniciam as porções de mata fechada e o início da Serra do Itaqui.

4.4 COMPARAÇÕES ENTRE OS GRUPOS CLASSIFICADAS NO MAPA PREDITIVO E NO MAPEAMENTO EXISTENTE

4.4.1 Exatidão Global

O parâmetro de comparação por Exatidão Global faz uma relação entre a quantidade total de células presentes na área de referência, com os valores que foram corretamente classificados no mapeamento preditivo, conforme (QUADRO 13).

EXATIDÃO GLOBAL		MAPEAMENTO PEDOLÓGICO EXISTENTE				
		Rocha <i>et. al</i> (2002)	1	2	3	4
MAP. PREDITIVO	PREDITIVO		RY	GX/GM/CXg	CX/PA/PVA/CH	RL/CI
	10	RY	208029	3519	875	0
	20	GX/GM/CXg	3512	105489	25109	249
	30	CX/PA/PVA/CH	545	38484	218257	18756
	40	RL/CI	0	5	24017	22032
		SOMA	205998	152992	267597	41037

QUADRO 13 - MATRIZ DE EXATIDÃO GLOBAL DO MAPEAMENTO PREDITIVO DA ÁREA DE REFERÊNCIA.

A aplicação do índice de Exatidão Global resultou num acerto (Q) de 82,21%. Conseqüentemente o índice de discordância resultou em 17,79%. A (FIGURA 40) ilustra as áreas de concordâncias e discordâncias, as quais puderam ser quantificadas na (TABELA 14).

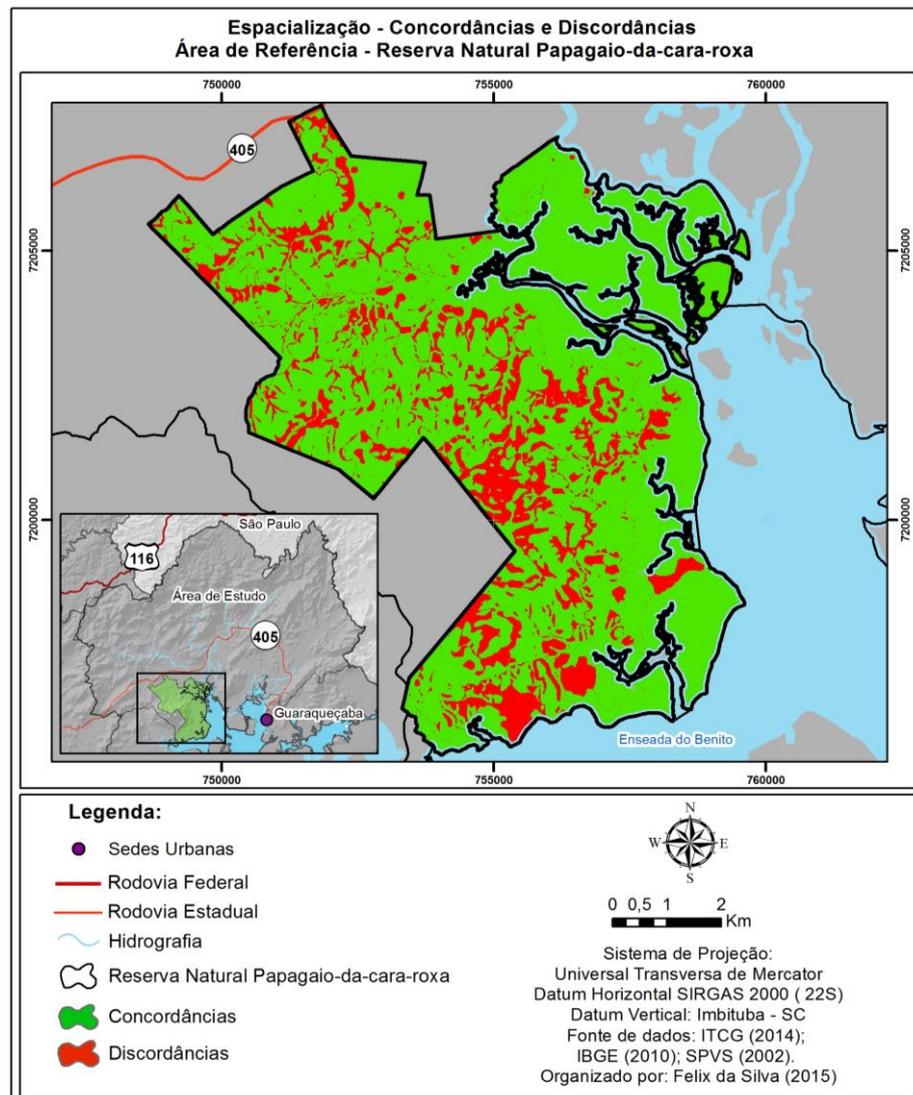


FIGURA 40 – ESPACIALIZAÇÃO DAS CONCORDÂNCIAS E DISCORDÂNCIAS NA ÁREA DE REFERÊNCIA.

Elaboração: A Autora (2016)

TABELA 14 - CONCORDÂNCIAS E DISCORDÂNCIAS DA CLASSIFICAÇÃO.

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Concordâncias	55,43	82,21
Discordâncias	11,99	17,79
TOTAL	67,42	100,00

Organização: A Autora (2015)

A (TABELA 15) descreve os erros de omissão na classificação de cada subordem pedológica, ou seja, a quantidade de células que deveriam ser classificadas em determinada subordem, porém foram classificadas em outras. É possível destacar que o Grupo 1, equivalente ao Neossolos Flúvicos teve o menor erro de omissão. Isto se deve a consideração de que este solo ocorre sob a tipologia vegetacional das Formações Pioneiras de Influência Fluviomarina e Floresta Ombrófila Densa de terras baixas, sendo o mapeamento de referência classifica esta ordem pedológica da mesma forma.

TABELA 15 - ERROS DE OMISSÃO DO MAPEAMENTO PREDITIVO.

GRUPOS PEDOLÓGICOS	SUBORDENS	ERROS DE OMISSÃO	%
Grupo 1	RY	0,04	4,4
Grupo 2	GX/GM/CXg	0,21	21,05
Grupo 3	CX/PA/PVA/ CH	0,20	20,09
Grupo 4	RL/CI	0,52	52,2

Organização: A Autora (2015)

Já o Grupo 2 apresentou 21,50% de erro de omissão, sendo o grupo que obteve o segundo maior índice de células classificadas erroneamente quando comparado com os demais. No mapeamento de referência os polígonos equivalentes à subordem dos Gleissolos Melânicos aparecem evidentemente em áreas de depósitos coluviais. Estes depósitos, por possuírem umidade menor em relação à planície e declividades variando de 3 a 20% foram, em algumas porções, incluídos solos do Grupo 3, que retrata as áreas de transição entre a planície e o terço médio das vertentes.

Cabe ressaltar que, como já descrito no item (4.3) o ponto de checagem 1 está localizado numa área mapeada por Rocha *et. al* (2002) como Gleissolos Melânicos, no entanto, a amostra coletada evidenciou a ocorrência de Cambissolos Háplicos para aquele ponto.

Os Grupos 3 apresentaram erros de omissão 20,90%, sendo que os solos do terceiro grupo foram mapeados em diversas porções das vertentes, desde os sopés até os terços superiores.

Já o Grupo 4 apresentou 52,20% de erro de omissão. Tal valor pode ser compreendido devido ao fato de que os Neossolos Litólicos e Cambissolos Hísticos pertencentes a este grupo se localizam em áreas de terço superior e de topos de morro, que são de difícil acesso. Desta forma pressupõe-se que o delineamento das classes acompanhou o alinhamento das curvas de nível, pois de acordo com o relatório disponibilizado por Rocha *et. al* (2002) não constam pontos de coleta nos terços superiores e topos da Serra do Itaqui.

Embora houvesse sido identificada na análise morfométrica e visual uma correspondência o atributo topográfico hipsometria para a distinção das classes de Cambissolos Húmicos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Hísticos, este atributo topográfico não foi utilizado no mapeamento preditivo da área de referência em função da limitação para se extrapolar as regras classificação para a área de estudo, uma vez que a variação altimétrica da área de referência é de 0 a 513,20m e na área de estudo varia de 0 a 1.518,00m, o que resultaria na generalização das classes do mapeamento, tal como é possível verificar na (FIGURA 41):

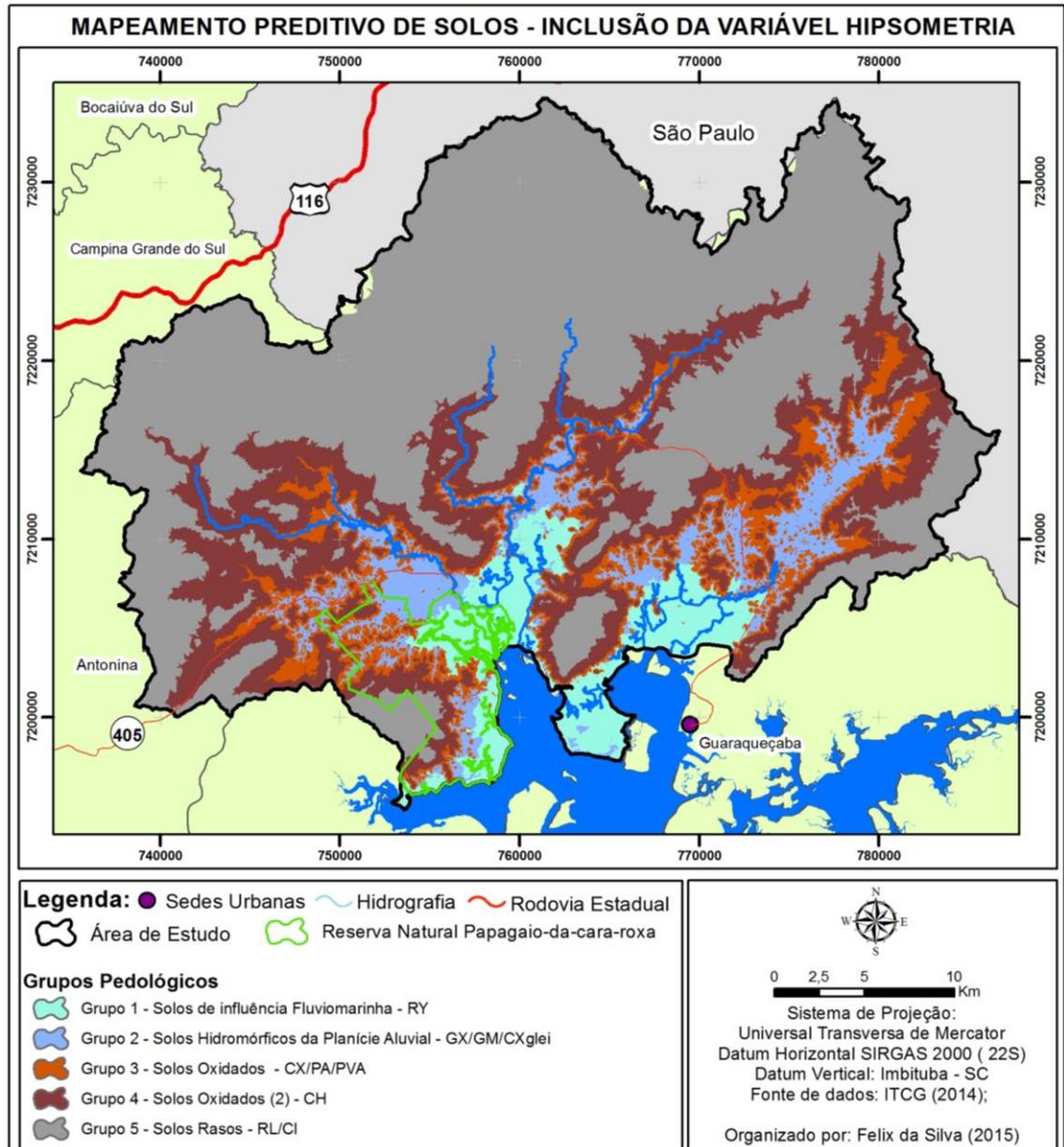


FIGURA 41 - MAPEAMENTO PREDITIVO DE SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO COM A INCLUSÃO DA VARIÁVEL HIPSOMETRIA NAS REGRAS DE CLASSIFICAÇÃO.

Elaboração: A Autora (2016)

Outro parâmetro avaliado foi a Exatidão do Ponto de Vista do Produtor (EP) que está associado de maneira inversa ao Erro de Omissão, ou seja, expressa a quantidade de células corretamente classificadas em cada grupo. Desta forma, quanto maior for a EP, maior o sucesso alcançado nas classes obtidas pelo mapeamento digital em relação ao mapeamento pedológico de referência.

A (TABELA 16) evidencia os Grupos 1, 2 e 3 com maior sucesso da classificação das células do mapeamento preditivo.

TABELA 16 - EXATIDÃO DO PRODUTOR NO MAPEAMENTO PREDITIVO.

GRUPOS PEDOLÓGICOS	SUBORDENS	EXATIDÃO DO PRODUTOR	%
Grupo 1	RY	0,95	95,06
Grupo 2	GX/GM/CXg	0,78	78,50
Grupo 3	CX/PA/PVA/ CH	0,79	79,10
Grupo 4	RL/CI	0,47	47,80

Organização: A Autora (2015)

Dos grupos mapeados na área de referência, cabe destacar que os Grupos 2 e 3 localizados em áreas planas com transição para porções inferiores das vertentes, ou seja, áreas de deposição de sedimentos tanto coluviais como aluviais obtiveram menores valores de exatidão do ponto de vista do produtor, 78,50% e 79,10% respectivamente. Tais resultados foram também evidenciados quando houve a espacialização das concordâncias e discordâncias da matriz de erros, mostrando que somente por informações sobre o relevo não se faz possível efetuar a distinção evidente destes grupos na paisagem. Entretanto, vale ressaltar que o mapeamento realizado por Rocha *et. al* (2002) utilizado como referência para a comparação, possui algumas limitações em relação à escala dos dados utilizados nas etapas de escritório, fazendo com que e as definições dos limites das subordens pedológicas pudessem ter sido prejudicadas.

Outro aspecto, em relação ao Grupo 3 é a generalização de subordens pedológicas, uma vez que no mapeamento detalhado de Rocha *et. al* (2002) e no mapeamento de reconhecimento da EMBRAPA (2011), são encontrados solos menos evoluídos como os Cambissolos Háplicos e Cambissolos Húmicos e solos oxidados mais evoluídos como os Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos. No entanto, conforme já apontado por Nowatzki (2013) não foi possível identificar características topográficas que indiquem porções em que estes solos pudessem ser encontrados.

Outra maneira de analisar a qualidade da classificação das células do mapeamento preditivo se refere aos Erros de Inclusão. Este índice retrata a quantidade de células que deveriam ser incluídas nos grupos, porém não foram.

A (TABELA 17) apresenta os erros de inclusão nos grupos mapeados. Verifica-se que os maiores valores são dos Grupos 2 e 4, que correspondem na paisagem às áreas de transição entre Gleissolos Melânicos e Cambissolos Háplicos anteriormente descritas no item (1.2.1). É necessário também considerar que, conforme descrito em Rocha *et. al* (2002), os Cambissolos Háplicos localizados ao norte da reserva ocorrem nas áreas de planície, com declividades menores que 3%. Estes solos, diferentemente dos Cambissolos Háplicos gleissólicos, não foram incluídos no Grupo 2 dos solos hidromórficos, pois apesar de ocuparem na paisagem as regiões de planície, não apresentam evidências de hidromorfia.

TABELA 17 - ERROS DE INCLUSÃO DO MAPEAMENTO PREDITIVO.

GRUPOS PEDOLÓGICOS	SUBORDENS	ERROS DE INCLUSÃO	%
Grupo 1	RY	0,01	2,00
Grupo 2	GX/GM/CXg	0,31	31,00
Grupo 3	CX/PA/PVA/ CH	0,18	18,40
Grupo 4	RL/CI	0,46	46,30

Organização: A Autora (2015)

Por fim, o parâmetro Exatidão do Ponto de Vista do Usuário (EU) é complementar ao Erro de Inclusão e retrata a quantidade de células corretamente classificadas em cada grupo. A (TABELA 18) indica que os Grupos 1 obteve exatidão do usuário superior a 90%.

TABELA 18 - EXATIDÃO DO USUÁRIO NO MAPEAMENTO PREDITIVO.

GRUPOS PEDOLÓGICOS	SUBORDENS	EXATIDÃO DO USUÁRIO	%
Grupo 1	RY	0,98	98,00
Grupo 2	GX/GM/CXg	0,68	69,00
Grupo 3	CX/PA/PVA/CH	0,81	81,60
Grupo 4	RL/CI	0,53	57,7

Organização: A Autora (2015)

Tais resultados se devem também pela clara diferença nos aspectos da paisagem quando consideradas as porções de planície e terços superiores das vertentes, sendo que o fator de confusão aparecerá em maior expressão nas áreas de transição e terço médio, onde estão localizados os Grupos 2 e 3. A (FIGURA 42) ilustra a comparação entre o mapeamento pedológico existente e o mapeamento pedológico preditivo.

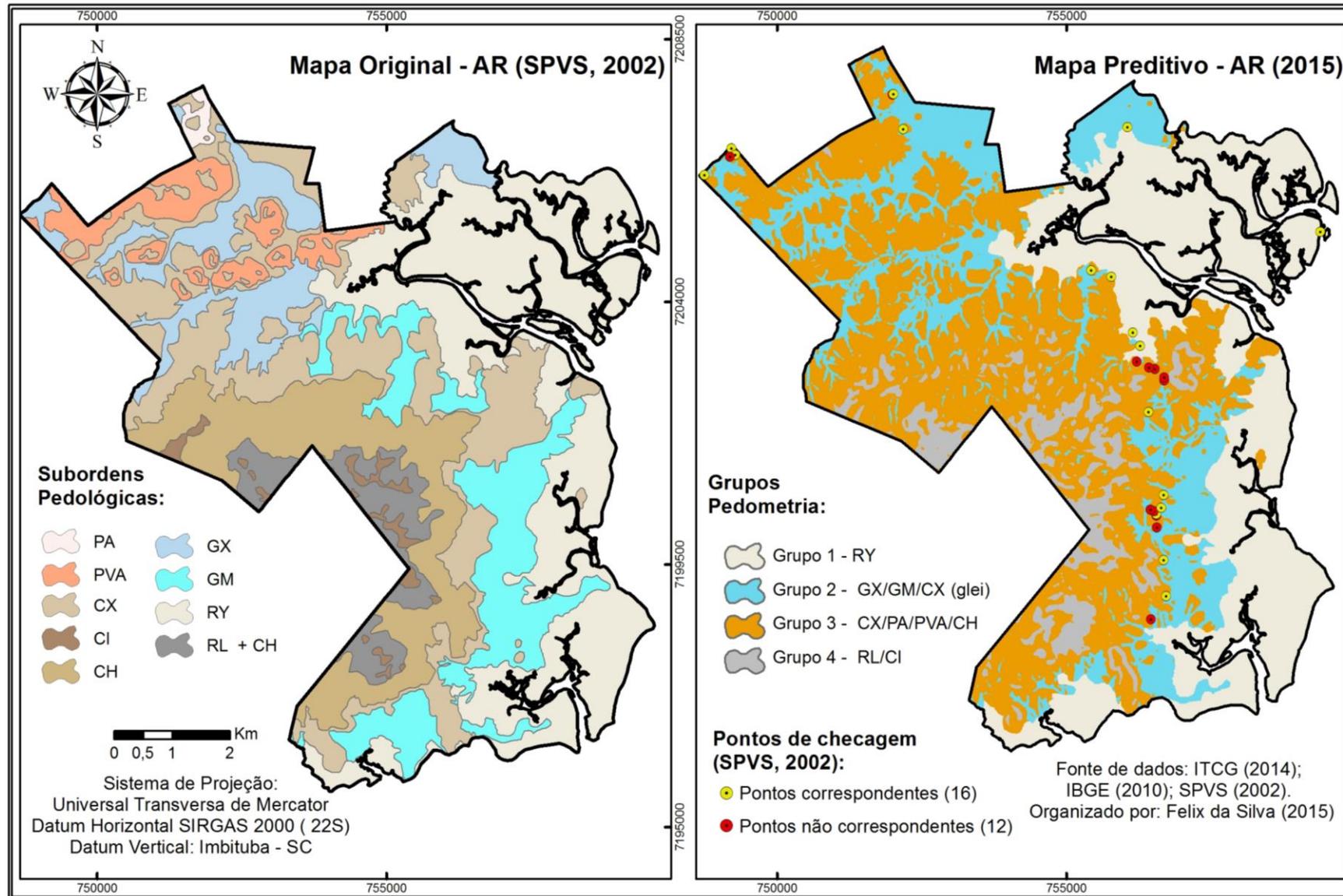


FIGURA 42 - COMPARAÇÃO ENTRE O MAPA DE REFERÊNCIA (SPVS, 2002) E O MAPA PREDITIVO.
Elaboração: A Autora (2015).

É possível verificar também que onde foram realizadas prospecções pela SPVS, houve o acerto de 16 dos 28 pontos prospectados e armazenados com a descrição da ordem pedológica, cujos acertos podem ser somados aos 6 pontos verificados na (FIGURA 39), totalizando 22 acertos.

No mesmo contexto de paisagem, Serra do Mar e Planície Litorânea, Nowatzki (2013), ao aplicar modelos de predição por tabulação cruzada encontrou valores de exatidão global em torno de 65%. A diferença nos valores de exatidão global pode ser explicada pela utilização de informações sobre a vegetação nas operações de tabulação cruzada. No trabalho desenvolvido pelo referido autor também não foram distinguidas as ordens dos Cambissolos e dos Argissolos, pois estas ordens encontram-se associadas na paisagem e a gênese das mesmas está associada não somente ao fator de formação relevo.

4.5 MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PREDITIVO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a metodologia descrita no (Capítulo 3), e com as verificações dos resultados descrita no item (4.4) foram extrapoladas para a área de estudos as regras de classificação da área de referência, cujas matrizes de integração estão a seguir descritas. Cabe colocar que as matrizes de integração também foram coloridas conforme a mesma lógica do item (4.3).

Na primeira matriz de integração dos dados da AE foram considerados também os atributos ITU e ICMF (QUADRO 14).

CLASSES		ICMF			
		$\Omega 1 (< 4)$	$\Omega 2 (4 - 5)$	$\Omega 3 (5 - 6)$	$\Omega 4 (> 6)$
E	w1 (< 8)	11	12	13	14
	w2 (8 - 10)	21	22	23	24
	w3 (> 10)	31	32	33	34

QUADRO 14 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AE.

Para a primeira matriz de integração foram computadas 12 combinações, as quais possuem as mesmas características da primeira matriz da AR em relação morfologia das vertentes e condições de hidromorfia (QUADRO 15).

AGRUPAMENTO (ITU + ICMF) - AE	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS VERTENTES	CONDIÇÕES DE SATURAÇÃO E ESTAGNAÇÃO HÍDRICA
Grupo 1	31, 32, 33	Terço inferior, áreas planas e mal drenadas	Alta
Grupo 2	12, 13, 21, 22, 23, 24, 34	Terço médio, áreas bem drenadas	Média
Grupo 3	11, 14	Terço superior, áreas muito bem drenadas	Baixa

QUADRO 15 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS ITU E ICMF NA AE.

A próxima matriz de integração também foi realizada com os atributos declividade e ICTS, respeitando os mesmos intervalos utilizados na AR, (QUADRO 16):

CLASSES		ICTS			
		$\tau_1 (< 2)$	$\tau_2 (2 - 5)$	$\tau_3 (5 a 7)$	$\tau_4 (> 7)$
DECLIVIDADE	$\alpha 1 (0 - 3\%)$	11	12	13	14
	$\alpha 2 (3 - 8\%)$	21	22	23	24
	$\alpha 3 (8 - 20\%)$	31	32	33	34
	$\alpha 4 (20 - 45\%)$	41	42	43	44
	$\alpha 5 (45 - 75\%)$	51	52	53	54
	$\alpha 6 (> 75\%)$	61	62	63	64

QUADRO 16 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS NA AE.

Nesta integração foram contabilizadas 24 combinações, sendo que 18 delas ocorrem na AE. O (QUADRO 17) descreve a síntese desta matriz de integração.

AGRUPAMENTO (DEC + ICTS) - AE	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS VERTENTES	RELAÇÕES ENTRE MORFOGÊNESE E PEDOGÊNESE
Grupo 1	11, 21, 32	Terços inferiores, áreas planas ou de transição para áreas suave onduladas	Predominância dos processos deposicionais em relação aos processos erosivos
Grupo 2	22, 31, 33, 34, 41, 42, 43, 52	Áreas de transição entre terços inferiores e os terços médios. Áreas onduladas ou forte onduladas	Ocorrência de processos deposicionais nas áreas de colúvio e atuação de processos erosivos nos terços médios
Grupo 3	44, 51, 53, 54, 62, 63, 64, 62, 63, 64	Terços superiores, áreas montanhosas	Predominância dos processos erosivos em relação aos processos deposicionais

QUADRO 17 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DECLIVIDADE E ICTS DA AE.

Em seguida, a partir da integração das informações presentes no (QUADRO 15) e no (QUADRO 17) foi produzida uma nova matriz de integração (QUADRO 18) que resultou em 12 combinações.

CLASSES		$\alpha e \tau$			
		$\alpha e \tau 1$	$\alpha e \tau 2$	$\alpha e \tau 3$	$\alpha e \tau 4$
$\Omega e w$	$\Omega e w 1$	11	12	13	14
	$\Omega e w 2$	21	22	23	24
	$\Omega e w 3$	31	32	33	34

QUADRO 18 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS DA AE.

As combinações foram agrupadas em quatro Grupos Pedológicos (QUADRO 19), sendo que o Grupo 1 corresponde aos solos com características hidromórficas e de influência fluviomarinha, o Grupo 2 se refere aos solos oxidados com profundidades variando de médias a rasas e o Grupo 3 que representa os solos rasos.

GRUPOS PEDOLÓGICOS (1) - AE	COMBINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS
Grupo 1	11, 12	Áreas planas e hidromórficas	Solos hidromórficos e com influência fluviomarinha
Grupo 2	13, 21, 22, 31, 32	Áreas de transição entre os terços inferiores e médios	Solos oxidados com profundidades médias a rasas
Grupo 3	14, 23, 24, 33, 34	Áreas de terços superiores com relevo forte ondulado a montanhoso	Solos rasos

QUADRO 19 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (1) DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta etapa seguinte foi considerada a ocorrência de Neossolos Flúvicos nas áreas onde há vegetação correspondente as Formações Pioneiras de Influência Fluviomarinha. Além da ocorrência destes solos na área de referência, em outros levantamentos pedológicos em escala de maior detalhe na região (ROCHA, 2000; PAULA, 2010) esta subordem pedológica aparece associada às áreas de manguezais. Com base nestas informações, a próxima matriz de integração foi realizada pelo cruzamento entre os Grupos Pedológicos e a vegetação (QUADRO 20):

CLASSES		VEGETAÇÃO	
		Veg 1	Veg 2
GRUPOS PED. (AR)	Grupo 1	11	21
	Grupo 2	12	22
	Grupo 3	13	23

QUADRO 20 - MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS E A VEGETAÇÃO DA AE.

Após a integração da última matriz foram definidos os Grupos Pedológicos (2), cujas principais características estão descritas no (QUADRO 21):

GRUPOS PEDOLÓGICOS (2) -AE	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS	VEGETAÇÃO CARACTERÍSTICA
Grupo 1 – Solos hidromórficos de influência fluviomarinha	Áreas planas e hidromórficas	Solo de influência fluviomarinha	F.P. I. Fluviomarinha / F. O. D. Terras baixas - inicial
Grupo 2 – Solos hidromórficos das planícies aluviais	Áreas planas e hidromórficas	Solos hidromórficos	Agricultura e Pecuária / F. O. D. Terras baixas - inicial / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 3 – Solos oxidados	Áreas de transição entre os terços inferiores e médios de relevo ondulado a forte ondulado	Solos oxidados com profundidades médias a rasas	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 4 – Solos rasos	Áreas de terços superiores com relevo forte ondulado a montanhoso	Solos rasos	F.O.D. Submontana – inicial / F.O.D. Montana

QUADRO 21 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (2) DA ÁREA DE ESTUDO.

De acordo com as etapas anteriormente descritas e utilizando os atributos topográficos primários e secundários e informações da vegetação, obteve-se o Mapa Pedológico Preditivo da Área de Estudo em escala 1:25.000 (FIGURA 43).

A proporção das áreas ocupadas por cada um dos Grupos Pedológicos está descrita na (TABELA 19), sendo que o grupo que ocupa o maior valor de área é o Grupo 3 - solos oxidados e o menor é o Grupo 1 – solos hidromórficos de influência fluviomarinha.

TABELA 19 - CÁLCULO DE ÁREA – 4 GRUPOS PEDOLÓGICOS – ÁREA DE ESTUDO (AE)

GRUPOS PEDOLÓGICOS - AE	Área (km ²)	Área (%)
Grupo - 1	85,83	7,27
Grupo - 2	132,69	11,23
Grupo - 3	680,45	57,61
Grupo - 4	282,11	23,89
TOTAL	1181,09	100,00

Organização: A Autora (2015)

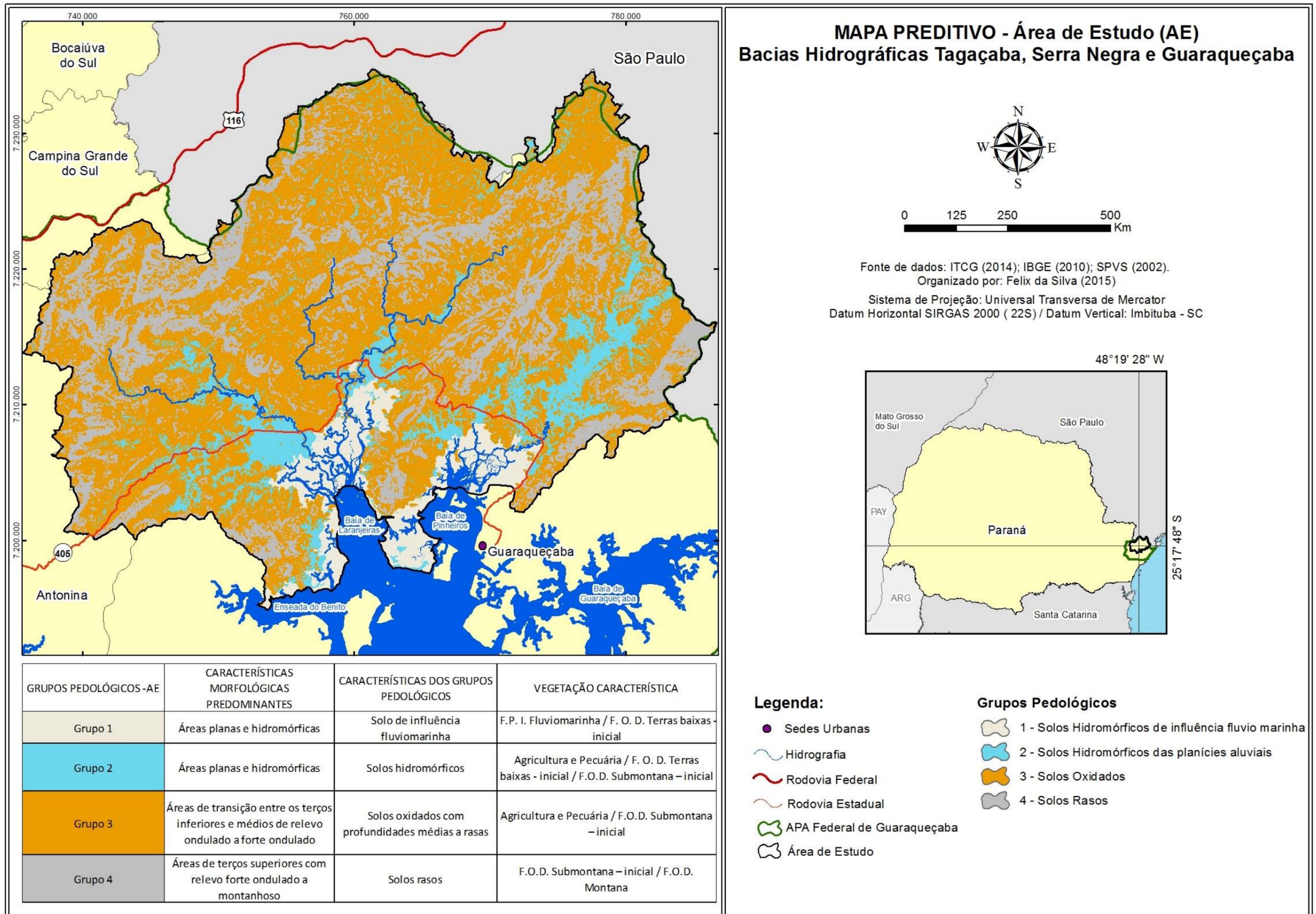


FIGURA 43 – MAPA PEDOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO (AE) 4 GRUPOS – BACIAS HIDROGRÁFICAS TAGAÇAABA, SERRA NEGRA E GUARAQUEÇABA.
Elaboração: A Autora (2015)

Após a extrapolação das regras da área de referência para a área de estudo notou-se que as porções da paisagem que possuem declividades superiores a 75% correspondem a áreas escarpadas, portanto, com base no conhecimento de campo, houve a inclusão dos afloramentos de rochas no mapeamento preditivo da área de estudo, sendo então definidos os seguintes grupos pedológicos (QUADRO 22) e (FIGURA 44):

GRUPOS PEDOLÓGICOS (3) - AE	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PREDOMINANTES	CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS PEDOLÓGICOS	VEGETAÇÃO CARACTERÍSTICA
Grupo 1	Áreas planas e hidromórficas	Solo de influência fluviomarinha	F.P. I. Fluviomarinha / F. O. D. Terras baixas - inicial
Grupo 2	Áreas planas e hidromórficas	Solos hidromórficos	Agricultura e Pecuária / F. O. D. Terras baixas - inicial / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 3	Áreas de transição entre os terços inferiores e médios de relevo ondulado a forte ondulado	Solos oxidados com profundidades médias a rasas	Agricultura e Pecuária / F.O.D. Submontana – inicial
Grupo 4	Áreas de terços superiores com relevo forte ondulado a montanhoso	Solos rasos	F.O.D. Submontana – inicial / F.O.D. Montana
Grupo 5	Áreas escarpadas	Afloramentos de rochas	F.O.D. Submontana – inicial / F.O.D. Montana

QUADRO 22 - GRUPOS PEDOLÓGICOS (3) DA ÁREA DE ESTUDO.

TABELA 20 - CÁLCULO DE ÁREA – 5 GRUPOS PEDOLÓGICOS – ÁREA DE ESTUDO (AE)

GRUPOS PEDOLÓGICOS - AE	Área (km ²)	Área (%)
Grupo - 1	85,83	7,27
Grupo - 2	132,69	11,23
Grupo - 3	680,45	57,61
Grupo - 4	265,50	22,48
Grupo - 5	16,60	1,41
TOTAL	1181,09	100,00

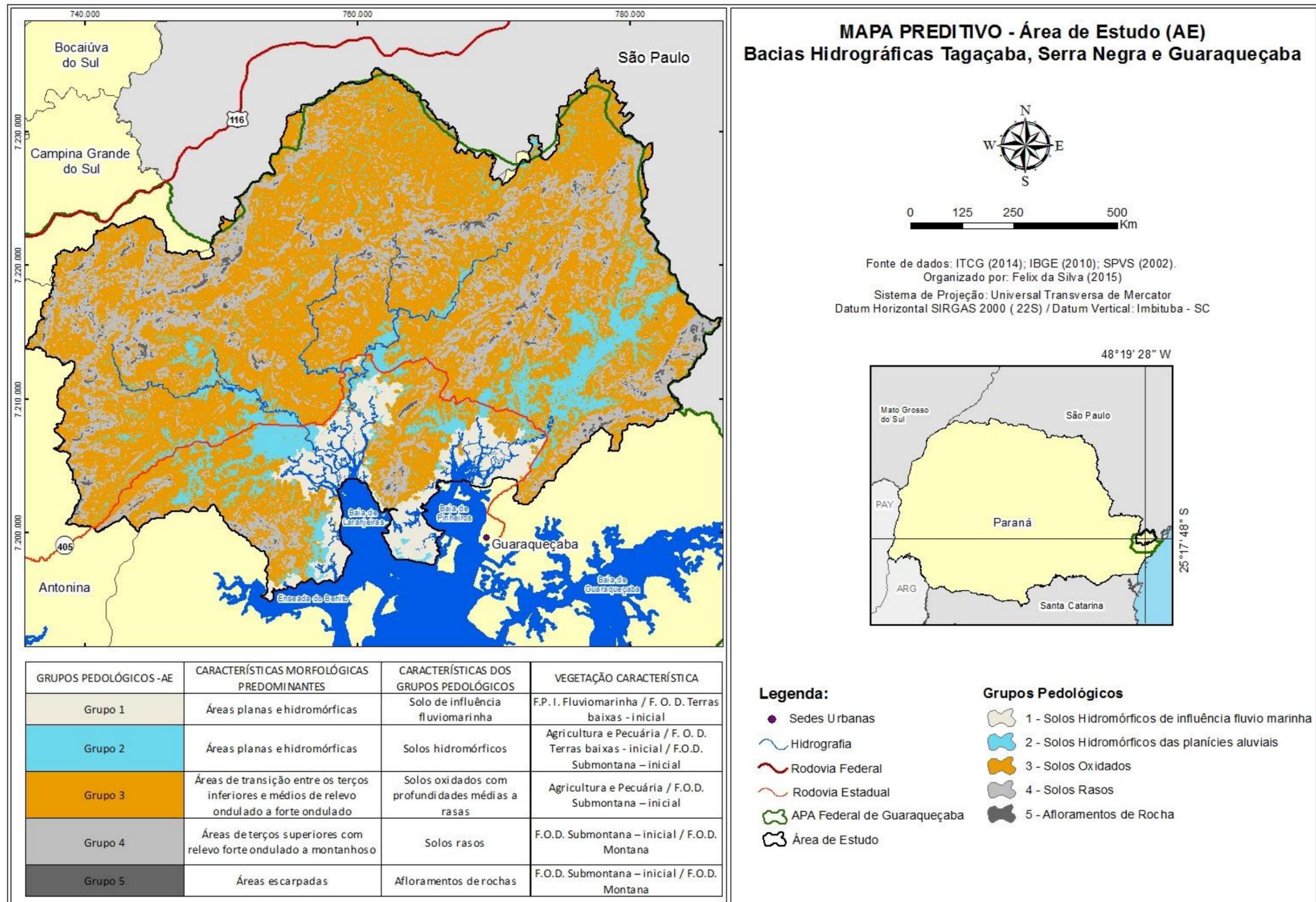


FIGURA 44 – MAPA PEDOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO (AE) 5 GRUPOS – BACIAS HIDROGRÁFICAS TAGAÇABA, SERRA NEGRA E GUARAQUEÇABA.
Elaboração: A Autora (2015)

A (FIGURA 45) ilustra a localização dos pontos de checagem na área de estudo. Destaca-se que devido à extensão da área de estudo, dificuldades de acesso e disponibilidade de recursos às verificações foram realizadas ao longo da estrada PR-405, com registro fotográfico de pontos representativos dos grupos pedológicos mapeados. Já a (FIGURA 46) ilustra a localização de um ponto de checagem na PR-405 e dois pontos na Reserva Natural Salto Morato.

Os pontos 7 e 8 correspondem a uma planície hidromórfica localizada ao lado esquerdo da estrada. De acordo com o mapeamento preditivo esta área corresponde ao Grupo 2 que ocupa (TABELA 20) um percentual de 11,23% da área mapeada, cujas características são de áreas planas e hidromórficas sem influência fluviomarinha. Também é possível observar na fotografia 7, ao fundo da planície, uma área de transição para morros isolados que foram mapeados no Grupo 3 como solos oxidados. Este grupo ocupa 57,61% da área total, sendo o grupo pedológico mais expressivo da área de estudo. Já na fotografia 8 a transição é bem menos expressiva, no entanto é possível localizar na paisagem de transição.

O ponto de número 9 ilustra uma área de planície antropizada e posteriormente, assim como os anteriores 7 e 8, uma transição para o relevo suave ondulado e ondulado. Contudo, neste ponto é possível observar que os morros localizados ao fundo da fotografia são mais expressivos e possuem declividades mais acentuadas, fazendo correspondência ao Grupo 4 de solos rasos, que ocupam 22,48% da área total.

A fotografia correspondente ao ponto de checagem número 9 foi tomada no Mirante Serra Negra, no município de Guaraqueçaba. Neste ponto é possível observar uma vasta planície em direção à baía de Guaraqueçaba, como também alguns morros cujos solos foram mapeados e inseridos no Grupos 3 – solos oxidados, do Grupo 4 – solos rasos que abrange 22,48% da área total e do Grupo 5 – afloramentos rochosos, que ocupa o menor percentual, sendo 1,41%.

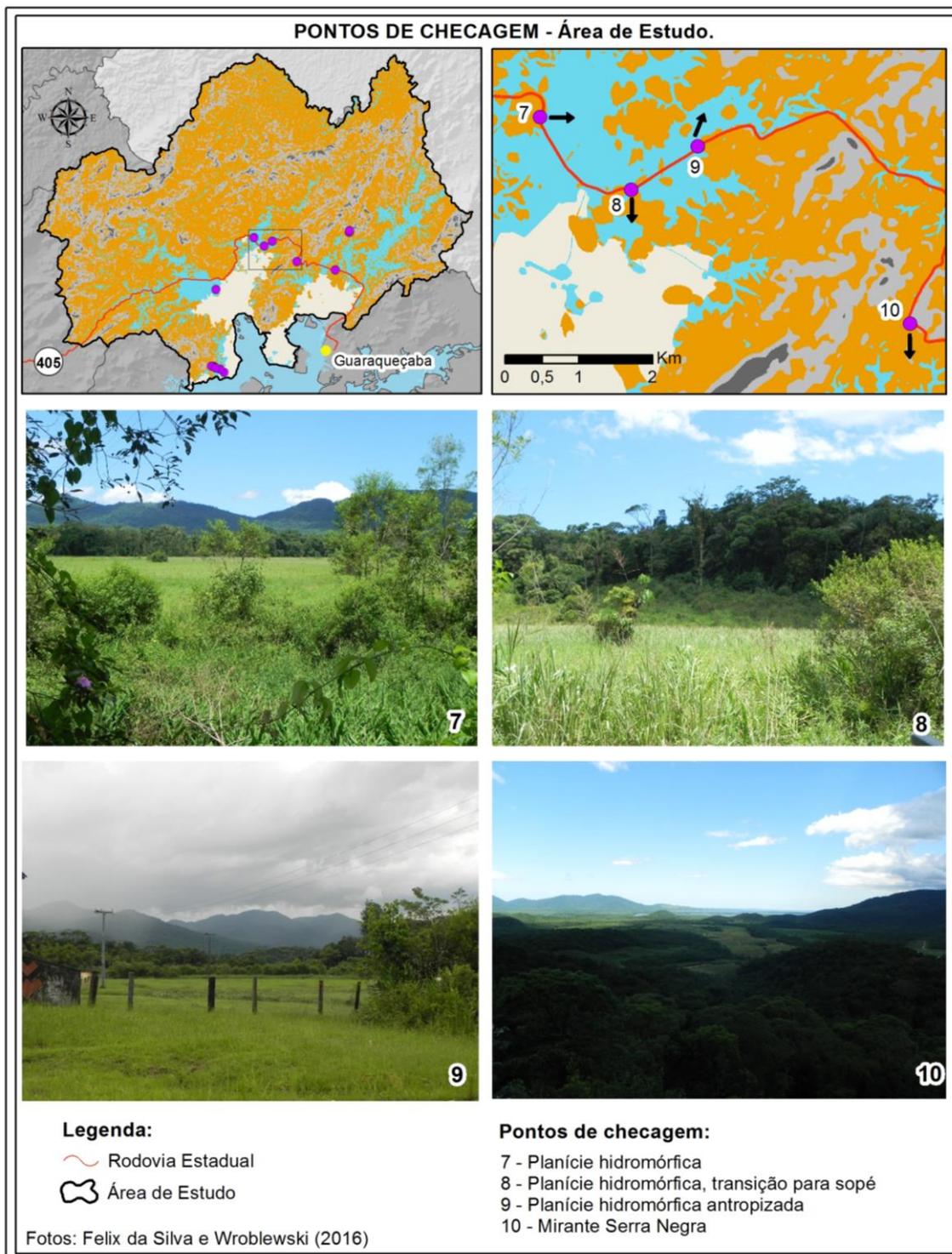


FIGURA 45 - PONTOS DE CHECAGEM NA ÁREA DE ESTUDO.

A (FIGURA 46 - PONTOS DE CHECAGEM NA RESERVA NATURAL SALTO MORATO - ÁREA DE ESTUDO.FIGURA 46) contém o último ponto de checagem realizado na estrada PR-405. Neste ponto se verifica claramente na fotografia 11 uma planície com solo hidromórfico, mapeada no Grupo 2. Da mesma forma

que se observou nas fotografias 7, 8, 9 e 10 anteriormente descritas é possível notar morros ao fundo, evidenciando a transição do relevo plano para suave ondulado e ondulado.

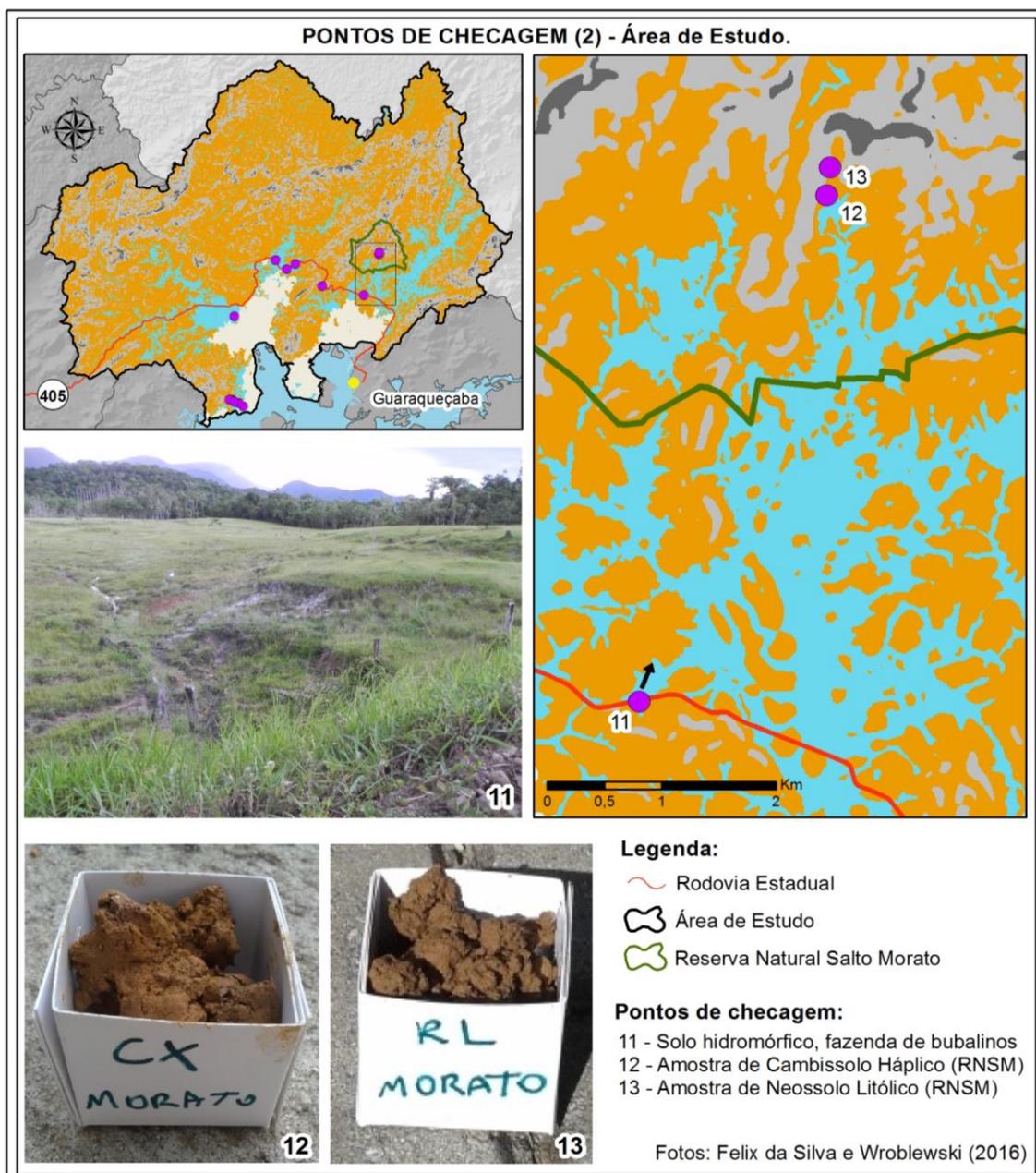


FIGURA 46 - PONTOS DE CHECAGEM NA RESERVA NATURAL SALTO MORATO - ÁREA DE ESTUDO.

Os pontos 12 e 13 foram checados dentro da Reserva Natural Salto Morato, cerca de cinco metros para o interior da trilha do Salto. A amostra da

fotografia 12 corresponde à subordem pedológica dos Cambissolos Háplicos, mapeados no Grupo 3 – solos oxidados. Nesta porção estes solos ocorrem em áreas coluviais montanhosas, cuja amostra foi coletada entre 30 e 40 cm de profundidade.

O ponto seguinte está localizado próximo à cachoeira Salto Morato e foi mapeado dentro do Grupo 4 – solos rasos. Neste ponto houve a tradagem e coleta de amostra de Neossolo Litólico na profundidade de 20 cm, logo acima do contato rochoso.

Conforme o exposto, os pontos de checagem apresentaram grande coerência com o mapeamento preditivo, evidenciando a possibilidade de extrapolação das regras de classificação da área de referência para a área de estudo. Vale destacar que ainda são necessários mais pontos de checagem e que o mapeamento preditivo, embora a maioria dos pontos checados tenha apresentado correspondência, não substitui o mapeamento tradicional de solos. Desta forma, o trabalho de campo foi imprescindível para a visualização dos limites e transições entre os grupos pedológicos. Apesar disso, foi possível comparar, ainda que pontualmente, os solos verificados em campo com os grupos mapeados por Pedometria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão das relações do relevo com a distribuição das ordens pedológicas na paisagem por meio da utilização de atributos topográficos, primários e secundários, possibilitou a definição das regras de classificação para a distinção de três grupos pedológicos na área de referência (AR) e a posterior extrapolação destas regras para a área de estudo (AE) sendo que os atributos topográficos hipsometria, declividade, índice topográfico de umidade, índice de corrente de máximo fluxo e índice de capacidade de transporte de sedimentos apresentaram melhores relações com as subordens pedológicas na área de referência (AR). No entanto, houve a necessidade da utilização da vegetação como variável adicional para a separação das classes de solos.

A aplicação das regras por meio da Tabulação Cruzada, mostrou resultados satisfatórios, uma vez que houve uma concordância de 82,21% entre o mapeamento preditivo e o mapeamento existente e, diante disso as regras de classificação puderam ser extrapoladas para a área de estudo.

A escala final do mapeamento, 1:25.000, foi definida devido à disponibilidade de dados cartográficos em escala de detalhe e da minuciosa edição dos mesmos, que serviram como entrada para a geração do modelo digital do terreno, como também para a posterior geração e discretização dos atributos topográficos primários e secundários.

Cabe ainda ressaltar que, embora a aplicação do método da Tabulação Cruzada tenha se mostrado satisfatória no mapeamento preditivo de solos por área de referência, tem-se a necessidade de aprofundamento nas relações dos solos com seus demais fatores de formação além do relevo. Não obstante, há que se considerar a inclusão de demais variáveis preditoras na construção das regras de classificação.

O mapeamento pedológico gerado, ainda que preditivo, possui potencial para aplicações em estudos de fragilidade aos ambientes hidromórficos pela contaminação dos lençóis freáticos, geração ou aprimoramento de mapas de estimativa de produção de sedimentos e no subsídio de análises para planejamento e gestão ambiental do território, tal como o Plano de Manejo da APA de Guaraqueçaba-PR, que se encontra em elaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J.; SOARES, C. R.; MARONE, E.; SOUZA, M. C.; ODRISKI, L. L. R. NOERNBERG, M. A. **Erosão e progradação no litoral Brasileiro**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p.347-400, 2006.

BIGARELLA, J. J. **Contribuição ao Estudo da Planície Litorânea do Estado do Paraná**. Brazilian Archives of Biology and Tecnology – Na International Journal. Brasil, Jubilee Volume (1946-2001), pp. 65-110, 2001.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. Vol. 3.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. v.3. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v.124, p.23–36, 2005.

BOLDRINI, E. B.; PAULA, E. V. **Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagem no estuário de Paranaguá/PR) e a recuperação de bacias hidrográficas para mitigar o processo de assoreamento**. In: BOLDRINI, E. B.; SORAES, C. R.; PAULA, E. V.(Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologias e Meio Ambiente**. Antonina: ADEMADAN; UNIBEM; Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT). 2008. 296p.

BONISCH, S.; ASSAD, M. L. Lopes; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G. Representação e propagação de incertezas em dados de solo: II - Atributos numéricos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2004, vol.28, n.1, pp. 33-47. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832004000100004&lng=en&nrm=iso>.

BONISCH, S.; ASSAD, M. L. Lopes; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.. Representação e propagação de incertezas em dados de solo: II - Atributos numéricos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2004, vol.28, n.1 [cited 2013-05-06], pp. 33-47. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832004000100004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 out. 2014.

BRITEZ, R. M.; PRESTES, M.; MACHADO, M. A. Mapeamento da Vegetação do Litoral do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 8., 2015, Curitiba. **Anais**. Curitiba: 2015. Disponível em: <<http://eventos.fundacaogrupoboticario.org.br/CBUC/TrabalhosTecnicos?ids=1157>> Acesso em: 24/11/2015.

BUI, E. N.; LOUGHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landform rules from previous soil surveys. **Australian Journal of Soil Research**, v.37, p.495–508, 1999.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, I. The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, p. 315-331, 1980.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assesment**. Francis e Taylor, 1986. 185p.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos de pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, 2006.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos de pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, 2006.

CAMPOS, M. C. C. **Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações**. *Ambiência*, 8:963-982. 2012.

CARRÉ, F.; MCBRATNEY, A. B. Digital Terron Mapping. **Geoderma**, v.128, p.340–353, 2005.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, 2006. 223p. (Doutorado -Universidade Federal de Viçosa - UFV).

COELHO, F. F. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. Porto Alegre, 2010, 80 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Centro estadual de pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basaltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.81-90, 2005.

CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; SAVEGNANI, L. **A geopedologia e a coleta de sementes de espécies arbóreas em florestas fluviais** In: MEDEIROS, A. C. S.; VIBRANS, A. C. (Ed.). *Coleta, manejo e armazenamento de sementes de espécies arbóreas da Mata Atlântica*. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2006. p.5-28.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Lasersanning: conceitos e princípios de funcionamento**. Curitiba, UFPR. 2003.

DALRYMPLE, J. B., BLONG, R.J., CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit landsurface model. **Geomorphology**, Berlin, v. 12, p. 60-76, 1968.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 236p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1995. 101 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. **Carta de Solos do Estado do Paraná**: EMBRAPA e IAPAR: 1:250.000, 2011.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. Ed. Ver. Ampli. Brasília – DF. Embrapa, 2013.

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia: um repasse bibliográfico**. 1. ed. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2008. v. 1. 397p.

ESRI. **ArcGIS, Spatial Analyst, 3D Analyst**. versão 10.0. Environmental Systems Research Institute, 2014.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GOLDICH, S.S. **A study of rock weathering**. J. Geol., 46:17- 58, 1938.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. **Revista Geografia Acadêmica**, v.2, n.2, p. 73-83, 2008.

GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. 7. ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 648p. 2009.

HENGL T. **Finding the right pixel size**; Comput. Geosci. 32(9) 1283–1298. 2006.

HENGL, T.; ROSSITER, D.G. Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1810–1822, 2003.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.836–841, 1992.

HUGGET, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p.01-22, 1975.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1–22, 1975.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual de Técnico de Pedologia**. Série Manuais Técnicos em Geociências. n. 4. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento. **Zoneamento da APA de Guaraqueçaba**. Curitiba, 2001.

IPARDES (1996a). **Caderno estatístico município Guaraqueçaba**. Curitiba, 1996.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social; **Zoneamento do Litoral do Paraná**. Convênio entre Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral, Curitiba, 1989.

IPPOLITI, G. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas na região de "Mar de Morros" (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.269-276, 2005.

IRVIN, B. J.; VENTURA, S. J.; SLATER, B.K. Fuzzy and Isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant alley. *Geoderma*, v.77, p. 137-154, 1997.

IQBAL, J.; READ, J. J.; THOMASSON, A. J.; JENKINS, J. N. Relationships between soil-landscape and dryland cotton lint yield. *Soil Science Society American Journal*, v.69, p.872-882, 2005.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: Dover Publications, 281 p. 1994

KÄMPF, N.; CURI, N. **Formação e evolução do solo (pedogênese)**. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

LACERDA, M. P. C. **Correlação geo-pedológica na região de Lavras, MG**. 1999. 257 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

LAGACHERIE, P. ROBBEZ-MASSON, J. M. NGUYEN-THE, N. BARTHÈS, J. P. **Mapping reference area representativity using mathematical soilscape distance**. *Geoderma* 101, 105-118. 2001.

LAGACHERIE P. **Digital Soil Mapping: A State of the Art**. In: *Digital Soil Mapping with Limited Data*, A. A. E. Hartemink, A. B. McBratney, M. L. M. Santos, R. J. Ahrens (eds.). Springer Science+Business Media B.V. 2008.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LEPSCH, I. **Dezenove lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. P. 251-261.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 1857/1969. 4º Ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 526p.

MCBRATNEY, A., MENDONÇA-SANTOS, M.L. (Eds.) *Digital soil mapping with limited data*. New York: Springer, 2008, p.349-356.

MCBRATNEY, A. B.; LAGACHERIE P.; VOLTZ, M. *Digital Soil Mapping, An Introductory Perspective*. *Developments in Soil Science*. Volume 31. Amsterdam: Elsevier, 2007. 600p.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, v. 117, p. 3-52, 2003.

MCBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S.; SHATAR, T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, v. 97, n. 3-4, p. 293-327, 2000.

McKENZIE, N. J.; RYAN, P. J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, v. 89, p. 67-94, 1999.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Spatial dependence and classification of soil along a transect in northeast Scotland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 26, p. 63-82, 1981.

McBRATNEY, A. B. A theoretical framework for land evaluation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, p. 198-199, 1996.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003.

MILNE, G. Some suggested unICTS of classification and mapping, particularly for East African soils. **Supplements to the Proceedings of the International Society of Soils Science**, v.4, n.3, p.183-198, 1935.

MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S/A). **Atlas geológico do Estado do Paraná**. 2001. Disponível em <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>> Acesso em 02 de jun. de 2014.

MINEROPAR. **ATLAS Geomorfológico do Estado do Paraná**. Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Paraná: MINEROPAR: Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas** / José Iguelmar Miranda. – 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 425 p.

MOORE, I. D.; GESSLER, G. A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.869-878, 2002.

NOWATZKI, A. **Utilização de atributos topográficos no mapeamento preliminar de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno (Antonina/PR)**. Curitiba, 2013, 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

ODEH, I. O. A.; McBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Design of optimal sample spacings for mapping soil using fuzzy-k-means and regionalized variable theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 47, p. 93-122, 1990.

OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; KOZCIAK, S., **Geomorfologia do Litoral Paranaense**. In: 6º Encontro de Geógrafos da América Latina, 1997, Buenos Aires. Anais do 6º Encontro de Geógrafos de América Latina. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 1997.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. Soil water retention as related to topographic variables. **Soil Science Society American Journal**, v.65, p.1787–1795, 2001.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa Floresta Atlântica. **Mapeamento geológico da região de ocorrência da Floresta Atlântica no Paraná**. Curitiba: SEMA / MINEROPAR. 2006. CD-ROM.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano de Gestão Ambiental - Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba**. Curitiba: IAP 1995.

PARANÁ. **Decreto nº 5040, de 15 de maio de 1989**. Dispões sobre o Macrozoneamento do Litoral Paranaense, suas diretrizes e normas de usos. COLIT - Conselho de Desenvolvimento Territorial do Litoral Paranaense, Paraná, 1989.

PAULA, E. V.; CUNICO, C. O assoreamento das baías de Antonina e Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. *In*: BOLDRINI, E. B.; SORAES, C. R.; PAULA, E. V. (Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental**. Antonina: Governo do Estado do Paraná; SEMA/PR; ADEMADAN; UNIBEM. 2007.

PINTO, L. F. S.; PAULETTO E. A.; GOMES A. S.; SOUZA R. O. **Caracterização de solos de várzea**. *In*: A. da S. Gomes & E.A. Pauletto, eds. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Embrapa, CPACT, Pelotas, 1999. p.11-36.

QUEIROZ NETO, J. P. **Geomorfologia e pedologia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 1: 59-67, 2000.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar. Cap. 9 – **Modelo Digital do Terreno**. Minas Gerais: Ed. Do Autor, 2000.

ROCHA, H. O.; CARDOSO, A.; SCHMIDLIN, D.; ROCHA, A. J. **Levantamento de Solos**: Reserva Natural do Itaquí. Curitiba: Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental/ The Nature Conservancy. 2002.

RUHE, R. V. **Geomorphic surfaces and the nature of soils**. Soil Science, Baltimore, v. 82, n. 6, p. 441-445, 1956.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SEIBERT, J.; STENDAHL, J.; SØRENSEN, R. Topographical influences on soil properties in boreal forests. **Geoderma**, v.141, p.139-148, 2007.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: Integração de atributos topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e redes neurais artificiais**. Curitiba, 2010, 153 f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SILVEIRA, R. M. P. **Análise digital do relevo como apoio para a cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar Paranaense**. Curitiba, 2015, 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SIRTOLI, A. V. **Mapeamento de Solos Com Auxílio da Geologia, Atributos do Terreno e Índices Espectrais Integrados Por Redes Neurais Artificiais.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. 114f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SOMMER, M. Influence of soil pattern on matter transport in and from terrestrial biogeosystems - A new concept for landscape pedology. **Geoderma**, v.133, p.107–123, 2006.

SORAES, C. R.; PAULA, E. V.(Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil:** Engenharia, Tecnologias e Meio Ambiente. Antonina: ADEMADAN; UNIBEM; Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT). 2008. 296p.

THOMPSON, J.A.; PENA-YEWTUKHIW, E.M.; GROVE, J.H. Soil–landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. **Geoderma**, v.133, p.57–70, 2006.

TOLEDO M. C. M.; Oliveira S. M. B., Melfi A. J. 2000. **Intemperismo e Formação do Solo.** In: Teixeira W., Toledo M. C. M., Fairchild T. R., Taioli F. 2000. Decifrando a Terra. São Paulo: Ofic. Textos. cap. 8, 2000. 139-166. P.

TOMLIN, C. D. **A Map Algebra.** In Proceedings of Harvard Computer Graphics Conference, at Cambridge, Mass, 1983.

UFPR (Universidade Federal do Paraná). Departamento de Geografia. **Diagnóstico de subsidio ao Plano de Manejo da APA Federal de Guaraqueçaba:** Etapa Tagaçaba. Curitiba: UFPR / ICMBio, 2014. 150 p. Relatório técnico. Publicação disponível em formato digital.

VALLADARES, G.S.; HOTT, M.C. The use of GIS and digital elevation model in digital soil mapping – A case study from São Paulo, Brazil. In: HARTENINK, A.E.; MCBRATNEY, A., MENDONÇA-SANTOS, M.L. (Eds.) **Digital soil mapping with limited data.** New York: Springer, 2008, p.349-356.

VIDAL-TORRADO, P. LEPSCH, I. F. CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciências dos Solos.** 4: 145 – 192, 2005.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis, chapter 1. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis:** principles and applications. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Histogramas dos atributos topográficos por ordem pedológica.

